



TUGAS AKHIR - SF184801

ANALISA PENGARUH JARAK ANTAR PUSAT BILAH  
(FR) PADA *SONIC CRYSTAL* TERHADAP FREKUENSI  
RESONANSI DAN ATENUASI

RIFKI DIWANGKARA WIDIANTA  
NRP 0111154000077

Dosen Pembimbing  
Dr. Suyatno, M. Si  
Drs. Gontjang Prajitno, M. Si

Departemen Fisika  
Fakultas Sains  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2019



**TUGAS AKHIR – SF184801**

**ANALISA PENGARUH JARAK ANTAR PUSAT  
BILAH (FR) PADA *SONIC CRYSTAL* TERHADAP  
FREKUENSI RESONANSI DAN ATENUASI**

Rifki Diwangkara Widianta  
NRP 0111154000077

Dosen Pembimbing:  
Dr. Suyatno, M.Si  
Drs. Gontjang Prajitno, M.Si

Departemen Fisika  
Fakultas Sains  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



**FINAL PROJECT – SF184801**

**ANALYSIS OF DISTANCE EFFECT BETWEEN  
PIPES (FR) ON SONIC CRYSTAL FREQUENCY  
RESPONSES AND ATTENUATION**

Rifki Diwangkara Widianta  
NRP 0111154000077

Advisor:  
Dr. Suyatno, M.Si  
Drs. Gontjang Prajitno, M.Si

Departement of Physics  
Faculty of Sciences  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISA PENGARUH JARAK ANTAR PUSAT BILAH (FR) PADA *SONIC CRYSTAL* TERHADAP FREKUENSI RESONANSI DAN ATENUASI

Disusun untuk memenuhi syarat kelulusan mata kuliah Tugas  
Akhir Program Strata 1

Departemen Fisika,  
Fakultas Sains  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

Oleh:

**RIFKI DIWANGKARA WIDIANTA**  
NRP 0111154000077

Disetujui oleh tim pembimbing Tugas Akhir

Dosen Pembimbing I  
**Dr. Suyatno, M.Si**  
NIP. 19760620 200212.1.004



(.....)

Dosen Pembimbing II  
**Drs. Gontjang Prajitno, M.Si.**  
NIP. 19660102 199003.1.001



(.....)

Surabaya, Juli 2019



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# ANALISA PENGARUH JARAK ANTAR PUSAT (FR) BILAH PADA SONIC CRYSTAL TERHADAP FREKUENSI RESONANSI DAN ATENUASI

**Nama** : Rifki Diwangkara Widanta  
**NRP** : 0111154000077  
**Departemen** : Fisika, Fakultas Sains ITS  
**Pembimbing I** : Dr. Suyatno, M.Si  
**Pembimbing II** : Drs. Gontjang Prajitno, M.Si

## Abstrak

Kebisingan suara merupakan sebuah masalah yang menyebabkan ketidaknyamanan bagi pendengarnya. Bahkan kebisingan dapat menyebabkan gangguan kesehatan seperti stress, kelelahan, gangguan tidur, bahkan dapat menyebabkan ketulian. Salah satu solusi untuk mengurangi tingkat kebisingan adalah dengan memberikan penghalang akustik yang ditempatkan diantara sumber bising dan pendengar. Penelitian ini memberikan konsep penghalang akustik berdasarkan bentuk metamaterial yang biasa disebut *sonic crystal*. Bahan dasar yang digunakan adalah berupa pipa PVC berukuran 1'5" dengan tinggi 1,055 m kemudian pipa dilubangi sebanyak 8 lubang dengan variasi konfigurasi *square* dan *triangular*, dan *filling ratio* (FR) sebesar 0,3, 0,4, dan 0,5. Dari penelitian ini didapatkan bahwa pada konfigurasi *square*, jarak terkecil dengan FR 0,5 memiliki kinerja terbaik pada *sonic crystal*, dengan pelemahan SPL maksimal sebesar -27,37 dB. Sedangkan pada FR 0,3 pelemahan SPL maksimal sebesar -19,86 dB dan pada FR 0,4 pelemahan SPL maksimal -23,57 dB. Pada konfigurasi *triangular*, untuk FR 0,4 memberika atenuasi lebih tinggi dibandingkan FR 0,3 dan 0,5. Sementara jumlah pipa, tidak mempengaruhi frekuensi resonansi dari *sonic crystal*, namun menyebabkan atenuasi suara yang terjadi menjadi lebih besar. Pada FR 0,4, kinerja *sonic crystal* dengan konfigurasi *square* memiliki kinerja yang lebih baik (atenuasi) dibandingkan dengan konfigurasi *triangular*.



Kata kunci : Atenuasi, *Filling Ratio*, *Sonic Crystal*, *Square*, *Triangular*.

# ANALYSIS OF DISTANCE EFFECT BETWEEN PIPES (FR) ON SONIC CRYSTAL FREQUENCY RESPONSES AND ATTENUATION

**Name** : Rifki Diwangkara Widanta  
**NRP** : 0111154000077  
**Departemen** : Fisika, Faculty of Sciences ITS  
**Advisor I** : Dr. Suyatno, M.Si  
**Advisor II** : Drs. Gontjang Prajitno, M.Si

## Abstract

*Noise is a problem that causes discomfort to the listener. Even noise can cause health problems such as stress, fatigue, sleep disorders, and can even cause hearing loss. The solution to reduce noise levels is to provide an acoustic barrier placed between the noise source and the listener. This study provides an acoustic barrier concept is based on the form of called sonic metamaterial crystal. The basic material used is a 1'5 "PVC pipe with a height of 1,055 m, then 8 holes are perforated.. The variation measured is a sonic crystal with a square and triangular configuration, and the distance taken is sonic crystal with a filling ratio (FR) of 0.3, 0.4, and 0.5. From this study it was found that in the square configuration, the smallest distance with FR 0.5 had the best performance in sonic crystal, with the attenuation of the SPL to -27.37 dB. While for FR 0.3 the SPL attenuation has a maximum of -19.86 dB and for FR 0.4 the SPL attenuation has a maximum of -23.57 dB. In triangular configurations, the distance with FR 0.4 has more SPL weakening points than FR 0.3 and 0.5. The use of the number of pipes does not affect the resonance frequency of sonic crystal. But the addition of pipes can lead to greater attenuation of the sound At FR 0.4, sonic crystal performance with square configuration has better performance compared to triangular configuration.*

**Key words** : Attenuation, Filling Ratio, Sonic Crystal, Square, Triangular.



## **KATA PENGANTAR**

Dengan menyebut nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, penulis panjatkan puja dan puji syukur atas kehadiran-Nya, yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul:

### **" ANALISA PENGARUH JARAK ANTAR PUSAT BILAH (FR) PADA SONIC CRYSTAL TERHADAP FREKUENSI RESONANSI DAN ATENUASI"**

Penulis mempersembahkan laporan tugas akhir ini kepada Indonesia khususnya di bidang teknologi sains. Penulisan laporan tugas akhir ini telah penulis susun dengan maksimal dan mendapat bantuan dari berbagai pihak sehingga dapat memperlancar pembuatan laporan tugas akhir ini. Untuk itu penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu, baik dalam dukungan moril, materil dan pengertiannya dalam pembuatan tugas akhir ini:

1. Allah SWT atas rahmat dan karunia yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
2. Kedua orang tua, beserta kakak dan adik, yang telah memberikan segala yang terbaik kepada penulis. Atas doa, dukungan moral, dan kepercayaan yang telah diberikan.
3. Bapak Dr. Suyatno M.Si dan Bapak Drs. Gontjang Prajitno, M.Si. sebagai dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membagi pengalaman, wawasan, dan memberikan bimbingan terbaiknya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
4. Bapak Dr. Yono Hadi P, M. Eng. dan Bapak Eko Minarto selaku Kepala Departemen dan Sekretaris Departemen Fisika FS ITS yang telah memberikan kemudahan sarana

kepada penulis selama kuliah sampai terselesaikannya Tugas Akhir ini.

5. Teman-teman PIR 2017-2018 Rifki, Aji, Cholil, Gilang, Sukma, Ayul, Sakti, Shagita yang bersama-sama berjuang dan saling menyemangati dalam proses kaderisasi sampai proses penulisan tugas akhir ini.
6. Teman-teman akustik Mbak Aul, Inayah, Angie, Ibram, Anis, Zizi, Vina, dan Baim yang selalu meramaikan laboratorium dan saling mengingatkan dalam proses penulisan Tugas Akhir.
7. Tim perpipaian Mas Annas, Risti, dan Desy yang selalu membantu melakukan pengukuran dan uji coba dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
8. Para pendahulu Akustik mas Sholeh, mas Haikal, bang Reza yang sabar membimbing dan membantu penulis dalam pembelajaran di bidang Fisika Akustik.
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari atas keterbatasan ilmu pengetahuan dan kemampuan yang dimiliki, oleh karena itu penulis akan menerima kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penulisan Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak, baik dibidang penelitian maupun lainnya.

Surabaya, Juli 2019

Penulis  
r\_diwangkara@yahoo.com

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
COVER PAGE.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Abstrak .....	vii
Abstract .....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Rumusan Masalah .....	2
1.3    Tujuan.....	3
1.4    Manfaat.....	3
1.5    Batasan Masalah.....	3
1.6    Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>Noise</i> atau Kebisingan .....	5
2.2    Pengendalian Kebisingan .....	5
2.3 <i>Sonic Crystal</i> .....	6
2.4    Resonator.....	7
2.5    PVC (Polyvinyl Chloride).....	12
2.6    Penelitian Sebelumnya .....	12
BAB III METODOLOGI .....	15
3.1    Tahap-tahap Penelitian .....	15
3.2    Studi Literatur.....	16

3.3	Pengenalan Alat.....	16
3.4	Pembuatan Panel Resonator <i>Sonic Crystal</i> .....	17
3.5	Pengukuran Resonator.....	18
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN .....		21
4.1	Perhitungan.....	21
4.1.1	Jarak pusat antar pipa .....	21
4.1.2	Perhitungan frekuensi resonansi dasar.....	22
4.2	Hasil Pengukuran.....	24
4.2.1	Perbandingan <i>filling ratio</i> konfigurasi <i>square</i> .....	24
4.2.1.1	Perbandingan <i>filling ratio</i> konfigurasi <i>square</i> dengan luas permukaan panel yang sama .....	24
4.2.1.2	Perbandingan <i>filling ratio</i> konfigurasi <i>square</i> dengan jumlah 39 pipa .....	26
4.2.2.1	Perbandingan <i>filling ratio</i> konfigurasi <i>triangular</i> dengan luas permukaan yang sama .....	28
4.2.2.2	Perbandingan <i>filling ratio</i> konfigurasi <i>triangular</i> dengan jumlah 38 pipa.....	29
4.2.3	Pengaruh pengurangan pipa terhadap kinerja <i>sonic crystal</i> 31	
4.2.4	Perbandingan konfigurasi <i>square</i> dan <i>triangular</i> ....	32
4.3	Pembahasan .....	33
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....		37
5.1	Kesimpulan.....	37
5.2	Saran.....	37
DAFTAR PUSTAKA.....		39
LAMPIRAN I.....		41
LAMPIRAN II.....		43

BIODATA PENULIS.....55



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 <i>Barrier konvensional</i> .....	1
Gambar 2. 1 Susunan kisi <i>sonic crystal square</i> (kiri) dan <i>triangular</i> (kanan) .....	7
Gambar 2. 2 Resonator Helmholtz(Barron, 2001) .....	8
Gambar 2.3 Ujung pipa tertutup (a) dan ujung pipa terbuka (b) (Barron, 2001) .....	9
Gambar 2.4 Rangkaian resonator Helmholtz 1 lubang (a) dan rangkaian resonator Helmholtz 2 lubang (b). .....	10
Gambar 2.5 Rangkaian resonator 2 pipa .....	11
Gambar 2. 6 Pengukuran <i>sonic crystal</i> pada medan bebas (Morandi, 2016) .....	13
Gambar 2.7 <i>Insertion Loss</i> pada sudut 0° (a), 15°(b), 30°(c), dan 45°(d) (Genshan, 2016) .....	14
Gambar 3.1 Diagram alir.....	16
Gambar 3. 2 Dudukan triplek <i>sonic crystal</i> konfigurasi <i>square</i> (atas) dan <i>triangular</i> (bawah).....	17
Gambar 3. 3 Resonator pipa .....	18
Gambar 3. 4 Skema pengukuran (a), Pengukuran langsung (b), pengukuran ruang kosong (c), dan penempatan mikrofon dicelah (d) .....	19

Gambar 3.5 Susunan pengukuran jumlah pipa sama pada konfigurasi <i>square</i> .....	20
Gambar 4. 1 Model resonator helmholtz 8 lubang .....	22
Gambar 4. 2 Grafik perbandingan FR <i>square</i> luas permukaan sama .....	25
Gambar 4. 3 Grafik perbandingan FR <i>square</i> 39 pipa.....	27
Gambar 4. 4 Grafik perbandingan FR <i>triangular</i> luas permukaan sama .....	29
Gambar 4. 1 Grafik perbandingan FR <i>triangular</i> 38 pipa.....	32
Gambar 4.6 Grafik pengurangan pipa pada FR 0,5 .....	31
Gambar 4.7 Grafik perbandingan <i>square</i> dengan <i>triangular</i> pada FR 0.4 .....	32

## DAFTAR TABEL

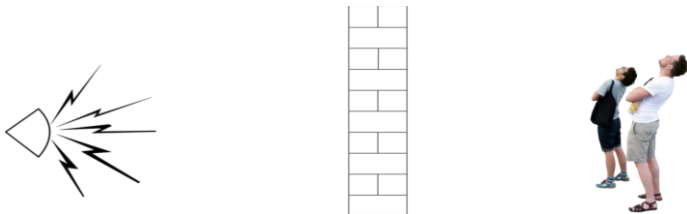
<b>Tabel 4. 1</b> Jarak Antar Pipa.....	22
---	----

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

*Noise* atau kebisingan adalah bunyi yang tidak dikehendaki atau tidak berada pada tempat dan waktu yang sesuai, sehingga menimbulkan gangguan kenyamanan bahkan kesehatan manusia. Maka dari itu diperlukan pengendalian kebisingan, untuk mengurangi suara bising yang diterima oleh lingkungan sekitar. Salah satu aplikasi untuk mengurangi kebisingan adalah dengan membangun sebuah *barrier*. *Barrier* adalah suatu alat yang di desain untuk memantulkan energi suara sehingga suara kembali ke sumber suara berasal. *Barrier* biasanya dibuat untuk mengurangi kebisingan yang berasal dari kendaraan di jalan raya agar tidak sampai pada perumahan (permukiman). Gambar 1.1 menunjukkan beberapa bentuk *barrier* konvensional



**Gambar 1.1** *Barrier konvensional*

Berdasarkan gambar 1.1, terdapat kekurangan pada penggunaan *barrier* konvensional yang diantaranya adalah terbatasnya pandangan dengan lingkungan sekitar, kurangnya sirkulasi udara, kurangnya sinar cahaya matahari, serasa terkurung, dan terkadang buruknya perawatan terhadap penggunaan *barrier*. Beberapa tahun terakhir mulai banyak penelitian yang dilakukan untuk mencari jalan alternatif sebagai pengganti *barrier* yang konvensional. Salah satunya adalah pembuatan *barrier* dengan struktur *sonic crystal*. Pembuatan *sonic crystal* sebagai *barrier*

dibuat untuk meminimalisir kekurangan yang ada pada penggunaan barrier.

Sebelumnya telah dilakukan penelitian yang dilakukan oleh Federica Morandi pada tahun 2015. Pada penelitiannya, morandi membuat *sonic crystal* dari pipa PVC sebagai *barrier*. Adapun parameter yang dikukur adalah nilai insertion Loss (IL).. *Sonic crystal* yang digunakan Morandi adalah PVC berdiameter 16 cm dan disusun dengan konfigurasi *square* yang memiliki *filling fraction* 0.5. Metode pengukuran yang dilakukan adalah dengan meletakkan sumber suara sejauh 1.5 m dari sampel dengan tinggi 1.5 m dan meletakkan mikrofon sejauh 0.25 m dibelakang susunan *sonic crystal*. Mikrofon yang digunakan adalah sebanyak 9 mikrofon yang disusun 3 x 3 dengan jarak antar mikrofon sejauh 0.4m Mikrofon yang berada paling tengah selalu diletakkan sejajar menghadap ke tengah sumber suara. Pada penelitian ini dilakukan tiga konfigurasi penempatan *speaker* dan mikrofon, yaitu *speaker* dan mikrofon mengarah tepat didepan pipa, dipinggir pipa, dan celah antar pipa.

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan dan pengujian *sonic crystal* dengan bahan pipa PVC melalui variasi jumlah bilah serta lubang pada pipa. Pipa yang digunakan memiliki Panjang 1,055 m dengan diameter pipa 48 mm, serta lubang yang digunakan berjumlah 8 lubang dengan jari-jari lubang 16 mm. Adapun metode pengukur yang digunakan mengacu pada penelitian morandi. Dari variasi tersebut akan di teliti pengaruh resonator terhadap frekuensi resonansi.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pada pembahasan latar belakang, maka penulis menemukan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh jarak antar bilah pada *sonic crystal* terhadap frekuensi resonansi.
2. Bagaimana pengaruh penambahan pipa pada *sonic crystal*.

3. Adakah perbedaan kinerja *sonic crystal* antara konfigurasi *square* dengan *triangular*.

### 1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah untuk:

1. Mengetahui pengaruh jarak antar bilah pada *sonic crystal* terhadap frekuensi resonansi pada konfigurasi *square* dan konfigurasi *triangular*.
2. Mengetahui pengaruh penambahan pipa pada *sonic crystal* terhadap kinerja *sonic crystal*
3. Membandingkan kinerja *sonic crystal* antara konfigurasi *square* dengan *triangular*.

### 1.4 Manfaat

Manfaat yang ingin dicapai dalam penelitian ini yaitu menghasilkan panel resonator baru yang dapat diaplikasikan pada ruangan tertentu.

### 1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang terdapat penelitian ini yaitu :

1. Pengukuran dilakukan di ruangan *semi-anechoic* Laboratorium Akustik Fisika ITS.
2. Pipa yang digunakan adalah pipa PVC dengan ukuran 1.5" dan panjang 1.055 m.
3. Menggunakan  $R_h$  (jari-jari lubang resonator) sebanyak 8 lubang dengan jari-jari 8 mm.
4. Konfigurasi yang digunakan adalah *square* dan *triangular*.
5. *Filling Ratio* yang digunakan adalah sebesar 0.3, 0.4, dan 0.5.
6. Pengurangan pipa, pada *square* FR 0.5. Pipa 18,14,12, dan 10 kolom



## **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan tugas akhir ini, tersusun dalam lima bab yaitu: Bab 1: Pendahuluan, berisi latar belakang masalah, maksud dan tujuan, perumusan masalah dan manfaat tugas akhir. Bab 2: Tinjauan Pustaka, berisi tentang kajian pustaka yang digunakan pada tugas akhir. Bab 3: Metodologi Penelitian, berisi tentang metode dan tahap pengambilan data. Bab 4: Analisis Data dan Pembahasan, berupa hasil data yang diperoleh, serta analisis yang dilakukan. Bab 5: Kesimpulan, berisi kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Noise atau Kebisingan**

*Noise* atau kebisingan adalah bunyi yang tidak dikehendaki atau bunyi yang tidak berada pada tempat dan waktu yang sesuai, sehingga menimbulkan gangguan kenyamanan bahkan kesehatan manusia. Bentuk gangguan yang diakibatkan kebisingan antara lain gangguan pendengaran dan gangguan percakapan (Lea, 2003).

Kebisingan dibedakan atas tiga macam berdasarkan asal kebisingannya:

1. Kebisingan impulsif, yaitu kebisingan yang datangnya tidak secara terus menerus akan tetapi sepotong-sepotong. Misalnya, bunyi yang bersal dari palu yang di pukul – pukul atau bunyi yang datang dari mesin pemancang tiang pancang.
2. Kebisingan kontinu, yaitu kebisingan yang datangnya secara terus menerus dalam waktu yang cukup lama. Misalnya, suara dari mesin yang dihidupkan.
3. Kebisingan semi kontinu, yaitu kebisingan kontinyu yang hnaya sekejap, kemudian hilang kemungkinan akan datang kembali. Misalnya, suara mobil atau kendaraan yang lewat.

#### **2.2 Pengendalian Kebisingan**

Dalam kehidupan sehari hari tentu saja kita dapat menemukan beragam sumber suara, jalur suara, dan terdapat lebih dari satu pendengar. Prinsip dasar dari pengendalian kebisingan adalah untuk mengurangi suara bising yang diterima oleh pendengar. Pengendalian ini bisa saja dilakukan dengan cara memodifikasi sumber suara, jalur suara, atau pendengar, atau bisa dengan cara mengkombinasikan ketiga elemen tersebut. Dari pernyataan diatas maka dapat diketahui bahwa ada tiga elemen dasar untuk mengendalikan kebisingan yaitu pengendalian sumber suara, jalur yang dilewatkan oleh suara bising, dan

pengendalian di pihak pendengar. Dalam penelitian ini lebih ditekankan pengendalian kebisingan pada jalur suara antara sumber suara dengan pendengar(Barron,2001).

Suara yang berada didalam atau diluar ruangan, jalur transmisi suara dapat dimodifikasi dengan menempatkan tembok atau *barrier* diantara sumber suara dengan pendengar. Pengurangan kebisingan yang berasal dari kendaraan di jalan raya yang di sekitarnya terdapat bangunan untuk keperluan umum dilakukan dengan cara membuat *barrier* di sepanjang jalan. Penggunaan *barrier* tidak bisa efektif mengurangi kebisingan jika digunakan didalam ruangan, karena suara yang di transmisikan bisa secara tidak langsung dapat diterima oleh pendengar melalui pantulan yang terjadi di permukaan dinding ruangan. Untuk kasus ini, kebisingan dapat dikurangi dengan menambahkan bahan absorber pada permukaan dinding ruangan. (Barron,2001).

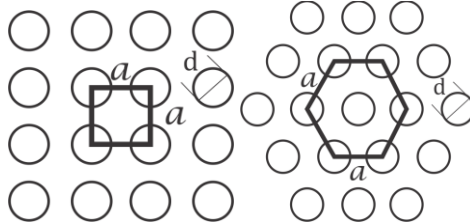
### 2.3 *Sonic Crystal* (SC)

*Sonic crystal* adalah material yang tersusun secara periodik dengan jarak kisi tertentu dan dibuat untuk menghaburkan bunyi. Bahan ini terbuat dari rangkaian kristal fotonik yang disusun menjadi suatu jaringan dengan ukuran lebih kecil dari panjang gelombang yang ingin dimanipulasi.. *Sonic crystal* dimanfaatkan sebagai bahan untuk mengisolasi frekuensi pada *range* yang diinginkan tergantung pada bahan, kombinasi jarak, dan celah antar bahan(Morandi.2015).

Parameter yang mempengaruhi performa akustik dari *sonic crystal* yaitu topologi hamburannya. Bagian sel yang paling sederhana terdiri dari penyebar suara dengan bentuk melingkar (teksturnya keras). Gambar 2.1 menunjukkan bentuk dasar dari susunan SC.

Berdasarkan Gambar 2.1, Parameter yang mempengaruhi penciptaan *bandgap* pada *sonic crystal* adalah konstanta kisi dan *filling ratio*. *Filling ratio* didefinisikan sebagai perbandingan volume yang ditempati oleh bahan *sonic crystal*

dengan volume total *sonic crystal*. Jika konstanta kisi ( $a$ ) didefinisikan sebagai jarak antara pusat tiang yang berdekatan.



**Gambar 2. 1** Susunan kisi *sonic crystal square* (kiri) dan *triangular* (kanan)

*Filling ratio* untuk kisi *square* dapat dihitung dengan persamaan :

$$Fr = \frac{\pi d^2}{4a^2} \dots \dots \dots (2.1)$$

Persamaan  $Fr$  untuk kisi *triangular* adalah sebagai berikut:

$$Fr = \frac{\pi d^2}{2a^2\sqrt{3}} \dots \dots \dots (2.2)$$

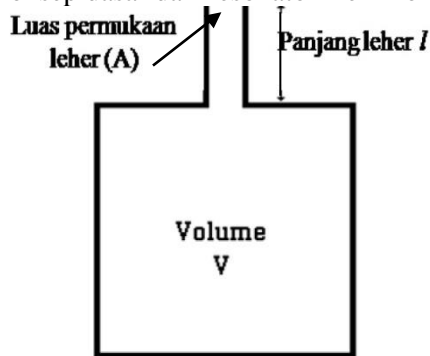
Dimana  $d$  adalah diameter dan  $a$  adalah jarak kisi (Lagarrigue, 2013).

Dari Gambar 2.1 dapat kita lihat bentuk-bentuk kisi *sonic crystal*. Pada susunan segiempat, *bandgap* terbaik dapat diperoleh ketika  $Fr$  bernilai antara 0,4-0,6. Pada susunan segitiga, *bandgap* absolut dapat diperoleh ketika  $Fr \leq 0,4$  (T. Miyashita, 2005).

## 2.4 Resonator

Secara garis besar prinsip dasar dari *sonic crystal* adalah resonator Helmholtz. Resonator adalah peredam berupa balok yang memiliki rongga resonansi dimana gelombang bunyi yang terjebak di dalamnya akan dipantulkan berulang kali dan energinya diserap hingga habis. Resonator tersebut terdiri dari suatu badan yang berbentuk balok dengan satu volume udara dengan sebuah leher. Resonansi Helmholtz merupakan peristiwa resonansi udara dalam satu rongga. Frekuensi resonansi Helmholtz resonator tergantung pada volumenya, dan sebuah resonator harmonik dapat diubah volumenya dengan cara

menggeser tabung penutup (tabung keluar masuk). Gambar 2.2 menunjukkan konsep dasar dari resonator Helmholtz



**Gambar 2. 2** Resonator Helmholtz(Barron, 2001)

Berdasarkan gambar 2.2, pada saat gelombang menabrak ruang, maka sebagian akan diteruskan kedalam ruang dan sebagian akan dipantulkan. Gelombang yang berjalan dalam ruang tersebut kemudian menabrak dinding bagian belakang dari resonator dan dipantulkan menembus lubang. Panjang dari ruang resonator ini harus dihitung sehingga gelombang pantulan meninggalkan ruang resonator tepat pada saat gelombang suara berikutnya datang ke ruang resonator. Idealnya, bagian tekanan tinggi dari gelombang yang datang ke ruang resonator beriringan dengan bagian tekanan rendah dari gelombang yang meninggalkan ruang resonator, sehingga kedua gelombang suara tersebut dapat saling meniadakan.

Berdasarkan Barron (2001) nilai frekuensi resonansi dari resonator Helmholtz dapat dicari menggunakan persamaan :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{M_A C_A}} \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan,

$M_A$  = massa akustik ( $kg/m^4$ )

$C_A$  = *acoustic compliance* ( $m/s$ )

Nilai  $M_A$  dapat dihitung menggunakan persamaan :

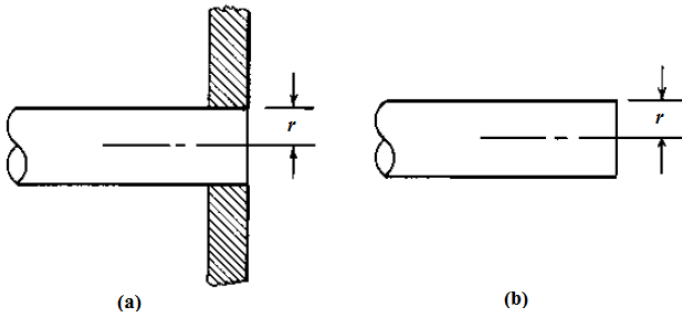
$$M_A = \frac{\rho_0 L_e}{\pi r^2} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dengan  $\rho_o$  adalah massa jenis udara  $r$  adalah jari-jari lubang, dan  $L_e$  merupakan hasil penjumlahan dari panjang leher bukaan/lubang dengan faktor koreksi ujung-ujung resonator,

$$L_e = L + \Delta L_1 + \Delta L_2 \dots\dots\dots(2.5)$$

Nilai dari  $\Delta L_1$  dan  $\Delta L_2$  adalah nilai koreksi untuk tiap ujung pipa, sedangkan untuk nilai  $L$  adalah ketebalan pada pipa.. Untuk perumusan ujung pipa tertutup menggunakan persamaan 2.6.

$$\Delta L_1 = \frac{8r}{3\pi} \dots\dots\dots(2.6)$$



**Gambar 2.3** Ujung pipa tertutup (a) dan ujung pipa terbuka (b) (Barron, 2001)

Sedangkan untuk ujung pipa terbuka menggunakan persamaan 2.7

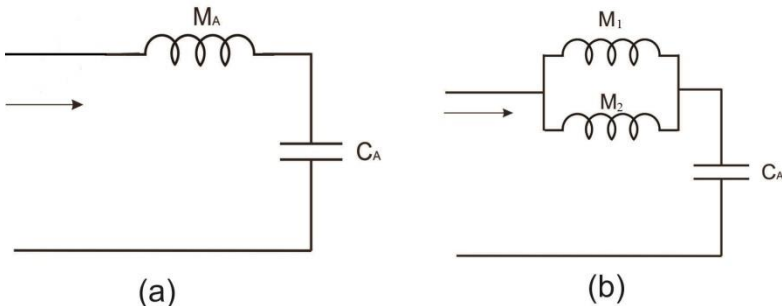
$$L_2 = 0,613r \dots\dots\dots(2.7)$$

Sementara itu nilai  $M_A$ , juga dicari nilai  $C_A$  untuk memenuhi persamaan pada 2.3 dengan persamaan

$$C_A = \frac{V}{\rho_o c^2} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dengan  $V$  adalah volume ( $m^3$ ),  $c$  adalah kecepatan suara (m/s), dan  $\rho_o$  adalah massa jenis udara ( $kg/m^3$ ).

Nilai resonansi dari Resonator Helmholtz dapat dihitung menggunakan analogi rangkaian listrik seri R-L-C. Analogi dapat dilihat pada gambar 2.4. Sistem resonator terdiri atas ( $R_A$ ) resistansi akustik, ( $M_A$ ) massa akustik, dan ( $C_A$ ) *acoustic compliance*(Barron, 2001).



**Gambar 2.4** Rangkaian resonator Helmholtz 1 lubang (a) dan rangkaian resonator Helmholtz 2 lubang (b).

Berdasarkan gambar 2.4 (a), merupakan keadaan resonator dengan 1 lubang.  $M_A$  telah dijelaskan adalah massa akustik,  $C_A$  adalah *acoustic compliance*, dan  $R_A$  adalah resistansi akustik. Ketika resonator memiliki 2 lubang dengan jari-jari dan tebal yang sama maka rangkaian  $M_A$  menjadi paralel seperti pada gambar 2.4 (b). Sehingga, nilai total  $M_A$  menjadi,

$$\frac{1}{M_{Atotal}} = \frac{1}{M_1} + \frac{1}{M_2} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$M_1 = M_2 \dots\dots\dots(2.10)$$

$$\frac{1}{M_{Atotal}} = \frac{2}{M_1} \dots\dots\dots(2.11)$$

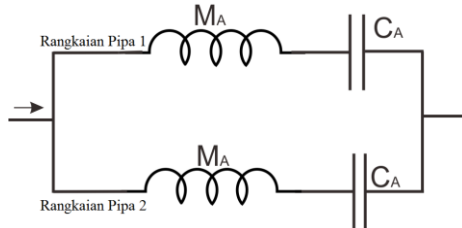
$$M_{A total} = \frac{M_1}{2} \dots \dots \dots (2.12)$$

Persamaan 2.12 adalah keadaan resonator dengan 2 lubang, apabila nilai penyebut merupakan nilai dari jumlah lubang maka,

$$M_{A total} = \frac{M_1}{n} \dots \dots \dots (2.13)$$

Dengan,  $n$  = jumlah lubang pada resonator

Merujuk pada gambar 2.4 (a) adalah rangkaian resonator 1 pipa dan satu lubang, sehingga jika resonator disusun dengan 2 pipa dengan jumlah lubang sama, maka dapat dianalogikan sebagai rangkaian yang ditunjukkan pada gambar 2.5.



**Gambar 2.5** Rangkaian resonator 2 pipa

Pada gambar 2.5 menunjukkan rangkaian resonator 2 pipa dengan kondisi nilai  $M_A$  dan  $C_A$  sama. Apabila jumlah pipa bertambah maka rangkaian tersusun secara paralel, sehingga dari analogi tersebut penambahan pipa tidak mempengaruhi nilai frekuensi resonansi tetapi mempengaruhi nilai impedansi. Jika impedansi dari rangkaian pipa 1 adalah  $Z_1$  dan rangkaian pipa 2 adalah  $Z_2$ , maka impedansi total yang terjadi pada rangkaian menjadi,

$$Z_{total} = \frac{Z_1 \times Z_2}{Z_1 + Z_2} \dots \dots \dots (2.14)$$

Karena bentuk dan ukuran yang sama, maka nilai  $Z_1=Z_2$

$$Z_{total} = \frac{Z_1}{2} \dots \dots \dots (2.15)$$



## 2.5 PVC (Polyvinyl Chloride)

PVC merupakan singkatan dari *Polyvinyl Chloride* atau dalam bahasa Indonesia disebut Polivinil Klorida. PVC ini adalah salah satu unsur dari kimia polimer termo plastik yang berfungsi sebagai cairan kimia dan memiliki berat molekul kecil. PVC sendiri memiliki sifat yang sangat fleksibel dan mudah diregangkan, sehingga sering digunakan sebagai bahan dalam pembuatan peralatan yang mengandung unsur plastik. Contoh : pipa, bingkai jendela dan pintu, insulasi kabel listrik, atap, dll. Penggunaan PVC pada konstruksi di seluruh dunia sendiri sudah melebihi dari 50%.

Sebagian besar hasil produksi bahan PVC adalah pipa. Pipa PVC banyak digunakan dalam perumahan maupun perindustrian. Hasil pembuatan pipa dari bahan PVC mempunyai sifat yang kuat dan ringan serta reaktivitasnya rendah. Jika pipa PVC ini dicampurkan dengan unsur larutan semen atau digabungkan dengan pipa HDPE (pipa tekanan berat) melalui proses pemanasan, maka pipa PVC akan menghasilkan sambungan yang kuat dan tahan bocor([www.pipaku.com](http://www.pipaku.com)).

## 2.6 Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan oleh F. Morandi pada tahun 2016 yaitu meneliti tentang karakterisasi dari *sonic crystal* sebagai *noise barriers* serta pengukuran pada medan bebas.

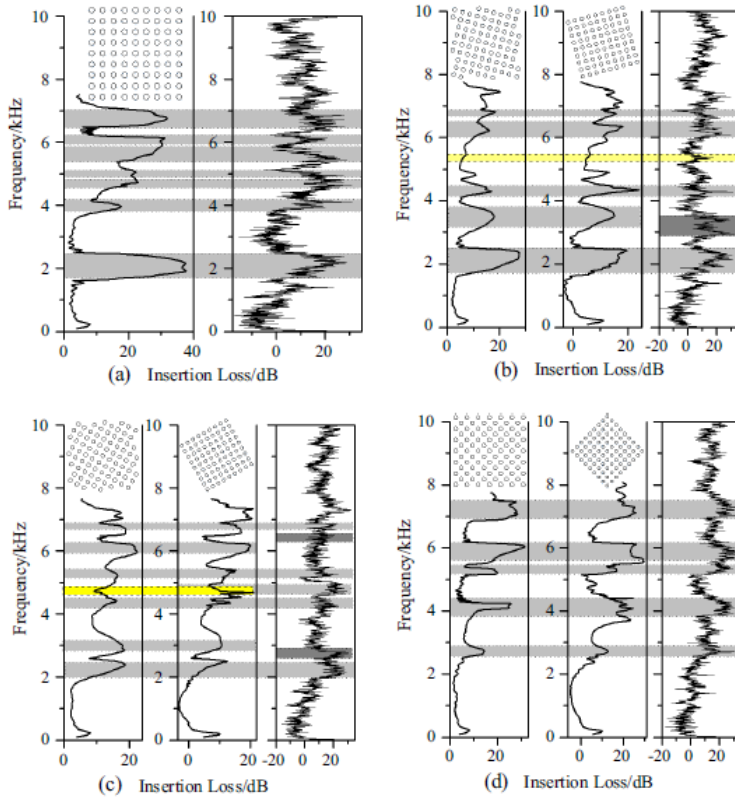


**Gambar 2. 6** Pengukuran *sonic crystal* pada medan bebas (Morandi, 2016)

Dari Gambar 2.6 dapat dilihat pengukuran yang dilakukan pada ruang laboratorium akustik. Bahan yang digunakan adalah pipa PVC berongga dan tidak berongga. Panjang pipa yang digunakan yaitu 1,5 m dengan jari-jari pipa sebesar 80 mm dan ketebalan pipa 3,2 mm. Untuk pengambilan data pada *noise barriers*, jarak sumber suara di letakkan pada 1 m di depan pipa untuk pengukuran medan bebas. Jarak yang digunakan untuk peletakan *microphone* yaitu 0,25 m dengan variasi penempatannya yaitu di depan pipa serta di celah antar pipa. Hasil yang di dapatkan pada pengukuran medan bebas yaitu mampu menurunkan intensitas bunyi pada frekuensi 500 – 1100 Hz. Selanjutnya untuk pengukuran pada *sonic crystal* sebagai *noise barriers*, untuk pipa PVC tidak berongga nilai *reflection index* maksimum terdapat pada frekuensi 800 Hz, nilai terendah pada frekuensi 1250 Hz, dan meningkat pada frekuensi yang lebih tinggi (F. Morandi, 2016).

Pada penelitian sebelumnya Genshan Jiang (2016) melakukan penelitian mengenai kinerja *sonic crystal*. Genshan meneliti karakteristik transmisi suara pada *sonic crystal* dengan merubah sudut panel *sonic crystal*. Variasi sudut yang diambil adalah 0°, 15°, 30°, dan 45°. Dari pengukuran yang dilakukan didapat hasil seperti gambar 2.7,

Dari gambar 2.7 terlihat pola *insertion loss* yang terjadi pada kondisi *sonic crystal* dengan konfigurasi *square* ( $0^\circ$ ) hingga diputar menjadi konfigurasi *triangular* ( $45^\circ$ ). Puncak atenuasi tertinggi terjadi pada konfigurasi *square* ( $0^\circ$ ) (Genshan, 2016).

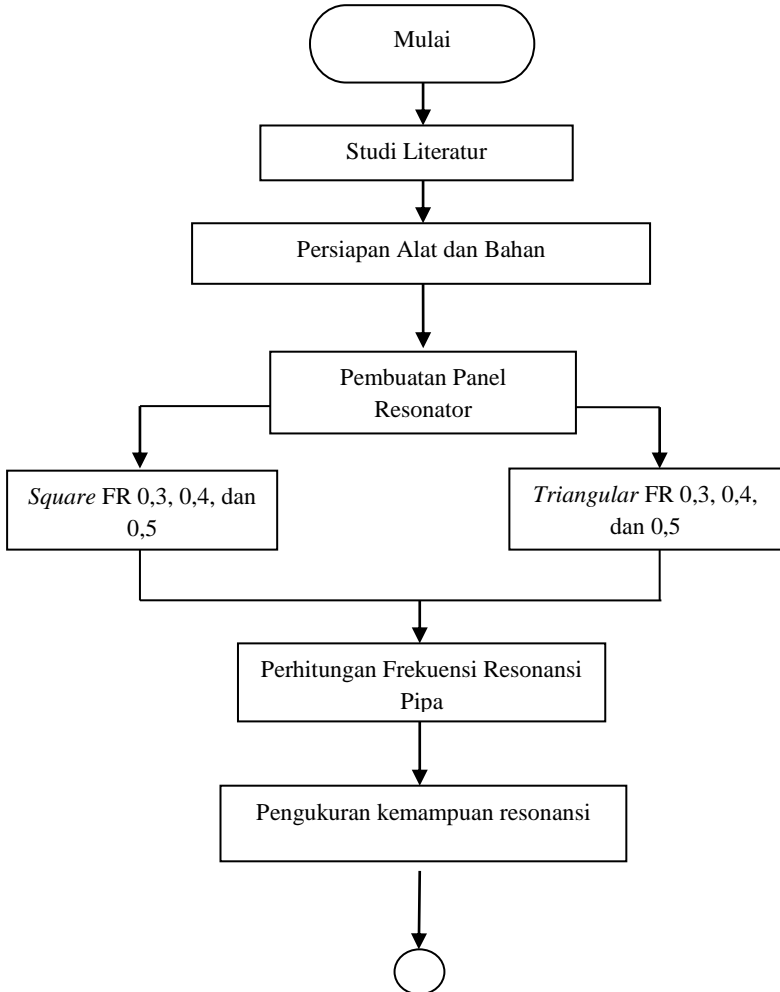


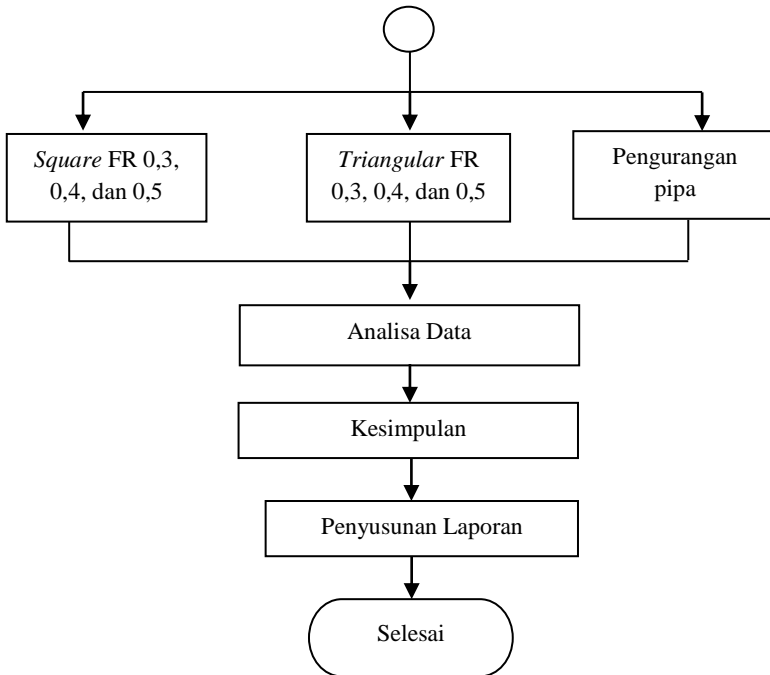
**Gambar 2.7** *Insertion Loss* pada sudut  $0^\circ$  (a),  $15^\circ$ (b),  $30^\circ$ (c), dan  $45^\circ$ (d) (Genshan, 2016)

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Tahap-tahap Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan mengikuti tahapan-tahapan sesuai dengan diagram alir berikut ini.





**Gambar 3.1** Diagram alir

### 3.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan dasar teori, cara pengukuran, serta bahan lainnya yang mendukung proses pembuatan tugas akhir serta memahami arah dan alur penelitian. Literatur diperoleh dari buku, jurnal penelitian, serta artikel internet.

### 3.3 Pengenalan Alat

Pada penelitian ini digunakan beberapa macam alat yang berguna dalam berlangsungnya penelitian. Adapun fungsi dan karakteristik alat tersebut adalah:

- i. *Personal Computer (PC/Laptop)* untuk menghasilkan suara yang berupa bunyi *white noise* dari *Realtime Analyzer*. PC

- juga berfungsi sebagai pengolah data melalui perangkat lunak *Realtime Analyzer*.
- ii. *Speaker* berfungsi sebagai sumber bunyi yang digunakan.
  - iii. *Microphone* berfungsi sebagai alat untuk menangkap suara dari *speaker*.
  - iv. *Standmic* berfungsi sebagai penyangga *microphone* agar tetap pada ketinggian yang diinginkan.
  - v. *Soundcard* berfungsi untuk menjembatani laptop dan *speaker*.

### 3.4 Pembuatan Panel Resonator *Sonic Crystal*

Pada tahap ini dijelaskan mengenai pembuatan panel resonator *sonic crystal*. Pembuatan satu panel resonator *sonic crystal* membutuhkan pipa sebagai resonator *sonic crystal* dan papan triplek sebagaiudukan pipa. Pipa PVC berukuran 48 mm digunakan sebagai bahan utama pembuatan panel *sonic crystal*, pipa digunakan karena mudah didapatkan di sekitar kita dan juga sifat dari pipa yang homogen dan kaku. Papan triplek dengan ketebalan 6 mm dibuat sebagai tempat berdirinya pipa sehingga pipa dapat berdiri dengan tegak dan kokoh.

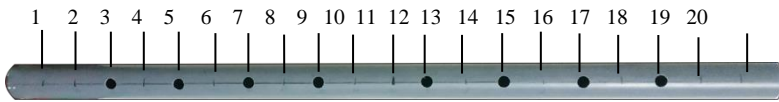


**Gambar 3. 2** Dudukan triplek *sonic crystal* konfigurasi *square* (atas) dan *triangular* (bawah)

Triplek yang digunakan sebagai dudukan pipa memiliki ukuran ketebalan 6 mm. Untuk satu panel resonator *sonic crystal*

dibutuhkan 2 triplek sebagai tempat meletakkan (menyusun) bilah SC. Triplek kemudian dipotong dengan ukuran panjang x lebar sebesar  $112\text{ cm} \times 25\text{ cm}$ . Kemudian triplek dilubangi sesuai dengan konfigurasi yang dibutuhkan, yakni konfigurasi *Square* dan *triangular* dengan FR 0,3, 0,4, dan 0,5. Ilustrasi triplek dapat dilihat pada Gambar 3.2.

Pipa yang digunakan adalah PVC berwarna abu-abu dengan ukuran  $48\text{ mm}$ . Pipa dipotong dengan ukuran panjang  $1,055\text{ m}$ . Kebutuhan pipa yang dipakai menyesuaikan dengan jumlah terbanyak, yakni sebanyak 54 pipa. Untuk melubangi pipa, panjang pipa dibagi dengan 20 titik, kemudian untuk 8 lubang diambil di titik 3, 5, 7, 9, 12, 14, 16, dan 18. Ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 3.3

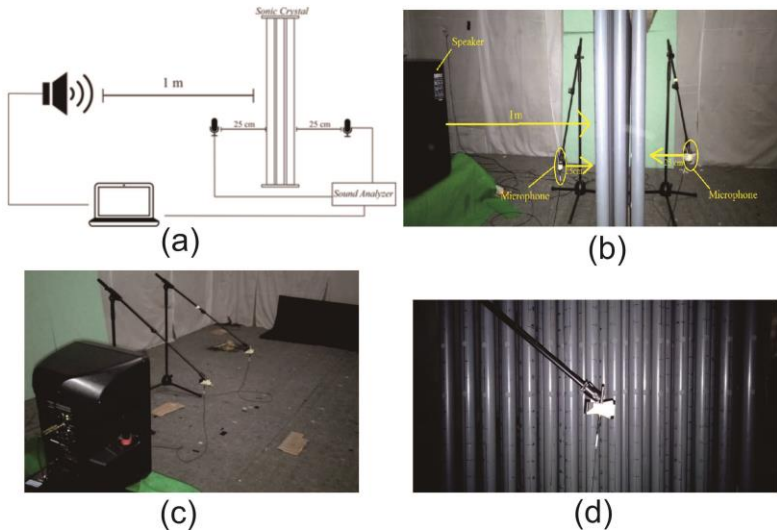


Gambar 3.3 Resonator pipa

### 3.5 Pengukuran Resonator

Pengukuran kemampuan resonansi *sonic crystal* dilakukan pada ruangan *semi-anechoic* Laboratorium Akustik Fisika ITS sesuai dengan yang dilakukan pada jurnal yang ditulis oleh Morandi pada tahun 2016. Cara pengukurannya yaitu dengan mengambil data SPL ruang kosong (tanpa *sonic crystal*) dan SPL total (dengan *sonic crystal*). Skema pengukuran kemampuan resonansi dapat dilihat seperti gambar 3.4

Terlihat pada Gambar 3.4 (a), *sonic crystal* dan *speaker* diatur dengan jarak 1 m kemudian peletakkan *microphone* tepat di belakang *sonic crystal* dengan jarak 25 cm. Peletakkan *microphone* tepat di celah antara dua pipa. Nilai frekuensi resonansi dari *sonic crystal* didapatkan dengan melakukan perbandingan pada nilai SPL total (saat terdapat *sonic crystal*) dengan SPL ruang kosong (Morandi, 2016).



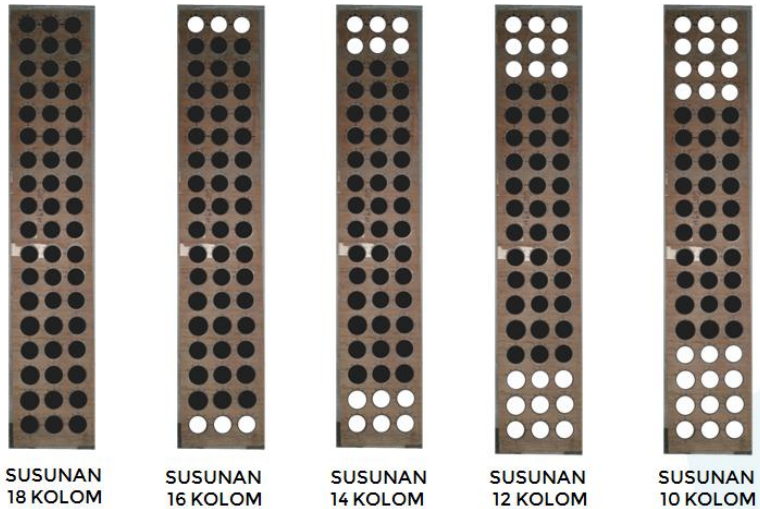
**Gambar 3. 4** Skema pengukuran (a), Pengukuran langsung (b), pengukuran ruang kosong (c), dan penempatan mikrofon dicelah (d)

Pada Gambar 3.4 (b) adalah pengukuran langsung yang dilakukan di ruang *semi-anechoic* Akustik Fisika ITS. Gambar 3.5 (b) menunjukkan pengukuran yang dilakukan ketika terdapat *sonic crystal*. Pada pengukuran *Sonic Crystal* disusun dan ditutup pada bagian atas dan bawah. *Speaker* diletakkan tepat mengarah ke pusat *sonic crystal* dan dengan jarak 1 m dari *sonic crystal*. *microphone* diletakkan dengan jarak 25 cm terhadap pipa. Pada gambar 3.4 (c) merupakan pengukuran SPL ketika dalam keadaan kosong dan pada Gambar 3.4 (d) merupakan pengukuran resonansi ketika *microphone* diletakkan di celah antara dua pipa. Pengukuran dilakukan untuk mencari frekuensi respon dari *sonic crystal* konfigurasi *square* dan *triangular* dengan *filling ratio* 0,3, 0,4, dan 0,5.

Untuk mengetahui pola frekuensi respon yang lain, dilakukan variasi pengukuran dengan menggunakan jumlah pipa 39 pipa untuk konfigurasi *square* dan 40 pipa untuk konfigurasi



*triangular*. Pada Gambar 3.5 merupakan ilustrasi dari pengambilan data.



**Gambar 3.5** Susunan pengukuran jumlah pipa sama pada konfigurasi *square*

Pengukuran juga dilakukan pada pengurangan jumlah pipa pada konfigurasi *square* dengan FR 0,5 dengan jumlah lubang 8. Konfigurasi ini memiliki jumlah kolom sebanyak 18 kolom, dan dilakukan pada setiap pengurangan 2 kolom. Sehingga, didapatkan data berupa konfigurasi *square* pada FR 0,5 dengan jumlah kolom 18, 16, 14, 12, dan 10.

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Perhitungan

Perhitungan yang dilakukan meliputi jarak pusat antar pipa serta frekuensi resonansi dasar dari *sonic crystal*. Perhitungan dilakukan untuk mengetahui nilai optimum dari *sonic crystal*. Berikut adalah proses dan hasil perhitungannya.

#### 4.1.1 Jarak pusat antar pipa

Perhitungan jarak pusat antar pipa mengacu pada nilai *filling ratio* yang telah ditentukan (Gambar 2.1). Nilai *filling ratio* yang telah ditentukan adalah 0,3, 0,4, dan 0,5. Nilai FR ditentukan untuk mengetahui kinerja pada FR optimum dan tidak, untuk konfigurasi *square* optimum pada FR 0,4-0,6 dan untuk *triangular* optimum pada  $FR \leq 0,4$ . Diameter pipa yang digunakan adalah  $d = 0,048 \text{ m}$ . Untuk konfigurasi *square* dengan *filling ratio* 0,3, jarak antar pusat pipa dapat dihitung menggunakan persamaan 2.1 :

$$\begin{aligned}FR &= \frac{\pi d^2}{4a^2} \\a &= \sqrt{\frac{\pi d^2}{4 \times FR}} \\a &= \sqrt{\frac{3,14 \times 0,048^2}{4 \times 0,3}} \\a &= 0,076 \text{ m}\end{aligned}$$

Dari perhitungan didapat bahwa untuk FR 0,3 pada konfigurasi *square* jarak antar bilah adalah sebesar 0,076 m.

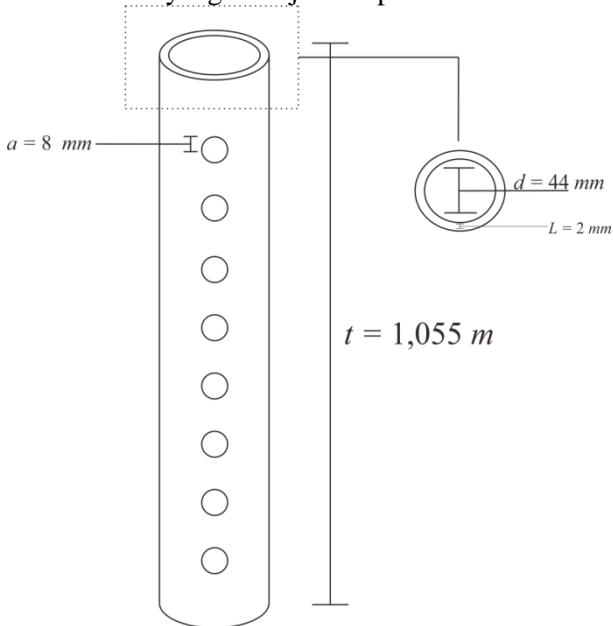
Dengan cara yang sama dilakukan perhitungan untuk nilai *filling ratio* yang lain. Dari nilai *filling ratio* tersebut didapatkan jarak antar pusat pipa untuk konfigurasi *square* dan *triangular* yang ditampilkan pada tabel 4.1 berikut:

**Tabel 4. 1** Jarak Antar Pipa

FR	<i>Square</i>	<i>Triangular</i>
0,3	0,076 m	0,084 m
0,4	0,067 m	0,072 m
0,5	0,061 m	0,064 m

#### 4.1.2 Perhitungan frekuensi resonansi dasar

Seperti yang telah disampaikan pada bab 3, model resonator yang digunakan pada penelitian ini merupakan resonator Helmholtz yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.

**Gambar 4. 2** Model resonator helmholtz 8 lubang

Jari-jari lubang sebesar  $a = 8 \text{ mm}$  dan tebal pipa  $L = 2 \text{ mm}$ . Dengan ujung resonator tertutup nilai penjumlahan dari panjang leher bukaan/lubang dengan faktor koreksi ujung resonator ( $Le$ ) diperoleh menggunakan persamaan 2.5

$$L_e = L + \Delta L_1 + \Delta L_2$$

$$\Delta L_1 = \frac{8a}{3\pi}$$

$$\Delta L_1 = \frac{8 \times 8}{3 \times 3,14}$$

$$\Delta L_1 = 6,79 \text{ mm}$$

$$\Delta L_1 = \Delta L_2$$

$$L_e = 2 + 6,79 + 6,79$$

$$L_e = 15,58 \text{ mm}$$

Berdasarkan persamaan 2.4 dengan massa jenis udara  $\rho_o = 1,23 \text{ kg/m}^3$  dan jari-jari lubang  $r = 8 \text{ mm}$  maka nilai  $M_A$  adalah,

$$M_A = \frac{\rho_o L_e}{\pi r^2}$$

$$M_A = \frac{1,23 \times 15,58 \times 10^{-3}}{3,14 \times 0,008^2}$$

$$M_A = 95,4 \text{ kg/m}^4$$

Berdasarkan persamaan 2.13, nilai  $M_A$  dengan 8 lubang adalah,

$$M_A = \frac{M_A}{n}$$

$$M_A = \frac{95,4}{8}$$

$$M_A = 11,925 \text{ kg/m}^4$$

Berdasarkan persamaan 2.8, dengan cepat rambat bunyi di udara  $c = 343 \text{ m/s}$ , jari-jari pipa  $0,022 \text{ m}$ , dan tinggi pipa  $1,055 \text{ m}$ , maka nilai  $C_A$  adalah,

$$C_A = \frac{V}{\rho_o c^2}$$

$$C_A = \frac{3,14 \times 0,022^2 \times 1,055}{1,23 \times 343^2}$$

$$C_A = 1,112 \times 10^{-8}$$

Sehingga besar frekuensi resonansi resonator Helmholtz dengan 8 lubang dihitung menggunakan persamaan 2.3

$$f_o = \frac{1}{2\pi \sqrt{M_A \times C_A}}$$

$$f_o = \frac{1}{2 \times 3,14 \sqrt{11,925 \times 1,112 \times 10^{-8}}}$$

$$f_o = 437,28 \text{ Hz}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut maka nilai frekuensi resonansi atau frekuensi dasar pada *sonic crystal* untuk 8 lubang yang diuji adalah sebesar 437,28 Hz.

## 4.2 Hasil Pengukuran

Hasil pengukuran terhadap kinerja SC berupa data respon frekuensi SPL dengan menggunakan 1/24 pita oktaf. Pengukuran dilakukan pada kondisi ruang kosong dan ketika SC ada di ruangan sesuai metode yang dilakukan oleh Morandi(2016). Dari data kemudian diolah untuk mengetahui pengaruh perbandingan *filling ratio* konfigurasi *square*, perbandingan *filling ratio* konfigurasi *triangular*, perbandingan antara konfigurasi *square* dan *triangular* pada *filling ratio* 0,4, dan pengaruh pengurangan pipa terhadap kinerja SC.

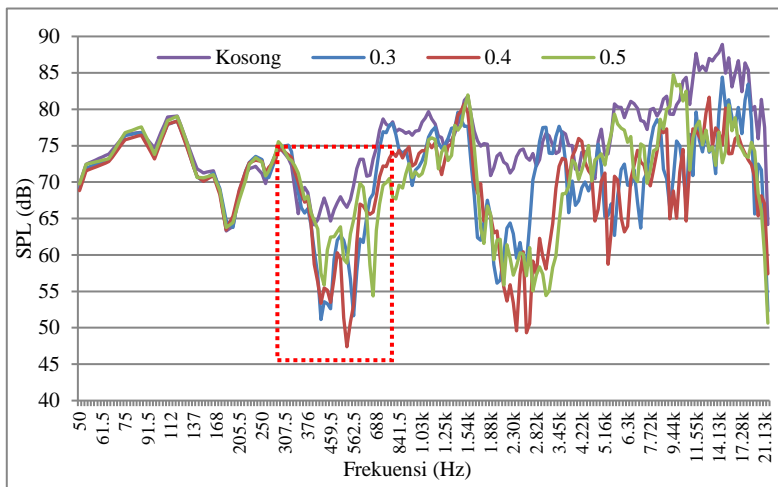
### 4.2.1 Perbandingan *filling ratio* konfigurasi *square*

Pengukuran perbandingan *filling ratio* dilakukan untuk mengetahui pengaruh perbedaan *filling ratio* pada konfigurasi *square*. Terdapat dua kondisi pengukuran, yaitu SC dengan luas permukaan panel yang sama dan SC dengan jumlah pipa sama.

#### 4.2.1.1 Perbandingan *filling ratio* konfigurasi *square* dengan luas permukaan panel yang sama

Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk membandingkan pengaruh perbedaan FR pada konfigurasi *square* apabila SC disusun dengan luas permukaan panel yang sama. Panel SC yang dibuat memiliki luas permukaan 0,28 m<sup>2</sup>, untuk FR 0,3 membutuhkan 42 pipa, FR 0,4 membutuhkan 51 pipa, dan FR 0,5 membutuhkan 54 pipa. Jumlah pipa ini berakibat pada impedansi

akustik yang terjadi, jumlah impedansi ini akan mempengaruhi nilai atenuasi. Gambar 4.2 menunjukkan profil hasil pengukuran yang dilakukan pada SC untuk konfigurasi square pada FR 0,3; 0,4; dan 0,5.



**Gambar 4.3** Grafik perbandingan FR *square* luas permukaan sama

Pada Gambar 4.2 ditunjukkan grafik respon frekuensi pada SC dengan konfigurasi *square*. Garis berwarna ungu menunjukkan SPL diterima oleh mikrofon ketika ruangan dalam keadaan kosong. Sementara garis biru menunjukkan respon pada mikrofon untuk FR 0,3, garis merah untuk FR 0,4, dan garis hijau untuk FR 0,5. Berdasarkan gambar 4.2 juga terlihat adanya perbedaan SPL yang signifikan pada frekuensi 387 - 772 Hz dan kembali terlihat perbedaan SPL pada frekuensi 1.500 - 3.800 Hz. Sementara pada frekuensi 50-387 Hz perbedaan tidak terjadi perbedaan yang signifikan untuk ketiga variasi. Perbedaan yang signifikan didasari oleh perbedaan SPL lebih dari 10 dB.

Berdasarkan Gambar 4.2 terlihat adanya frekuensi resonansi destruktif dan frekuensi resonansi konstruktif. Pada SC dengan FR 0,3 frekuensi resonansi desktruktif terjadi pada 421,5 -

460 Hz, dengan penurunan SPL sebesar -11,20 sampai -15,29 dB, frekuensi 546 - 595,5 Hz sebesar -10,97 dB sampai -17,91 dB, frekuensi 1700 - 2500 sebesar -13,31 dB sampai -17,44 dB, dan pada frekuensi 5620 - 7000 sebesar -14,75 dB hingga -18,08 dB. Sementara resonansi destruktif tertinggi terjadi pada frekuensi 1520 Hz sebesar -18,08 Hz.

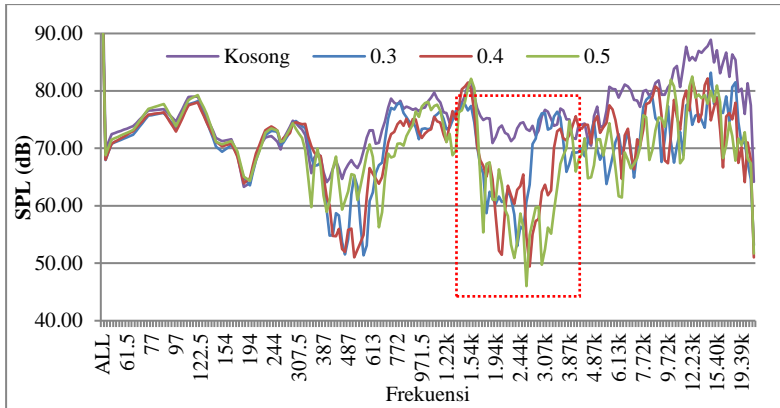
Pada SC dengan FR 0,4 frekuensi resonansi destruktif pertama tampak pada frekuensi 421 - 579 Hz sebesar -13,06 dB hingga -19,16 dB, lalu terlihat kembali pada frekuensi 1730 - 3250 Hz sebesar -10,75 dB hingga -23,9 dB pada frekuensi 2370 Hz, kemudian frekuensi 5310 Hz sebesar -15,18 dB, frekuensi 6680 Hz sebesar -10,01 dB, dan pada frekuensi 9170 - 11900 Hz sebesar -9,04 dB hingga 14,39 dB. Pada FR 0,4 ini resonansi destruktif tertinggi terjadi pada frekuensi 2370 Hz sebesar -23,9 dB.

Pada SC dengan FR 0,5 frekuensi resonansi destruktif terlihat pada frekuensi 434 Hz sebesar -11 dB, kemudian terjadi kembali pada frekuensi 650 - 800 Hz sebesar 12,77 dB hingga 18,84 dB, frekuensi 1940 - 3450 Hz sebesar -16,25 dB hingga 22,25 dB. Nilai frekuensi resonansi destruktif tertinggi terjadi pada frekuensi 3007 sebesar -22,25 dB.

#### **4.2.1.2 Perbandingan *filling ratio* konfigurasi *square* dengan jumlah 39 pipa**

Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perbedaan FR pada kinerja SC dengan konfigurasi *square*, dengan jumlah pipa sebanyak 39 pipa. Data yang diperoleh berupa data respon frekuensi SPL dengan menggunakan 1/24 pita oktaf, kemudian data dimasukkan kedalam grafik respon frekuensi pada Gambar 4.3.

Pada Gambar 4.3, ketika diberikan SC tampak perbedaan respon frekuensi yang ditunjukkan oleh garis biru untuk FR 0,3, garis merah untuk FR 0,4, dan garis hijau untuk FR 0,5. Tampak perbedaan SPL yang signifikan pada frekuensi 387 - 772 Hz dan kembali terlihat perbedaan SPL pada frekuensi 1.500 - 3.800 Hz.



**Gambar 4. 4** Grafik perbandingan FR *square* 39 pipa

Merujuk pada Gambar 4.3 pula bahwa frekuensi resonansi destruktif pada FR 0,3 terlihat signifikan pada frekuensi 409,5 - 473 Hz sebesar -14,20 dB, kemudian pada frekuensi 562 Hz sebesar -18,17 dB, frekuensi 1783 Hz sebesar -16,59 dB, frekuensi 2370 sebesar -19,86 dB, dan frekuensi 5620 Hz sebesar 14,79 dB. Pada FR 0,3 frekuensi resonansi tertinggi terjadi pada frekuensi 2370 Hz sebesar 19,86 dB.

Pada SC dengan FR 0,4 frekuensi resonansi destruktif pertama kali terlihat secara signifikan pada frekuensi 434 - 579 Hz sebesar -13,5 dB hingga -16,12 dB, kemudian pada frekuensi 2000 - 3150 Hz sebesar -22,52 dB hingga -23,57 dB, frekuensi 16.310 Hz sebesar -18,24 dB. Frekuensi resonansi destruktif tertinggi terjadi pada frekuensi 2660 Hz sebesar -23,57 dB.

Pada SC dengan FR 0,5 frekuensi resonansi destruktif mulai terlihat pada frekuensi 649,5 - 750 Hz sebesar -14,71 dB, kemudian pada frekuensi 1730 - 3350 Hz dengan perbedaan -19,54 dB hingga -27,37 pada frekuensi 2600 Hz, dan frekuensi 6300 sebesar -18,61 dB. Pada FR 0,5 ini nilai gap tertinggi terjadi pada frekuensi 2600 sebesar -27,37 dB.

#### 4.2.2 Perbandingan *filling ratio* konfigurasi *triangular*



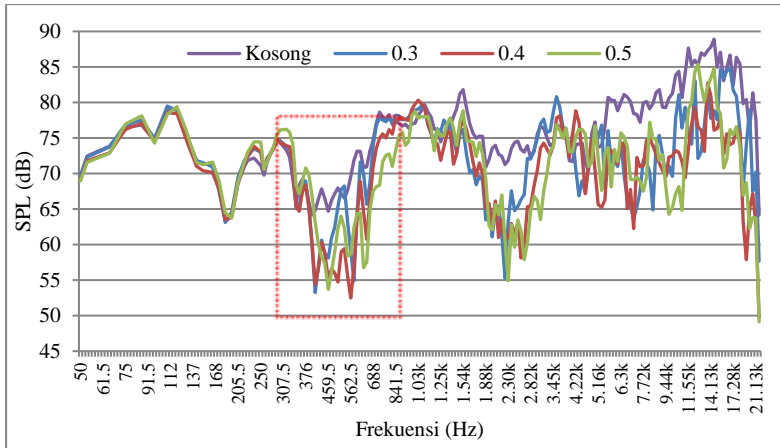
Pengukuran dilakukan untuk mengetahui pengaruh perbedaan *filling ratio* pada konfigurasi *triangular*. Terdapat dua kondisi pengukuran, yaitu SC dengan luas permukaan panel yang sama dan SC dengan jumlah pipa yang sama.

#### **4.2.2.1 Perbandingan *filling ratio* konfigurasi *triangular* dengan luas permukaan yang sama**

Pengukuran dilakukan untuk membandingkan pengaruh perbedaan FR pada konfigurasi *triangular* apabila SC disusun dengan luas permukaan panel yang sama. Dengan luas permukaan  $0.28 \text{ m}^2$ , SC dengan FR 0,3 membutuhkan 38 pipa, FR 0,4 membutuhkan 44 pipa, dan FR 0,5 membutuhkan 50 pipa. Data yang diperoleh berupa data respon frekuensi SPL dengan menggunakan  $1/24$  pita oktaf, kemudian data dimasukkan kedalam grafik respon frekuensi yang ditunjukkan pada Gambar 4.4.

Pada Gambar 4.4 terlihat bahwa terdapat perbedaan respon frekuensi ketika ruangan diberi SC dengan konfigurasi *triangular*. Perbedaan terlihat pada frekuensi 400 - 660 Hz dan kembali terlihat pada frekuensi 2000 - 3000 Hz.

Berdasarkan pada Gambar 4.4, terlihat adanya frekuensi resonansi destruktif, pada SC dengan FR 0,3 frekuensi destruktif pertama terjadi pada frekuensi 409 - 446 Hz dengan pengurangan hingga -11,55 dB, lalu pada frekuensi 579 Hz sebesar -16,98 dB, pada frekuensi 2240 Hz sebesar -16 dB, frekuensi 8410 Hz sebesar -15 dB, dan kembali terjadi pada frekuensi 6880 Hz sebesar -15 dB. Pada FR 0,3 ini atenuasi tertinggi terjadi pada frekuensi 579 Hz sebesar -16,98 dB



**Gambar 4. 5** Grafik perbandingan FR *triangular* luas permukaan sama

Pada SC dengan FR 0,4, frekuensi destruktif pertama terjadi pada frekuensi 409 - 600 Hz dengan pengurangan sebesar -10,41 dB hingga -17,05 dB, lalu terjadi pada frekuensi 649,5 sebesar -10,22 dB, frekuensi 2000 - 2800 Hz hingga sebesar -15,30 dB, frekuensi 7080 Hz sebesar -16,19 dB, dan frekuensi 11.500 Hz sebesar -14,14 dB. Pada FR 0,4 ini atenuasi tertinggi terjadi pada frekuensi 562,5 Hz sebesar -17,05 dB.

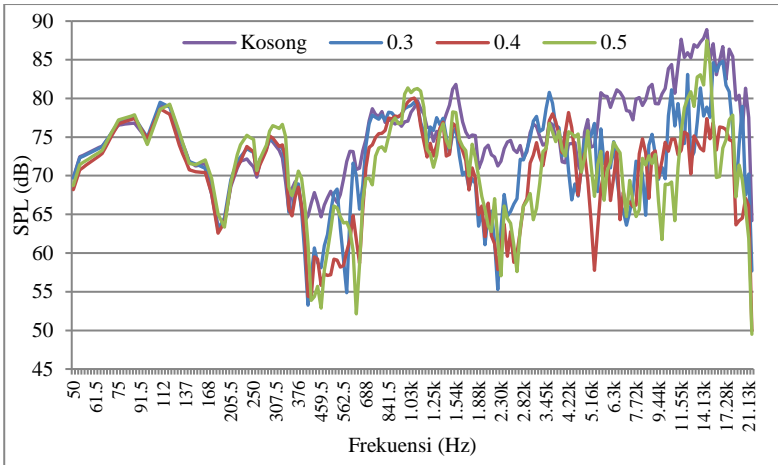
Pada SC dengan FR 0,5 frekuensi destruktif pertama terjadi pada frekuensi 434 - 473 Hz sebesar -9,55 dB hingga -10,98 dB, lalu pada frekuensi 562 - 728 Hz hingga sebesar -14,03 dB, pada frekuensi 2000 - 3150 Hz hingga sebesar -16,96, dan pada frekuensi 10.000 - 11.000 pengurangan hingga -16,70. Pada FR 0,5 ini pengurangan SPL tertinggi terjadi pada frekuensi 2300 Hz sebesar -16,96 dB.

#### 4.2.2.2 Perbandingan *filling ratio* konfigurasi *triangular* dengan jumlah 38 pipa

Pengukuran dilakukan untuk mengetahui pengaruh perbedaan FR pada SC dengan konfigurasi *triangular*, jika jumlah pipa yang digunakan sama yaitu sebanyak 38 pipa. Data yang

diperoleh berupa data respon frekuensi SPL dengan menggunakan 1/24 pita oktaf yang, kemudian data dimasukkan kedalam grafik respon frekuensi pada Gambar 4.5.

Berdasarkan Gambar 4.5 terlihat adanya perbedaan SPL tampak secara signifikan pada tiga area yaitu pada frekuensi 420 - 600 Hz lalu kembali terlihat pada frekuensi 1800 - 3000 Hz dan ketika di frekuensi 5800 - 10.000 Hz terlihat terjadi perbedaan SPL.



**Gambar 4. 6** Grafik perbandingan FR triangular 38 pipa

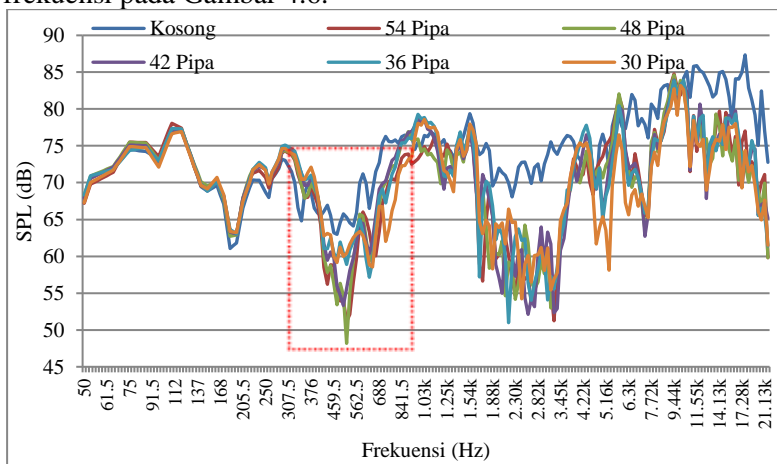
Berdasarkan Gambar 4.5 terlihat frekuensi destruktif pertama untuk FR 0,3 terjadi pada frekuensi 409,5 - 460 Hz dengan atenuasi hingga -11,55 dB pada frekuensi 579 Hz sebesar -16,98 dB, lalu pada frekuensi 688 Hz sebesar -14,69 dB dan pada frekuensi 2000 - 2240 Hz sebesar -16 dB. Pada FR 0,3 ini atenuasi tertinggi terjadi pada frekuensi 579 Hz sebesar -16,98 dB.

Pada FR 0,4 resonansi destruktif pertama terjadi pada frekuensi 409,5 - 649 Hz sebesar -10,41 hingga -12,48, pada frekuensi 1155 - 1546 Hz sebesar -15,40, pada frekuensi 2000 - 2740 Hz sebesar -14,77 dB, pada frekuensi 5310 Hz sebesar -16,09, dan pada frekuensi 6680 Hz sebesar 16,46 dB.

Pada FR 0,5 resonansi destruktif pertama terjadi pada frekuensi 434 - 473 Hz dengan atenuasi sebesar -13,45 dB, frekuensi 630 Hz sebesar -18,68 dB pada frekuensi 2300 Hz sebesar -14,81 dB, frekuensi 2660 Hz sebesar -15,40 dB, frekuensi 3070 Hz sebesar -12,37 dB, frekuensi 7720 - 8000 Hz sebesar -15,22 dB dan pada frekuensi 9720 Hz - 11.220 Hz sebesar -18,87 dB.

### 4.2.3 Pengaruh pengurangan pipa terhadap kinerja SC

Pada metodologi dilakukan dua variasi pengukuran, yaitu pengukuran SC yang disusun penuh dalam satu panel dan SC disusun menggunakan 39 pipa. Maka dari itu, untuk mengetahui pengaruh dari pengurangan pipa dilakukan pengukuran pengurangan jumlah pipa. Pengukuran dilakukan dengan cara mengurangi enam pipa pada tiap pengulangan. Konfigurasi yang diukur adalah *square* dengan *filling ratio* 0,5, kemudian pengukuran diambil dari 54 pipa hingga 30. Data yang diperoleh berupa SPL, kemudian dimasukkan ke dalam grafik respon frekuensi pada Gambar 4.6.

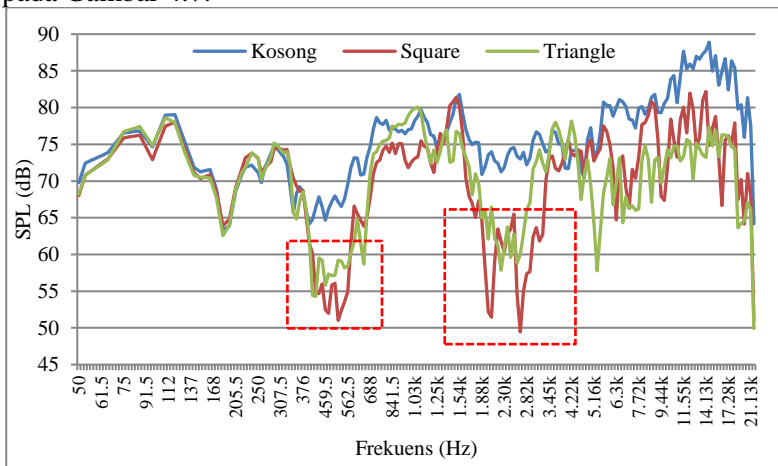


Gambar 4.6 Grafik pengurangan pipa pada FR 0,5

Pada Gambar 4.6 ditampilkan respon frekuensi pada SC pada FR 0,5 dengan variasi pengurangan jumlah pipa. Penurunan SPL tampak terlihat frekuensi 400 - 600 Hz dan terlihat secara signifikan pada frekuensi 1600 - 3300 Hz. Pada frekuensi tinggi terlihat penurunan SPL kembali pada frekuensi 5500 - 7500 Hz.

#### 4.2.4 Perbandingan konfigurasi *square* dan *triangular*

Sudah dijelaskan pada Bab I bahwa pada konfigurasi *square*, *bandgap* terbaik dapat diperoleh ketika *filling ratio* bernilai 0.4-0.6, sedangkan pada konfigurasi *triangular* *bandgap* absolut dapat diperoleh ketika *filling ratio*  $\leq 0.4$ . Dalam konteks ini, dapat dibandingkan konfigurasi *square* dengan *triangular* pada *filling ratio* 0.4. Perbandingan yang ditampilkan adalah perbandingan FR 0.4 pada SC konfigurasi *square* dan *triangular* yang disusun dengan jumlah 38 pipa. Data yang diperoleh berupa SPL, kemudian dimasukkan ke dalam grafik respon frekuensi pada Gambar 4.7.



**Gambar 4.7** Grafik perbandingan square dengan triangular pada FR 0.4

Berdasarkan pada Gambar 4.7 ditunjukkan respon frekuensi yang membandingkan SC konfigurasi *square* dan

*triangular* dengan FR 0,4. Tampak perbedaan SPL yang signifikan pada frekuensi 400 - 700 Hz. Lalu kembali terlihat pengurangan SPL pada frekuensi 1900 - 3200 Hz.

### 4.3 Pembahasan

Seperti yang telah disampaikan pada bab I penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh jarak antar bilah terhadap respon frekuensi pada (SC). Pengukuran dilakukan didalam ruangan *semi-anechoic* jurusan Fisika Fakultas Sains ITS Surabaya. Pengukuran dilakukan dengan acuan pengukuran yang dilakukan oleh Morandi (2016). Adapun konfigurasi (SC) yang diuji adalah *square* dan *triangular* dengan FR 0,3, 0,4, dan 0,5. Pada penelitian ini bahan yang digunakan adalah pipa PVC dengan ukuran diameter 48 mm yang kemudian dilubangi sebanyak 8 lubang yang ditunjukkan pada Gambar 4.1. Secara teoritis dari hasil perhitungan untuk dimensi dari SC yang dibuat didapat nilai frekuensi dasar resonator *helmholtz* adalah sebesar 437,28 Hz. Sementara secara teori pula jumlah pipa yang digunakan tidak mempengaruhi frekuensi dasar pada resonator *helmholtz* (persamaa 2.2). Hal ini dikarenakan penjumlahan pipa tidak mempengaruhi  $M_A$  dan  $C_A$  dari resonator Helmholtz.

Selanjutnya, performa (SC) konfigurasi *square* dengan *triangular* seperti terlihat pada gambar 4.2 dan pada gambar 4.3 menunjukkan jumlah pipa yang sama, maka dari itu dari jumlah pipa yang sama maka penjumlahan impedansi memiliki jumlah yang sama. Dari hasil perhitungan dengan persamaan 2.2 frekuensi resonansi Helmholtz didapat frekuensi dasar resonator adalah sebesar 437,28 Hz, sedangkan dari kedua grafik yang ditampilkan terlihat bahwa atenuasi mulai terlihat secara signifikan pada rentan frekuensi 421 Hz - 600 Hz, hal ini menunjukkan resonator Helmholtz dapat mengabsorpsi suara pada frekuensi resonansinya . Pada kofigurasi *square* terlihat pada FR 0,3 atenuasi tertinggi terjadi sebesar -19,86 dB pada frekuensi 2370 Hz, pada FR 0,4 sebesar -23,9 dB pada frekuensi 2370 Hz, dan pada FR 0,5 sebesar -27,37 dB pada frekuensi 2600 Hz. Data

tersebut menunjukkan bahwa semakin dekat jarak antar pipa maka performa (SC) sebagai *barrier* akan semakin membaik. Secara teori sendiri disebutkan oleh Miyasitha (2005) bahwa untuk konfigurasi *square* akan memiliki *bandgap* terbaik ketika FR sebesar 0,4 - 0,6. Dalam hal ini, unit periodik atau susunan periodik akan lebih baik jika disusun lebih kecil dari besar panjang gelombang yang melewati (SC) tersebut.

Merujuk pada gambar 4.4 dan gambar 4.5, untuk perbandingan kinerja SC pada konfigurasi *triangular* terlihat bahwa terjadi resonansi destruktif hingga sebesar -11,55 dB pada frekuensi 409 - 600 Hz. Sedangkan, secara perhitungan resonansi Helmholtz didapat bahwa frekuensi dasar atau frekuensi resonansi dari resonator yang digunakan adalah sebesar 437,28 dB. Hal ini membuktikan bahwa frekuensi resonansi dari resonator Helmholtz bersifat absorptif terhadap suara yang melewatinya.

Selain konfigurasi, kinerja SC juga dipengaruhi oleh jarak antar kristal (pipa). Untuk membandingkan pengaruh jarak terhadap performa (SC) diperlukan variabel terikat yaitu jumlah pipa yang sama, hal ini bertujuan untuk memberikan penjumlahan impedansi yang sama pada tiap variasi FR. Secara teori konfigurasi *triangular* memiliki *bandgap* terbaik jika disusun dengan *filling ratio*  $\leq 0,4$ . Dari hasil pengukuran, atenuasi banyak terlihat pada FR 0,4 sedangkan pada FR 0,3 menunjukkan respon frekuensi yang tidak terlalu baik meskipun termasuk kedalam nilai FR yang direkomendasikan. Hal ini dapat disebabkan bahwa celah pada FR 0,3 terlalu besar untuk dapat menghamburkan gelombang suara yang melaluinya, sehingga pantulan yang terjadi didalam perforasi (SC) tidak banyak terjadi interferensi destruktif.

Pada Gambar 4.6 ditunjukkan bagaimana pengaruh jumlah pipa terhadap kinerja (SC). Berdasarkan Gambar 4.6 terlihat pula bahwa frekuensi resonansi tidak terlalu banyak dipengaruhi oleh jumlah pipa. Tetapi, jumlah penggunaan pipa dapat mempengaruhi besar atenuasi suara yang melewati (SC), hal ini disebabkan jumlah pipa yang digunakan akan mempengaruhi jumlah impedansi yang terdapat pada suatu

rangkaian (SC). Dari jumlah impedansi ini akan mempengaruhi aliran suara yang melewatinya. Jika dilihat pada frekuensi resonansi pertama terlihat bahwa atenuasi suara berbanding lurus dengan penambahan pipa, dimana semakin banyak pipa yang digunakan semakin besar pula atenuasi yang terjadi.

Pada perbandingan kinerja untuk konfigurasi *triangular* dan *square* seperti pada gambar 4.7, untuk FR 0,4 terlihat bahwa konfigurasi *square* memiliki kinerja sebagai *barrier* yang lebih baik jika dibandingkan dengan konfigurasi *triangular*. Tampak pada frekuensi 400 Hz - 580 Hz dan frekuensi 2000 Hz - 3350 Hz. Tetapi ada beberapa frekuensi yang menunjukkan bahwa konfigurasi *triangular* lebih baik dari konfigurasi *square*, yaitu pada frekuensi 5300 Hz - 9000 Hz. Pada konfigurasi *square* atenuasi terbesar adalah -23,57 dB pada frekuensi 2660 Hz sedangkan pada konfigurasi *triangular* atenuasi tertinggi hanya sebesar -16,46 dB pada frekuensi 6680 Hz. Pada pengukuran ini dengan besar FR yang sama dan termasuk kedalam FR optimal untuk kedua konfigurasi, konfigurasi *square* memiliki kinerja yang lebih baik sebagai *barrier* jika dibandingkan dengan konfigurasi *triangular*, hal ini dikarenakan penempatan (SC) yang disusun dengan konfigurasi *square* maka hamburan suara akan terjadi secara periodik dan teratur sehingga dapat mengurangi suara yang lebih baik.



*"Halaman ini sengaja dikosongkan"*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan hal-hal berikut.

- a. Pada konfigurasi *square*, jarak terkecil dengan FR 0,5 memiliki kinerja terbaik pada (SC), dengan pelemahan SPL maksimal sebesar -27,37 dB. Sedangkan pada FR 0,3 pelemahan SPL maksimal sebesar -19,86 dB dan pada FR 0,4 pelemahan SPL maksimal -23,57 dB.
- b. Pada konfigurasi *triangular*, untuk FR 0,4 memberikan atenuasi lebih tinggi dibandingkan FR 0,3 dan 0,5
- c. Pemaikaaian jumlah pipa tidak mempengaruhi frekuensi resonansi dari (SC), namun menyebabkan atenuasi suara yang terjadi menjadi lebih besar .
- d. Pada FR 0,4, kinerja (SC) dengan konfigurasi *square* memiliki kinerja yang lebih baik (atenuasi) dibandingkan dengan konfigurasi *triangular*.

#### **5.2 Saran**

Saran dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan pengukuran dengan menggunakan diameter pipa yang berbeda.
- b. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan perbandingan hasil pengukuran dengan hasil simulasi.
- c. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan pengaruh peletakan mic terhadap kinerja (SC).

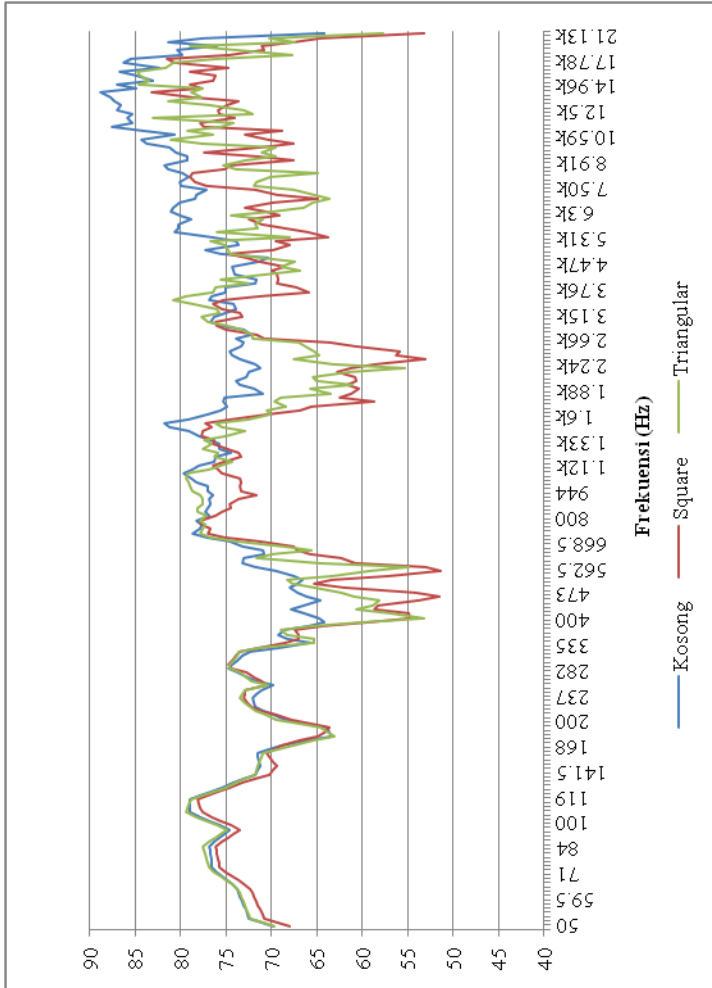
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR PUSTAKA

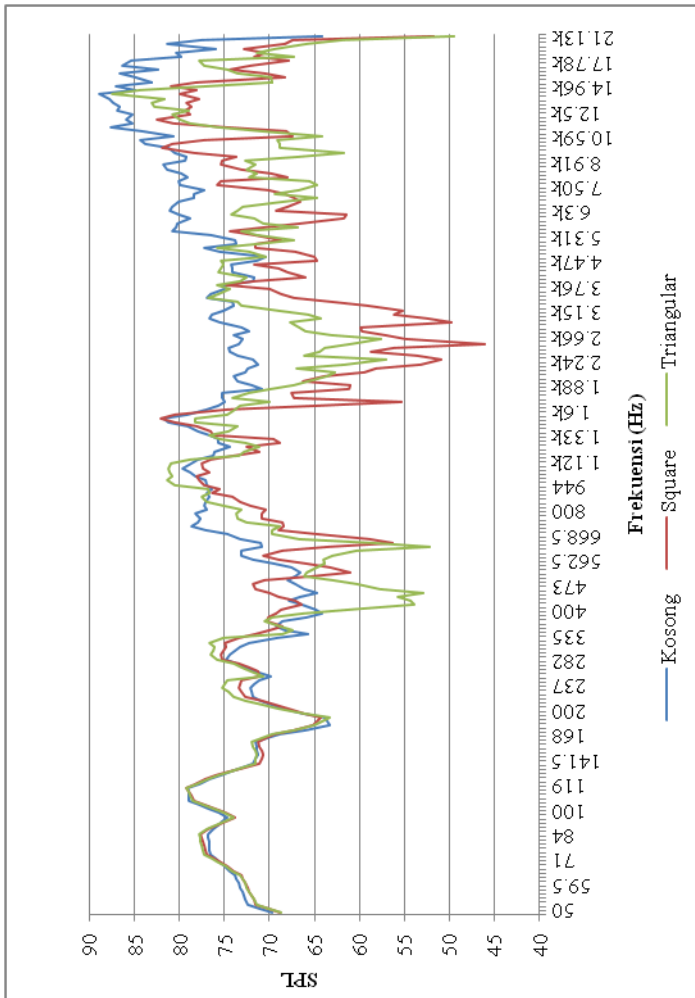
- Barron, Randall. 2001. "*Industrial Noise Control and Acoustic*". CRC Press
- Cai, Chenzhi. et.al. 2017. "*Noise Attenuation Performance of Multiple Helmholtz Resonator Arrays System*". The Hong Kong Polytechnic University, Department of Building Services Engineering, Hung Hom, Kow-loon, Hong Kong, China.
- Gupta, Arpan, et.al. 2013. " *Design of radial (SC) for sound attenuation from divergent sound source*". Department of Mechanical Engineering, National University of Singapore, Singapore.
- Jiang, Genshan. et.al. 2016. " *Transmission and radiation of acoustic oblique incident through tube arrays based on phononic crystals theory*". Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China.
- K. B. Ginn. 1978. "*Architectural Acoustics*". Bruel&Kjær: Denmark.
- Kessissoglou, Nicole and M.B.Fard,Samaneh. 2016. "*(SC) Noise Barrier Using Locally Resonant Scatterers*". UNWS Sydney:Australia.
- Mediastika, C. 2005. "Akustika Bangunan: Prinsip-Prinsip dan Penerapannya di Indonesia". Erlangga. Jakarta.
- Morandi, Federica dkk. 2016. "*Acoustic Measurements on a (SC)s Barrier*". University of Bologna:Italy.
- <http://www.pipaku.com/tag/pipa-pvc/> diakses pada tanggal 6 Februari 2019
- Lagarigue, et.al. 2013. "*Sustainable (SC) Made of Resonating Bamboo Rods*". J. Acoust. Soc. Am., Vol. 133, No. 1, January 2013
- Prasetio, Lea. 2003. "*Akustik*". Surabaya: Diktat Fisika FMIPA ITS.

- T. Miyashita. 2005. "(SC)s and sonic wave-guides". *Meas. Sci. Technol.* 16, R47–R63
- Torres, M.P. Peiró. et.al. 2016. " *Open noise barriers based on (SC)s. Advances in noise control in transport infrastructures*". Universitat Politècnica de València, Cno. Vera s/n , Valencia, 46022, Spain

# LAMPIRAN I



Gambar A 1. Perbandingan *Square* dengan *triangular* pada FR 0,4



Gambar A 2. Perbandingan *Square* dengan *triangular* pada FR 0,5

## LAMPIRAN II

**Tabel B 1.** Data hasil pengukuran (SC) pada konfigurasi *square* FR 0,3 dengan luas permukaan sama

Frekuensi	SPL Kosong	SPL Isi	Atenuasi
ALL	102.04	97.61	-4.43
50	69.76	69.09	-0.67
63	73.64	72.92	-0.73
80	76.67	76.56	-0.11
100	75.74	74.84	-0.90
125	76.62	76.05	-0.57
160	71.47	70.88	-0.59
200	66.26	66.27	0.01
250	71.15	73.08	1.94
315	73.28	75.09	1.81
400	64.13	60.61	-3.52
500	67.99	62.69	-5.29
630	70.81	65.18	-5.63
800	78.28	78.05	-0.23
1000	77.07	72.13	-4.95
1250	74.45	75.14	0.69
1600	79.16	72.57	-6.59
2000	73.56	56.12	-17.43
2500	74.56	59.00	-15.56
3150	76.36	73.96	-2.40
4000	71.79	66.79	-4.99
5000	77.26	72.20	-5.06
6500	80.06	69.55	-10.51
8000	80.14	77.58	-2.56
10000	81.27	74.98	-6.29
12500	85.28	76.78	-8.50
16000	83.07	78.87	-4.20
20000	75.97	72.49	-3.47



**Tabel B 2.** Data hasil pengukuran (SC) pada konfigurasi *square* FR 0,3 dengan jumlah 39 pipa

Frekuensi	SPL Kosong	SPL Isi	Atenuasi
ALL	102.04	97.06	-4.99
50	69.76	67.97	-1.79
63	73.64	72.15	-1.50
80	76.67	75.88	-0.79
100	75.74	74.54	-1.20
125	76.62	75.85	-0.77
160	71.47	70.21	-1.26
200	66.26	65.74	-0.52
250	71.15	72.89	1.74
315	73.28	73.89	0.61
400	64.13	59.23	-4.90
500	67.99	62.01	-5.97
630	70.81	65.70	-5.11
800	78.28	77.91	-0.37
1000	77.07	73.49	-3.58
1250	74.45	73.57	-0.88
1600	79.16	74.52	-4.64
2000	73.56	61.61	-11.95
2500	74.56	55.92	-18.64
3150	76.36	73.26	-3.10
4000	71.79	69.39	-2.40
5000	77.26	69.84	-7.43
6500	80.06	69.09	-10.97
8000	80.14	78.46	-1.68
10000	81.27	71.27	-10.00
12500	85.28	75.73	-9.54
16000	83.07	76.45	-6.62
20000	75.97	71.16	-4.81

**Tabel B 3.** Data hasil pengukuran (SC) pada konfigurasi *square* FR 0,4 dengan luas permukaan sama

Frekuensi	SPL Kosong	SPL Isi	Atenuasi
ALL	101.76	96.10	-5.67
50	69.81	68.89	-0.92
63	73.10	72.08	-1.02
80	76.05	75.46	-0.59
100	75.34	73.98	-1.36
125	76.00	75.28	-0.72
160	70.64	69.79	-0.85
200	64.55	65.43	0.88
250	69.89	71.58	1.69
315	73.09	73.59	0.49
400	64.21	58.81	-5.40
500	66.69	58.15	-8.54
630	70.39	65.52	-4.87
800	77.73	73.52	-4.21
1000	76.51	73.35	-3.16
1250	73.66	72.23	-1.44
1600	78.13	74.48	-3.65
2000	73.09	62.83	-10.26
2500	73.87	59.73	-14.14
3150	75.96	60.71	-15.26
4000	71.59	74.25	2.67
5000	76.79	69.69	-7.10
6500	80.04	63.91	-16.13
8000	79.66	71.22	-8.45
10000	81.43	71.52	-9.91
12500	85.27	79.52	-5.75
16000	81.65	72.52	-9.13
20000	75.86	65.24	-10.62

**Tabel B 4.** Data hasil pengukuran (SC) pada konfigurasi *square* FR 0,4 dengan jumlah 39 pipa

Frekuensi	SPL Kosong	SPL Isi	Atenuasi
ALL	101.76	96.94	-4.82
50	69.81	68.06	-1.76
63	73.10	72.13	-0.97
80	76.05	75.41	-0.64
100	75.34	73.67	-1.67
125	76.00	75.05	-0.96
160	70.64	69.87	-0.77
200	64.55	65.26	0.70
250	69.89	71.85	1.96
315	73.09	74.04	0.94
400	64.21	61.61	-2.61
500	66.69	54.76	-11.93
630	70.39	64.31	-6.09
800	77.73	74.19	-3.54
1000	76.51	72.06	-4.46
1250	73.66	73.39	-0.28
1600	78.13	75.35	-2.78
2000	73.09	51.73	-21.37
2500	73.87	64.80	-9.08
3150	75.96	61.42	-14.54
4000	71.59	73.70	2.12
5000	76.79	75.12	-1.67
6500	80.04	64.67	-15.36
8000	79.66	77.24	-2.42
10000	81.43	72.15	-9.28
12500	85.27	79.83	-5.44
16000	81.65	71.81	-9.83
20000	75.86	64.03	-11.83

**Tabel B 5.** Data hasil pengukuran (SC) pada konfigurasi *square* FR 0,5 dengan luas permukaan sama

Frekuensi	SPL Kosong	SPL Isi	Atenuasi
ALL	101.26	97.04	-4.22
50	68.14	68.12	-0.02
63	72.38	71.83	-0.55
80	75.71	76.15	0.44
100	75.19	74.42	-0.77
125	75.57	75.52	-0.06
160	70.76	70.16	-0.60
200	65.16	64.90	-0.26
250	70.13	71.73	1.60
315	72.92	72.90	-0.02
400	63.77	64.36	0.59
500	67.59	63.48	-4.11
630	70.28	64.96	-5.33
800	76.94	66.58	-10.35
1000	76.27	70.02	-6.25
1250	73.59	74.05	0.46
1600	78.32	78.40	0.08
2000	72.36	60.80	-11.56
2500	74.02	59.57	-14.45
3150	75.17	53.88	-21.29
4000	70.40	71.13	0.73
5000	75.96	72.58	-3.37
6500	78.78	74.17	-4.61
8000	80.06	74.26	-5.80
10000	80.64	82.80	2.16
12500	84.65	76.52	-8.13
16000	82.44	76.41	-6.03
20000	75.16	67.56	-7.60

**Tabel B 6.** Data hasil pengukuran (SC) pada konfigurasi *square* FR 0,5 dengan jumlah 39 pipa

Frekuensi	SPL Kosong	SPL Isi	Atenuasi
ALL	101.26	96.60	-4.66
50	68.14	67.16	-0.98
63	72.38	71.68	-0.70
80	75.71	76.28	0.57
100	75.19	74.45	-0.74
125	75.57	76.03	0.46
160	70.76	70.40	-0.36
200	65.16	65.05	-0.12
250	70.13	72.07	1.94
315	72.92	74.42	1.49
400	63.77	68.97	5.20
500	67.59	70.09	2.50
630	70.28	62.88	-7.41
800	76.94	69.51	-7.43
1000	76.27	77.07	0.79
1250	73.59	71.67	-1.92
1600	78.32	79.63	1.31
2000	72.36	65.15	-7.21
2500	74.02	55.70	-18.32
3150	75.17	55.05	-20.12
4000	70.40	70.24	-0.16
5000	75.96	70.28	-5.67
6500	78.78	60.17	-18.61
8000	80.06	75.35	-4.71
10000	80.64	81.32	0.67
12500	84.65	78.18	-6.47
16000	82.44	77.44	-5.00
20000	75.16	72.01	-3.15

**Tabel B 7.** Data hasil pengukuran (SC) pada konfigurasi *triangular* FR 0,3 dengan 38 pipa

Frekuensi	SPL Kosong	SPL Isi	Atenuasi
ALL	101.67	97.46	-3.26
50	69.32	67.76	-0.08
63	72.79	71.82	-0.11
80	75.40	75.58	0.47
100	75.59	74.39	0.35
125	75.70	75.33	-0.32
160	70.61	70.09	-0.32
200	65.93	65.93	0.77
250	69.79	71.99	1.85
315	72.38	73.89	0.53
400	65.67	60.77	-4.29
500	66.74	64.04	-2.62
630	69.71	63.24	-0.79
800	76.80	75.27	-0.44
1000	76.09	69.77	1.86
1250	74.45	76.55	1.42
1600	79.66	80.85	-6.59
2000	72.61	60.55	-12.46
2500	74.66	61.54	-9.18
3150	75.42	74.82	1.32
4000	70.89	71.89	0.74
5000	75.19	73.70	-2.46
6500	81.11	75.65	-5.64
8000	80.45	70.69	-8.50
10000	83.06	74.11	-11.67
12500	86.51	82.78	-13.13
16000	78.27	71.54	0.39
20000	74.62	74.15	3.01

**Tabel B 8.** Data hasil pengukuran (SC) pada konfigurasi *triangular* FR 0,4 dengan luas permukaan sama

Frekuensi	SPL Kosong	SPL Isi	Atenuasi
ALL	100.51	95.57	-4.93
50	67.76	67.14	-0.62
63	71.46	70.56	-0.91
80	73.55	73.45	-0.10
100	73.80	73.53	-0.27
125	74.42	73.75	-0.67
160	69.78	68.53	-1.24
200	65.17	65.37	0.21
250	67.54	69.41	1.87
315	70.58	71.22	0.64
400	63.55	59.74	-3.81
500	65.23	51.96	-13.27
630	67.49	61.32	-6.17
800	76.18	74.08	-2.10
1000	75.11	77.80	2.70
1250	74.51	71.93	-2.58
1600	79.37	76.37	-3.00
2000	71.61	61.05	-10.56
2500	73.22	61.74	-11.48
3150	75.43	73.37	-2.06
4000	74.66	75.21	0.55
5000	75.41	68.77	-6.64
6500	78.72	72.66	-6.06
8000	79.46	73.94	-5.52
10000	81.58	72.79	-8.79
12500	83.53	74.84	-8.68
16000	83.38	73.08	-10.30
20000	75.24	64.29	-10.95

**Tabel B 9.** Data hasil pengukuran (SC) pada konfigurasi *triangular* FR 0,4 dengan 38 pipa

Frekuensi	SPL Kosong	SPL Isi	Atenuasi
ALL	100.51	95.25	-5.26
50	67.76	66.21	-1.55
63	71.46	70.38	-1.08
80	73.55	73.89	0.34
100	73.80	73.82	0.02
125	74.42	73.10	-1.32
160	69.78	68.76	-1.01
200	65.17	65.33	0.16
250	67.54	69.50	1.96
315	70.58	71.07	0.49
400	63.55	61.50	-2.05
500	65.23	54.41	-10.81
630	67.49	58.44	-9.05
800	76.18	73.40	-2.78
1000	75.11	77.56	2.45
1250	74.51	72.62	-1.89
1600	79.37	74.64	-4.73
2000	71.61	60.14	-11.46
2500	73.22	61.43	-11.78
3150	75.43	73.34	-2.08
4000	74.66	75.82	1.16
5000	75.41	67.59	-7.82
6500	78.72	68.42	-10.30
8000	79.46	72.14	-7.32
10000	81.58	74.63	-6.95
12500	83.53	68.48	-15.04
16000	83.38	73.63	-9.75
20000	75.24	63.80	-11.44



**Tabel B 10.** Data hasil pengukuran (SC) pada konfigurasi *triangular* FR 0,5 dengan luas permukaan sama

Frekuensi	SPL Kosong	SPL Isi	Atenuasi
ALL	99.97	95.86	-4.11
50	67.82	67.02	-0.80
63	71.61	70.64	-0.97
80	73.45	74.20	0.76
100	74.11	73.68	-0.43
125	73.29	73.77	0.48
160	69.12	69.13	0.01
200	65.26	65.28	0.02
250	67.03	70.31	3.28
315	69.11	72.06	2.95
400	63.70	66.47	2.77
500	64.44	58.70	-5.74
630	67.89	53.87	-14.03
800	75.24	69.70	-5.54
1000	74.33	76.00	1.66
1250	73.08	73.91	0.83
1600	79.00	74.52	-4.49
2000	71.12	59.64	-11.47
2500	70.30	59.23	-11.07
3150	72.26	63.50	-8.76
4000	73.54	74.81	1.26
5000	74.56	74.04	-0.53
6500	80.39	76.06	-4.33
8000	79.91	69.18	-10.73
10000	81.33	65.28	-16.04
12500	82.72	82.81	0.09
16000	80.80	68.48	-12.32
20000	75.31	61.62	-13.69

**Tabel B 11.** Data hasil pengukuran (SC) pada konfigurasi *triangular* FR 0,5 dengan 38 pipa

Frekuensi	SPL Kosong	SPL Isi	Atenuasi
ALL	99.97	95.80	-4.17
50	67.82	66.81	-1.01
63	71.61	70.98	-0.63
80	73.45	74.26	0.82
100	74.11	73.54	-0.58
125	73.29	73.53	0.24
160	69.12	69.48	0.36
200	65.26	65.20	-0.06
250	67.03	70.58	3.55
315	69.11	71.95	2.84
400	63.70	65.87	2.17
500	64.44	59.43	-5.01
630	67.89	49.21	-18.68
800	75.24	70.71	-4.53
1000	74.33	78.64	4.30
1250	73.08	69.73	-3.35
1600	79.00	74.56	-4.44
2000	71.12	63.22	-7.90
2500	70.30	59.61	-10.69
3150	72.26	61.69	-10.57
4000	73.54	75.07	1.53
5000	74.56	73.12	-1.45
6500	80.39	74.64	-5.75
8000	79.91	65.35	-14.56
10000	81.33	68.95	-12.38
12500	82.72	78.31	-4.41
16000	80.80	67.50	-13.30
20000	75.31	68.79	-6.52

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BIODATA PENULIS



Penulis yang semasa kuliahnya akrab dipanggil Diwang ini lahir di Semarang pada hari Senin Wage pada tanggal 19 Mei 1997. Memiliki nama lengkap Rifki Diwangkara Widianta adalah seorang anak kedua dari Bapak Ibnu dan Ibu Niken. Dengan satu kakak perempuan bernama Fitri Afina R. dan satu adik perempuan bernama Acitya S. Rahima penulis bertempat tinggal di Kabupaten Bogor, Jawa Barat. Setelah lulus dari SMAN 6 Kota Bogor, penulis melanjutkan pendidikan formal di Institut

Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis mengambil program sarjana Fisika dan tertari pada bidang Fisika Akustik. Penulis merupakan salah satu anggota dari Laboratorium Fisika Akustik dan Fisika Bangunan Departemen Fisika ITS. Selama menjalani masa kuliah, penulis cukup aktif dalam kegiatan dan organisasi. Beberapa diantaranya adalah anggota UKM Flag Football ITS dari tahun 2015-2017, staff Kesejahteraan Mahasiswa Himasika ITS 2016-2017, staff ahli PSDM Himasika ITS 2017-2018, Penulis juga aktif dalam kegiatan di dalam kampus seperti panitia *sponsorship* INDOCOOR Student Chapter ITS 2016, panitia acara Ini Lho ITS 2016, panitia *Public Relation* Ini Lho ITS 2017, koordinator dana usaha 6<sup>th</sup> Physics Summit, dan koordinator *Instructor Committee* Radiasi Himasika ITS 2017-2018. Dalam keseharian sehari-hari penulis tertarik dalam berbagai macam hal, seperti musik, film, *game*, fotografi, *traveling* dan diskusi. Penulis berharap karya ini dapat bermanfaat bagi setiap orang yang membacanya ([r\\_diwangkara@yahoo.com](mailto:r_diwangkara@yahoo.com)).