



TUGAS AKHIR - SF 184801

PENGARUH JUMLAH LUBANG PIPA PVC PADA *SONIC CRYSTAL* TERHADAP FREKUENSI RESONANSI

**DESY NGAMALIATUL KHUSNA
NRP 0111154000030**

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

**DEPARTEMEN FISIKA
Fakultas Sains
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019**



TUGAS AKHIR - SF 184801

PENGARUH JUMLAH LUBANG PIPA PVC PADA *SONIC CRYSTAL* TERHADAP FREKUENSI RESONANSI

**DESY NGAMALIATUL KHUSNA
NRP 01111540000030**

**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 - SF 184801

***EFFECT OF NUMBER OF PVC PIPE HOLE AT
SONIC CRYSTAL ON RESONANCE FREQUENCY***

**DESY NGAMALIATUL KHUSNA
NRP 0111154000026**

Advisors

Dr. Suyatno, M.Si

Drs. Gontjang Prajitno, M.Si

DEPARTMENT OF PHYSICS

Faculty of Science

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 2019

"Halaman Ini Sengaja Dikосongkan"

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH JUMLAH LUBANG PIPA PVC PADA
SONIC CRYSTAL TERHADAP FREKUENSI
RESONANSI**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Sains

pada

Bidang Studi Fisika Akustik

Program Studi S-1 Departemen Fisika

Fakultas Sains

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

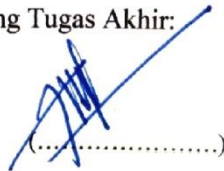
Oleh

DESY NGAMALIATUL KHUSNA

0111154000030

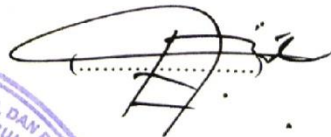
Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

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



(.....)



"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"

PENGARUH JUMLAH LUBANG PIPA PVC PADA SONIC CRYSTAL TERHADAP FREKUENSI RESONANSI

Nama Mahasiswa : Desy Ngamaliatul Khusna
NRP : 0111154000030
Departemen : Fisika FS-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Suyatno, M.Si
Drs. Gontjang Prajitno, M.Si

Abstrak

Kebisingan merupakan salah satu bentuk cacat akustik. Cacat akustik dapat diatasi dengan cara perbaikan ruang atau dengan penambahan material akustik. Salah satu material akustik yang dapat digunakan adalah resonator. Agar dapat mengontrol frekuensi yang diinginkan, maka dapat digunakan resonator *sonic crystal*. *Sonic crystal* terbuat dari bahan berbentuk silinder yang disusun dengan suatu konfigurasi. Pada penelitian ini digunakan pipa PVC untuk pembuatan *sonic crystal*. Variasi yang digunakan adalah jumlah lubang pada pipa yaitu 2 lubang, 4 lubang, 6 lubang dan 8 lubang. Selain itu juga digunakan nilai *filling ratio* 0,5 *square* dan 0,3 *triangular* dengan penambahan pipa pada 1 layer, 2 layer dan 3 layer. Pengukuran dilakukan di ruang *semi-anechoic* laboratorium Fisika Akustik Fisika ITS dengan membandingkan nilai *Sound Pressure Level* (SPL) ketika ruang dalam keadaan kosong dan terpasang *sonic crystal*. Berdasarkan hasil pengukuran, didapatkan hasil untuk penambahan jumlah lubang, nilai frekuensi resonansi yang semakin bergeser atau semakin meningkat. Didapatkan nilai frekuensi resonansi untuk 2 lubang pada 3 layer dengan konfigurasi 0,5 *square* yaitu 217 Hz dan pada konfigurasi 0,3 *triangular* yaitu 194 Hz, yang diikuti dengan 4 lubang, 6 lubang dan 8 lubang dengan nilai frekuensi resonansi yang semakin meningkat.

Kata Kunci: Frekuensi Resonansi, Pipa, Resonator, *Sonic Crystal*

"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"

EFFECT OF NUMBER OF PVC PIPE HOLE AT SONIC CRYSTAL ON RESONANCE FREQUENCY

Name : Desy Ngamaliatul Khusna
NRP : 01111540000030
Department : Physics, FS-ITS
Supervisors : Dr. Suyatno, M.Si
Drs. Gontjang Prajitno, M.Si

Abstract

Noise is one form of acoustic defects. Acoustic defects can be overcome by repairing space or by adding acoustic material. One of the acoustic materials that can be used is a resonator. In order to control the desired frequency, a sonic crystal resonator can be used. Sonic crystal is made of cylindrical materials arranged in a configuration. In this study, PVC pipes were used to make sonic crystal. Variations used are the number of holes in the pipe, namely 2 holes, 4 holes, 6 holes and 8 holes. In addition, filling ratio values of 0.5 square and 0.3 triangular are also used by adding pipes to 1 layer, 2 layers and 3 layers. Measurements were made in the semi-anechoic room of the ITS Physics Acoustic Physics laboratory by comparing the Sound Pressure Level (SPL) value when the space was empty and sonic crystal was installed. Based on the results of the measurement, the results obtained for the addition of the number of holes, the value of the resonant frequency is increasingly shifting or increasing. The resonant frequency value for 2 holes on 3 layers with a configuration of 0.5 square is 218 Hz and in the 0.3 triangular configuration that is 194 Hz, followed by 4 holes, 6 holes and 8 holes with increasing resonance frequency values.

Keywords: *Frequency Resonance, Pipes, Resonators, Sonic Crystal*

”Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat-Nya, petunjukNya atas nikmat iman, islam, dan ikhsan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul “**Pengaruh Jumlah Lubang Pipa Pvc Pada Sonic Crystal Terhadap Frekuensi Resonansi**” dengan optimal dan waktu yang tepat. Tugas Akhir (TA) ini penulis susun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Departemen Fisika, Fakultas Sains, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas bantuan, dorongan, dan juga bimbingan dari berbagai pihak, akhirnya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan baik. Sehubungan dengan hal tersebut, maka penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan kemudahan dan kelancaran kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan tepat waktu.
2. Bapak Ayib Muhtadiin dan Ibu Nihayah selaku orang tua, dan keluarga tercinta yang senantiasa memberikan do'a serta dukungan moral dan spiritual kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Dr. Suyatno, M.Si dan Drs. Gontjang Prajitno, M.Si selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membagi pengalaman serta memberikan pengarahan selama proses penelitian dan penyusunan laporan.
4. Bapak Dr. Yono Hadi Pramono, M.Si selaku Ketua Jurusan dan Seluruh Staff Pengajar di Jurusan Fisika ITS. Kepala Laboratorium Instrumentasi, Kepala Laboratorium Instrumentasi Akustik, dan segenap staff Tata Usaha yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Tim Pipa 2019 Azwar Annas, Catharina Risti dan Rifki Diwangkara yang selalu membantu melakukan pengukuran dan uji coba dalam penyusunan Tugas Akhir ini, serta

- teman-teman akustik yaitu Vina, Angie, Inayah, Ibnu, Zizi, Anis yang juga mengambil Tugas Akhir
6. Farhanudin, Sakti Rangga, Niko Panggabean, dan Ibram yang juga membantu dalam pengambilan data
 7. Teman-teman POSITRON dan warga fisika lainnya khususnya Daffa Rachmat Adinata yang telah memberikan dukungan do'a dan semangat kepada penulis
 8. Melyanti, Meylusari, Tia, Tika, dan Najma, sebagai teman yang selalu mendampingi
 9. Dan semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari akan adanya kekurangan dalam penulisan laporan ini karena keterbatasan wawasan dan pengetahuan. Untuk itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak agar lebih baik di masa yang akan datang. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak, baik dibidang penelitian maupun lainnya.

Surabaya, Juni 2019
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
Abstrak	vii
Abstract	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>Noise Control</i>	5
2.2 Penyerapan Bunyi	5
2.3 Resonator	6
2.3.1 Sistem Resonator Helmholtz.....	7
2.4 <i>Sonic Crystal</i>	9

2.5	Penelitian Sebelumnya Tentang <i>Sonic Crystal</i>	10
BAB III METODOLOGI.....		13
3.1	Diagram Alir Penelitian	13
3.2	Studi Literatur	14
3.3	Pengenalan Alat	14
3.4	Pembuatan <i>Sonic Crystal</i>	14
3.5	Pengukuran Kemampuan Resonansi	16
BAB IV		19
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		19
4.1	Perhitungan	19
4.1.1	Perhitungan jarak kisi bergantung pada <i>Filling Ratio</i>	19
4.1.2	Perhitungan Frekuensi Resonansi Resonator Helmholtz.....	19
4.2	Pengukuran Frekuensi Resonansi	23
4.3	Analisa Data.....	24
4.3.1	Pengaruh Penambahan Jumlah Lubang Terhadap Frekuensi Resonansi <i>Sonic Crystal</i> pada FR 0,5 <i>Square</i> dengan Jumlah Layer yang Sama	25
4.3.2	Pengaruh Penambahan Jumlah Lubang Terhadap Frekuensi Resonansi <i>Sonic Crystal</i> FR 0,3 <i>Triangular</i> dengan Jumlah Layer yang Sama	27
4.4	Pembahasan	30
BAB V.....		33
KESIMPULAN DAN SARAN.....		33
5.1	Kesimpulan	33

5.2	Saran.....	33
DAFTAR PUSTAKA	.....	35
LAMPIRAN 1	.....	37
LAMPIRAN 2	.....	39
LAMPIRAN 3	.....	45
BIOGRAFI PENULIS	.....	49

”Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Resonator Helmholtz.....	6
Gambar 2.2	Diagram Rangkaian Untuk Resonator Helmholtz (a) Resonator Helmholtz (b) Rangkaian Seri RLC.....	7
Gambar 2.3	Susunan Konfigurasi pada <i>Sonic Crystal</i> (a) <i>Triangular</i> (b) <i>Square</i>	9
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	13
Gambar 3.2	Panel <i>Sonic Crystal</i> dengan Jumlah Lubang 8 untuk 3 layer pada Pipa Konfigurasi <i>Square</i>	15
Gambar 3.3	Panel <i>Sonic Crystal</i> dengan Konfigurasi <i>Square</i> 3 Layer	15
Gambar 3.4	Panel <i>Sonic Crystal</i> dengan Konfigurasi <i>Triangular</i> 3 Layer.....	16
Gambar 3.5	Skema Pengukuran pada Panel <i>Sonic Crystal</i>	17
Gambar 3.6	Pengukuran Ruang Kosong (a) Pengukuran Langsung dengan Panel <i>Sonic Crystal</i> (b).....	18
Gambar 4.1	Resonator dengan 2 Lubang.....	21
Gambar 4.2	Rangkain RLC untuk Resonator 2 Lubang.....	22
Gambar 4.3	Grafik Pengaruh Jumlah Lubang Pipa pada 1 Layer dengan Jarak Kisi 6,1 cm.....	25
Gambar 4.4	Grafik Pengaruh Jumlah Lubang Pipa pada 2 Layer dengan FR 0,5 <i>Square</i>	26
Gambar 4.5	Grafik Pengaruh Jumlah Lubang Pipa pada 3 Layer dengan FR 0,5 <i>Square</i>	27
Gambar 4.6	Grafik Pengaruh Jumlah Lubang Pipa pada 1 Layer dengan Jarak Kisi 8,4 cm.....	28
Gambar 4.7	Grafik Pengaruh Jumlah Lubang Pipa pada 2 Layer dengan FR 0,3 <i>Triangular</i>	28
Gambar 4.8	Grafik Pengaruh Jumlah Lubang Pipa pada 3 Layer dengan FR 0,3 <i>Triangular</i>	29

”Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian yang telah dilakukan.....	10
Tabel 4.1 Perhitungan Nilai Frekuensi Resonansi Resonator Helmholtz	23
Tabel 4.2 Frekuensi Resonansi <i>Sonic Crystal</i> 2 Layer 0,5 <i>Square</i> dengan Penambahan Jumlah Lubang pada Pipa.....	25

"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebisingan adalah bunyi yang tidak dikehendaki atau tidak berada pada tempat dan waktu yang sesuai, sehingga menimbulkan gangguan kenyamanan dan kesehatan manusia. Untuk itu, diperlukan adanya material akustik yang dapat mengurangi kebisingan. Pada tugas akhir ini digunakan material akustik yaitu *sonic crystal*. *Sonic crystal* terbuat dari suatu bahan yang berbentuk silinder yang disusun dengan konfigurasi tertentu. *Sonic crystal* bisa dikatakan sebagai resonator, yaitu sebuah alat yang dapat menghasilkan resonansi pada frekuensi rendah. Resonansi adalah suatu peristiwa bergetarnya suatu benda karena adanya benda lain yang bergetar dan memiliki frekuensi yang sama. Resonansi memiliki banyak manfaat di kehidupan sehari-hari, misalnya pada alat musik gitar yaitu terdapat di bagian lubang dibawah senar, jika senarnya dipetik maka ruang resonansinya ikut bergetar sehingga menghasilkan bunyi yang lebih keras.

Pada penelitian sebelumnya oleh F. Morandi tahun 2016, meneliti tentang karakterisasi dari *sonic crystal* sebagai *noise barriers* serta pengukuran pada medan bebas berbahan pipa PVC (*polyvinyl Chloride*). Pengukuran dilakukan pada ruang laboratorium akustik. Variasi yang digunakan adalah pada jenis pipa yang terdapat rongga dan tidak berongga. Pipa yang digunakan memiliki diameter sebesar 8 cm serta ketebalan pipa sebesar 3,2 mm. Metode pengambilan data untuk *noise barriers*, jarak sumber suara berada pada 1,5 m di depan pipa, sedangkan untuk pengukuran medan bebas berada pada 1 m di depan pipa. Untuk jarak *microphone*, yaitu 0,25 m dengan penempatannya tepat di depan pipa dan dibelakang 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*, nilai *reflection index* maksimum terdapat pada frekuensi 800 Hz, nilai

terendah pada frekuensi 1250 Hz, dan meningkat pada frekuensi yang lebih tinggi.

Penelitian lainya telah dilakukan oleh Sulistia tahun 2018 mengenai resonansi yang dihasilkan oleh resonator dengan membandingkan ukuran pipanya serta jumlah bilah yang digunakan. Pipa yang digunakan yaitu pipa PVC dengan dibelah dua membentuk setengah silinder dengan panjang yang digunakan yaitu 60 cm. Variasi yang digunakan adalah pipa yang disusun menjadi 3 panel yang mana masing-masing panel terdiri dari 1 bilah, 2 bilah dan 3 bilah serta 3 variasi ukuran pipa yang digunakan yaitu 1,5", 2", dan 2,5". Hasilnya menunjukkan bahwa semakin besar ukuran pipa, berakibat pada bertambahnya titik yang beresonansi, dan semakin banyak jumlah bilah pada panel maka semakin banyak pula titik resonansinya dan nilai SPL yang dihasilkan semakin turun.

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan *sonic crystal* dengan bahan yang sama yaitu pipa PVC serta metode pengambilan data yang sama seperti F. Morandi. Yang membedakan adalah panjang pipa, konfigurasi yang digunakan, serta adanya lubang pada pipa. Adapun variasi yang dibuat yaitu jumlah lubang pada pipa serta penambahan jumlah layer pada panel yang dibuat. Dari variasi tersebut akan di teliti pengaruh *sonic crystal* terhadap frekuensi resonansi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pada latar belakang yang dibahas sebelumnya, maka dapat ditemukan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh jumlah lubang pada *sonic crystal* terhadap frekuensi resonansi.
2. Bagaimana pengaruh penambahan jumlah layer pada *sonic crystal*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh jumlah lubang pada *sonic crystal* terhadap frekuensi resonansi
2. Mengetahui pengaruh jumlah layer pada *sonic crystal*

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Pengukuran dilakukan di ruang *semi-anechoic* Laboratorium Akustik Fisika ITS.
2. Frekuensi target pada penelitian ini adalah 200 Hz-400 Hz.
3. Pipa yang digunakan adalah pipa PVC yang memiliki ukuran panjang 1,055 m, diameter pipa 1,5", dengan variasi lubang pipa yaitu 2, 4, 6 dan 8 serta memiliki diameter lubang sebesar 16 mm.
4. Rentang frekuensi yang digunakan adalah 50 Hz-4000 Hz dengan $1/24$ pita oktaf.
5. Nilai *filling ratio* yang digunakan yaitu 0,5 dengan konfigurasi *square*, dan 0,3 dengan konfigurasi *triangular*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin dicapai dalam penelitian ini yaitu menghasilkan panel *sonic crystal* yang dapat mengurangi kebisingan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penulisan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I : Pendahuluan

Pada bab ini berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, Batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II : Tinjauan Pustaka

Pada bab ini berisi tentang teori yang menunjang penelitian mengenai *sonic crystal*.

BAB III: Metodologi

Pada bab ini berisi tentang metode yang digunakan dalam penelitian ini

BAB IV: Analisa Data dan Pembahasan

Pada bab ini berisi tentang analisa data yang dilakukan beserta pembahasan dari data yang di dapatkan.

BAB V : Kesimpulan

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan dari penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Noise Control*

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

Noise control dapat dibagi menjadi tiga lokasi, yaitu pada sumber bunyi itu sendiri, pada jalan-jalan yang dilalui bunyi, dan pada benda atau ruang yang harus di lindungi terhadap gangguan bunyi. *Noise control* juga lebih efektif bila dilakukan secara menyeluruh, yaitu tidak hanya memperhatikan elemen-elemen yang menempel pada bangunan, namun juga merancang ruang yang mampu menahan atau mengurangi masuknya kebisingan. Pengendalian kebisingan juga dapat dilakukan dengan pemasangan panel absorber. Panel absorber dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu panel absorber frekuensi tinggi dan frekuensi rendah

2.2 Penyerapan Bunyi

Bunyi adalah gelombang mekanik yang arah rambatnya sejajar dengan arah getarannya. Bunyi yang dapat didengar oleh telinga manusia memiliki frekuensi antara 20 Hz-20 kHz. Selanjutnya, bunyi yang memiliki frekuensi <20 Hz, disebut dengan bunyi infra (*infrasound*), sedangkan gelombang bunyi yang memiliki frekuensi >20 Hz disebut sebagai bunyi ultra (*ultrasound*) (Sutrisno, 1979).

Bunyi yang dihasilkan oleh sebuah sumber, ketika mengenai sebuah bidang atau permukaan, bunyi tersebut dapat mengalami peristiwa refleksi, transmisi dan absorpsi (Lea, 2003).

Menurut Doelle, 1972 penyerapan bunyi merupakan penyerapan energi oleh pelapisan permukaan tertentu yang memiliki koefisien penyerapan yang tertentu juga. Terdapat beberapa jenis penyerap bunyi seperti dibawah ini:

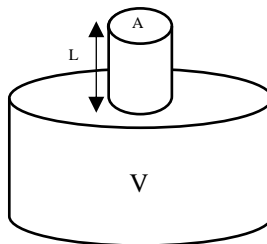
- a. Penyerapan bahan berpori yang berfungsi mengubah energi bunyi menjadi energi panas melalui gesekan dengan molekul udara
- b. Penyerapan panel bergetar, adalah panel yang berfungsi sebagai pengubah energi menjadi energi getaran. Penyerap ini akan bekerja dengan baik pada frekuensi rendah, contohnya kaca, pintu, panel kayu.

Penyerapan resonator rongga adalah panel yang berfungsi untuk mengurangi energi melalui gesekan dan interrefleksi pada lubang dalam yang bekerja pada frekuensi rendah, misalnya *sound block*, resonator panel berlubang dan resonator celah

2.3 Resonator

Resonansi adalah ikut bergetarnya suatu benda karena ada benda lain yang bergetar pada jarak tertentu dari sebuah sumber bunyi dan memiliki frekuensi yang sama (Mediastika, 2005).

Jenis penyerapan resonansi yang paling sederhana disebut resonator Helmholtz. Resonator ini termasuk resonator rongga yang terdiri dari badan dengan lubang kecil yang dikenal sebagai leher. Pada resonator ini memiliki rongga resonansi dimana gelombang bunyi yang terjebak di dalamnya akan dipantulkan berulang kali hingga energinya diserap habis. Resonator Helmholtz memiliki bentuk sebagai berikut



Gambar 2.1. Resonator Helmholtz

Dari gambar di atas, nilai frekuensi resonansi dari resonator dapat dihitung dengan persamaan 2.1. (K. B. Ginn, 1978).

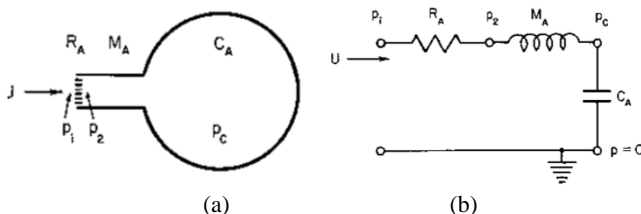
$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{LV}} \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan,

- c : kecepatan suara (m/s)
- A : luas area bukaan *neck* (m²)
- L : panjang *neck* (m)
- V : volume *cavity* (m³)

2.3.1 Sistem Resonator Helmholtz

Resonator Helmholtz dapat di analogikan sebagai rangkaian seri RLC. Sistem ini terdiri dari massa akustik (M_A), *acoustic compliance* (C_A), dan resistansi akustik (R_A). Dalam sistem akustik, tekanan dianalogikan dengan tegangan listrik dan laju aliran volumetrik analog dengan arus listrik. (Barron, 2003)



Gambar 2.2 Diagram Rangkaian untuk Resonator Helmholtz (a) Resonator Helmholtz (b) Rangkaian Seri RLC

Frekuensi resonansi dari resonator Helmholtz dapat dicari menggunakan persamaan:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{M_A C_A}} \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan,

- M_A : massa akustik (kg/m⁴)
- C_A : *acoustic compliance* (m/s)

Kemudian untuk mencari nilai M_A dapat menggunakan rumus:

$$M_A = \frac{\pi a^2 L \rho_0}{(\pi a^2)^2} = \frac{\rho_0 L}{\pi a^2} \dots\dots\dots (2.3)$$

Karena terdapat tambahan massa gas pada tiap ujung tabung, dapat mempengaruhi nilai dari massa akustik, yang kemudian persamaanya berubah menjadi:

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

dengan,

- ρ_0 : massa jenis udara (kg/m^3)
- a : jari-jari lubang

Untuk L_e dapat dicari dengan persamaan berikut

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

Nilai dari ΔL_1 dan ΔL_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

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

Sedangkan untuk ujung pipa terbuka menggunakan persamaan:

$$\Delta L_2 = 0,613a \dots\dots\dots (2.7)$$

Selain mencari nilai M_A , juga dicari nilai C_A untuk memenuhi persamaan 2.2. Nilai C_A dapat dicari dengan persamaan berikut

$$C_A = \frac{V}{\rho_0 c^2} \dots\dots\dots (2.8)$$

dengan,

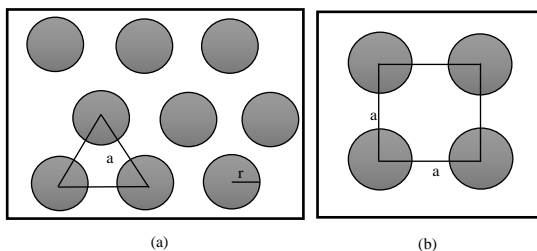
V : volume (m^3)

c : kecepatan suara (m/s)

2.4 Sonic Crystal

Sonic crystal adalah material akustik yang disusun berdasarkan suatu konfigurasi dengan jarak kisi tertentu. *Sonic crystal* bisa dikatakan sebagai resonator yang merupakan sebuah alat yang dapat menghasilkan resonansi pada frekuensi rendah. Susunan *sonic crystal* bersifat periodik yang di pasang pada sebuah bidang datar (Federica, 2015).

Gambar 2.3 menunjukkan contoh konfigurasi pada *sonic crystal*.



Gambar 2.3 Susunan Konfigurasi pada *Sonic Crystal* (a) *Triangular* (b) *Square*

Berdasarkan pada gambar 2.3, kinerja dari *sonic crystal* salah satunya dipengaruhi oleh *filling ratio*. Parameter ini mempengaruhi *bandgap* pada *sonic crystal* yang merupakan perbandingan antara luas penghamburan yang di tempati oleh bahan *sonic crystal* dengan luas kisi *sonic crystal* (Gupta, 2012).

Berdasarkan gambar 2.3, nilai *filling ratio* dapat di hitung dengan persamaan (2.9) untuk kisi persegi, dan persamaan (2.10) untuk kisi *triangular*. Berikut persamaan untuk kisi persegi:

$$Fr = \frac{\pi d^2}{4 a^2} \dots \dots \dots (2.9)$$

Sedangkan untuk kisi *triangular* sebagai berikut:

$$Fr = \frac{\pi d^2}{2 a^2 \sqrt{3}} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dengan d adalah diameter silinder dan a adalah jarak kisi (Lagarrigue, 2013).

Untuk menciptakan interaksi destruktif yang cukup kuat, nilai Fr yang optimal untuk susunan persegi yaitu antara 0,4 dan 0,6 dan pada susunan segitiga nilai yang optimal adalah di bawah 0,4 (T. Miyashita, 2005).

2.5 Penelitian Sebelumnya Tentang *Sonic Crystal*

Sebelumnya, telah dilakukan beberapa penelitian mengenai *sonic crystal*. Dapat dilihat pada table 2.1 beberapa penelitian tentang *sonic crystal*.

Tabel 2.1 Penelitian yang telah dilakukan

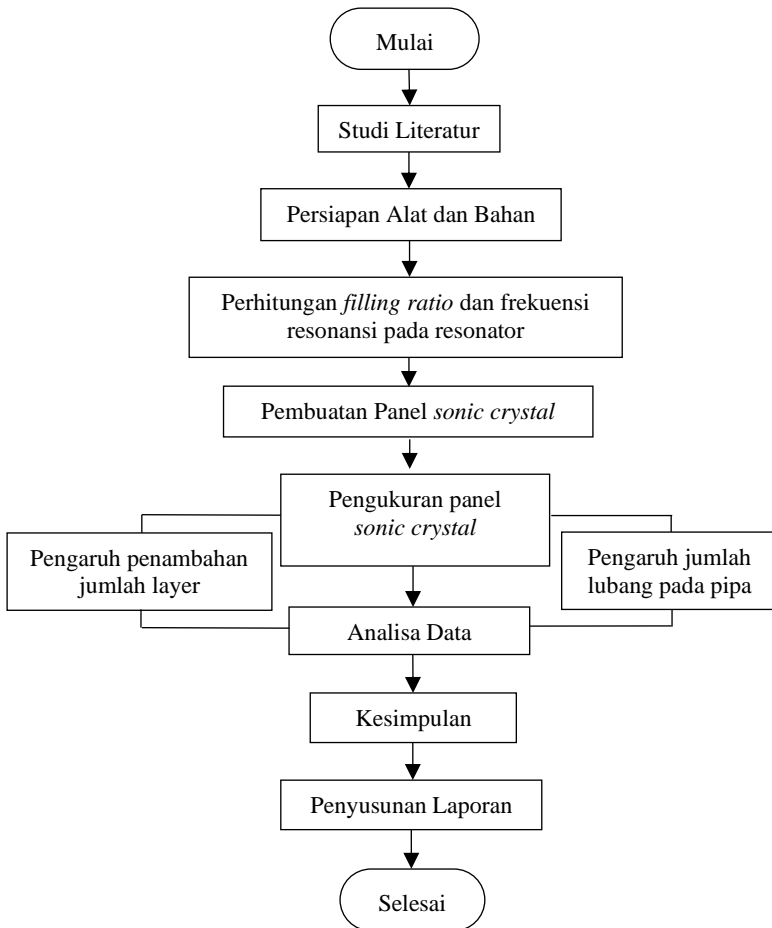
No	Peneliti	Judul	Hasil
1	F. Morandi	“ <i>Standardised acoustic characterisation of sonic crystal noise barriers: Sound insulation and reflection properties</i> ”	Pengurangan kebisingan bunyi mencapai 24 dB dalam rentang frekuensi target 800-1000 Hz
2	C. Lagarrigue	“ <i>Sustainable Sonic Crystal made of resonating bamboo rods</i> ”	Menghasilkan resonator yang menurunkan intensitas bunyi pada frekuensi 2000 Hz
3	Andi Wardana	Pengaruh ukuran pipa pipa terhadap frekuensi resonansi dari	Perubahan ukuran pipa PVC berakibat pada bertambahnya

		<i>sonic crystal</i> setengah pipa	titik yang beresonansi dari <i>sonic crystal</i> setengah silinder
4	Fathina Azhary	Pengaruh panjang dan jumlah pipa pada <i>sonic crystal</i> terhadap frekuensi resonansi	Perubahan panjang pipamengakibatkan semakin bertambah titik resonansi, dan semakin banyak jumlah bilah mengakibatkan semakin besar delta SPL

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini berdasarkan tahapan-tahapan yang terdapat pada diagram alir berikut:



Gambar 3. 1. Diagram Alir Penelitian

3.2 Studi Literatur

Pada tahap ini, hal yang dilakukan adalah mempelajari tentang dasar teori yang berkaitan dengan penelitian yang dapat menjadi acuan dalam analisis dan pembahasan. Studi literatur dilakukan untuk mendukung proses pembuatan tugas akhir serta untuk memahami arah dan alur penelitian hingga penulisan laporan.

3.3 Pengenalan Alat

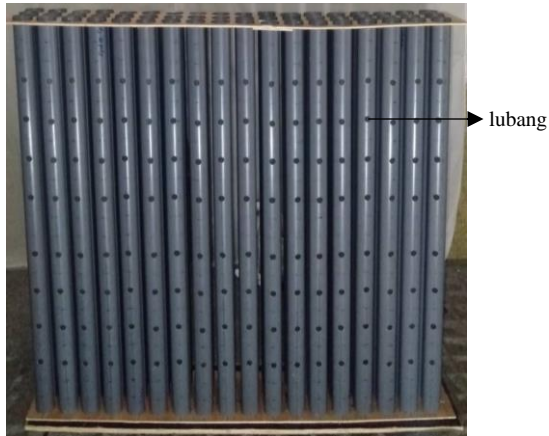
Pada penelitian ini, digunakan beberapa alat yang mendukung pengambilan data. Adapun fungsi alat tersebut adalah:

- a) *Amplifier* berfungsi sebagai alat penguat sinyal suara
- b) *Speaker* berfungsi sebagai sumber suara
- c) *Microphone* berfungsi sebagai alat untuk menangkap suara dari *speaker*
- d) *Standmic* berfungsi sebagai penyangga *microphone* agar dapat diletakkan sesuai posisi
- e) *Soundcard* berfungsi untuk menjembatani laptop dan *amplifier*
- f) *Personal Computer* untuk menghasilkan suara yang berupa bunyi impuls dari *Realtime Analyzer*.

3.4 Pembuatan *Sonic Crystal*

Pada tahapan ini pembuatan *sonic crystal* menggunakan bahan utama yaitu pipa PVC (*polyvinyl Chloride*). Penggunaan bahan pipa PVC dikarenakan pipa mudah untuk didapatkan di sekitar kita serta bersifat homogen. Bahan lain yang digunakan adalah triplek, yang dipotong dengan ukuran panjang 112 cm dan lebar 25 cm dengan tebal triplek 6 mm. Sebelum dilakukan pembuatan *sonic crystal*, dilakukan perhitungan terhadap nilai *filling ratio* (persamaan 2.9 dan 2.10) untuk mengetahui jarak kisi dari pusat pipa dan perhitungan frekuensi resonansi pada resonator (persamaan 2.2). Selanjutnya triplek yang telah dipotong, dilubangi menggunakan alat bor sebagai tempat penyusunan pipa. Kemudian pipa dipotong sesuai dengan ukuran yang ditentukan yaitu 1,055 m. Pipa disusun menjadi sebuah panel, dimana panel tersebut

terdiri dari 1 layer, 2 layer dan 3 layer untuk digunakan sebagai panel *sonic crystal*. Variasi yang digunakan adalah jumlah lubang pada pipa, yaitu menggunakan 2 lubang, 4 lubang, 6 lubang, dan 8 lubang dengan diameter lubang sebesar 16 mm. Penentuan titik lubang berdasarkan panjang pipa yang dibagi menjadi 20 titik, kemudian diberi lubang pada titik ke 9 dan 12 untuk 2 lubang pertama. Gambar 3.2 menunjukkan panel *sonic crystal* dengan lubang berjumlah 8.



Gambar 3.2. Panel *Sonic Crystal* dengan Jumlah Lubang 8 untuk 3 Layer pada Pipa Konfigurasi *Square*

Pada gambar 3.2 pipa disusun berdasarkan *filling ratio* 0,5 *square*, dengan jumlah lubang pada pipa sebanyak 8 lubang. Pipa yang digunakan memiliki ukuran 1,5". Gambar 3.3 dan 3.4 menunjukkan susunan pipa *square* dan *triangular*.



Gambar 3.3. Panel *Sonic Crystal* dengan Konfigurasi *Square* 3 Layer

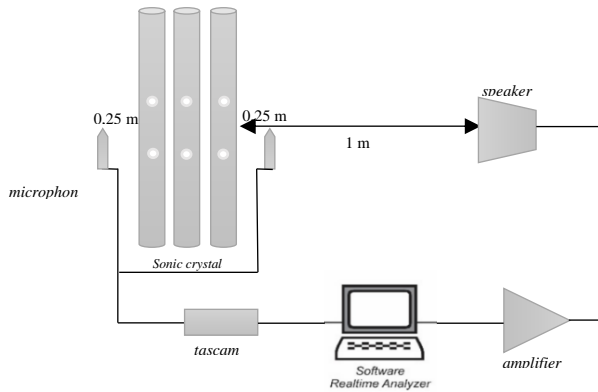


Gambar 3.4. Panel *Sonic Crystal* dengan Konfigurasi *Triangular 3 Layer*

Selain variasi jumlah lubang, digunakan juga nilai *filling ratio* yang berbeda. Dari gambar 3.3 dan 3.4, dapat dilihat susunan pipa untuk konfigurasi *square* dan *triangular*. Untuk konfigurasi *square* nilai *filling ratio* yang digunakan adalah 0,5 dengan jumlah pipa pada 1 layer sebanyak 18 bilah, dan untuk *triangular* nilai *filling ratio* yang digunakan adalah 0,3 dengan jumlah pipa pada 1 layer sebanyak 13 bilah. Sebelum melakukan pengukuran, telah dilakukan perhitungan menggunakan persamaan (2.2) untuk mencari nilai frekuensi resonansi dasar.

3.5 Pengukuran Kemampuan Resonansi

Pada penelitian ini, pengukuran kemampuan resonansi pada *sonic crystal* dilakukan dengan mengukur nilai respon frekuensi dari resonator yang telah dibuat. Pengukuran dilakukan di ruang *semi-anechoic* sesuai jurnal yang ditulis oleh Morandi pada tahun 2016. Ruangan yang digunakan memiliki tinggi 2,937 m dengan lebar 3,472 m serta panjang 5,862 m. Data yang diambil berupa nilai SPL ketika ruang dalam keadaan kosong dan pada saat terpasang *sonic crystal*. Variasi yang digunakan adalah jumlah lubang pada pipa, nilai *filling ratio*, serta penambahan jumlah layer. Alat dan bahan disiapkan terlebih dahulu dan dirangkai seperti gambar 3.5.



Gambar 3.5. Skema Pengukuran pada Panel *Sonic Crystal*

Dari gambar 3.5, dapat dilihat skema rangkaian percobaan dengan proses pengukuran digunakan 2 *microphone* yang diletakkan di depan dan di belakang panel sejauh 0,25 m. Jarak panel dengan *speaker* adalah 1 m.

Untuk mengetahui pola respon frekuensi pada saat ruang kosong (tidak ada panel *sonic crystal*), pengambilan data dapat dilihat pada gambar 3.6 (a), sedangkan untuk pengambilan data pada saat terpasang panel *sonic crystal* dapat dilihat pada gambar 3.6 (b).



a



b

Gambar 3.6. Pengukuran Ruang Kosong (a) Pengukuran Langsung dengan Panel *Sonic Crystal* (b)

Dapat dilihat, pada gambar 3.6 (b) pengukuran panel *sonic crystal* dengan jumlah lubang yang digunakan adalah 8 untuk 3 layer. Dari hasil yang di dapat, pengolahan data menggunakan perangkat lunak *Realtime Analyzar* dan akan di analisa kembali untuk menentukan nilai frekuensi resonansi pada *sonic crystal* yang dibuat.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan

Pada penelitian ini, pengambilan data kinerja pada *sonic crystal* dilakukan menggunakan variasi jumlah lubang yaitu 2, 4, 6 dan 8 lubang. Hal tersebut dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan jumlah lubang terhadap frekuensi resonansinya. Sebelum dilakukan pengukuran, hal yang harus dilakukan adalah perhitungan pada *filling ratio* dengan tujuan untuk mengetahui jarak kisi antar bilah, serta dilakukan perhitungan frekuensi resonansi resonator Helmholtz untuk mengetahui frekuensi dasar pada pipa.

4.1.1 Perhitungan Jarak Kisi Bergantung Pada *Filling Ratio*

Filling ratio ini digunakan untuk menghitung jarak kisi antar bilah dengan menggunakan persamaan (2.9) untuk konfigurasi *square* dan (2.10) untuk konfigurasi *triangular*. Nilai *filling ratio* dapat dikatakan optimum apabila memenuhi rentang nilai yaitu $0,4 < Fr < 0,6$ untuk kisi *square* dan $< 0,4$ untuk kisi *triangular*. Pada penelitian ini digunakan nilai *filling ratio* 0,5 untuk kisi *square* dan 0,3 untuk kisi *triangular*, dengan dimensi pipa $d = 0,048$ m.

$$Fr = \frac{\pi d^2}{4 a^2}$$
$$0,5 = \frac{3,14(0,048)^2}{4 a^2}$$
$$a = 6,1 \text{ cm}$$

Dengan menggunakan persamaan (2.10), nilai jarak kisi untuk *filling ratio* 0,3 *triangular* adalah $a = 8,4$ cm.

4.1.2 Perhitungan Frekuensi Resonansi Resonator Helmholtz

Nilai dari resonator Helmholtz dapat di hitung dengan persamaan (2.2), dengan mencari nilai M_A dan C_A . Massa jenis udara $\rho_0 = 1,23 \text{ kg/m}^3$, cepat rambat bunyi di udara $c = 343 \text{ m/s}$,

jari-jari lubang pipa $a = 0,008$ m, dan tebal lubang pipa $L = 0,002$ m. L_e merupakan hasil penjumlahan dari panjang leher dengan faktor koreksi ujung-ujung resonator sesuai dengan persamaan (2.5).

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

$$L_e = 0,002 + 2 \cdot \frac{8a}{3\pi}$$

$$L_e = 0,002 + 2 \cdot \frac{8(0,008)}{3(3,14)}$$

$$L_e = 0,01559 \text{ m}$$

Berdasarkan persamaan (2.4) dapat di hitung nilai M_A

$$M_A = \frac{\rho_0 L_e}{\pi a^2}$$

$$M_A = \frac{1,23 \times 0,01559}{3,14 \times (0,008)^2}$$

$$M_A = 95,42 \text{ kg/m}^4$$

Sementara nilai C_A dihitung menggunakan persamaan (2.8) diperoleh

$$C_A = \frac{V}{\rho_0 c^2}$$

$$C_A = \frac{\pi r^2 L}{\rho_0 c^2}$$

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

$$C_A = 1,107985604 \times 10^{-8} \text{ m}^4 \text{ s}^2/\text{kg}$$

$$M_A \times C_A = 1,05712 \times 10^{-6}$$

Nilai frekuensi resonansi dari resonator Helmholtz dihitung menggunakan persamaan (2.2) diperoleh

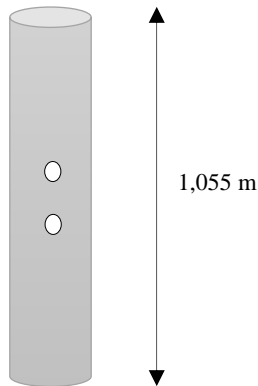
$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{M_A C_A}}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{1,05712 \times 10^{-6}}}$$

$$f_0 = 154,87 \text{ Hz}$$

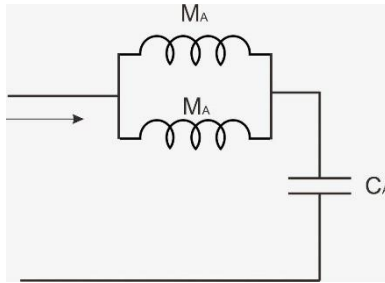
Dari perhitungan di atas, diperoleh nilai untuk frekuensi dasar yaitu 154,87 Hz.

Gambar 4.1 menunjukkan resonator dengan 2 lubang.



Gambar 4.1. Resonator dengan 2 Lubang

Berdasarkan gambar 4.1 dapat dilihat adanya lubang pada resonator. Penambahan lubang berpengaruh terhadap nilai massa akustiknya. Untuk mempermudah perhitungan, penambahan lubang dapat di analogikan dengan rangkaian RLC. Gambar 4.2 menunjukkan rangkaian RLC untuk 2 lubang



Gambar 4.2. Rangkain RLC untuk Resonator 2 Lubang

Berdasarkan gambar 4.2, nilai M_A dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$\frac{1}{M_{tot}} = \frac{1}{M_1} + \frac{1}{M_2}$$

$$\frac{1}{M_{tot}} = \frac{2}{M_1}$$

$$M_{tot} = \frac{M_1}{2}$$

Maka persamaan untuk mendapatkan frekuensi resonansi menjadi

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{M_{Atot}C_A}}$$

$$f_{0_2} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{M_1}{2}C_A}}$$

$$f_{0_2} = f_0 \times \sqrt{2}$$

Berikut perhitungan nilai frekuensi resonansi untuk 2, 4, 6 dan 8 lubang.

Tabel 4.1 Perhitungan Nilai Frekuensi Resonansi Resonator Helmholtz

Jumlah Lubang	f_{0n}
2	219.03
4	309.74
6	379.36
8	438.05

4.2 Pengukuran Respon Frekuensi

Pada penelitian ini, selain melakukan perhitungan untuk mencari nilai frekuensi resonansi resonator Helmholtz, juga dilakukan pengukuran tujuannya adalah untuk mengetahui nilai respon frekuensi secara langsung. Hasil yang diperoleh berupa respon frekuensi SPL pada variasi yang digunakan. Data dari hasil pengukuran menggunakan 1/24 pita oktaf yang kemudian diseleksi kembali untuk menentukan rentang frekuensi yang digunakan. Berikut adalah hasil data pengukuran respon frekuensi pada 2 layer FR 0,5 *square* dengan penambahan jumlah lubang pada pipa.

Tabel 4.2 Data hasil pengukuran *Sonic Crystal 2 Layer 0,5 Square* dengan Penambahan Jumlah Lubang pada Pipa

Frekuensi	Kosong	SPL 2 Lubang	SPL 4 Lubang	SPL 6 Lubang	SPL 8 Lubang
25	32,68	29,06	28,57	32,51	36,55
31,5	39,69	34,64	36,74	39,30	42,32
40	54,34	48,54	51,44	54,40	56,30
50	66,97	65,69	68,09	70,28	73,46
63	70,50	65,69	68,09	70,36	73,75
80	72,43	67,64	71,20	73,38	76,68
100	73,39	69,30	70,73	72,66	75,08
125	73,03	68,14	70,78	73,50	76,10

Frekuensi	Kosong	SPL 2 Lubang	SPL 4 Lubang	SPL 6 Lubang	SPL 8 Lubang
160	68,43	64,75	66,44	68,88	71,08
200	65,06	59,22	62,73	65,52	64,73
250	68,42	60,42	63,4	69,64	72,67
315	70,63	65,16	66,23	68,91	74,65
400	63,17	59,59	58,26	53,02	66,46
500	65,59	62,08	62,62	64,49	68,16
630	67,89	48,57	61,92	57,15	68,29
800	74,90	67,46	66,16	68,74	72,12
1000	75,13	68,81	63,32	68,00	70,20
1250	73,24	67,20	71,18	74,90	76,04
1600	76,07	64,38	70,74	65,02	75,50
2000	72,96	57,33	53,05	57,90	53,59
2500	71,76	57,82	56,19	55,76	64,77
3150	73,47	60,89	65,55	60,74	62,74
4000	72,33	70,02	72,86	68,49	69,29

Terlihat pada table 4.2, nilai dari SPL untuk frekuensi 1/3 pita oktaf dengan penambahan jumlah lubang pada 2 layer FR 0,5 *square*. Selain data di atas, konfigurasi yang digunakan yaitu FR 0,3 *triangular*.

Data yang diambil pada 1 layer, 2 layer dan 3 layer dengan masing-masing layer digunakan variasi penambahan jumlah lubang. Untuk data yang lain dapat dilihat pada lampiran.

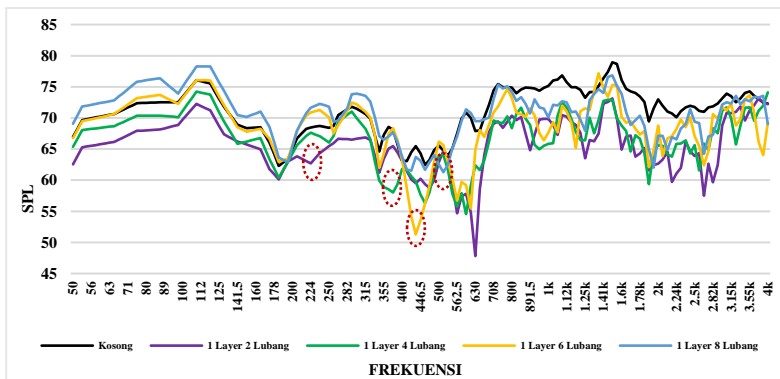
4.3 Analisa Data

Setelah didapatkan data seperti tabel 4.2, dapat dibuat grafik untuk 1/24 pita oktaf dengan rentang frekuensi 50 - 4000 Hz. Pemilihan rentang frekuensi tersebut karena pada frekuensi 4k - 20k Hz cenderung mengalami fluktuatif, sehingga sulit untuk diamati. Dari grafik tersebut, dapat diteliti kembali pada frekuensi

berapa yang memiliki perbedaan paling signifikan. Adanya perbedaan tersebut menunjukkan terjadinya resonansi.

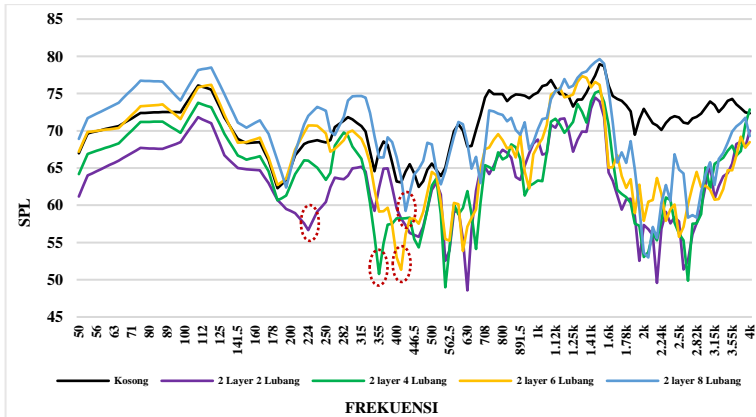
4.3.1 Pengaruh Penambahan Jumlah Lubang Terhadap Frekuensi Resonansi *Sonic Crystal* pada FR 0,5 *Square* dengan Jumlah Layer yang Sama

Dari data yang di dapat, kemudian di analisis pengaruh jumlah lubang pada pipa dengan konfigurasi FR 0,5 *square*. Adapaun grafik yang telah dibuat sebagai berikut



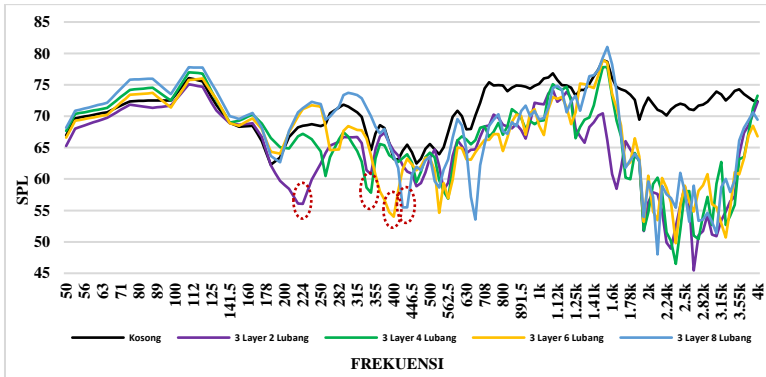
Gambar 4.3. Grafik Pengaruh Jumlah Lubang Pipa pada 1 Layer dengan Jarak Kisi 6,1 cm

Gambar 4.3 adalah grafik yang dibuat berdasarkan data hasil pengukuran untuk 1 layer dengan jumlah pipa yaitu 18 bilah. Dari grafik tersebut, dapat dilihat bahwa pola yang terbentuk antara garis hitam dan garis warna menjelaskan nilai SPL pada frekuensi 50 – 4000 Hz. Garis hitam menjelaskan nilai SPL pada keadaan ruang tanpa bahan uji, garis ungu pada keadaan pipa terdapat 2 lubang, garis hijau terdapat 4 lubang, garis kuning terdapat 6 lubang, dan garis biru terdapat 8 lubang. Pada grafik tersebut, dapat dilihat terjadi resonansi pertama untuk 2 lubang di frekuensi 224 Hz, 4 lubang di frekuensi 376 Hz, 6 lubang di frekuensi 434 Hz, dan untuk 8 lubang terjadi resonansi di frekuensi 516 Hz.



Gambar 4.4. Grafik Pengaruh Jumlah Lubang Pipa pada 2 Layer dengan FR 0,5 Square

Berdasarkan gambar 4.4, dapat dilihat bahwa pengaruh jumlah lubang pada pipa untuk 2 layer dengan jumlah pipa sebanyak 36 bilah adalah pada frekuensi resonansinya. Ketika pola garis yang terbentuk berbeda, maka dapat dikatakan telah terjadi resonansi. Pada frekuensi 50 – 180 Hz attenuasi yang disebabkan oleh *sonic crystal* tidak begitu terlihat karena pola yang dihasilkan cenderung sama. Attenuasi suara mulai terlihat pada frekuensi 180 – 700 Hz, selanjutnya pada frekuensi 1,5k – 4k Hz mengalami penurunan suara yang relatif sama untuk variasi penambahan jumlah lubang perforasi. Pada grafik tersebut, dapat dilihat untuk garis berwarna ungu, yaitu pada 2 lubang terjadi resonansi pada frekuensi 224 Hz, pada 4 lubang terjadi resonansi di frekuensi 355 Hz, 6 lubang di frekuensi 409 Hz dan untuk 8 lubang pada frekuensi 421,5 Hz. Attenuasi tertinggi terjadi di frekuensi 630 Hz sebesar -19,3 dB.

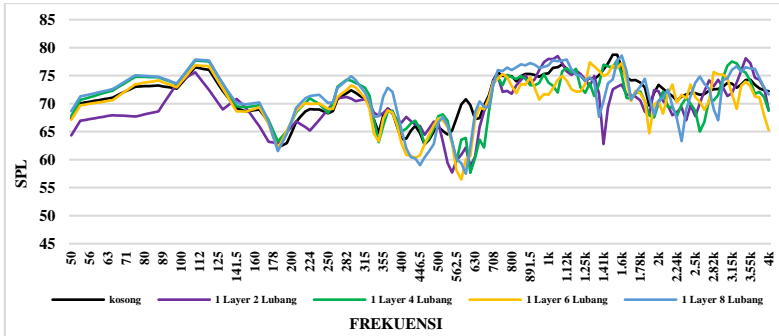


Gambar 4.5. Grafik Pengaruh Jumlah Lubang Pipa pada 3 Layer dengan FR 0,5 Square

Merujuk pada gambar 4.5, pengaruh jumlah lubang untuk 3 layer dapat diamati pada frekuensi 150 - 500 Hz dengan dua lubang perforasi mengalami resonansi pertama, yang diikuti dengan empat lubang, enam lubang dan delapan lubang. Pada frekuensi 170 – 700 Hz, terjadi penurunan untuk semua variasi lubang perforasi, sedangkan untuk frekuensi 700 – 1100 Hz, cenderung mengalami fluktuatif. Pada frekuensi 1,5 kHz- 4 kHz dengan variasi penambahan jumlah lubang, mengalami penurunan yang lebih besar dibandingkan frekuensi 170 – 700 Hz. Dapat dilihat pada grafik tersebut, untuk 2 lubang dengan garis warna ungu, terjadi resonansi pada frekuensi 217 Hz dengan attenuasi sebesar -5,14 dB, pada 4 lubang terjadi resonansi di frekuensi 344 Hz dengan attenuasi sebesar -6,7 dB, pada 6 lubang terjadi resonansi di frekuensi 400 Hz dengan attenuasi sebesar -9,15 dB, dan untuk 8 lubang terjadi resonansi di frekuensi 434 Hz dengan attenuasi sebesar -12 dB.

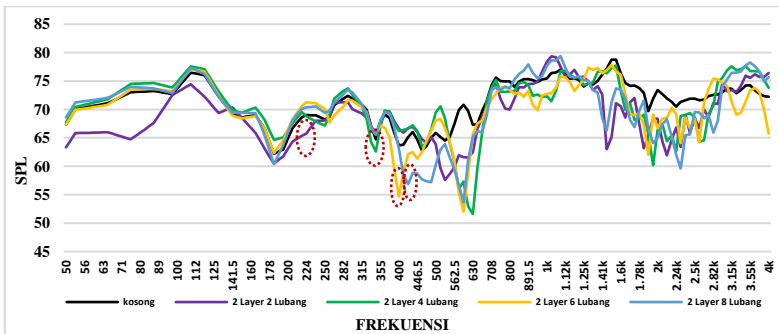
4.3.2 Pengaruh Penambahan Jumlah Lubang Terhadap Frekuensi Resonansi *Sonic Crystal* pada FR 0,3 *Triangular* dengan Jumlah Layer yang Sama

Selain data dari nilai *filling ratio* 0,5 *square*, diberikan juga variasi jumlah lubang untuk *filling ratio* 0,3 *triangular*. Adapun grafik yang telah dibuat seperti terlihat pada gambar 4.6.



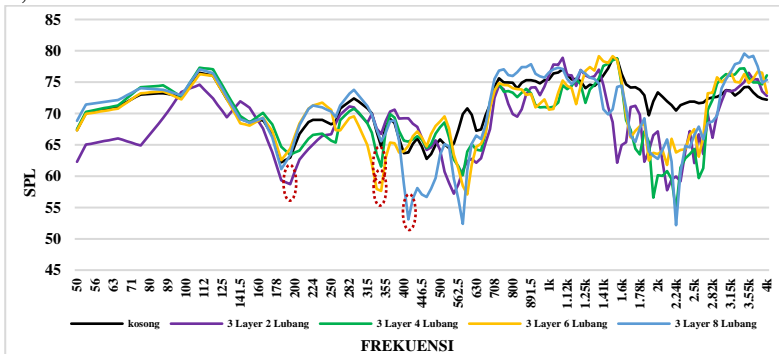
Gambar 4.6. Grafik Pengaruh Jumlah Lubang Pipa pada 1 Layer dengan Jarak Kisi 8,4 cm

Gambar 4.6 adalah grafik respon frekuensi pada 1 layer dengan *filling ratio* 0,3 *triangular* dengan jumlah pipa sebanyak 13 bilah. Dari grafik tersebut terlihat adanya perbedaan nilai SPL yang signifikan dengan pola yang sama pada frekuensi 50 – 180 Hz untuk 2 lubang. Sementara pada gambar 4.7 terlihat respon frekuensi untuk jumlah pipa 27 bilah.



Gambar 4.7. Grafik Pengaruh Jumlah Lubang Pipa pada 2 Layer dengan FR 0,3 *Triangular*

Berdasarkan gambar 4.7 dapat dilihat grafik respon frekuensi pada 2 layer dengan jumlah pipa sebanyak 27 bilah. Pada frekuensi 50 – 180 Hz, terlihat adanya perbedaan nilai SPL pada 2 lubang. Dari grafik tersebut dapat diamati adanya resonansi pertama untuk tiap penambahan jumlah lubang. Pada 2 lubang perforasi, terjadi resonansi pertama di frekuensi 224 Hz, pada 4 lubang perforasi, resonansi terjadi di frekuensi 344 Hz, pada 6 lubang di frekuensi 400 Hz, serta untuk 8 lubang perforasi, terjadi resonansi di frekuensi 421 Hz. Untuk frekuensi 1,6 – 2,74 kHz, terjadi penurunan untuk tiap variasi lubang perforasi. Sementara pada gambar 4.8, disajikan grafik respon frekuensi pada *sonic crystal* sebagai fungsi jumlah lubang pada *sonic crystal* 3 layer FR 0,3.



Gambar 4.8. Grafik Pengaruh Jumlah Lubang pipa pada 3 Layer dengan FR 0,3 *Triangular*

Dapat diamati pada gambar 4.8, pada frekuensi 200 – 668 Hz mulai terlihat adanya penurunan suara untuk semua variasi lubang, dan penurunan maksimal terjadi pada frekuensi 579 Hz sebesar -17,48 dB untuk 8 lubang. Persis pada frekuensi 668,5 Hz dengan semua variasi lubang perforasi, penurunan suara terjadi sangat kecil dibuktikan dengan nilai SPL yang memiliki selisih 1 sampai 4 dB, namun pada frekuensi 1,6k – 2,74k attenuasi terjadi kembali untuk semua variasi lubang perforasi dengan nilai yang relatif sama. Untuk resonansi pertama pada 2 lubang perforasi,

terjadi di frekuensi 194 Hz, 4 lubang perforasi di frekuensi 344 Hz, 6 lubang perforasi di frekuensi 344 Hz, dan untuk 8 lubang perforasi terjadi resonansi di frekuensi 409 Hz.

4.4 Pembahasan

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran kemampuan resonansi pada *sonic crystal* dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah lubang pada *sonic crystal*. Pengukuran dilakukan didalam ruang *semi-anechoic*. Pengukuran ini mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh F. Morandi (2016). Bahan penelitian yang digunakan adalah pipa PVC (*polyvinyl Chloride*) dengan diameter pipa 48 mm. Variasi yang digunakan berupa jumlah lubang pada layer yang sama. *Sonic crystal* bisa dikatakan sebagai resonator yang dapat menghasilkan resonansi pada frekuensi rendah.

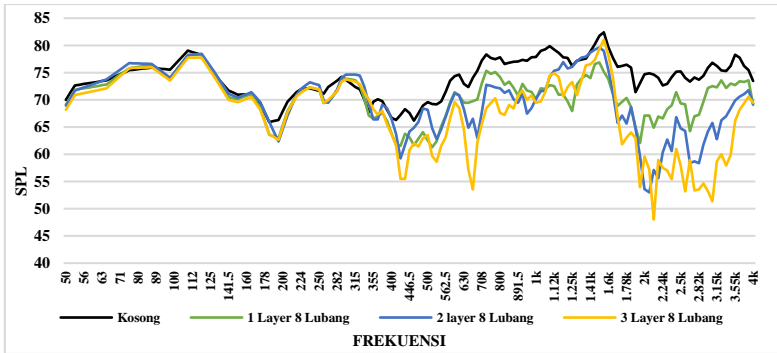
Dalam penelitian ini, digunakan nilai *filling ratio* 0,5 *square* dan 0,3 *triangular*, karena pada nilai *filling ratio* tersebut memenuhi rentang nilai yang optimum. Jumlah pipa pada 1 layer untuk jarak kisi 6,1 cm sebanyak 18 bilah, dan untuk jarak kisi 8,4 cm sebanyak 13 bilah. Pada keadaan pipa yang disusun hanya 1 layer, tidak bisa dikatakan sebagai *sonic crystal*, karena tidak dapat membentuk suatu konfigurasi, yang terbentuk hanyalah garis layer saja. *Sonic crystal* dapat dibentuk dengan minimal 2 baris agar dapat terbentuk suatu konfigurasi *square* atau *triangular*. Perbedaan *filling ratio* berdampak pada jumlah bilah pipa yang digunakan serta jarak kisi antar bilah.

Perubahan konfigurasi memberikan pengaruh terhadap besar attenuasi suara yang melewati *sonic crystal*. Dari perubahan tersebut, dapat menunjukkan penggunaan jumlah pipa yang dapat mempengaruhi kinerja *sonic crystal*. Penambahan jumlah pipa, tidak mempengaruhi frekuensi resonansi, melainkan dapat mempengaruhi attenuasi yang terjadi pada tiap variasi yang digunakan. Jumlah pipa tersebut mempengaruhi aliran suara yang melewati *sonic crystal*. Selain penggunaan jumlah pipa, perubahan konfigurasi juga mempengaruhi susunan pipa. Pada pengukuran

ini, nilai *filling ratio* yang digunakan termasuk kedalam nilai yang optimal untuk kedua konfigurasi. Konfigurasi *square* memiliki kinerja yang lebih baik sebagai *barrier* dibandingkan dengan konfigurasi *triangular*, karena penempatan *sonic crystal* yang disusun secara *square*, hamburan suara yang dihasilkan akan terjadi secara periodik dan teratur sehingga attenuasi yang dihasilkan lebih destruktif.

Variasi lubang yang digunakan yaitu 2 lubang, 4 lubang, 6 lubang dan 8 lubang. Dengan adanya variasi yang digunakan memberikan pengaruh terhadap nilai frekuensi resonansi yang meningkat secara bertahap. Mengacu pada bab 2, jumlah perforasi akan berpengaruh terhadap M_A . Ketika nilai M_A berubah, berdasarkan persamaan 2.2 dan 2.4, maka frekuensi resonansi juga akan berubah. Apabila jumlah lubang semakin bertambah, nilai M_A akan semakin kecil, dan frekuensi resonansi yang dihasilkan akan meningkat. Pada gambar 4.5 merupakan grafik pengaruh perbandingan jumlah lubang pada 3 layer dengan FR 0,5 konfigurasi *square*. Terlihat adanya resonansi pertama untuk 2 lubang pada frekuensi 217 Hz dengan attenuasi sebesar -5,14 dB, yang diikuti kenaikan nilai frekuensi resonansi untuk 4 lubang, 6 lubang dan 8 lubang. Hal itu sesuai dengan hasil perhitungan yang ditunjukkan pada table 4.1, dimana semakin bertambahnya lubang perforasi, semakin meningkat pula frekuensi resonansinya.

Perubahan jumlah lubang, mempunyai pengaruh terhadap kinerja *sonic crystal* yaitu pada nilai frekuensi dasar pipa. Frekuensi resonansi terjadi apabila nilai impedansi sama dengan 0. Dengan kata lain, frekuensi resonansi tidak dipengaruhi oleh penambahan jumlah pipa. Secara perhitungan, perubahan jumlah lubang berpengaruh terhadap nilai M_A . Untuk 2 lubang perforasi, nilai M_{Atot} dibagi dengan 2, untuk 4 lubang dibagi dengan 4, 6 lubang dibagi dengan 6, dan untuk 8 lubang dibagi dengan 8. Sedangkan untuk penambahan jumlah pipa berpengaruh pada M_A dan C_A .



Berdasarkan gambar di atas, menunjukkan hasil resonansi dari pengaruh jumlah layer pada FR 0,5 dengan 8 lubang perforasi. Dari gambar tersebut terlihat bahwa ketiga variasi layer beresonansi pada frekuensi yang sama, namun dengan attenuasi yang berbeda. Penambahan jumlah pipa berpengaruh terhadap nilai M_A dan C_A . Pada keadaan ini, nilai frekuensi resonansi yang didapat tidak bergeser, melainkan nilai SPL yang berubah. Pada frekuensi 1,6k – 4k terjadi penurunan yang signifikan untuk semua variasi. Pada frekuensi resonansinya, yaitu 434 Hz, 3 layer pipa menghasilkan attenuasi sebesar -12,79 dB, 2 layer pipa menghasilkan attenuasi sebesar -6,6 dB, dan pada 1 layer pipa menghasilkan attenuasi sebesar -4,5 dB. Dapat diamati pada gambar di atas, kinerja *sonic crystal* terbaik terjadi pada penyusunan 3 layer. Hal tersebut dikarenakan pada 3 layer, jumlah pipa yang digunakan lebih banyak, sehingga suara yang melewati pipa akan semakin sedikit yang mengakibatkan attenuasi suara semakin tinggi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa data dan pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Semakin bertambahnya jumlah lubang perforasi berakibat pada bertambahnya nilai frekuensi resonansi yang dihasilkan.
2. Panel *sonic crystal* yang dibuat dengan variasi lubang, telah memenuhi rentang frekuensi target yaitu 200 Hz – 400 Hz. Untuk 2 lubang perforasi, terjadi resonansi di frekuensi 217 Hz, 4 lubang terjadi resonansi di frekuensi 344 Hz, 6 lubang terjadi resonansi di frekuensi 400 Hz , dan untuk 8 lubang terjadi resonansi di frekuensi 434 Hz.
3. Pada susunan pipa, semakin bertambahnya jumlah bilah berakibat pada nilai penurunan yang semakin besar.
4. Pada 8 lubang perforasi dengan FR 0,5 *square*, terjadi resonansi di frekuensi 434 Hz yang menghasilkan attenuasi sebesar -12,79 dB untuk 3 layer, 2 layer pipa menghasilkan attenuasi sebesar -6,6 dB, dan pada 1 layer pipa menghasilkan attenuasi sebesar -4,5 dB.

5.2 Saran

Saran dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Diperlukan evaluasi lebih lanjut tentang karakter ruang uji *semi-anechoic* sebelum dilakukan pengukuran yang menggunakan ruang uji tersebut.
2. Untuk memastikan pengaruh jumlah lubang terhadap frekuensi resonansi sebaiknya dilakukan penelitian lagi dengan jumlah lubang yang lebih banyak.

"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"

DAFTAR PUSTAKA

- Azhary, Fathina. 2019. "Pengaruh Panjang dan Jumlah Pipa Pada *Sonic Crystal* Terhadap Frekuensi Resonansi". ITS: Surabaya
- Barron, Randall F. 2003. "*Industrial Noise Control Acoustics*". Marcel Dekker: New York
- Gupta, A. Lim, K.; Chew, C. A quasi two "*Dimensional model for sound attenuation by the sonic crystals*". Journal of the Acoustical Society of America. Vol 132 (4), 2012, pp 2909-291.
- K. B. Ginn. 1978. "*Architectural Acoustics*". Bruel & Kjør: Denmark.
- Lagarigue, C dkk. 2013. "*Sustainable Sonic crystal made of resonating bamboo rods*". LUNAM Universite: France.
- Mediastika, C.E. 2005. "Akustika Bangunan: Prinsip-prinsip dan Penerapannya di Indonesia". Edisi I, Erlangga: Jakarta.
- Morandi, Federica dkk. 2015. "*Acoustic Measurements on a Sonic Crystals Barrier*". University of Bologna: Italy
- Morandi, Federica dkk. 2016. "*Standardised acoustic characterisation of sonic crystals noise barriers: Sound insulation and reflection properties*". University of Bologna: Italy
- Ningsih, Sulastia. 2019. "Pengaruh sudut datang suara terhadap panel resonator-difuser pipa PVC setengah silinder". ITS: Surabaya
- Prasetio, Lea. 2003. "Akustik". Diktat Fisika FMIPA ITS: Surabaya
- Sutrisno. 1979. "Fisika Dasar". Institut Teknologi Bandung: Bandung
- T. Miyashita. 2005. "*Sonic crystals and sonic wave-guides*" Meas. Sci. Technol. 16, R47–R63.
- Wardana, Andi. 2018. "Pengaruh Ukuran Pipa Terhadap Frekuensi Resonansidari Sonic Crystal Setengah Pipa". ITS: Surabaya

"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"

LAMPIRAN 1 DOKUMENTASI PENELITIAN



Proses melubangi pada triplek



Proses melubangi pada pipa



Pengambilan data dengan keadaan ruang kosong(tidak terdapat panel)



Pemasangan pipa



Pengukuran pada 1 layer dengan 6 lubang perforasi



Pengukuran pada 2 layer dengan 6 lubang perforasi konfigurasi *square*



Pipa dengan 3 layer *square*

LAMPIRAN 2 DATA PENGUKURAN

A. Tabel pengukuran

Tabel L2. 1 Data pengukuran pada 1 layer dengan jarak kisi 6,1 cm

Frekuensi	Kosong	SPL 2 Lubang	SPL 4 Lubang	SPL 6 Lubang	SPL 8 Lubang
25	32,68	31,12	30,88	35,99	34,51
31,5	39,69	37,14	38,11	41,30	41,36
40	54,34	50,38	52,83	54,50	56,23
50	66,97	62,55	65,39	66,75	69,08
63	70,50	66,01	68,59	70,44	72,68
80	72,43	68,01	70,34	73,39	76,04
100	73,39	69,73	71,15	73,23	75,01
125	73,03	68,65	70,87	73,38	75,66
160	68,43	65,22	66,58	68,11	70,73
200	65,06	63,42	64,30	65,70	65,45
250	68,42	65,47	66,02	70,09	71,81
315	70,63	66,88	68,27	70,98	73,57
400	63,17	63,11	61,79	63,31	63,82
500	65,59	62,91	63,93	66,21	62,52
630	67,89	47,80	62,39	64,87	69,47
800	74,90	70,37	68,36	73,19	74,17
1000	75,13	69,86	65,86	67,64	70,09
1250	73,24	63,51	66,42	71,55	67,93
1600	76,07	64,92	68,77	70,17	73,83
2000	72,96	62,66	65,62	68,76	67,10
2500	71,76	63,88	65,61	67,05	69,37
3150	73,47	70,74	69,92	72,25	72,29
4000	72,33	72,2	74,13	69,21	69,02

Tabel L2. 2 Data pengukuran *sonic crystal* pada 3 layer konfigurasi 0,5 *square*

Frekuensi	Kosong	SPL 2 Lubang	SPL 4 Lubang	SPL 6 Lubang	SPL 8 Lubang
25	32,68	41,39	32,43	31,52	41,43
31,5	39,69	41,55	39,46	38,52	42,37
40	54,34	53,37	54,69	53,69	55,72
50	66,97	65,28	67,64	66,58	68,16
63	70,50	69,51	71,17	70,1	71,95
80	72,43	71,63	74,34	73,52	75,88
100	73,39	72,54	73,60	72,48	74,59
125	73,03	72,16	73,97	73,83	75,24
160	68,43	68,80	69,94	69,27	70,21
200	65,06	59,07	64,95	65,74	65,27
250	68,42	62,45	64,42	71,54	71,93
315	70,63	66,69	64,43	67,81	73,35
400	63,17	64,48	63,29	54,02	63,69
500	65,59	63,38	64,21	63,34	63,55
630	67,89	64,11	66,28	63,13	64,60
800	74,90	68,64	67,03	64,48	67,60
1000	75,13	72,00	69,22	68,52	69,47
1250	73,24	68,04	66,50	70,62	73,26
1600	76,07	60,80	73,19	73,56	78,27
2000	72,96	56,30	54,65	60,51	59,61
2500	71,76	58,87	57,98	58,93	57,96
3150	73,47	53,41	62,71	52,95	58,71
4000	72,33	72,23	73,28	66,80	69,44

Tabel L2. 3 Data pengukuran pada 1 layer dengan jarak kisi 8,4 cm

Frekuensi	Kosong	SPL 2 Lubang	SPL 4 Lubang	SPL 6 Lubang	SPL 8 Lubang
25	32,68	30,62	32,52	40,51	34,59
31,5	39,69	38,93	40,19	41,88	41,98
40	54,34	52,43	54,89	55,10	56,63
50	66,97	64,33	67,83	67,13	69,04
63	70,50	67,81	72,10	70,48	72,66
80	72,43	68,07	74,76	73,74	75,59
100	73,39	74,10	74,54	73,91	75,29
125	73,03	70,13	74,88	74,02	75,28
160	68,43	67,08	69,58	69,09	70,77
200	65,06	65,88	66,77	66,93	66,46
250	68,42	69,03	68,33	69,05	71,51
315	70,63	70,81	72,87	71,02	73,79
400	63,17	66,61	65,03	62,96	66,18
500	65,59	66,58	67,73	67,38	62,70
630	67,89	60,56	60,34	67,26	66,14
800	74,90	71,77	74,72	73,17	75,39
1000	75,13	77,97	73,76	71,59	72,12
1250	73,24	74,32	71,94	73,50	72,19
1600	76,07	73,41	75,14	77,24	78,12
2000	72,96	72,23	70,03	70,38	70,28
2500	71,76	67,78	68,67	71,15	70,81
3150	73,47	71,88	77,51	71,77	75,35
4000	72,33	68,86	68,74	65,32	69,75

Tabel L2. 4 Data pengukuran *sonic crystal* pada 2 layer konfigurasi 0,3 *triangular*

Frekuensi	Kosong	SPL 2 Lubang	SPL 4 Lubang	SPL 6 Lubang	SPL 8 Lubang
25	32,68	29,71	31,72	33,98	33,97
31,5	39,69	37,28	39,86	40,53	41,60
40	54,34	51,40	54,98	55,00	56,15
50	66,97	63,31	67,74	67,31	68,56
63	70,50	65,96	71,58	70,67	72,06
80	72,43	65,88	74,54	73,53	75,72
100	73,39	72,99	74,78	74,16	74,79
125	73,03	70,33	74,47	73,86	74,91
160	68,43	66,77	70,02	68,68	69,84
200	65,06	63,07	66,31	66,43	66,22
250	68,42	68,06	67,16	70,10	71,52
315	70,63	69,29	70,41	70,36	73,37
400	63,17	66,62	66,19	54,64	65,06
500	65,59	63,88	69,46	68,06	63,27
630	67,89	62,49	51,62	65,67	62,83
800	74,90	69,96	73,16	74,48	74,50
1000	75,13	78,37	72,31	72,73	72,40
1250	73,24	75,79	74,28	75,23	75,17
1600	76,07	70,52	73,28	76,10	76,96
2000	72,96	68,37	66,38	66,68	65,18
2500	71,76	68,50	68,55	68,35	68,13
3150	73,47	73,39	77,55	71,41	74,58
4000	72,33	76,38	73,80	65,77	74,12

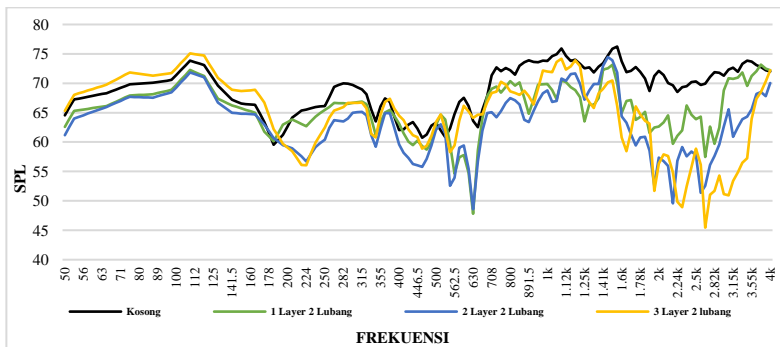
Tabel L2. 5 Data pengukuran *sonic crystal* pada 3 layer konfigurasi 0,3 *triangular*

Frekuensi	Kosong	SPL 2 Lubang	SPL 4 Lubang	SPL 6 Lubang	SPL 8 Lubang
25	32,68	29,40	31,92	33,10	34,92
31,5	39,69	37,10	39,49	39,87	41,26
40	54,34	50,24	54,50	54,64	55,66
50	66,97	62,29	67,49	67,27	68,24
63	70,50	65,87	71,13	70,64	72,17
80	72,43	66,63	74,29	73,35	75,93
100	73,39	73,72	73,83	73,23	74,34
125	73,03	70,38	74,50	73,53	75,32
160	68,43	68,70	69,59	68,9	70,32
200	65,06	60,67	63,74	66,38	65,92
250	68,42	66,70	65,64	70,57	71,83
315	70,63	68,49	68,40	64,95	73,14
400	63,17	69,23	65,65	63,95	61,95
500	65,59	64,19	67,80	68,73	64,08
630	67,89	62,13	64,22	64,70	63,17
800	74,90	69,89	73,31	74,03	75,95
1000	75,13	76,12	70,91	70,59	70,43
1250	73,24	76,08	71,66	76,81	75,82
1600	76,07	64,95	74,66	75,18	81,68
2000	72,96	67,14	60,14	63,51	60,90
2500	71,76	62,09	64,35	67,49	65,04
3150	73,47	73,51	76,03	76,69	75,48
4000	72,33	72,81	76,07	73,26	73,27

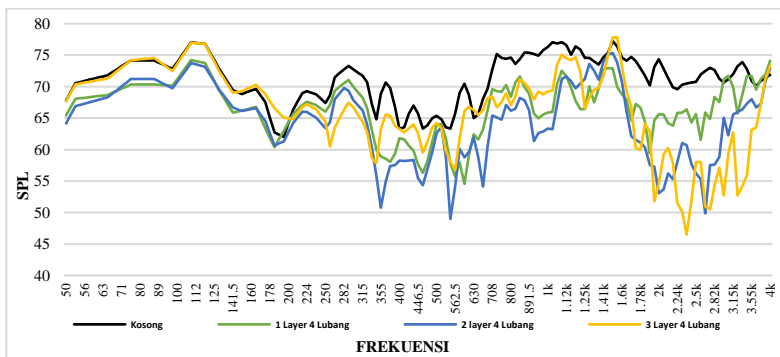
"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"

LAMPIRAN 3 PENGARUH JUMLAH LAYER

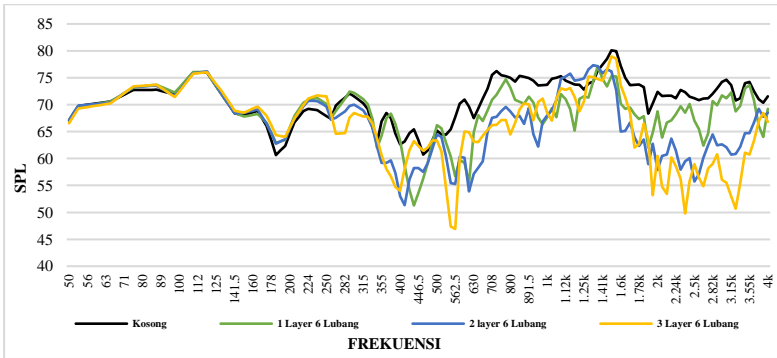
B. - Konfigurasi *Filling Ratio* 0,5 square



Gambar L3. 1 Grafik respon frekuensi pengaruh jumlah layer pada 2 lubang perforasi

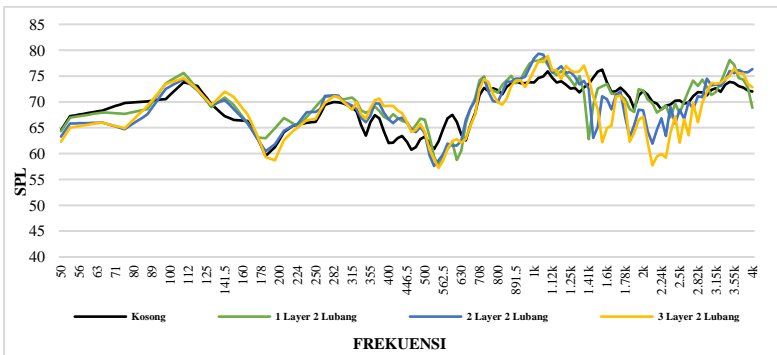


Gambar L3. 2 Grafik respon frekuensi pengaruh jumlah layer pada 4 lubang perforasi

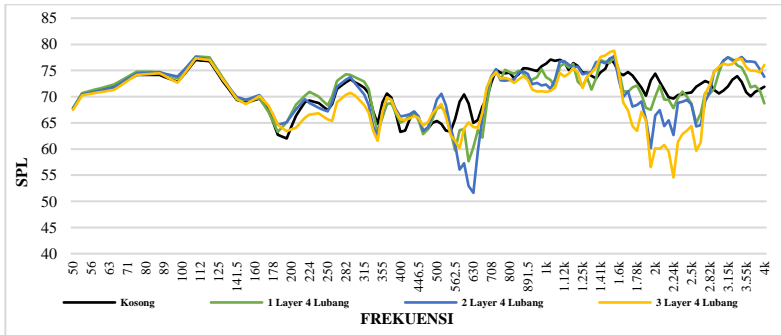


Gambar L3. 3 Grafik respon frekuensi pengaruh jumlah layer pada 6 lubang perforasi

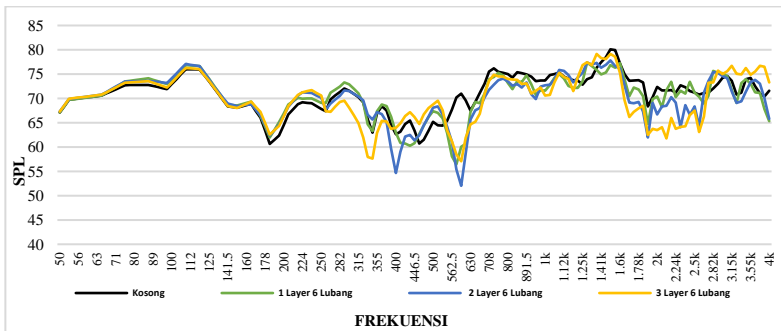
- Konfigurasi *Filling Ratio* 0,3 triangular



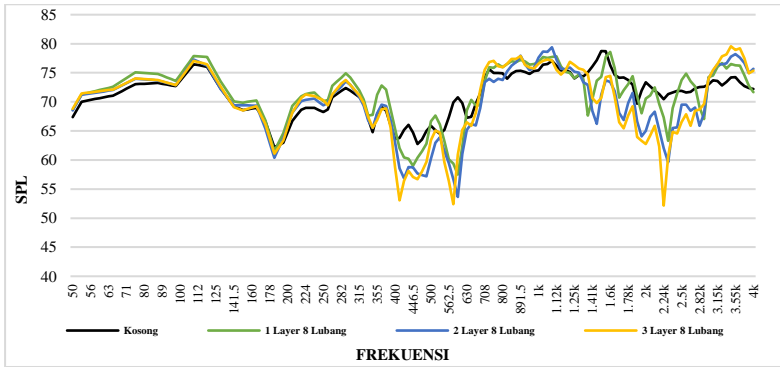
Gambar L3. 4 Grafik respon frekuensi pengaruh jumlah layer pada 2 lubang perforasi



Gambar L3. 5 Grafik respon frekuensi pengaruh jumlah layer pada 4 lubang perforasi



Gambar L3. 6 Grafik respon frekuensi pengaruh jumlah layer pada 6 lubang perforasi



Gambar L3. 7 Grafikrespon frekuensi pengaruh jumlah layer pada 8 lubang perforasi

BIOGRAFI PENULIS



Nama lengkap penulis yaitu Desy Ngamaliatul Khusna, dengan nama panggilan Desy. Penulis dilahirkan di Blitar, 22 Desember 1996, merupakan anak pertama dari 3 bersudara. Ayah penulis bernama Ayib Muftadiin dan Ibu bernama Nihayatus Solihah. Saat ini penulis tinggal di RT 01 RW 01 Desa Tunjung Kecamatan Udanawu Kabupaten Blitar. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Al-Hidayah , SDN Tunjung 03, SMPN 1 Srengat, dan SMAN 1 Srengat. Setelah lulus dari SMAN 1 Srengat pada tahun 2015 penulis mengikuti Tes SNMPTN dan diterima di Departemen Fisika, Fakultas Sains di ITS dan terdaftar dengan NRP 01111540000030. Selama penulis menjadi mahasiswa, penulis aktif di berbagai kegiatan kampus seperti kepanitiaan penerimaan mahasiswa baru ITS tahun 2017, berbagai seminar yang diadakan kampus dan organisasi himpunan mahasiswa fisika (Himasika ITS) selama 2 tahun kepengurusan sebagai staff di departemen Sosial Masyarakat (2016 – 2018). Penulis pernah menjadi asisten dosen di tahun 2019. Saran dan kritik mengenai tugas akhir ini dapat menghubungi email penulis ke desyklusna@gmail.com.