



TUGAS AKHIR - SF 184801

PENGARUH ARAH LUBANG PADA *SONIC CRYSTAL* TERHADAP ATENUASI DENGAN BAHAN PIPA PVC

CATHARINA RISTI INDRIYANI
NRP 0111154000038

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 ARAH LUBANG PADA SONIC CRYSTAL
TERHADAP ATENUASI DENGAN BAHAN PIPA PVC**

**CATHARINA RISTI INDRIYANI
NRP 0111154000038**

**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

**THE EFFECT OF HOLE DIRECTION IN SONIC CRYSTAL ON
ATTENUATION WITH PVC PIPE MATERIAL**

**CATHARINA RISTI INDRIYANI
NRP 0111154000038**

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

**Physics Departement
Faculty of Science
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2019**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH ARAH LUBANG PADA *SONIC CRYSTAL* TERHADAP ATENUASI DENGAN BAHAN PIPA PVC

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Sains
Pada

Bidang Studi Instrumentasi Akustik
Program Studi 1 Departemen Fisika
Fakultas Sains
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

CATHARINA RISTI INDRIYANI
0111154000038

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing I
Dr. Suyatno, M.Si
NIP. 19760620 200212.1.003



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



PENGARUH ARAH LUBANG PADA *SONIC CRYSTAL* TERHADAP ATENUASI DENGAN BAHAN PIPA PVC

Nama : Catharina Risti Indriyani
NRP : 0111154000038
Departemen : Fisika, Fakultas Sains-ITS
Pembimbing : Dr. Suyatno, M.Si
Drs. Gontjang Prajitno, M.Si

Abstrak

Kebisingan merupakan bunyi yang dapat mengganggu kenyamanan dan kesehatan manusia. Maka dibutuhkan alat yang dapat mengurangi kebisingan tersebut, salah satunya adalah menggunakan resonator. Bahan yang dapat dijadikan resonator adalah *sonic crystal*. Pada penelitian ini, *sonic crystal* yang digunakan adalah pipa PVC berukuran 1,055 meter dengan diameter pipa 1,5'' dan jari-jari di setiap lubang yaitu 6 mm. Pengukuran dilakukan pada ruangan *semianchoic* laboratorium Fisika Akustik, Fakultas Sains ITS. Variasi yang digunakan adalah sudut $0^\circ, 30^\circ, 90^\circ, 150^\circ, 180^\circ$. Adapun atenuasi rata-rata yang diperoleh yaitu untuk sudut 0° sebesar -4,04 dB, untuk 30° sebesar -10,66 dB, untuk sudut 90° sebesar -6,7 dB, untuk 150° sebesar -4,004 dB dan untuk sudut 180° sebesar -4,36 dB, ketika 8 lubang dengan frekuensi 343 Hz – 546,5 Hz. Maka dapat disimpulkan bahwa pada penelitian ini, pada saat panel dengan sudut 30° adalah yang paling optimal. Sehingga pengaruh dari perubahan arah lubang pada panel yaitu semakin banyak lubang pada panel yang menghadap sumber suara maka atenuasi

frekuensi resonansi yang terjadi akan lebih besar. Selain itu, pengaruh layer juga akan mempengaruhi besarnya atenuasi. Semakin banyak layer maka atenuasi yang dihasilkan juga akan semakin besar. Dengan sudut berapa saja atenuasi tertinggi terjadi pada jumlah layer yang paling besar. Pada penelitian ini jumlah yang paling optimal adalah 3 layer dengan atenuasi rata-rata sebesar -4,87 dB.

Kata kunci: atenuasi, frekuensi, pipa PVC, resonator, sonic crystal.

THE EFFECT OF HOLE DIRECTION IN SONIC CRYSTAL ON ATTENUATION WITH PVC PIPE MATERIAL

Name : Catharina Risti Indriyani
NRP : 01111540000038
Major : Physics, Faculty Science-ITS
Advisor : Dr. Suyatno, M.Si
Drs. Gontjang Prajitno, M.Si

Abstract

Noise is a sound that can disrupt comfort and human health. Then we need a tool that can reduce the noise, one of which is using a resonator. The material that can be used as a resonator is sonic crystal. In this study, the sonic crystal used was a PVC pipe measuring 1.055 meters in diameter with a pipe diameter of 1.5 'and fingers in each hole of 6 mm. Measurements were made in the semianechoic room at the Acoustic Physics Laboratory, Faculty of Science, ITS. Variations used are angles of 0° , 30° , 90° , 150° , 180° . The average attenuation obtained is for the angle 0° of -4.04 dB, for 30° of -10.66 dB, for the 90° angle of -6.7 dB, for 150° of -4.004 dB and for angles 180° is -4.36 dB, when 8 holes with a frequency of 343 Hz - 546.5 Hz. Then it can be concluded that in this study, when the panel with an angle of 30° is the most optimal. So the effect of changing the direction of the hole in the panel is that the more holes in the panel facing the sound source, the greater the attenuation of the resonant frequency. In addition, the influence of the layer will also affect the magnitude of attenuation. The more layers, the

greater attenuation generated will be. With any angle the highest attenuation occurs in the largest number of layers. In this study the most optimal number was 3 layers with an average attenuation of -4.87 dB.

Keywords: *attenuation, frequency, PVC pipe, resonator, sonic crystal*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Pengaruh Arah Lubang Pada Sonic Crystal Terhadap Frekuensi Resonansi dengan Bahan Pipa PVC”**. Tugas Akhir ini bertujuan untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Departemen Fisika, Fakultas Sains, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis menyadari bahwa penelitian dan penyusunan laporan ini tidak mungkin terlaksana dengan baik tanpa adanya dukungan, bimbingan, dan bantuan dari berbagai pihak. Maka penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini,
2. Dr. Suyatno, M.Si dan Drs. Gontjang Prajitno, M.Si selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah bersedia memberikan ilmu, arahan, bimbingan, serta saran yang membangun selama penelitian,
3. Kedua orang tua dan keluarga penulis yang telah banyak memberikan bantuan dan dukungan baik secara moril serta doa-doanya sehingga kegiatan dan penyusunan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan,
4. Maria yang membantu dalam mengolah data tugas akhir ini
5. Mas Annas, Desy, Rifki Diwangkara dan teman-teman, yang telah membantu dalam proses pengambilan data di laboratorium.
6. Tia, Sisil dan Mely yang telah memberikan dukungan dan semangat untuk menyelesaikan tugas akhir.

7. Teman-teman Fisika Akustik yang telah memberikan dukungan dan bantuan baik dalam hal sarana maupun semangat sehingga laporan ini dapat terselesaikan.
8. Teman-teman positron yang lain yang telah memberikan dukungan serta motivasi untuk bisa menyelesaikan laporan tugas akhir ini

Penulis berharap semoga tulisan ini dapat bermanfaat, baik bagi diri penulis sendiri, maupun bagi pengembangan dan pengayaan materi di keilmuan geofisika, khususnya di bidang geofisika. Penulis juga menerima kritik dan saran yang membangun untuk penulisan karya yang lebih baik kedepannya. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih.

Surabaya, Juni 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
COVER PAGE.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
Abstrak	iv
Abstract	vi
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan Laporan.....	3
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>Sonic Crystal</i>	5
2.2 Resonator	6

2.3	Refleksi Bunyi	9
2.4	Penelitian Sonic Crystal yang Telah Dilakukan	10
BAB III.....		15
METODOLOGI		15
3.1	Tahap-tahap Penelitian	15
3.2	Study Literatur	16
3.3	Peralatan yang Digunakan	16
3.4	Pembuatan Panel <i>Sonic Crystal</i>	16
3.5	Pengukuran Resonator	19
BAB IV		21
HASIL DAN PEMBAHASAN		21
4.1	Perhitungan Frekuensi Resonansi Dasar.....	21
Jumlah Lubang		23
4.2	Perhitungan Jarak antara Pusat Pipa	23
4.3	Hasil Pengukuran.....	24
4.3.1	Pengaruh Sudut terhadap Jumlah Lubang.....	24
4.3.2	Pengaruh Sudut terhadap Jumlah Layer	28
4.4	Pembahasan	33
BAB V		37
KESIMPULAN		37
5.1	Kesimpulan	37
DAFTAR PUSTAKA.....		39
BIODATA.....		53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Konfigurasi <i>Sonic Crystal</i> pada Susunan Kisi Persegi (Nicole, 2016).	5
Gambar 2. 2 Resonator Helmholtz (Barron, 2003)	7
Gambar 2. 3 Analogi listrik pada resonator helmholtz (Daniel, 2006).	8
Gambar 2.4 Refleksi bunyi pada berbagai permukaan (Mediastika, 2005)	10
Gambar 2. 5 Pengukuran <i>sonic crystal</i> dengan menggunakan bambu (C.Laggarigue, 2013).	11
Gambar 2. 6 Pengukuran <i>sonic crystal</i> (F.Morandi, 2016).	12
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian	15
Gambar 3. 2 Jarak antara pusat pipa.....	17
Gambar 3. 3 Variasi lubang (a)2 lubang (b)4 lubang (c)6 lubang (d)8 lubang	17
Gambar 3. 4 Variasi layer (a)3 layer (b)2 layer (c)1 layer.	18
Gambar 3. 5 Variasi sudut saat 0°	18
Gambar 3. 6 Variasi sudut saat 30°	18
Gambar 3. 7 Variasi sudut saat 90°	18
Gambar 3. 8 Variasi sudut saat 150°	18
Gambar 3. 9 Variasi sudut saat 180°	19
Gambar 3. 10 Rangkaian percobaan.....	19
Gambar 3. 11 Proses pengukuran <i>sonic crystal</i> pada pipa PVC .	20

Gambar 4.1 grafik hasil pengukuran dengan variasi sudut saat pipa dengan 2 lubang terhadap 3 layer	25
Gambar 4.2 grafik hasil pengukuran dengan variasi sudut saat pipa dengan 4 lubang terhadap 3 layer	26
Gambar 4.3 grafik hasil pengukuran dengan variasi sudut saat pipa dengan 6 lubang terhadap 3 layer.	27
Gambar 4.4 Grafik hasil pengukuran dengan variasi pipa dengan 8 lubang terhadap 3 layer.....	29
Gambar 4.5 Grafik hasil pengukuran dengan variasi sudut saat pipa dengan 8 lubang terhadap 2 layer.	30
Gambar 4.6 Grafik hasil pengukuran dengan variasi sudut saat pipa dengan 8 lubang terhadap 1 layer.	31
Gambar 4.7 Grafik hasil pengukuran pada <i>microphone</i> depan dengan variasi sudut saat pipa dengan 8 lubang terhadap 3 layer.....	32

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Frekuensi resonansi dasar berdasarkan jumlah lubang perforasi	23
Tabel 4.2 Variasi lubang dengan atenuasi tertinggi saat 3 layer dengan sudut 30°	28
Tabel 4.3 Variasi sudut pada saat 3 layer dengan 8 lubang.....	31

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam kehidupan sehari-hari manusia dapat mendengar banyak suara disekitarnya. Kepekaan telinga manusia normal memiliki dua ambang yaitu ambang pendengaran dan ambang rasa sakit. Sehingga suara yang dapat didengarkan oleh manusia adalah suara yang memiliki frekuensi antara 20 Hz sampai dengan 20.000 Hz. Bunyi yang dapat membuat manusia menjadi tidak nyaman atau membuat pendengaran menjadi terganggu merupakan suatu kebisingan (Kotzen, 1999). Dimana kebisingan tersebut dapat menyebabkan gangguan kesehatan jika didengarkan oleh telinga manusia berulang-ulang kali. Contoh dari kebisingan yang biasanya sering didengarkan manusia berulang-ulang kali yang terkadang sering diabaikan adalah saat mendengarkan konser musik rock, serine ambulan, atau ledakan kembang api. Terdapat beberapa cara agar dapat mengurangi kebisingan tersebut, contohnya seperti menggunakan resonator. Resonator merupakan salah satu alat yang dapat menghilangkan atau menguatkan bunyi pada frekuensi tertentu. Salah satu bahan yang dapat dijadikan resonator adalah bahan *sonic crystal*, karena pada bahan *sonic crystal* dapat mengontrol kebisingan udara bebas pada frekuensi tertentu. Selain itu, *sonic crystal* merupakan material yang ringan serta mudah untuk didapatkan misalnya seperti bamboo dan juga pipa PVC.

Pada penelitian *sonic crystal* sebagai *noise barrier* yang telah dilakukan oleh F. Morandi pada tahun 2016 dengan menggunakan bahan yaitu pipa PVC. Pada pengukuran yang dilakukan oleh F.Morandi ini dapat diketahui bahwa intensitas bunyi menggunakan panel pipa PVC dapat menurunkan intensitas

bunyi dengan frekuensi sebesar 500 Hz hingga 1100 Hz pada medan bebas. Nilai *reflection index* terendah terdapat pada frekuensi 1250 Hz, sedangkan *reflection index* tertinggi adalah 800 Hz untuk pengukuran *sonic crystal* yang digunakan sebagai *noise barrier* (F.Morandi, 2016). Pada tahun 2018 penelitian *sonic crystal* sebagai resonator juga telah dilakukan oleh Sulistia Ningsih. Pada pengukuran *sonic crystal* ini, pengukuran dilakukan dengan menggunakan variasi yaitu sudut datang suara dan jumlah bilah yang digunakan. Sehingga dari penelitian ini diketahui bahwa semakin besar ukuran pipa berakibat pada bertambahnya jumlah titik yang beresonansi, selain itu semakin banyak jumlah bilah pada panel berakibat pada bertambah banyak pula titik resonansinya (Sulitia, 2018).

Pada penelitian *sonic crystal* sebagai resonator ini digunakan pipa PVC, karena pipa PVC merupakan bahan untuk membuat *sonic crystal* yang mudah untuk didapatkan. Dimana pengukuran yang dilakukan pada penelitian ini berfungsi untuk mengetahui pengaruh dari perubahan sudut dan juga jumlah layer pada panel *sonic crystal*. Agar dapat berfungsi sebagai resonator maka pipa diberi lubang sebagai variasinya. Maka dari variasi tersebut dapat diketahui parameter dari frekuensi resonansi dari panel yang telah dibuat. Sehingga pada penelitian ini, digunakan pengaruh arah lubang pada pipa PVC terhadap atenuasi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh arah lubang pada *sonic crystal* terhadap atenuasi ?
2. Bagaimana pengaruh jumlah layer pada *sonic crystal* terhadap atenuasi ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai penulis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh arah lubang pada *sonic crystal* terhadap atenuasi.
2. Mengetahui pengaruh jumlah layer pada *sonic crystal* terhadap atenuasi.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian tugas akhir ini, memiliki batasan masalah sebagai berikut :

1. Bahan dasar yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah pipa PVC berukuran 1,5'' dengan diameter pipa yaitu 48 mm, dan ukuran pipa yang akan dibuat panel yaitu memiliki panjang 105,5 cm.
2. *Filling ratio* yang digunakan adalah *square* 0,5 dengan variasi sudut lubang yaitu 0°, 30°, 90°, 150°, 180° dan variasi lubang yang digunakan adalah 2,4,6,8. Serta variasi layer yaitu 1 layer, 2 layer dan 3 layer.
3. Pengukuran dilakukan ruangan *semi-anechoic* Laboratorium Akustik Fisika ITS.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pengaruh arah lubang terhadap *sonic crystal* dengan bahan pipa PVC.

1.6 Sistematika Penulisan Laporan

Sistematika penulisan yang digunakan penulis dalam penulisan laporan Tugas Akhir adalah sebagai berikut:

BAB I : Pendahuluan

Bab Pendahuluan berisi tentang Latar Belakang penelitian, Rumusan Masalah pada penelitian, Tujuan dari penelitian, Batasan Masalah penelitian dan Sistematika Penulisan.

BAB II : Tinjauan Pustaka

Bab Tinjauan Pustaka berisi tentang teori penunjang penelitian.

BAB II : Metodologi

Bab Metodologi berisi tentang diagram alir, penelitian alat dan bahan, metodologi pengukuran.

BAB IV : Analisa dan Pembahasan

Bab Analisa dan Pembahasan berisi analisa data dan pembahasan tentang hasil dari penelitian.

BAB V : Kesimpulan

Bab Kesimpulan berisi kesimpulan dari analisa data dan pembahasan yang berdasarkan pada tujuan penelitian .

DAFTAR PUSTAKA

Daftar Pustaka adalah sumber referensi pengambilan bahan atau literatur pada penulisan laporan Tugas Akhir.

LAMPIRAN

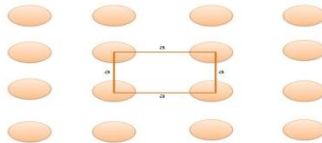
Lampiran berisi data-data dari penelitian yang dilakukan dan dapat mencantumkan gambar dokumentasi selama pelaksanaan kegiatan penyusunan laporan Tugas Akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Sonic Crystal*

Sonic crystal merupakan suatu bahan yang dapat mengendalikan bunyi pada frekuensi tertentu. Sehingga *sonic crystal* biasanya digunakan sebagai bahan yang dapat mengisolasi pada frekuensi tertentu yang diinginkan, namun hal tersebut dapat dilakukan tergantung dari bahan, bentuk celah, jarak antar celah dan jarak antar bahan. Karena *sonic crystal* disusun membentuk suatu jaringan yang secara teori jaringan tersebut dapat memanipulasi gelombang bunyi dengan membelokkan gelombang bunyi tersebut jika ukuran panjang gelombang suaranya lebih kecil dari mediumnya, namun jika sebaliknya maka gelombang bunyi tersebut akan teredam (Federica, 2015).

Pada suatu penelitian *sonic crystal* yang telah dilakukan mengatakan bahwa parameter yang mempengaruhi kinerja dari *sonic crystal* termasuk dalam topologi dari hamburan. Dimana kisi yang simetris dan fraksi pengisi dapat mempengaruhi terbentuk *bandgap*. Kisi yang simetris adalah jarak antara pusat silinder yang saling berdekatan, sedangkan Fraksi pengisi adalah rasio dari volume yang ditempati suatu bahan (Nicole, 2016). Pada gambar 2.1 menunjukkan bagaimana konfigurasi *sonic crystal* pada kisi persegi.



Gambar 2. 1 Konfigurasi *Sonic Crystal* pada Susunan Kisi Persegi (Nicole, 2016).

Pada gambar 2.1 nilai frekuensi pusat dapat menggunakan persamaan hukum Bragg yaitu (Nicole, 2016):

$$fc = \frac{nc}{2a}, n = 1, 2, 3, \dots \quad (2.1)$$

Dimana f adalah frekuensi pusat, c adalah kecepatan suara pada medium udara (Nicole, 2016). Selain itu, parameter lainnya yang cukup penting adalah *filling ratio*. Definisi dari *filling ratio* adalah perbandingan antara volume yang ditempati oleh bahan *sonic crystal* dengan volume total *sonic crystal*. Pada konfigurasi kisi persegi, bandgap optimalnya adalah ketika Fr (*filling ratio*) bernilai antara 0,4 hingga 0,6. Sehingga untuk menentukan *filling ratio* pada kisi persegi adalah sebagai berikut :

$$f_r = \frac{\pi d^2}{4a^2} \quad (2.2)$$

Dengan d adalah diameter dari pipa dan a adalah konstanta kisinya (T.Miyashita, 2005).

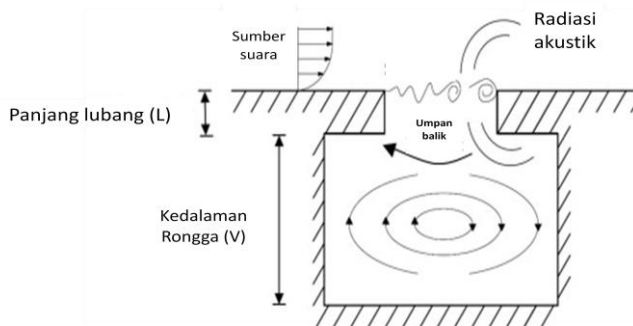
2.2 Resonator

Resonator adalah suatu alat yang digunakan untuk meredam suatu bunyi. Cara kerja dari sebuah resonator yaitu ketika ada suatu gelombang bunyi yang masuk, maka bunyi tersebut akan terus dipantulkan terus menerus didalam resonator hingga energinya diserap habis. Namun karena permukaan yang tidak beraturan resonator juga dapat berfungsi sebagai diffuser. Salah satu contoh resonator yang masih dapat dikembangkan adalah resonator helmholtz, dimana bentuk dari resonator helmholtz adalah kotak tertutup dengan lubang di atasnya seperti gambar 2.2. Persamaan yang dapat ditulis untuk menghitung frekuensi resonansi dari resonator yang tidak teredam yaitu:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{a}{LV}} \quad (2.3)$$

Dimana f_0 adalah frekuensi tidak teredam, c adalah kecepatan, a merupakan luas permukaan leher, V adalah volume *cavity*, L ialah

panjang leher pipa tersebut (K.B.Ginn, 1978). Pada gambar 2.2 menunjukkan cara kerja dari resonator Helmholtz.



Gambar 2. 2 Resonator Helmholtz (Barron, 2003)

Berdasarkan gambar 2.2 nilai frekuensi resonansi pada resonator helmholz dengan menggunakan persamaan yaitu (Barron, 2003) :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{M_A C_A}} \quad (2.4)$$

Dengan f_0 adalah frekuensi resonansi dasar, M_A adalah massa akustik (kg/m^4) dan C_A adalah *acoustic compliance* (m/s). Sehingga untuk menentukan massa akustiknya (M_A) digunakan persamaan sebagai berikut ini :

$$M_A = \frac{\pi a^2 \rho_0 L_e}{(\pi a^2)^2} \quad (2.5)$$

$$M_A = \frac{\rho_0 L_e}{\pi a^2} \quad (2.6)$$

Persamaan 2.5 diatas merupakan persamaan untuk massa akustik pada gambar 2.2, karena terdapat tambahan massa gas (ρ_0) disetiap ujung tabung tersebut. Dengan r merupakan jari-jari lubang. Sedang untuk mencari L_e persamaan yang digunakan adalah :

$$L_e = L + \Delta L_1 + \Delta L_2 \quad (2.7)$$

Dengan L adalah ketebalan pipa dan ΔL_1 serta ΔL_2 adalah nilai koreksi tiap ujung pipa. Namun untuk mengetahui nilai koreksi tiap ujung pipa tergantung dari ujung pipa tersebut tertutup atau terbuka. Pada pipa ujung terbuka ΔL adalah perkalian dari 0,613 dikalikan dengan a (Barron, 2003). Sedangkan untuk ujung pipa yang tertutup untuk mencari ΔL yaitu :

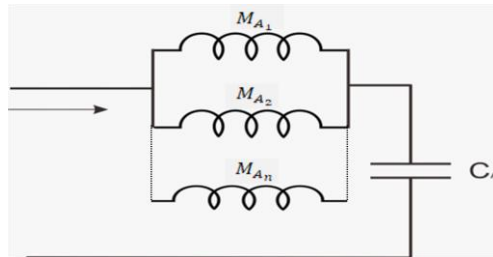
$$\Delta L = \frac{8r}{3\pi} \quad (2.8)$$

Maka untuk mencari nilai *compliance* akustik (C_A) yaitu sebagai berikut :

$$C_A = \frac{V}{\rho_0 c^2} \quad (2.9)$$

Adapun satuan yang digunakan sebagai berikut ini, c memiliki satuan m/s, a memiliki satuan meter (m), L memiliki satuan meter (m), V memiliki satuan m^3 dan massa jenis udara memiliki satuan yaitu kg/m^3 (Barron, 2003).

Apabila sebuah resonator Helmholtz memiliki banyak lubang pada satu pipa maka dapat dihitung menggunakan rangkaian listrik yang digambarkan seperti pada gambar 2.3 berikut ini.



Gambar 2. 3 Analogi listrik pada resonator helmholtz (Daniel, 2006).

Berdasarkan gambar 2.3 nilai frekuensi dasar resonator Helmholtz dengan jumlah lubang n adalah sebagai berikut ini (Daniel, 2006):

$$\frac{1}{M_{A_{TOTAL}}} = \frac{1}{M_{A_1}} + \frac{1}{M_{A_2}} + \dots + \frac{1}{M_{A_n}} \quad (2.10)$$

Pada gambar 2.3, M_{A_1} dan M_{A_2} memiliki nilai yang sama sehingga nilai $M_{A_{TOTAL}}$ setelah dijumlahkan sesuai dengan persamaan 2.9 adalah sebagai berikut (Daniel, 2006),

$$\frac{1}{M_{A_{TOTAL}}} = \frac{n}{M_A} \quad (2.11)$$

$$M_{A_{TOTAL}} = \frac{M_A}{n} \quad (2.12)$$

Dimana, syarat resonansi adalah Z_m sama dengan Z_a . Dengan Z_m adalah impedansi massa akustik, sedangkan Z_a adalah impedansi udara yang dapat diketahui dari perbandingan tekanan dari sumber suara dan volume velositas udara (Barron, 2003). Sehingga didapatkan persamaan berikut ini,

$$Z_m = Z_a \quad (2.13)$$

$$j\omega M_{A_{TOTAL}} = \frac{1}{j\omega C_A} \quad (2.14)$$

$$\frac{\omega M_A}{n} = \frac{1}{\omega C_A} \quad (2.15)$$

$$\omega^2 = \frac{n}{C_A M_A} \quad (2.16)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{n}{C_A M_A}} \quad (2.17)$$

Dengan $\omega = 2\pi f_{0n}$, f_{0n} adalah frekuensi resonansi dasar dengan jumlah lubang n (Barron, 2003).

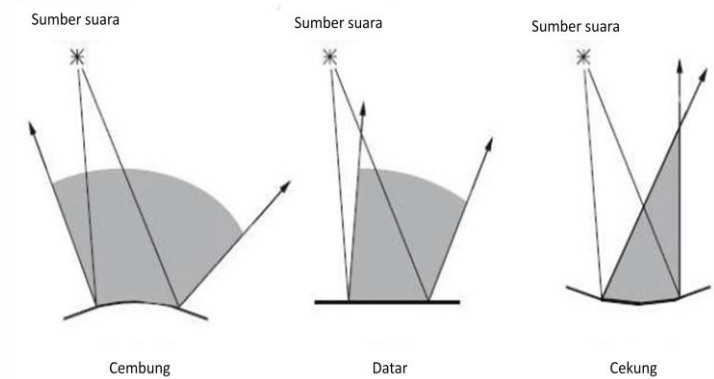
$$2\pi f_{0n} = \sqrt{\frac{n}{C_A M_A}} \quad (2.18)$$

$$f_{0n} = \frac{\sqrt{n}}{2\pi\sqrt{M_A C_A}} \quad (2.19)$$

2.3 Refleksi Bunyi

Bunyi yang mengenai permukaan keras maka sebagian besar energi bunyi tersebut akan direfleksikan atau dipantulkan.

Dimana, refleksi bunyi akan dipantulkan sebelum bunyi tersebut sampai kepada pendengar. Pemantulan kembali gelombang bunyi yang menumbuk suatu permukaan menurut hukum Snellius akan sama sudut datang dengan sudut pantulnya. Pemantulan bunyi pada setiap medium akan berbeda-beda, tergantung dari bahan dan juga bentuk dari pelapis permukaannya. Hal ini menyebabkan adanya energi yang berubah atau berkurang, selain itu pemantulan juga menyebabkan adanya perubahan arah rambat gelombang (Mediastika, 2005).



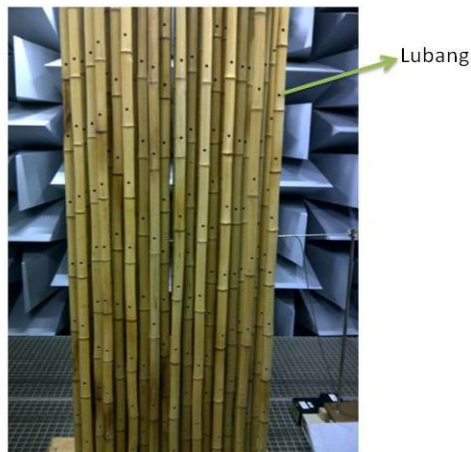
Gambar 2.4 Refleksi bunyi pada berbagai permukaan (Mediastika, 2005)

Berdasarkan gambar 2.4, pada bidang datar refleksi bunyi akan merata dan pada bidang cembung refleksi bunyi akan menyebar lebih luas, sedangkan pada bidang cekung refleksi bunyi akan memusat pada satu titik tertentu. Suatu material yang dapat memantulkan gelombang baik berupa gelombang cahaya maupun bunyi adalah reflector (Ambarwati, 2010).

2.4 Penelitian Sonic Crystal yang Telah Dilakukan

Pada tahun 2013, C. Laggarigue melakukan penelitian tentang *sonic crystal* dengan menggunakan bambu sebagai

bahannya. Penelitian ini dilakukan di Prancis pada ruangan *anechoic*. Untuk menguji resonator dari bambu tersebut maka bambu tersebut dilubangi dengan bentuk lingkaran kecil yang terlihat seperti pada gambar 2.5 pada setiap ruasnya dan bambu yang digunakan memiliki ukuran diameter antara 3,7 sampai 4,3 cm dan panjang 2,6 meter.

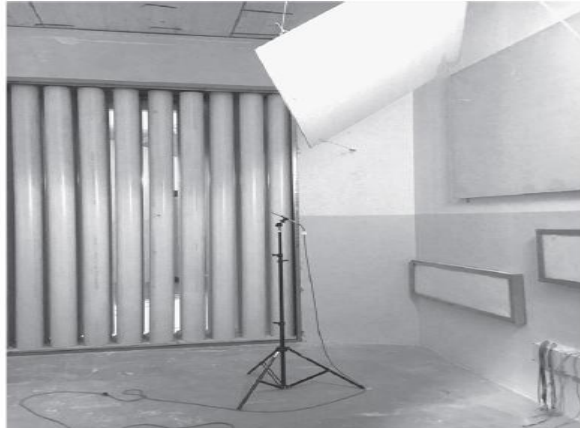


Gambar 2. 5 Pengukuran *sonic crystal* dengan menggunakan bambu (C.Laggarigue, 2013).

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh C.Laggarigue dihasilkan bahwa resonator dengan bahan bambu dapat mengurangi atau menurunkan intensitas bunyi pada frekuensi 2000 Hz yang mana hasil eksperimen ini sesuai dengan (MST) *Multiple Scattering Theorem* (Laggarigue, 2013).

Pada tahun 2016, F.Morandi juga melakukan penelitian tentang *sonic crystal* yang digunakan sebagai *noise barrier* dengan menggunakan bahan berupa pipa PVC. Seperti gambar 2.6 pada penelitian ini, panel yang dibuat berbentuk kisi persegi dengan panjang pipa yaitu 1,5 meter dan ketebalan pipa 3,2 mm serta pipa memiliki jari-jari yaitu 80 mm. Pipa tersebut tidak

dilubangi. Pengukuran dilakukan dengan meletakkan sumber sejauh 1,5 meter dari panel *sonic crystal* dan *microphone* diletakkan sejauh 25 cm dari panel *sonic crystal* (F.Morandi, 2016).



Gambar 2. 6 Pengukuran *sonic crystal* (F.Morandi, 2016).

Sehingga pada pengukuran yang dilakukan oleh F.Morandi ini dapat diketahui bahwa intensitas bunyi menggunakan panel pipa PVC dapat menurunkan intensitas bunyi dengan frekuensi sebesar 500 Hz hingga 1100 Hz pada medan bebas. Nilai *reflection index* terendah terdapat pada frekuensi 1250 Hz, sedangkan *reflection index* tertinggi adalah 800 Hz untuk pengukuran *sonic crystal* yang digunakan sebagai *noise barrier* (F.Morandi, 2016).

Pada tahun 2018, Sultia Ningsih juga telah melakukan penelitian tentang *sonic crystal* yang digunakan sebagai resonator untuk menyelesaikan tugas akhir. Pada penelitian bahan yang digunakan adalah pipa PVC dan memiliki tinggi ruangan yaitu 2,937 m dengan lebar ruangan 3,472 m serta panjang ruangan 5,862 m. adapun variasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu jumlah bilah yang terdiri dari 1, 2 dan 3 bilah serta ukura pipa

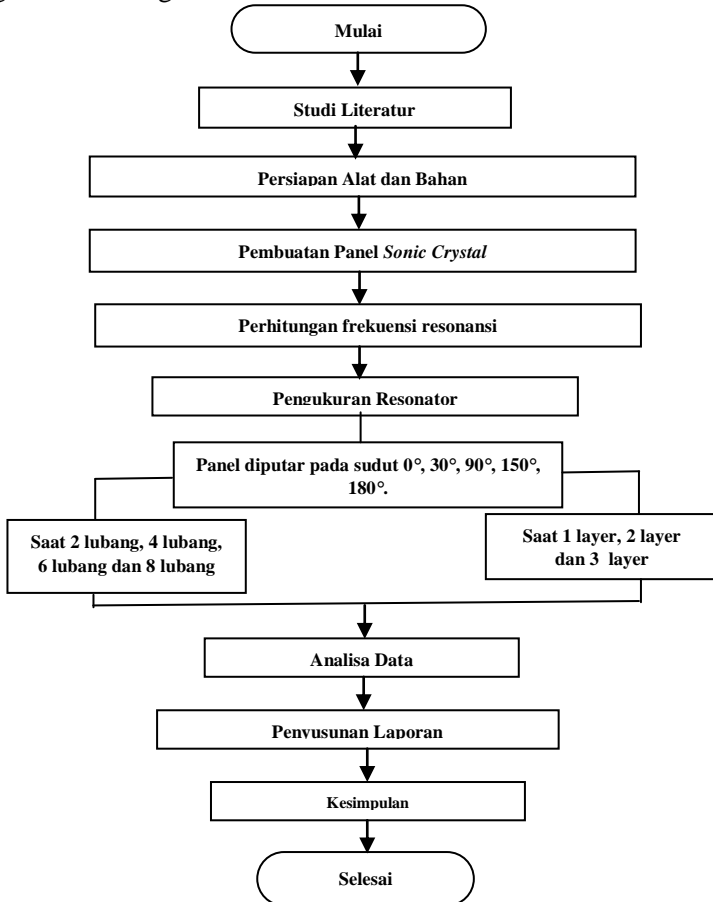
yaitu 1'5", 2, dan 3". Pengukuran dilakukan dengan jarak antara panel dan speaker adalah 2,36 m dan microphone diletakkan tepat di belakang panel dengan jarak 9 cm. Sehingga dari penelitian ini diketahui bahwa semakin besar ukuran pipa berakibat pada bertambahnya jumlah titik yang beresonansi, selain itu semakin banyak jumlah bilah pada panel berakibat pada bertambah banyak pula titik resonansinya (Sulistia, 2018).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

3.1 Tahap-tahap Penelitian

Tahapan pelaksanaan penelitian ini berdasarkan pada diagram alir sebagai berikut ini:



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

3.2 Study Literatur

Studi literatur dilakukan supaya lebih mudah memahami konsep dari tugas akhir yang digunakan secara detail yang dapat dilakukan dengan cara membaca dari internet, jurnal dan buku. Karena pada studi literatur berfungsi untuk mengumpulkan segala informasi yang dapat digunakan pada dasar teori maupun metodologi.

3.3 Peralatan yang Digunakan

Pada penelitian tugas akhir ini alat-alat yang akan digunakan beserta dengan fungsinya adalah sebagai berikut ini :

- i. *Laptop/Personal Computer* digunakan sebagai alat yang dapat menghasilkan dan mengolah impuls bunyi dari *software realtime analyzer*.
- ii. *Amplifier* digunakan untuk penguat bunyi, agar bunyi yang dihasilkan pada *speaker* menjadi lebih keras.
- iii. *Speaker* digunakan sebagai alat untuk menghasilkan sumber bunyi.
- iv. *Soundcard* digunakan sebagai jembatan antara laptop/PC dengan *amplifier*.
- v. *Microphone* digunakan sebagai alat untuk menangkap suara.
- vi. *Standmic* digunakan sebagai alat penyangga atau penopang *microphone*.

3.4 Pembuatan Panel *Sonic Crystal*

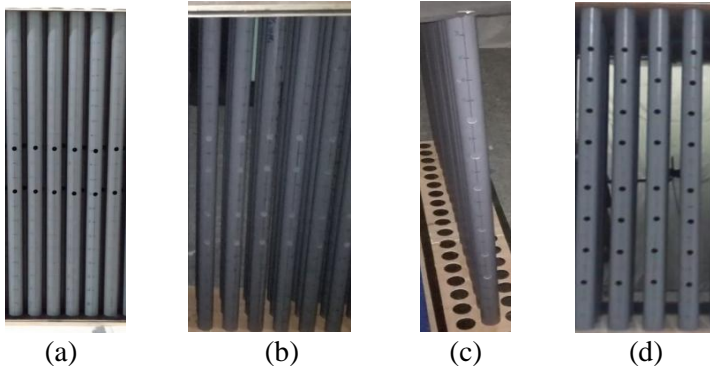
Pembuatan panel pada penelitian *sonic crystal* sebagai resonator pada penelitian ini menggunakan bahan utama yaitu pipa PVC. Pipa PVC digunakan karena merupakan bahan yang mudah ditemukandalam kehidupan sehari-hari dan memiliki sifat homogen (ukurannya sama). Pertama-tama siapkan triplek, gergaji, alat bor dan juga pipa PVC untuk membuat panel *sonic*

crystal. Kemudian triplek dengan panjang 112 cm dan tebal 25 cm dilubangi dengan diameter sesuai dengan pipa PVC 1,5” dengan jarak antara pusat pipa (a) adalah 6,0144 cm. Adapun konfigurasi yang digunakan pada penelitian ini adalah konfigurasi square/persegi dengan pipa sebanyak 18 buah setiap layernya, sehingga susunan panel seperti pada gambar 3.2:



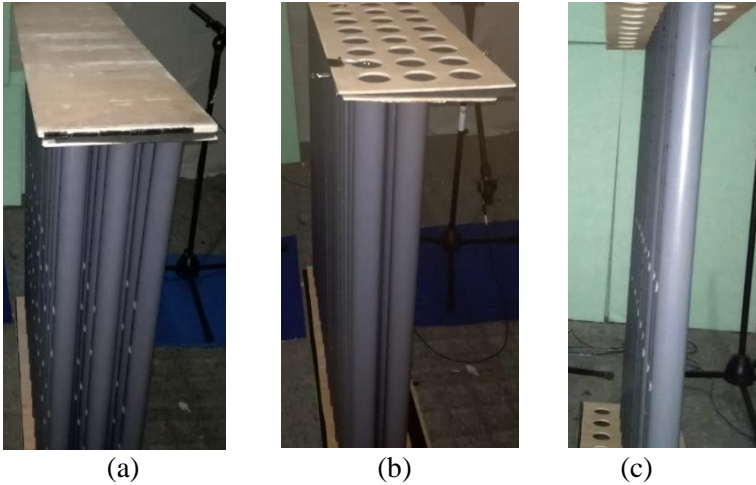
Gambar 3. 2 Jarak antara pusat pipa

Kemudian pipa dipotong dengan ukuran 1,055 meter. Setelah itu, pipa diberi lubang sebagai variasi yaitu 2 lubang, 4 lubang, 6 lubang dan 8 lubang dengan jari-jari lubang yaitu 8 mm. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.3 berikut ini:



Gambar 3. 3 Variasi lubang (a)2 lubang (b)4 lubang (c)6 lubang (d)8 lubang.

Pada gambar 3.4 dapat dilihat pula selain variasi lubang pada penelitian ini menggunakan variasi layer yaitu 1 layer, 2 layer, dan 3 layer.



Gambar 3. 4 Variasi layer (a)3 layer (b)2 layer (c)1 layer.

Serta pada gambar 3.5 variasi yang digunakan adalah variasi sudut 0° , 30° , 90° , 150° , 180° .



Gambar 3. 5 Variasi sudut saat 0°



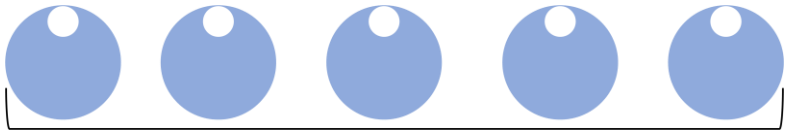
Gambar 3. 6 Variasi sudut saat 30°



Gambar 3. 7 Variasi sudut saat 90°



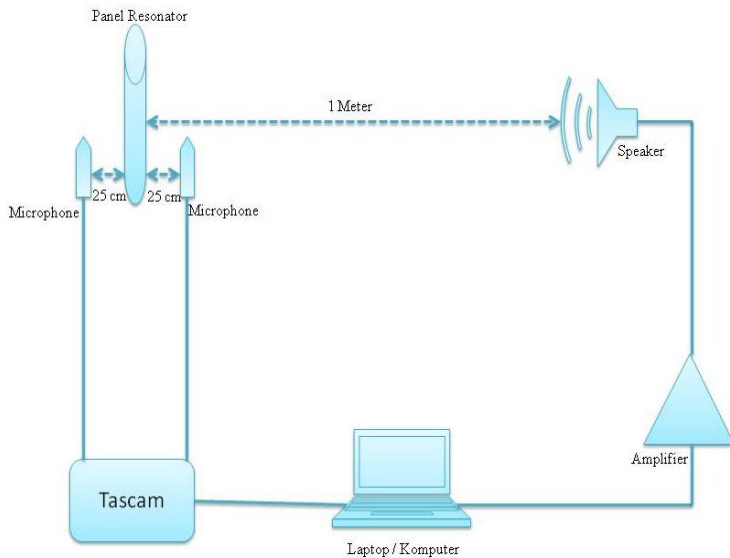
Gambar 3. 8 Variasi sudut saat 150°



Gambar 3. 9 Variasi sudut saat 180°

3.5 Pengukuran Resonator

Pengukuran kemampuan resonansi *sonic crystal* dilakukan pada ruangan *semi-anechoic* Laboratorium Akustik Fisika ITS. Metode yang digunakan pada penelitian tugas akhir kali ini yaitu dengan cara mengukur SPL pada ruangan kosong yang tidak terdapat bahan *sonic crystal* dan juga SPL total yang dimana terdapat bahan *sonic crystal* didalamnya. Sehingga pada penelitian ini menggunakan cara pengukuran seperti pada gambar 3.6:



Gambar 3. 10 Rangkaian percobaan

Seperti yang dilihat pada gambar 3.6 jarak antara panel *sonic crystal* dengan *speaker* yaitu 1 meter dan jarak antara panel dengan *microphone* adalah 0,25 meter.



Gambar 3. 11 Proses pengukuran *sonic crystal* pada pipa PVC

Berdasarkan gambar 3.7 pengukuran dilakukan dengan variasi sudut, layer dan jumlah lubang. Untuk variasi sudut digunakan sudut 0° , 30° , 90° , 150° , 180° dengan cara memutar panel *sonic crystal*. Sudut 0° dan 30° digunakan untuk mewakili *scattering* sudut kecil, sedangkan sudut 90° , 150° serta 180° untuk mewakili *scattering* sudut besar. Untuk variasi layer digunakan 1 layer, 2 layer dan 3 layer yang digunakan sebagai panel *sonic crystal*. Sedangkan untuk variasi lubang digunakan 2 lubang, 4 lubang, 6 lubang, dan 8 lubang pada setiap pipa PVC.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian tugas akhir ini, pengambilan data dilakukan didalam ruangan *semianchoic* di laboratorium Akustik Fisika ITS. Untuk mengetahui pengaruh dari frekuensi resonansi pada panel, maka dilakukan perhitungan terlebih dahulu untuk menentukan berapa frekuensi dasar dari panel yang akan digunakan.

4.1 Perhitungan Frekuensi Resonansi Dasar

Untuk mengetahui frekuensi resonansi dasarnya, digunakan rumus resonansi resonator Helmholtz (persamaan 2.4). Dengan massa jenis udara $\rho_0 = 1,23 \text{ kg/m}^3$ dan cepat rambat bunyi di udara $c = 343 \text{ m/s}$ serta jari-jari lubang yang digunakan adalah 8 mm. Adapun pipa PVC yang digunakan memiliki panjang 1,055 meter. Namun sebelum mencari nilai frekuensi resonansi dasar, perlu dicari nilai panjang leher lubang beserta faktor koreksinya dengan menggunakan persamaan 2.7:

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

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

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

$$L_e = 0,015588 \text{ m}$$

Setelah itu, dapat dicari nilai massa akustiknya dengan menggunakan persamaan 2.6 :

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

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

$$M_A = \frac{1,23 \times 0,015588}{3,14 \times (0,008)^2}$$

$$M_A = 95,4089 \text{ kg/m}^4$$

Dan untuk mengetahui nilai compliance akustiknya digunakan persamaan 2.9 :

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

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

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

$$C_A = 1,1079 \times 10^{-8} \text{ m}^4 \text{ s}^2 / \text{kg}$$

Sehingga nilai dari resonansi resonator dasar Helmholtz pada saat memiliki 2 lubang menggunakan persamaan 2.19 sebagai berikut.

$$f_{0n} = \frac{\sqrt{n}}{2\pi\sqrt{M_A C_A}}$$

$$f_{02} = \frac{\sqrt{2}}{2 \times 3,14 \sqrt{95,4089 \times 1,1079 \times 10^{-8}}}$$

$$f_{02} = 219.03 \text{ Hz}$$

Maka diketahui bahwa frekuensi dasar pada pipa dengan 2 lubang yaitu 219.03 Hz. Saat lubang ditambahkan maka frekuensi resonansi dasarnya dapat dilihat pada table 4.1 berikut,

Tabel 4. 1 Frekuensi resonansi dasar berdasarkan jumlah lubang perforasi

Jumlah Lubang	Frekuensi resonansi (Hz)
	f_0
1	154.87
2	219.03
4	309.75
6	379.36
8	438.05

Berdasarkan tabel 4.1 diatas dapat diketahui bahwa semakin banyak lubang maka frekuensi resonansi dasarnya juga akan semakin besar juga.

4.2 Perhitungan Jarak antara Pusat Pipa

Seperti yang disampaikan pada bab 2, kinerja sonic crystal dengan susunan kisi persegi memiliki bandgap optimal ketika *filling rasio* bernilai antara 0,4 hingga 0,6. (T.Miyashita, 2005). Sehingga pada penelitian ini dipilih *filling rasio* 0,5 dengan diameter pipa yaitu 48 mm. Adapun untuk menentukan jarak antara pipa digunakan persamaan 2.2:

$$f_r = \frac{\pi d^2}{4a^2}$$

$$0,5 = \frac{3,14 (0.048)^2}{4a^2}$$

$$a^2 = \frac{3,14 (0.048)^2}{4 \times 0,5}$$

$$a^2 = 0,003617$$

$$a = 0,060144 \text{ meter}$$

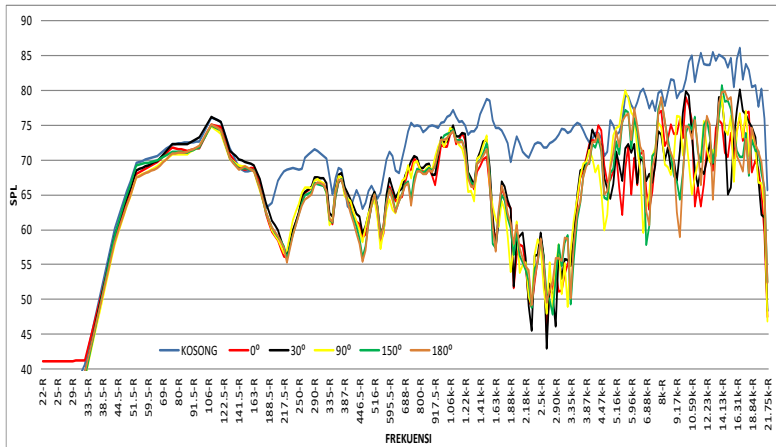
Sehingga jarak antara pusat pipa adalah 6,0144 cm untuk fr 0,5.

4.3 Hasil Pengukuran

Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan maka dapat dilakukan beberapa perbandingan. Adapun variasi yang digunakan adalah variasi jumlah lubang, jumlah layer dan juga perubahan sudut lubang pada panel terhadap arah sumber suara. Dengan menggunakan pipa dengan ukuran 1,5'' dan panjang panel adalah 1,18 meter serta lebar panel adalah 1,23 meter. Jari-jari pada setiap lubang adalah 2 mm dan data yang diperoleh pada penelitian ini menggunakan data 1/24 pita oktaf. Maka hasil pengukuran dapat dianalisis sebagai berikut.

4.3.1 Pengaruh Sudut terhadap Jumlah Lubang

Pada penelitian ini dilakukan pula pengamatan mengenai pengaruh perubahan sudut pada panel terhadap pengaruh frekuensi resonansi. Dimana variasi sudut yang digunakan adalah 0° , 30° , 90° , 150° dan 180° . Pada gambar 4.1 dapat dilakukan analisis saat menggunakan variasi pipa 2 lubang dengan 3 layer. Grafik hasil pengukuran dengan variasi sudut pada saat pipa 2 lubang dengan 3 layer dapat dilihat pada gambar 4.1:

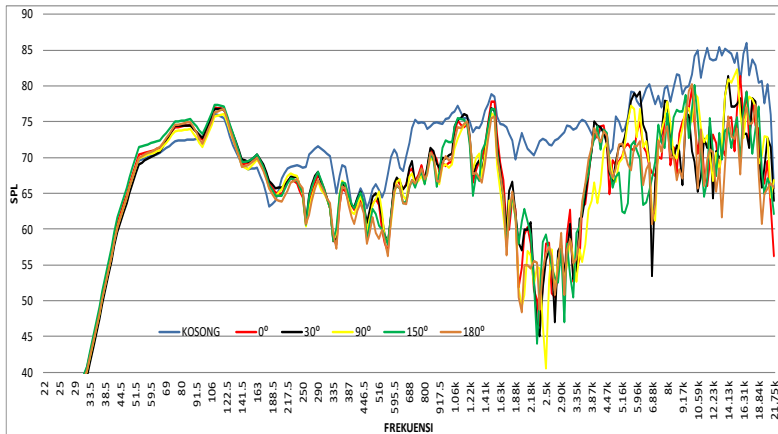


Gambar 4.1 grafik hasil pengukuran dengan variasi sudut saat pipa dengan 2 lubang terhadap 3 layer

Gambar 4.1 merupakan grafik perubahan nilai SPL terhadap variasi sudut pipa dengan 2 lubang terhadap 3 layer. Dapat diamati bahwa pada 2 lubang dengan 1 layer terjadi beberapa penurunan yang disebabkan oleh perubahan sudut. Penurunan pada sudut 0° terjadi pada frekuensi 917,5 Hz, 5.460 Hz, 5.960 Hz, dan 11.550 Hz masing-masing sebesar -8,471 dB, -13,465 dB, -12,879 dB, dan -21,925 dB. Untuk sudut 30° dengan grafik berwarna hitam penurunan terjadi sebesar -25,735 dB, -28,744 dB, -26,878 dB, dan -11,179 dB pada frekuensi 2.300 Hz, 2.660 Hz, 2.900 Hz, dan 4.870 Hz. Sedangkan pada sudut 90° terjadi 3 penurunan yaitu pada frekuensi 1.330 Hz sebesar -9,977 dB, 3.250 Hz sebesar -24,927 dB dan saat frekuensi 4.600 sebesar -10,606 dB. Untuk sudut 150° yaitu pada grafik terjadi penurunan pada saat frekuensi 2.820 Hz dengan penurunan sebesar -24,818 dB, pada 6.880 Hz dengan penurunan -21,073 dB. Dan untuk sudut 180° yaitu pada grafik berwarna *orange*

dapat dilihat penurunan terjadi pada frekuensi 459,5 Hz dan 9.440 Hz masing-masing sebesar -7,537 dB dan -20,754 dB.

Selain itu diberikan pula variasi sudut yaitu 0° , 30° , 90° , 150° dan 180° saat pipa dengan 4 lubang terhadap 3 layer yang dapat dilihat pada grafik di gambar 4.2

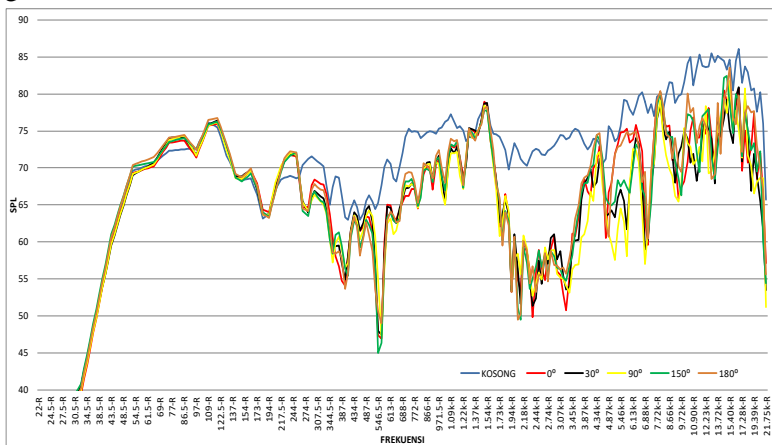


Gambar 4.2 grafik hasil pengukuran dengan variasi sudut saat pipa dengan 4 lubang terhadap 3 layer

Dapat dianalisis dari gambar 4.2 yaitu dengan variasi sudut saat pipa dengan 4 lubang terhadap 3 layer penurunan yang terjadi pada sudut 0° ialah pada frekuensi 4.600 Hz sebesar -5,688 dB. Pada sudut 30° yaitu pada grafik berwarna hitam penurunan terjadi pada frekuensi 2.740 Hz dan 6.880 Hz sebesar -25,373 dB dan -25,480 dB. Untuk sudut 90° dengan grafik berwarna kuning dapat dilihat penurunan sebesar -31,935 dB, -19,942 dB yang masing-masing terjadi pada frekuensi 2.500 Hz dan 3.450 sampai 4.470 Hz. Selain itu pada sudut 150° dengan variasi pipa 4 lubang terhadap 3 layer terjadi penurunan pada frekuensi 2.990 Hz sebesar -26,613 dB, 3.250 Hz sebesar -23,487 dB, 5.310 dengan penurunan sebesar -11,979 dB dan 6.490 Hz sebesar -

15,933 dB. Pada sudut 180° yaitu pada grafik berwarna *orange* dapat dilihat penurunan sebesar -6,794 dB, -8,329 dB, -25,032 dB untuk frekuensi masing-masing 516 Hz, 1.370 Hz, dan 2.000 Hz.

Sedangkan pada pipa dengan pipa 6 lubang terhadap 3 layer dengan variasi 5 sudut yaitu 0° , 30° , 90° , 150° dan 180° dapat dilakukan analisis dengan mengamati grafik pada gambar 4.3 dibawah.



Gambar 4.3 grafik hasil pengukuran dengan variasi sudut saat pipa dengan 6 lubang terhadap 3 layer.

berdasarkan gambar 4.3 yaitu dengan variasi sudut saat pipa dengan 6 lubang terhadap 3 layer didapatkan hasil pengamatan bahwa pada frekuensi 376 Hz, 728,5 Hz dengan sudut 0° terjadi penurunan sebesar -11,934 dB dan -9,030 dB, pada frekuensi 2.370 Hz dan 3.250 Hz terjadi penurunan sebesar -22,487 dB dan -23,171 dB. Pada sudut 30° pada frekuensi 11.550 Hz terjadi penurunan sebesar -15,301 dB. Penurunan terjadi hingga sebesar -21,008 dB pada frekuensi 5.160 Hz sampai 5.960 Hz dan pada frekuensi 6.880 penurunan sebesar -21,959 dB dengan sudut 90° .

Dan untuk sudut 150° penurunan terjadi pada frekuensi 562,5 Hz dan 11.550 Hz masing-masing sebesar -21,340 dB dan -15,909 dB. Sedangkan pada variasi sudut 180° pada frekuensi 1.780 Hz sampai 2.050 Hz terjadi penurunan hingga sebesar -22,957 dB.

Adapun pengaruh jumlah lubang terhadap salah satu sudut dapat dilihat melalui tabel 4.2 berikut ini:

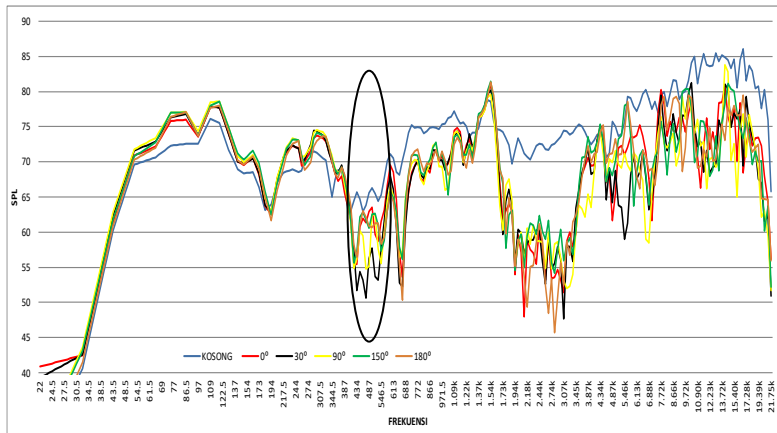
Tabel 4.2 Variasi lubang dengan atenuasi tertinggi saat 3 layer dengan sudut 30°

Variasi	Frekuensi (Hz)	Selisih SPL (dB)
2 Lubang	6.680	-10,794
4 Lubang		-11,633
6 Lubang		-12,621
8 Lubang		-12,773

Sehingga berdasarkan tabel 4.2 penambahan jumlah lubang berakibat pada selisih SPL antara ruang kosong dengan ruang yang terdapat panel semakin besar.

4.3.2 Pengaruh Sudut terhadap Jumlah Layer

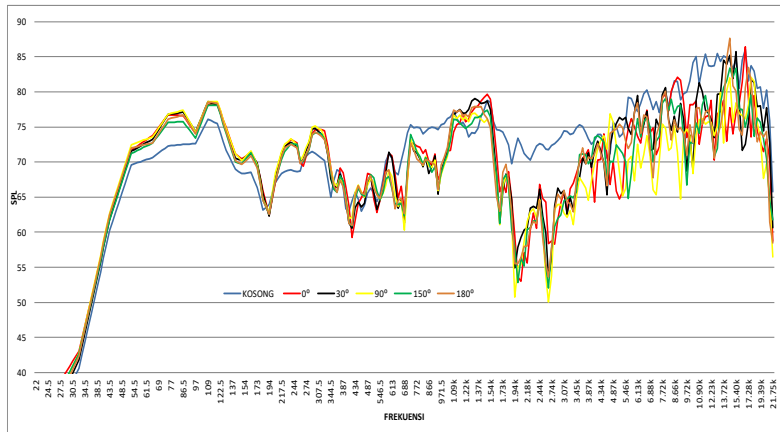
Pada gambar 4.4 dilakukan analisis saat menggunakan variasi pipa 8 lubang dengan 3 layer.



Gambar 4.4 Grafik hasil pengukuran dengan variasi pipa dengan 8 lubang terhadap 3 layer.

Berdasarkan gambar 4.4 diketahui bahwa saat variasi pipa dengan 8 lubang terhadap 3 layer pada frekuensi 387 Hz – 546,5 Hz sudut 30° memiliki atenuasi tertinggi. Adapun saat frekuensi 2.110 Hz penurunan terjadi sebesar -23,212 dB dengan sudut 0° dan saat frekuensi 4.870 Hz penurunan terjadi sebesar -14,005 dB. Dan pada saat sudut 30° dengan frekuensi sebesar 473 Hz, 516 Hz, 3.070 Hz, dan 5.016 Hz – 5.790 Hz masing-masing terjadi penurunan sebesar -13,248 dB, -11,807 dB, -26,825 dB, dan -17,988 dB. Pada sudut 90° terjadi penurunan pada frekuensi 3.150 Hz sebesar -22,332 dB, -12,092 dB pada frekuensi 3.760 Hz, dan penurunan sebesar -21,221 dB pada frekuensi 6.680 Hz. Untuk sudut 150° dengan penurunan sebesar -10,926 dB, -15,640 dB, dan -14,189 dB masing-masing terjadi pada frekuensi 1.030 Hz, 1.780 Hz dan 5.960 Hz. Sedangkan untuk frekuensi 668,5 Hz, dan 2.660 Hz pada sudut 180° terjadi penurunan masing-masing sebesar -19,895 dB dan -23,312 dB.

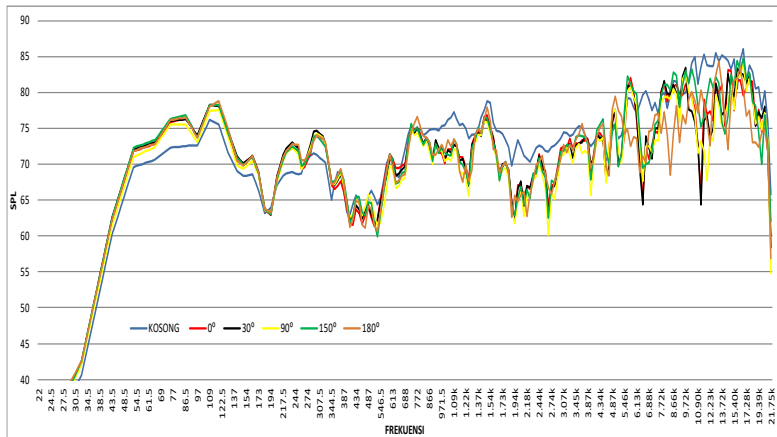
Pada gambar 4.5 dilakukan analisis saat menggunakan variasi pipa 8 lubang dengan 2 layer.



Gambar 4.5 Grafik hasil pengukuran dengan variasi sudut saat pipa dengan 8 lubang terhadap 2 layer.

Berdasarkan gambar 4.5 diketahui bahwa saat variasi pipa dengan 8 lubang terhadap 2 layer yaitu saat frekuensi 421,5 Hz penurunan terjadi sebesar -5,211 dB dengan sudut 0° dan saat frekuensi 4.100 Hz penurunan terjadi sebesar -8,733 dB serta -9,164 dB pada frekuensi 5.000 Hz. Dan pada saat sudut 30° dengan frekuensi sebesar 16.790 Hz terjadi penurunan sebesar -13,490 dB. Untuk sudut 150° dengan penurunan sebesar -14,396 dB dan -13,286 dB masing-masing terjadi pada frekuensi 5.620 Hz dan 9.720 Hz.

Pada gambar 4.6 dilakukan analisis saat menggunakan variasi pipa 8 lubang dengan 1 layer.



Gambar 4.6 Grafik hasil pengukuran dengan variasi sudut saat pipa dengan 8 lubang terhadap 1 layer.

Dari gambar 4.6 didapatkan hasil pengamatan bahwa pada saat sudut 0° hingga 180° frekuensi resonansi yang hampir sama dan perbedaan terlihat dari selisih SPL yang terjadi. Saat frekuensi 1.250 Hz, 2.660 Hz, 4.000 Hz, dan 11.890 Hz didapatkan penurunan masing-masing sebesar -7,976 dB, -11,583 dB, -6,818 dB, dan -16,030 dB dengan sudut 90° . Pada frekuensi 6.490 Hz dan 11.220 Hz dengan sudut 30° terjadi penurunan hingga sebesar -15,380 dB dan -19,213 dB. Dan penurunan terjadi sebesar -9,532 dB pada frekuensi 6.300 Hz dengan sudut 180° serta pada frekuensi 8.410 Hz penurunan terjadi sebesar -11,296 dB.

Adapun pengaruh variasi sudut terhadap salah satu lubang adalah sebagai berikut ini,

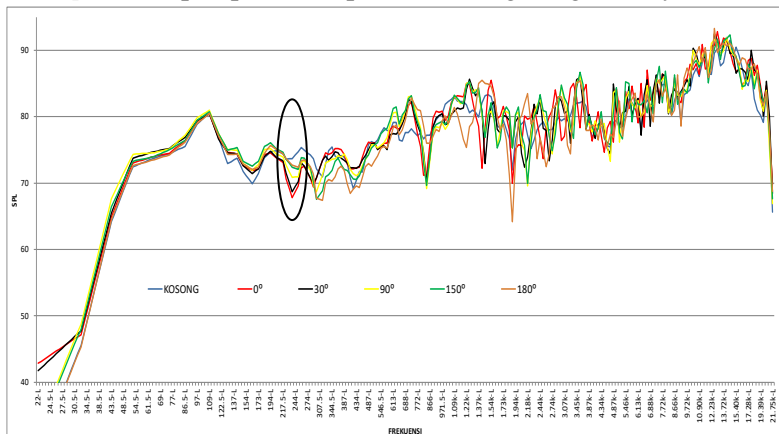
Tabel 4.3 Variasi sudut pada saat 3 layer dengan 8 lubang

Sudut	Frekuensi (Hz)	Selisih SPL (dB)
0°	421,5	-8,640

30°	421,5	-6,577
90°		-9,243
150°		-8.501
180°		-5,873

Maka berdasarkan tabel 4.3 variasi sudut berakibat pada selisih SPL antara ruang kosong dengan ruang yang terdapat panel semakin kecil.

Pada grafik 4.7 dibawah ini juga dapat dilakukan analisis *microphone* depan pada saat panel 8 lubang dengan 3 layer.



Gambar 4.7 Grafik hasil pengukuran pada *microphone* depan dengan variasi sudut saat pipa dengan 8 lubang terhadap 3 layer.

Dari gambar 4.7 dapat dilihat bahwa saat frekuensi 200 Hz hingga frekuensi 298,5 Hz (lingkaran berwarna hitam) pada sudut 0° dan 30° memiliki atenuasi bunyi yang lebih besar jika dibandingkan dengan sudut yang lainnya. Dimana pada saat frekuensi 237 Hz pada sudut 0° mengalami atenuasi sebesar -5,88 dB dan pada saat

sudut 30° mengalami atenuasi sebesar $-4,98$ dB. Sehingga dari grafik tersebut juga didapatkan bahwa pada saat kecil yaitu 0° dan 30° merupakan arah sudut lubang pada panel yang paling optimal dibandingkan dengan sudut yang lainnya.

4.4 Pembahasan

Data-data yang telah didapatkan dari hasil pengukuran pada penelitian ini dengan menggunakan variasi perubahan arah lubang pada panel dapat diamati pengaruh frekuensi resonansi yang terjadi. Dari table 4.1 dapat diketahui bahwa jumlah lubang terhadap pipa dengan arah sudut panel yang sama, namun menggunakan layer yang berbeda berakibat pada penurunan SPL. Dapat dilihat pada lubang 2 terjadi penurunan $-10,794$ dB sedangkan pada pipa dengan 8 lubang memiliki selisih SPL yaitu $-12,773$ dB. Hal tersebut disebabkan karena semakin banyak lubang maka selisih SPL juga akan semakin besar. Dari hasil grafik yang dihasilkan juga dapat diketahui bahwa jumlah lubang pada pipa tidak mempengaruhi resonansinya, melainkan impedansinya. Karena banyak lubang pada pipa termasuk sebagai hambatan saat terdapat sumber suara.

Sedangkan pengaruh lubang terhadap sudut $0^\circ - 180^\circ$ yaitu semakin besar arah sudut lubang pada panel maka akan semakin kecil selisih SPL yang terjadi. Seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.1 hingga gambar 4.3 yang merupakan grafik hasil pengukuran untuk membandingkan pada saat jumlah lubang yang berbeda-beda pada saat layer sama dengan menggunakan variasi sudut didapatkan bahwa pada saat pipa dengan 2 lubang dan 4 lubang memiliki resonansi serta atenuasi yang hampir sama pada saat sudut berapa saja. Namun pada saat pipa dengan 6 lubang dan 8 lubang sudut 0° , 30° , dan 90° memiliki atenuasi yang lebih baik jika dibandingkan sudut 150° dan juga sudut 180° .

Hal tersebut sesuai dengan teori yang ada bahwa pada sudut kecil yaitu 0° dan 30° akan memiliki atenuasi lebih besar jika dibandingkan dengan sudut 180° . Karena pada saat lubang panel menghadap speaker (0°) akan terdapat gelombang suara yang akan masuk kedalam lubang dan gelombang akan terus memantul didalam lubang sehingga gelombang akan saling meniadakan, maka selisih SPL akan semakin besar. Jika dibandingkan saat arah lubang pada panel membelakangi speaker (180°) gelombang suara tidak akan langsung masuk kedalam lubang, sehingga gelombang suara dengan frekuensi tinggi akan terpantul pada permukaan pipa yang tidak terdapat lubang. Namun pada saat lubang membelakangi speaker (180°) tetap mengalami atenuasi, hal tersebut dikarenakan gelombang suara pada frekuensi rendah akan dibelokkan masuk kedalam lubang sehingga mengakibatkan selisih SPL yang dihasil lebih kecil jika dibandingkan dengan sudut yang lainnya. Sehingga saat lubang panel mengarah pada sudut 180° frekuensi resonansinya akan lebih mendekati frekuensi resonansi saat ruangan anechoic kosong atau ruangan tidak terdapat panel didalamnya. Dari tabel 4.2 juga dapat dilihat bahwa pada saat sudut 0° hingga sudut 30° atenuasi akan semakin kecil, begitupula pada saat sudut 90° sampai sudut 180° . Selain itu, dari grafik 4.7 juga didapatkan bahwa saat microphone diletakan didepan lubang yang memiliki arah sudut kecil memiliki atenuasi yang lebih besar jika dibandingkan dengan sudut 90° , 150° dan 180° , pada frekuensi 200 Hz – 298,5 Hz. Maka dapat disimpulkan pula bahwa arah sudut lubang pada panel tidak berpengaruh pada range frekuensinya tetapi berpengaruh pada selisih SPL atau atenuasinya.

Tetapi dari data yang telah didapatkan diketahui bahwa pada saat sudut 0° memiliki rata-rata penurunan yang lebih kecil

yaitu sebesar -4,04 dB jika dibandingkan dengan sudut 30° memiliki rata-rata penurunan yaitu -10,66 dB pada saat 8 lubang. Sedangkan pada sudut 90° rata-rata penurunannya sebesar -6,7 dB, untuk 150° sebesar -4,004 dB dan untuk sudut 180° sebesar -4,36 dB. Dimana, hasil tersebut tidak sesuai dengan teori yang ada. Jika sesuai dengan teori, saat sudut 0° pada frekuensi berapa saja akan memiliki atenuasi yang lebih besar jika dibandingkan dengan sudut lain. Hal tersebut, dikarenakan microphone diletakan ditengah-tengah panel. Sehingga jika dilihat dengan titik tengahnya pada microphone atau pun speaker, maka pada setiap pipa berlubang yang terdapat pada panel memiliki sudut yang berbeda-beda atau tidak sama dengan sudut lubang yang terdapat pada panel. Selain itu, microphone yang digunakan hanya 2 yaitu didepan dan dibelakang panel sehingga pada saat sudut 30° sebagian besar arah lubang pada panel akan menghadap tepat ke arah sumber suara. Sehingga saat sudut 30° merupakan arah sudut lubang pada panel yang paling optimal pada penelitian ini

Serta pada penelitian ini, jumlah layer juga dapat mempengaruhi penurunan SPL. Karena layer dan lubang berbanding lurus, sehingga semakin banyak layer yang digunakan pada panel maka pipa dengan lubang yang digunakan juga akan semakin banyak. Seperti yang terlihat pada gambar 4.4 sampai gambar 4.6 pada saat menggunakan panel 3 layer atenuasi yang dihasilkan akan lebih besar/dominan jika dibandingkan dengan panel 1 layer atau pun panel 2 layer. Adapun perubahan arah sudut pada panel tidak terlalu berpengaruh pada jumlah layer, sehingga pada saat lubang ke arah sudut 0° atau kearah sudut 180° panel dengan 3 layer akan memiliki SPL yang dominan lebih besar dibandingkan dengan panel 1 layer atau 2 layer. Dari data tersebut dapat dikatakan bahwa semakin banyak layer yang

digunakan, maka akan terdapat banyak lubang pula sehingga atenuasi frekuensi resonansi yang dihasilkan akan semakin besar.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dengan tahapan pengamatan dan pengolahan data, maka dapat disimpulkan:

1. Pengaruh dari perubahan arah lubang pada panel yaitu semakin banyak lubang pada panel yang menghadap sumber suara maka atenuasi frekuensi resonansi yang terjadi akan lebih besar. Dengan atenuasi rata-rata yaitu untuk sudut 0° sebesar $-4,04$ dB, untuk 30° sebesar $-10,66$ dB, untuk sudut 90° sebesar $-6,7$ dB, untuk 150° sebesar $-4,004$ dB dan untuk sudut 180° sebesar $-4,36$ dB. Sehingga sudut yang paling optimal adalah pada saat lubang pada panel mengarah pada sudut 30° .
2. Berdasarkan dari data yang telah didapatkan dan dianalisis diketahui bahwa semakin banyak layer yang digunakan maka akan semakin besar pula atenuasi yang dihasilkan saat arah lubang pada panel pada sudut berapa saja. Dengan atenuasi rata-rata pada saat menggunakan 1 layer yaitu $-3,02$ dB, pada saat 2 layer yaitu $-4,29$ dB dan pada saat 3 layer yaitu $-4,87$ dB. Sehingga pada penelitian ini, pada saat panel menggunakan 3 layer akan mengalami atenuasi yang optimal.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

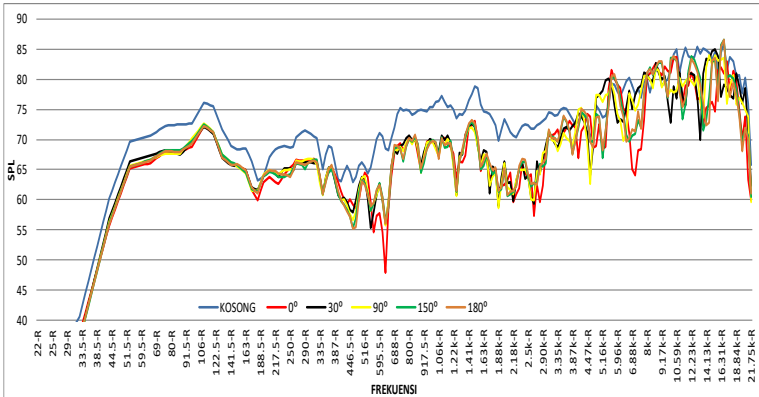
DAFTAR PUSTAKA

- Ambarwati, DRS. 2010. "Tinjauan Akustik Perancangan Interior Gedung Pertunjukan". Universitas Negeri Yogyakarta.: Yogyakarta
- Barron, Randall F. 2001. *Industrial Noise Control and Acoustic*. Marcel Dekker, Inc. USA.
- Bueche, J. Frederick dan Hecht Eungene. 2006. *Fisika Universitas edisi X*. Erlangga:Jakarta.
- F. Morandi, M. Miniaci, A. Marzani, L. Barbaresi, and M. Garai, "Standardised acoustic characterisation of sonic crystals noise barriers: Sound insulation and reflection properties," *Appl. Acoust.*, vol. 114, pp. 294–306, Dec. 2016.
- K. B. Ginn. 1978. *Architectural Acoustics*. Bruel & Kjør:Denmark.
- Kessissoglou, Nicole and M.B.Fard,Samaneh. 2016. *Sonic Crystal Noise Barrier Using Locally Resonant Scatterers*. UNWS Sydney:Australia.
- Lagarigge,C dkk.2013. *Sustainable Sonic Crystal Made of Resonating Bamboo Rods*. LUNAM Universite:France.
- Mediastika, Christina E. 2005.*Akustika bangunan : prinsip-prinsip dan penerapannya di Indonesia*. Erlangga:Yogyakarta
- Morandi, Federica dkk. 2015. *Acoustic Measurements on a Sonic Crystals Barrier*. University of Bologna:Italy.
- Ningsih, Sulistia. 2018. Skripsi "Pengaruh Sudut Datang terhadap Panel Resonator-Difuser Pipa PVC Setengah Silindris". ITS: Surabaya.

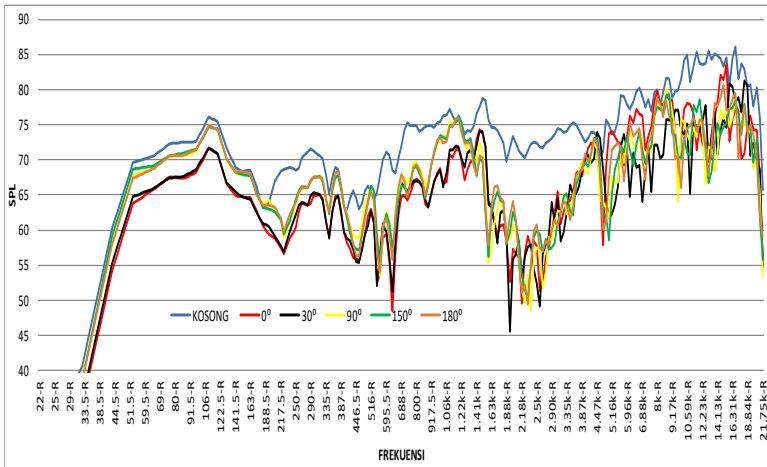
- Daniel R. Raichel. 2006. "*The Science and Applications of Acoustics 2nd*". New York : AIP Press
- T, Miyashita. 2005. "*Sonic Crystal and Sonic Wave-Guides*" *Meas. Sci. Technol.* 16, R47-R46.

LAMPIRAN A

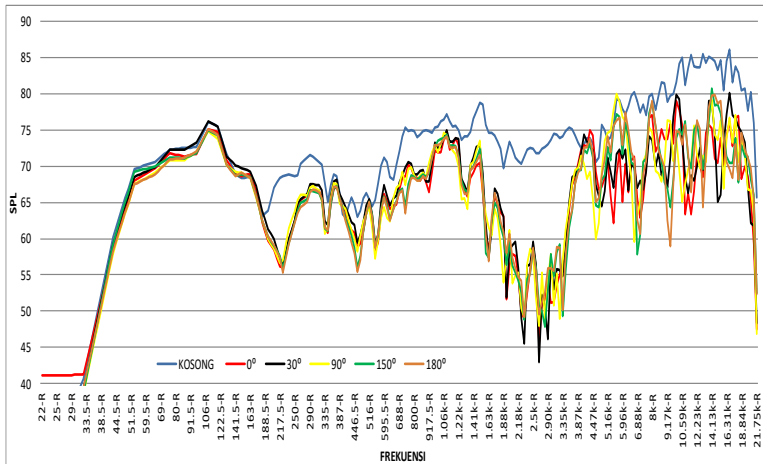
PENGARUH SUDUT PADA *MICROPHONE* BELAKANG



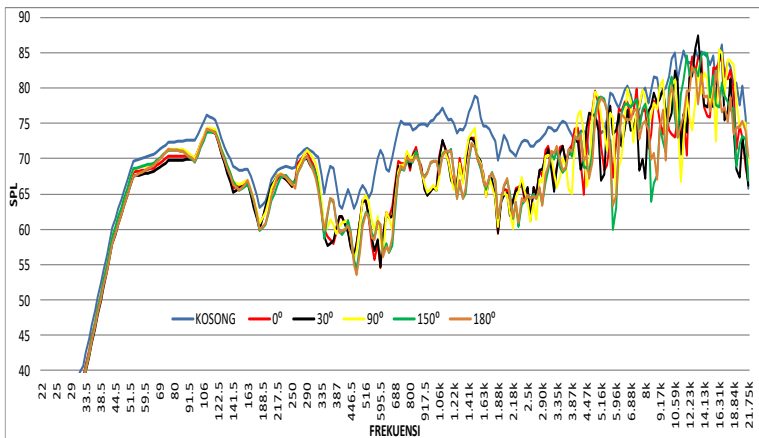
Gambar A.1 Grafik Pengaruh sudut terhadap resonansi saat pipa dengan 1 layer dan 2 lubang *mic.* belakang



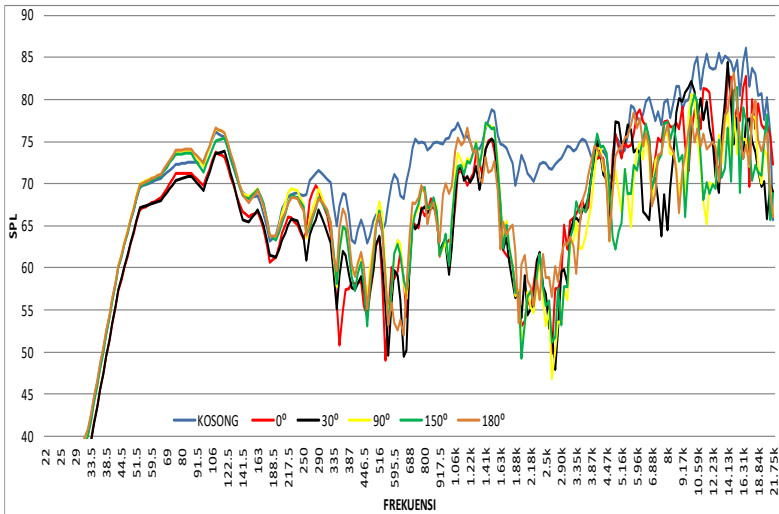
Gambar A.2 Grafik Pengaruh sudut terhadap resonansi saat pipa dengan 2 layer dan 2 lubang *mic.* belakang



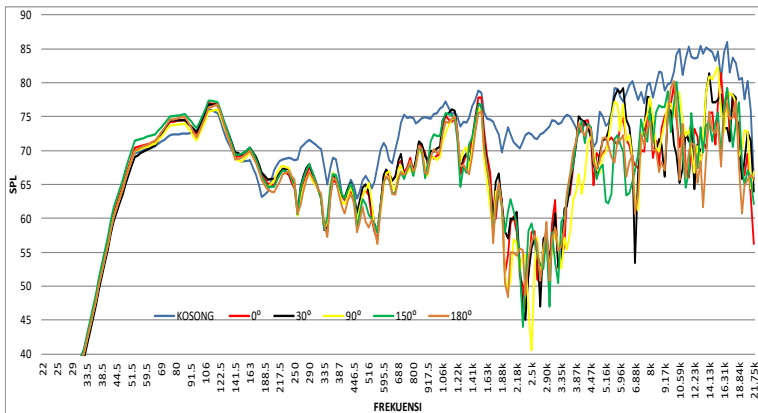
Gambar A.3 Grafik Pengaruh sudut terhadap resonansi saat pipa dengan 3 layer dan 2 lubang *mic.* belakang



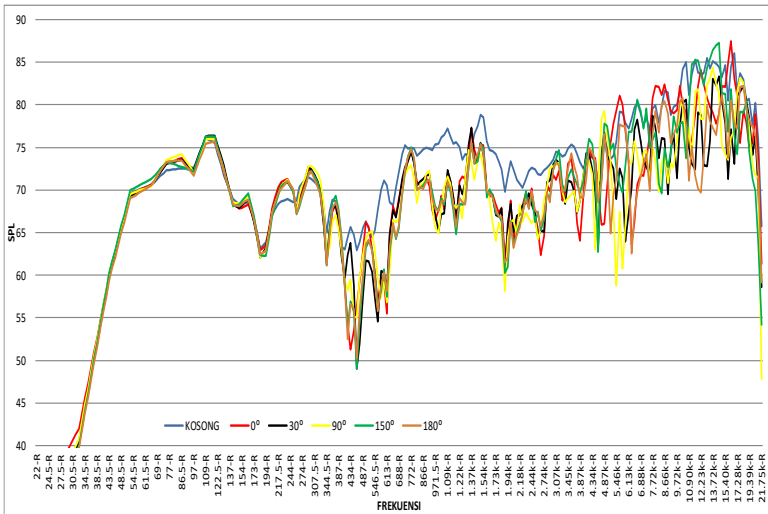
Gambar A.4 Grafik Pengaruh sudut terhadap resonansi saat pipa dengan 1 layer dan 4 lubang *mic.* belakang



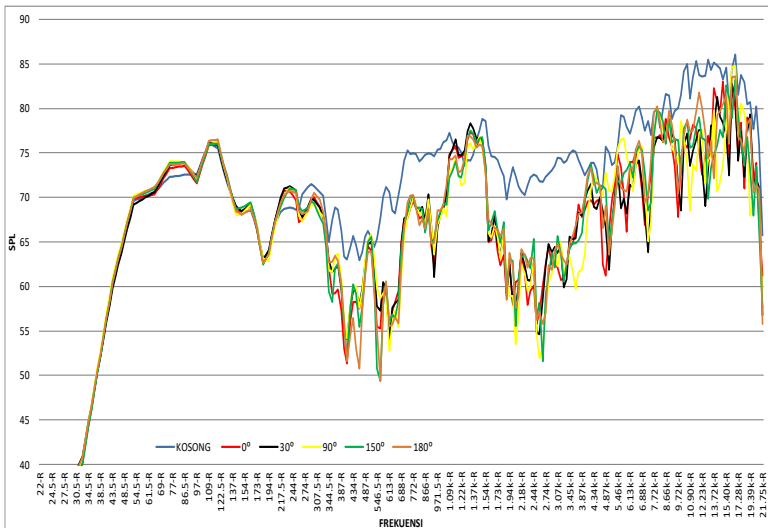
Gambar A.5 Grafik Pengaruh sudut terhadap resonansi saat pipa dengan 2 layer dan 4 lubang *mic.* belakang



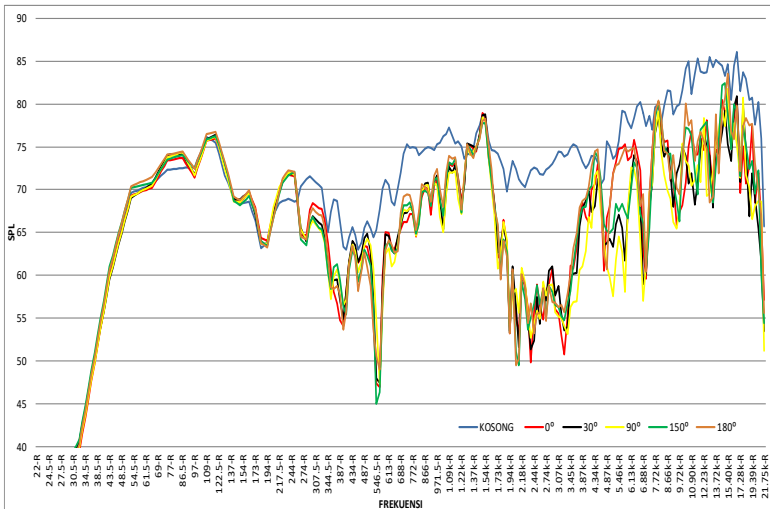
Gambar A.6 Grafik Pengaruh sudut terhadap resonansi saat pipa dengan 3 layer dan 4 lubang *mic.* belakang



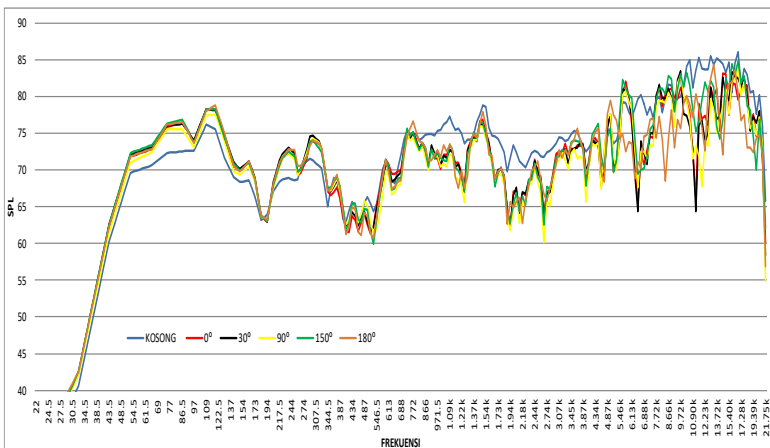
Gambar A.7 Grafik Pengaruh sudut terhadap resonansi saat pipa dengan 1 layer dan 6 lubang *mic*. belakang



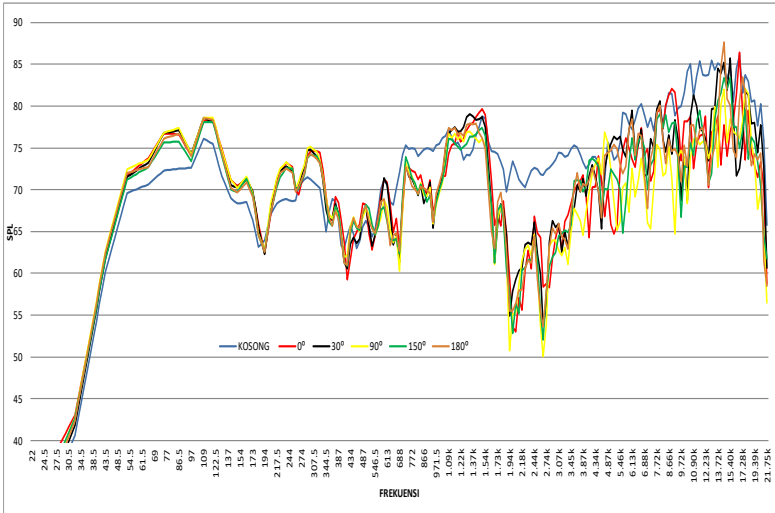
Gambar A.8 Grafik Pengaruh sudut terhadap resonansi saat pipa dengan 2 layer dan 6 lubang *mic*. belakang



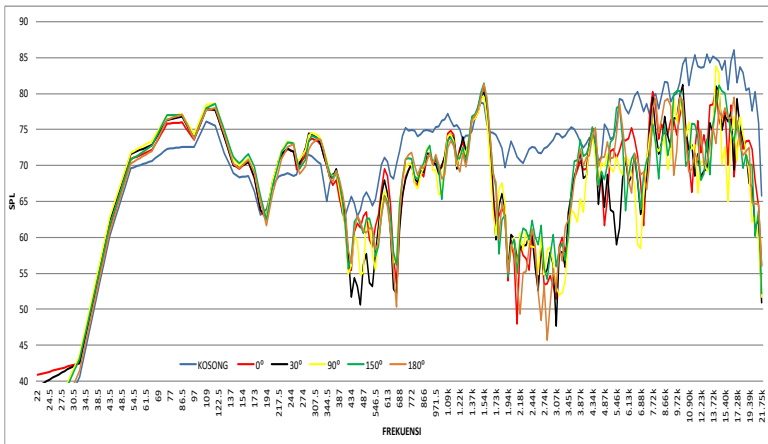
Gambar A.9 Grafik Pengaruh sudut terhadap resonansi saat pipa dengan 3 layer dan 6 lubang mic. Belakang



Gambar A.10 Grafik Pengaruh sudut terhadap resonansi saat pipa dengan 1 layer dan 8 lubang mic. belakang



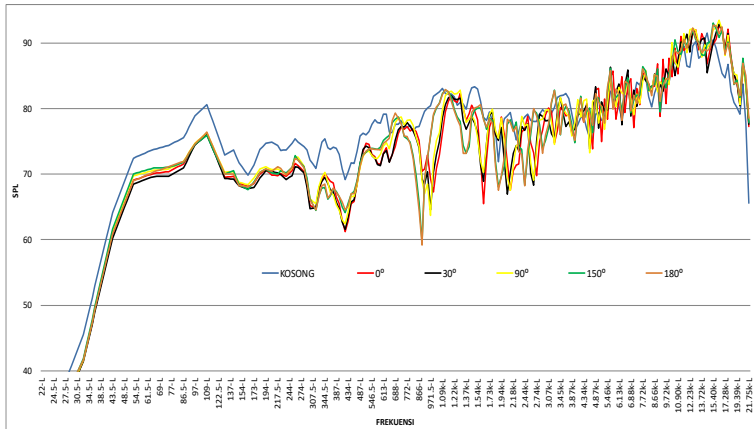
Gambar A.11 Grafik Pengaruh sudut terhadap resonansi saat pipa dengan 2 layer dan 8 lubang mic. Belakang



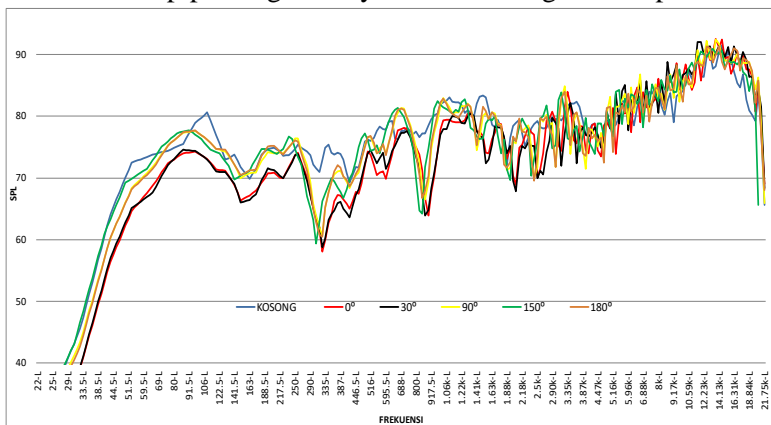
Gambar A.12 Grafik Pengaruh sudut terhadap resonansi saat pipa dengan 3 layer dan 8 lubang mic. belakang

LAMPIRAN B

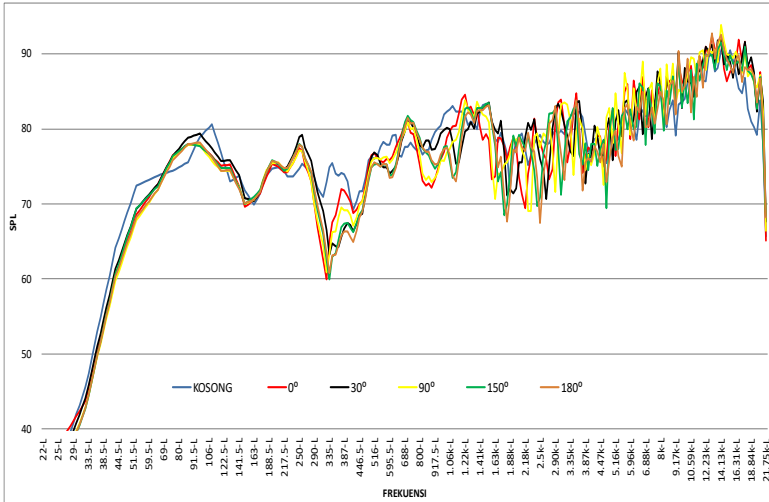
PENGARUH SUDUT PADA *MICROPHONE* DEPAN



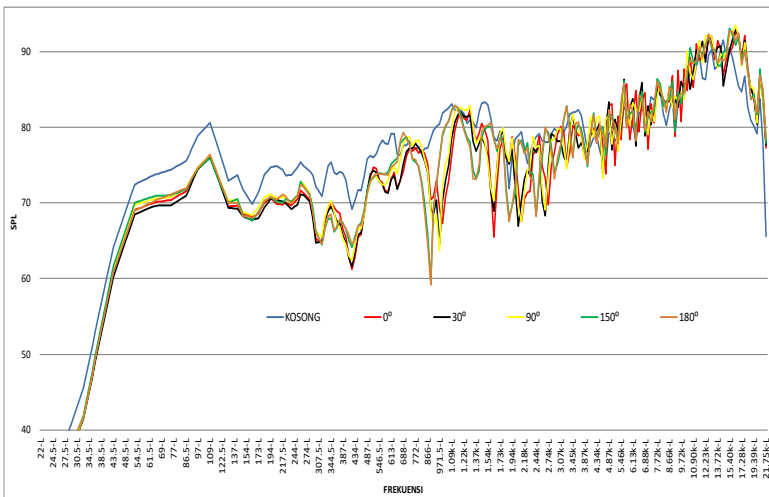
Gambar B.1 Grafik Pengaruh sudut terhadap resonansi saat pipa dengan 1 layer dan 2 lubang *mic*. Depan



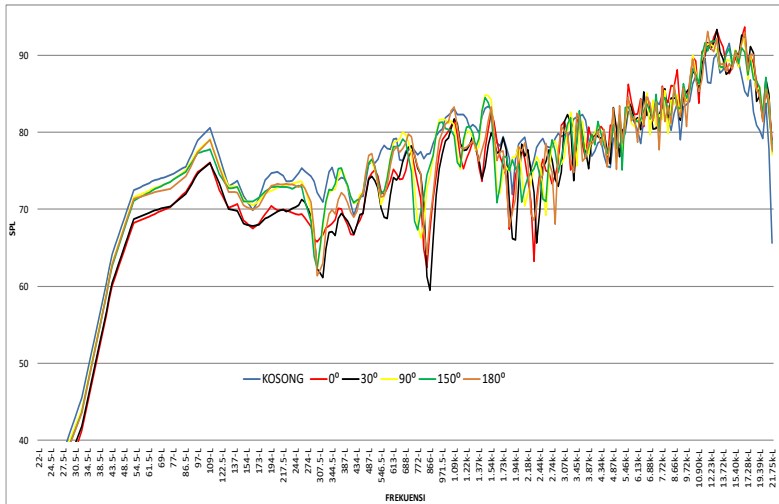
Gambar B.2 Grafik Pengaruh sudut terhadap resonansi saat pipa dengan 2 layer dan 2 lubang *mic*. Depan



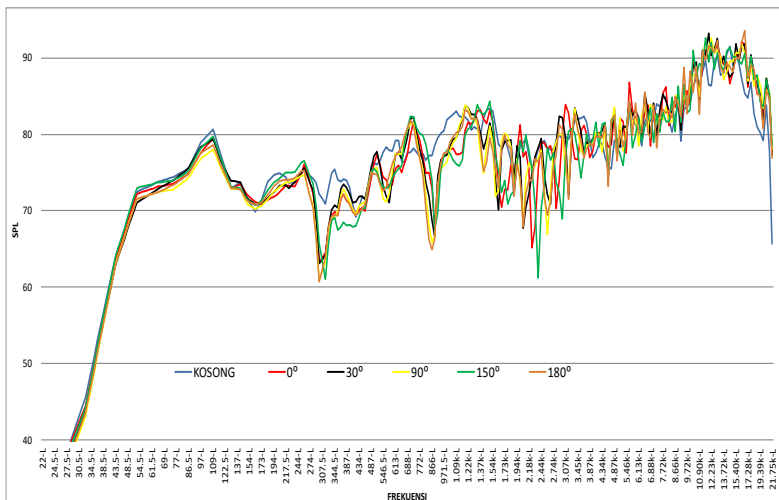
Gambar B.3 Grafik Pengaruh sudut terhadap resonansi saat pipa dengan 3 layer dan 2 lubang *mic*. Depan



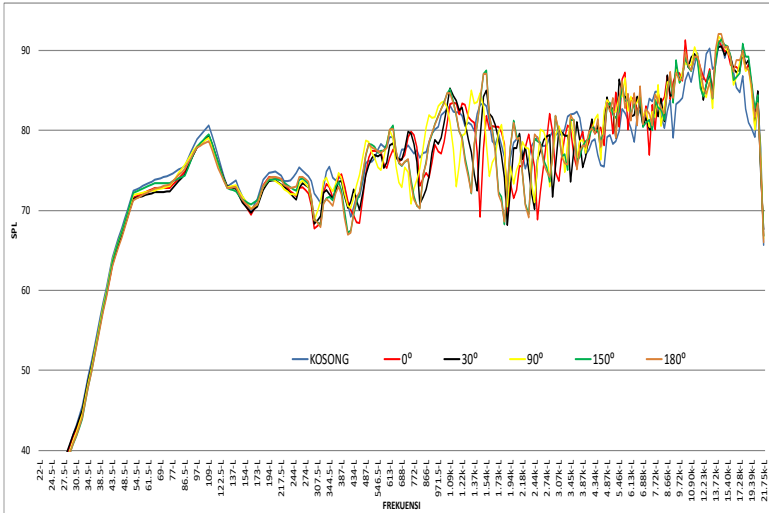
Gambar B.4 Grafik Pengaruh sudut terhadap resonansi saat pipa dengan 1 layer dan 4 lubang *mic*. Depan



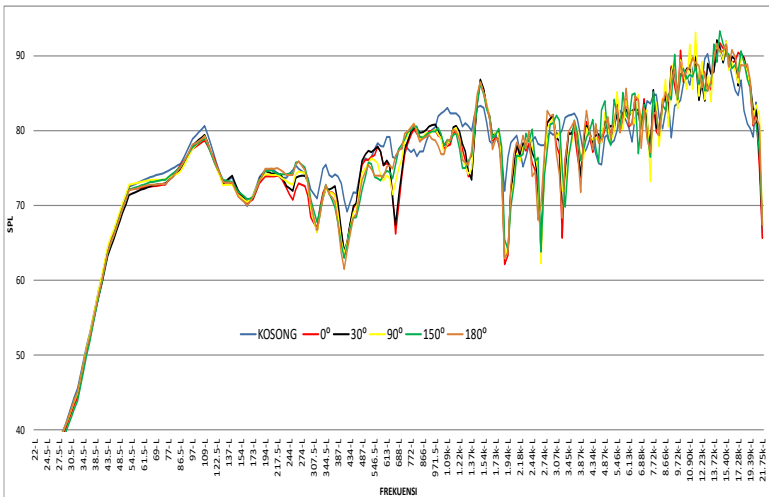
Gambar B.5 Grafik Pengaruh sudut terhadap resonansi saat pipa dengan 2 layer dan 4 lubang *mic*. Depan



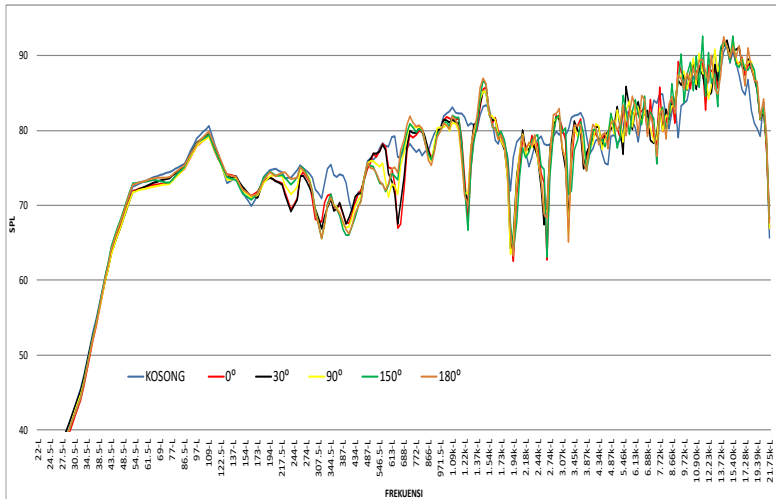
Gambar B.6 Grafik Pengaruh sudut terhadap resonansi saat pipa dengan 3 layer dan 4 lubang *mic*. Depan



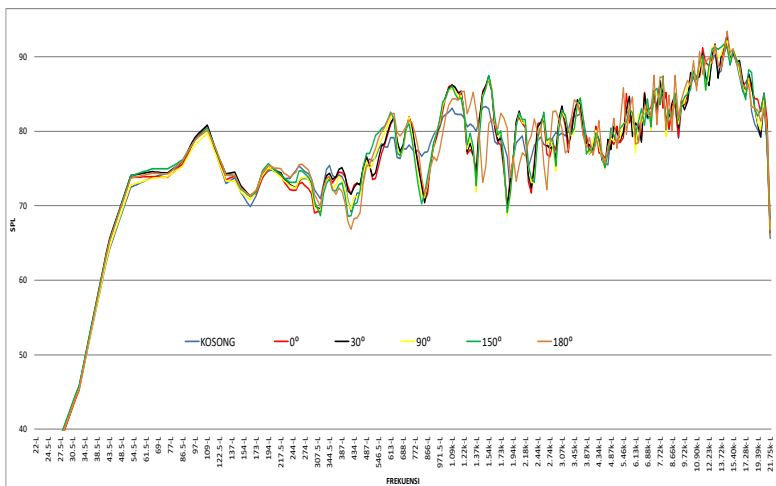
Gambar B.7 Grafik Pengaruh sudut terhadap resonansi saat pipa dengan 1 layer dan 6 lubang mic. Depan



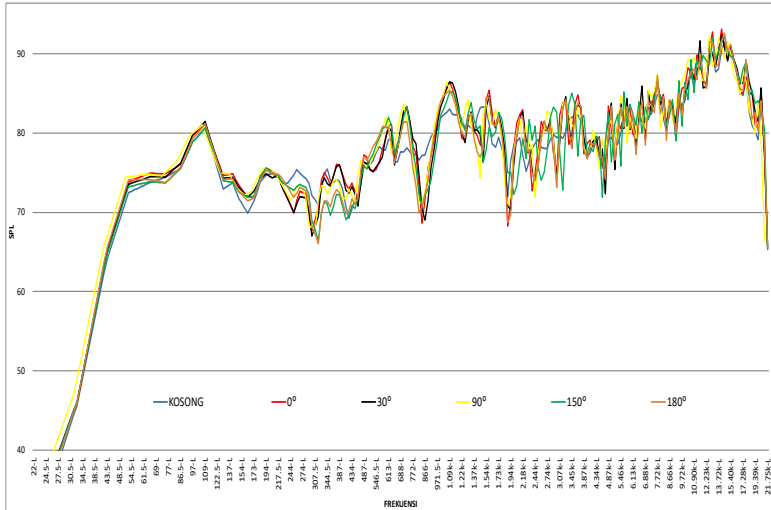
Gambar B.8 Grafik Pengaruh sudut terhadap resonansi saat pipa dengan 2 layer dan 6 lubang mic. Depan



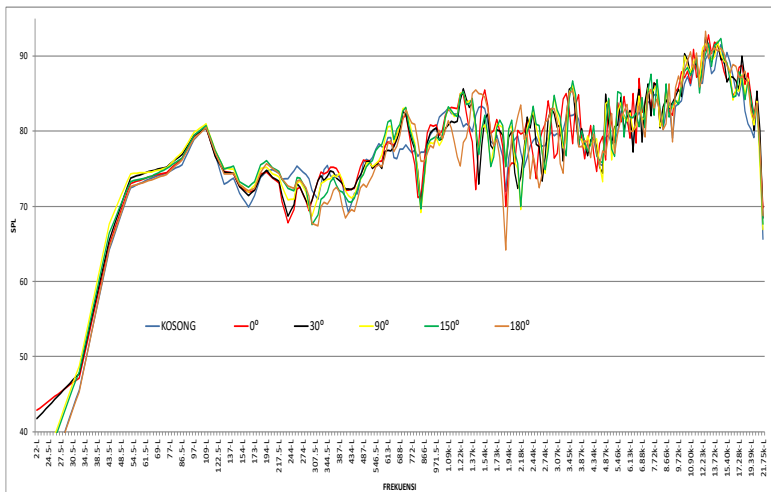
Gambar B.9 Grafik Pengaruh sudut terhadap resonansi saat pipa dengan 3 layer dan 6 lubang *mic*. Depan



Gambar B.10 Grafik Pengaruh sudut terhadap resonansi saat pipa dengan 1 layer dan 8 lubang *mic*. Depan



Gambar B.11 Grafik Pengaruh sudut terhadap resonansi saat pipa dengan 2 layer dan 8 lubang *mic*. Depan



Gambar B.12 Grafik Pengaruh sudut terhadap resonansi saat pipa dengan 3 layer dan 8 lubang *mic*. depan

BIODATA



Penulis bernama Catharina Risti Indriyani merupakan anak pertama dari dua bersaudara yang dilahirkan di Sleman, Yogyakarta pada tanggal 13 April 1997 dari pasangan Bapak Aris Prabowo dan Ibu Kristianingrum. Penulis telah menempuh pendidikan formal dimulai tahun 2001 di TK Katolik Santo Yusup Tropodo, SD Katolik Santo Yusup Tropodo diselesaikan pada tahun 2009, di SMPN 4 Waru Sidoarjo pada tahun 2012, SMAN 1 Waru Sidoarjo diselesaikan pada tahun 2015 dan akhirnya pada tahun yang sama penulis tercatat sebagai mahasiswa S1 Departemen Fisika FIA-ITS Surabaya. Dalam bidang non akademik, penulis pernah bergabung organisasi dan menjadi staff anggota KMK periode tahun 2016-2017. Dalam bidang akademik, penulis pernah bergabung dalam berbagai kepanitiaan seperti 6rd Physics Summit. Aktifitas lainnya adalah sebagai Asisten Laboratorium Fisika Dasar I.

