

Pengaruh Sudut Lubang pada Kristal Sonik berbahan Pipa PVC terhadap Atenuasi Suara

Gontjang Prajitno, Catharina Risti Indriyani, dan Suyatno*

Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Analitika Data, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Intisari

Dalam penelitian kristal sonik ini, digunakan pipa PVC berdiameter 1,5" dan panjang 1,1 meter. Panel yang dirancang memiliki konfigurasi square 3 baris dengan *filling ratio* 0,5, jumlah pipa 16 untuk setiap baris serta setiap pipa diberi perforasi (lubang) dengan jari-jari 6 mm. Penelitian dilakukan dengan variasi jumlah lubang 2, 4, 6 dan 8 lubang serta arah sudut sumber suara dengan lubang 0, 30, 90, 150, dan 180°. Berdasarkan hasil pengukuran diperoleh bahwa pada sudut 30° merupakan sudut dengan atenuasi optimal, dimana rata-rata atenuasinya sebesar -10,66 dB. Sedangkan atenuasi rata-rata pada sudut 0° sebesar -4,0 dB, pada sudut 90° sebesar -6,7 dB, pada sudut 150° sebesar -4,0 dB dan pada sudut 180° sebesar -4,4 dB. Selain itu, jumlah lubang pada penelitian ini berpengaruh meningkatnya atenuasi suara serta pergeseran frekuensi resonansinya, semakin banyak lubang pada pipa maka akan semakin besar penurunan SPL-nya.

Abstract

In this sonic crystal research, a 1.5" diameter and 1.1 meters long PVC pipe was used. The panel was designed to have a 3-row square configuration with a filling ratio of 0.5, several pipes are 16 for each row and each pipe was given a hole (perforation) with a radius of holes are 6 mm. The study was conducted with variations in the number of holes 2, 4, 6 and 8 holes and the direction of the angle of the sound source with holes 0, 30, 90, 150, and 180°. optimal, where the attenuation average is -10.66 dB, while the average attenuation at 0° is -4.0 dB, at 90° is -6.7 dB, at 150° is -4.0 dB and at an angle of 180° of -4.4 dB. Besides, the number of holes in this study affects the attenuation of sound and shifting the frequency of resonance, the more holes in the pipe, the greater the decrease in SPL.

Keywords: attenuation; frequency; hole angle; pipe; resonator; sonic crystal.

*Corresponding author: kangyatno@physics.its.ac.id

<http://dx.doi.org/10.12962/j24604682.v16i1.6211>
2460-4682 ©Departemen Fisika, FSAD-ITS

I. PENDAHULUAN

Kebisingan merupakan bunyi yang dapat mengganggu kenyamanan dan kesehatan manusia, sehingga dibutuhkan alat yang dapat mengurangi kebisingan tersebut, salah satunya adalah menggunakan resonator. Resonator merupakan salah satu alat yang dapat melemahkan atau menguatkan bunyi pada frekuensi tertentu. Susunan dari beberapa resonator dengan pola tertentu disebut kristal sonik. Secara teori, susunan resonator 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 [1]. Kinerja dari kristal sonik salah satunya ditentukan oleh *filling ratio*. *Filling ratio* adalah perbandingan antara luas unit kristal dengan luas area 1 unit kristal. Gambar 1 menunjukkan sketsa perhitungan nilai *filling ratio*.

Secara matematis, nilai *filling ratio* dituliskan sebagai nilai *filling ratio* pada kisi persegi yang dapat diperoleh melalui

persamaan:

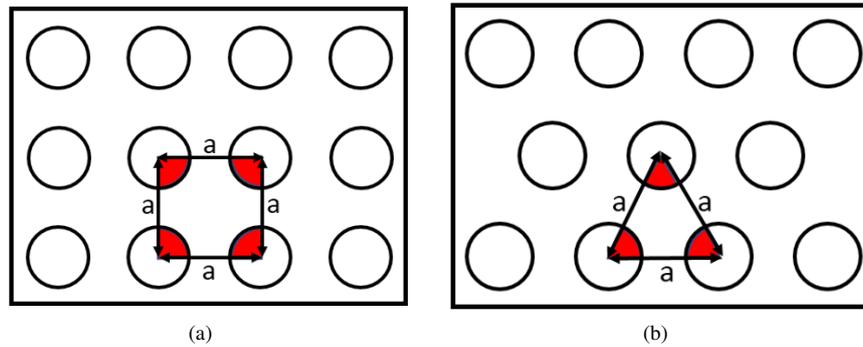
$$f_r = \frac{\pi d^2}{4a^2} \quad (1)$$

dengan d adalah diameter pipa, dan a adalah jarak antar dua silinder yang berdekatan [2]. Pada konfigurasi kisi persegi, *bandgap* optimalnya adalah ketika *filling ratio* (f_r) bernilai antara 0,4 hingga 0,6 [3]. Sebagai resonator, kinerja dari kristal sonik dipengaruhi oleh lubang area terbuka, panjang leher bukaan serta volume ruang resonator [4]. 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.

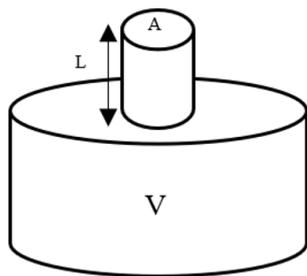
Berdasarkan konstruksi Gambar 2, nilai frekuensi resonansi dari resonator dapat dihitung dengan persamaan:

$$f_o = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{LV}} \quad (2)$$

dengan c adalah cepat rambat bunyi (m/s), A adalah luas area bukaan leher (*neck*) (m^2), L adalah panjang leher (*neck*), dan V adalah volume *cavity* (m^3) [5].



Gambar 1: Susunan Konfigurasi pada kristal sonik (a) Triangular (b) Square [2].



Gambar 2: Resonator Helmholtz [5].

Resonator Helmholtz dapat dianalogikan sebagai rangkaian seri RLC seperti ditunjukkan dalam Gambar 3. 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 [6].

Berdasarkan Gambar 3, nilai frekuensi resonansi dapat dihitung menggunakan persamaan: [6]

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{M_A C_A}} \tag{3}$$

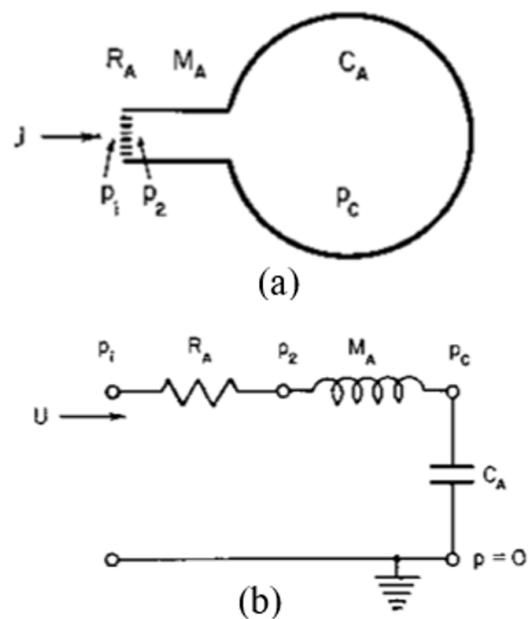
dengan f_o adalah frekuensi resonansi dasar, M_A adalah massa akustik (kg/m^4), dan C_A adalah *acoustic compliance* (m/s). Perhitungan massa akustiknya (M_A) menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$M_A = \frac{\rho_o L_e}{\pi a^2} \tag{4}$$

Pers.(4) merupakan persamaan untuk menghitung massa akustik pada Gambar 3, karena terdapat tambahan massa udara (ρ_o) disetiap ujung tabung tersebut. Dengan a merupakan jari-jari lubang, sedang untuk mencari L_e persamaan yang digunakan adalah:

$$L_e = L + \Delta L_1 + \Delta L_2 \tag{5}$$

dengan L adalah ketebalan pipa, ΔL_1 serta ΔL_2 adalah nilai koreksi tiap ujung pipa. Namun untuk mengetahui nilai koreksi tiap ujung pipa tergantung dari ujung pipa tersebut



Gambar 3: Diagram Rangkaian untuk Resonator Helmholtz (a) Resonator Helmholtz (b) Rangkaian Seri RLC [6].

tertutup atau terbuka. Pada pipa ujung terbuka ΔL adalah perkalian dari 0,613 dikalikan dengan a , sedangkan untuk ujung pipa yang tertutup untuk mencari ΔL yaitu:

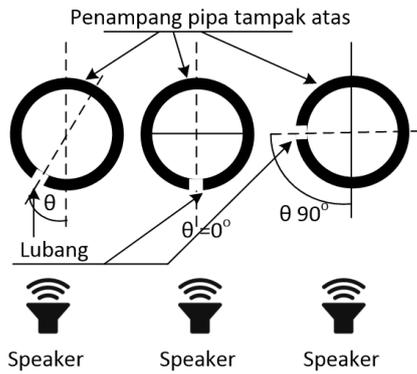
$$\Delta L = \frac{8r}{3\pi} \tag{6}$$

Sedangkan untuk perhitungan nilai *acoustic compliance* (C_A) menggunakan persamaan berikut:

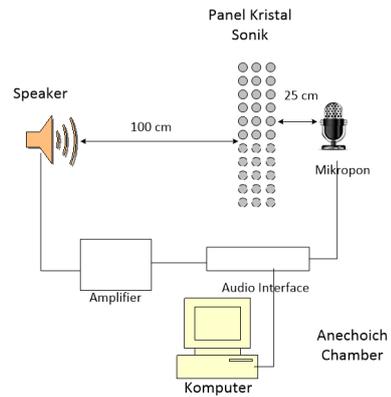
$$C_A = \frac{V}{\rho_o c^2} \tag{7}$$

dengan V adalah volume tabung pipa (m^3), c adalah cepat rambat bunyi di udara (m/s), dan ρ_o adalah massa jenis udara memiliki (kg/m^3).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Morandi pada tahun 2016, kristal sonik yang digunakan sebagai *noise barrier*



Gambar 4: Variasi sudut (a) saat 0° , (b) saat 30° , (c) saat 90° , (d) saat 150° , (e) saat 180° pada pengukuran kristal sonik.



dengan menggunakan bahan berupa pipa PVC. 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. Panel yang dibuat memiliki jumlah baris adalah 3 dengan 18 pipa untuk setiap baris. Pengukuran dilakukan dengan meletakkan sumber sejauh 1,5 meter dari panel kristal sonik dan *microphone* diletakan sejauh 25 cm dari panel kristal sonik [7].

Pada makalah ini dibahas tentang pengaruh posisi lubang kristal sonik terhadap arah sumber bunyi terhadap kemampuan atenuasi suara.

II. METODOLOGI

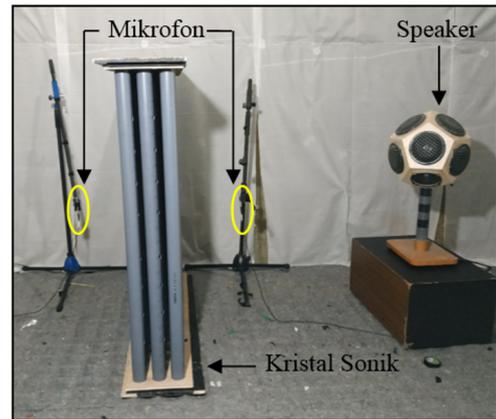
Pembuatan Panel kristal sonik

Pada penelitian ini, kristal sonik yang diteliti terbuat dari pipa PVC dengan ukuran diameter 1,5 inch. Penggunaan pipa PVC karena merupakan bahan yang mudah ditemukan dalam kehidupan sehari-hari dan memiliki sifat homogen (ukurannya sama). Berdasarkan Pers.(1) untuk panjang 100 cm, maka jarak antara pusat pipa (a) adalah 6 cm. Sementara kristal sonik yang dibuat terdiri dari 3 baris dengan jumlah pipa untuk setiap baris adalah 18 buah. Selain itu, untuk setiap pipa diberi lubang dengan variasi yaitu 2, 4, 6, dan 8 lubang dengan jari-jari lubang yaitu 8 mm. Sementara untuk variasi lainnya adalah variasi sudut antara sumber suara dengan lubang yaitu $0, 30, 90, 150,$ dan 180° yang dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 4.

Pengukuran resonator

Pengukuran kinerja resonansi kristal sonik dilakukan pada ruangan *semi-anechoic* Laboratorium Akustik Fisika ITS berdasarkan pada metode yang dilakukan oleh Morandi [2], yaitu dengan cara mengukur SPL ketika ruangan dalam keadaan kosong (tanpa ada panel kristal sonik) serta ketika bahan kristal sonik terpasang, seperti pada Gambar 5.

Seperti yang dilihat pada Gambar 5, jarak antara panel kristal sonik dengan speaker yaitu 1 meter dan jarak antara



Gambar 5: Pengukuran panel kristal sonik.



Gambar 6: Panel kristal sonik dengan 8 lubang perforasi.

panel dengan microphone adalah 0,25 meter. Gambar 6 menunjukkan bentuk panel kristal sonik yang telah dibuat.

Pengukuran dilakukan dengan variasi jumlah lubang pada pipa, dan besar sudut datang antara sumber suara dengan lubang pada kristal sonik. Untuk variasi sudut digunakan sudut $0, 30, 90, 150,$ dan 180° . Sudut $0,$ dan 30° digunakan untuk mewakili hamburan sudut kecil, sedangkan sudut $90, 150$ serta 180° untuk mewakili hamburan sudut besar. Sedangkan untuk variasi lubang digunakan 2, 4, 6, dan 8 lubang pada setiap pipa.

TABEL I: Frekuensi resonansi dasar berdasarkan jumlah lubang perforasi.

Jumlah Lubang	Frekuensi (Hz)
1	154,9
2	219,0
4	309,8
6	379,4
8	4388,1

III. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Perhitungan frekuensi resonansi

Seperti yang disampaikan pada bagian pendahuluan, kinerja kristal sonik dengan susunan kisi persegi memiliki *bandgap* optimal ketika *filling ratio* bernilai antara 0,4 hingga 0,6. Sehingga pada penelitian ini dipilih *filling ratio* 0,5 dengan diameter pipa yaitu 48 mm. Berdasarkan pada Pers.(1), untuk *filling ratio* (fr) 0,5 didapatkan jarak antar pusat pipa (a) yaitu 0,06 meter.

Berdasarkan pada Pers.(4) dan (7), untuk massa jenis udara $\rho_o = 1,23 \text{ kg/m}^3$, cepat rambat bunyi di udara $c = 343 \text{ m/s}$, jari-jari lubang 8 mm serta panjang pipa 1,05 meter, diperoleh nilai M_A sebesar $95,4 \text{ kg/m}^4$ dan nilai C_A sebesar $1,11 \times 10^{-8} \text{ m}^4 \text{ s}^2/\text{kg}$. Sementara berdasarkan Pers.(3), nilai frekuensi resonansi dasar dapat dilihat pada Tabel I. Berdasarkan Tabel I dapat diketahui bahwa semakin banyak lubang maka frekuensi resonansi dasarnya juga akan semakin besar juga.

Hasil Pengukuran

Dari pengukuran yang telah dilakukan maka didapatkan grafik pengaruh sudut pada jumlah lubang, seperti ditunjukkan Gambar 7.

1. Panel kristal sonik 2 lubang

Dari Gambar 7(a) terlihat bahwa atenuasi suara tertinggi terjadi untuk konfigurasi 2 lubang dengan 3 baris sebesar -26,3 dB pada sudut 0° , pada sudut 30° yaitu -25,7 dB, pada sudut 90° yaitu -24,9 dB, pada sudut 150° yaitu -24,8 dB dan pada 180° yaitu 23,9 dB. Hal ini menunjukkan bahwa untuk pipa dengan 2 lubang dan susunan 3 baris pada sudut 0° merupakan sudut yang paling optimal dalam mereduksi suara. Hal tersebut dikarenakan pada sudut 0° lubang pada pipa banyak yang mengarah pada sumber suara sehingga pada sudut tersebut memiliki penurunan yang lebih besar.

2. Panel kristal sonik 4 lubang

Berdasarkan pada Gambar 7(b), terlihat untuk panel kristal sonik dengan 4 lubang dan 3 baris nilai atenuasi tertinggi berturut-turut adalah sebesar -25,7 dB pada sudut 0° , -27,2 dB pada sudut 30° , -31,9 dB pada sudut 90° , -27,3 dB pada sudut 150° serta 25,0 dB untuk 180° .

3. Panel kristal sonik 6 lubang

Untuk kristal sonik dengan jumlah lubang sebanyak 6 lubang dan 3 baris, seperti pada Gambar 7(c) atenuasi suara tertinggi terjadi untuk sudut 0° sebesar -23,1 dB, pada sudut 30° sebesar -20,9 dB, pada sudut 150° sebesar -21,7 dB dan sudut 180° sebesar -22,9 dB. Sedangkan pada sudut 90° atenuasi tertinggi terjadi sebesar -21,9 dB. Sehingga dapat dilihat pada grafik di atas sudut 0° merupakan sudut yang paling optimal.

4. Panel kristal sonik 8 lubang

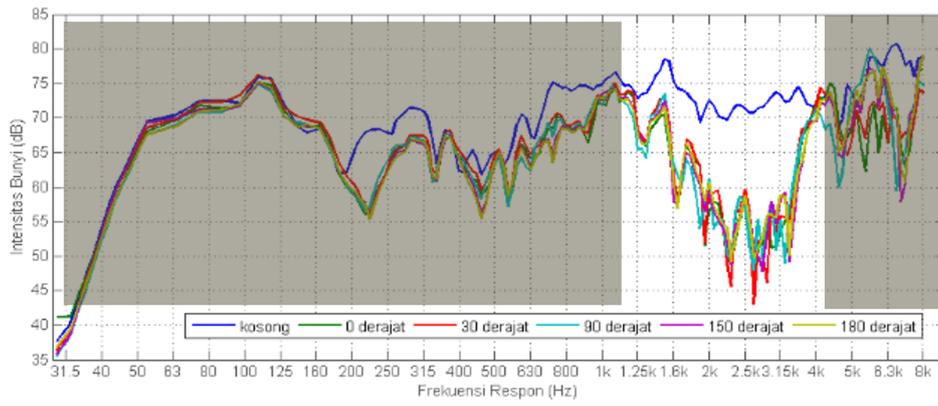
Seperti terlihat pada Gambar 7(d), atenuasi tertinggi untuk jumlah lubang 8 dan 3 baris adalah sebesar -23,2 dB pada sudut 0° , -26,8 dB pada sudut 30° , -22,3 dB pada sudut 90° , -18,5 dB pada sudut 150° serta 19,8 dB pada 180° .

Analisis dan diskusi

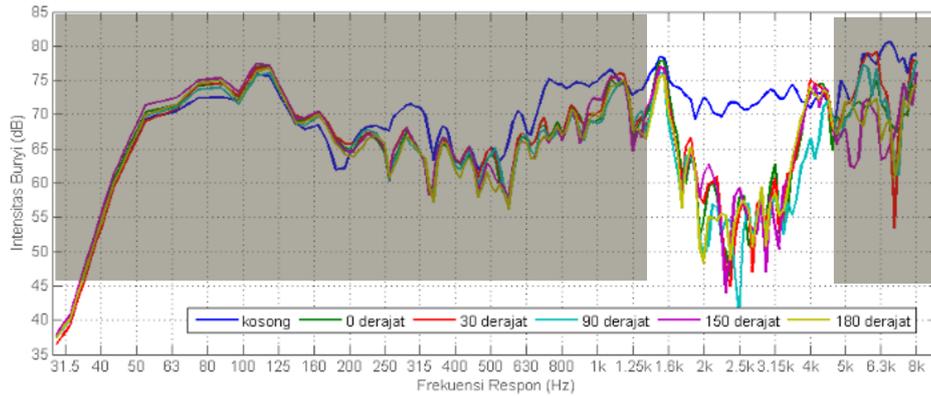
Seperti yang telah disampaikan pada bagian I, kinerja resonator (kristal sonik) didasarkan pada keterjebakan energi suara pada sebuah *cavity*. Secara teoritis, jumlah energi suara yang terjebak didasarkan pada arah sumber suara terhadap lubang bukaan dari resonator. Kinerja resonator ini dilihat dari seberapa besar kemampuan untuk meng-atenuasi suara melalui perubahan intensitas suara yang diterima oleh sensor (pendengar) ketika panel resonator tidak terpasang dan terpasang (Gambar 5). Selain itu, jumlah lubang perforasi pada masing-masing bilah (pipa) juga menyebabkan perubahan atenuasi serta pergeseran respon frekuensi yang diterima oleh penerima (sensor) [8], Sebagai contoh pada Gambar 8, pada sudut yang sama namun jumlah lubang yang berbeda, terlihat adanya perubahan atenuasi serta respon frekuensi.

Berdasar Gambar 8, terlihat adanya perubahan atenuasi suara untuk 2 lubang perforasi sebesar -10,34 dB pada frekuensi 217 Hz, 4 lubang sebesar -10,23 dB difrekuensi 256 Hz, 6 lubang sebesar -13,43 dB terjadi difrekuensi 387 Hz serta untuk 8 lubang sebesar -11,52 dB terjadi difrekuensi 434 Hz. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah lubang berakibat pada penambahan Massa akustik (M_A), sehingga menyebabkan naiknya atenuasi suara serta bergesernya frekuensi resonansi.

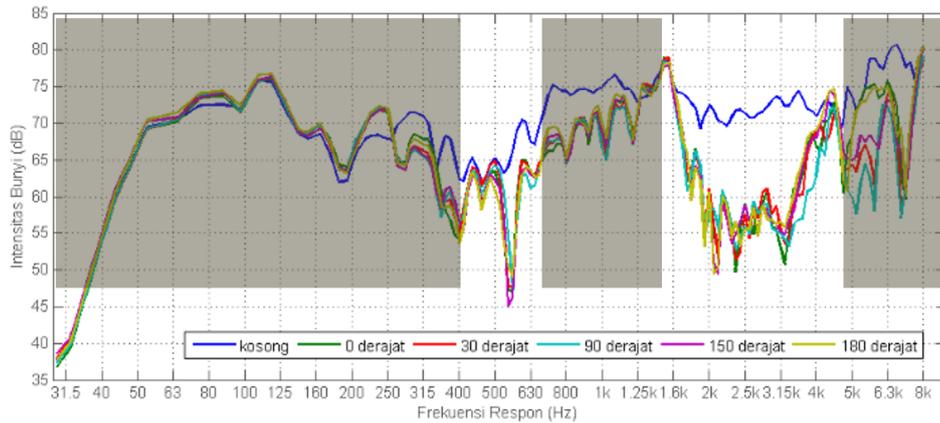
Hal yang sama juga untuk arah sumber suara dengan lubang, pada sudut kecil akan memiliki atenuasi lebih besar jika dibandingkan dengan sudut 180° . Karena pada saat lubang panel menghadap speaker (0°) akan terdapat gelombang suara yang akan masuk kedalam lubang dan gelombang akan terus memantul didalam 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 atenuasi suara lebih kecil jika dibandingkan dengan sudut



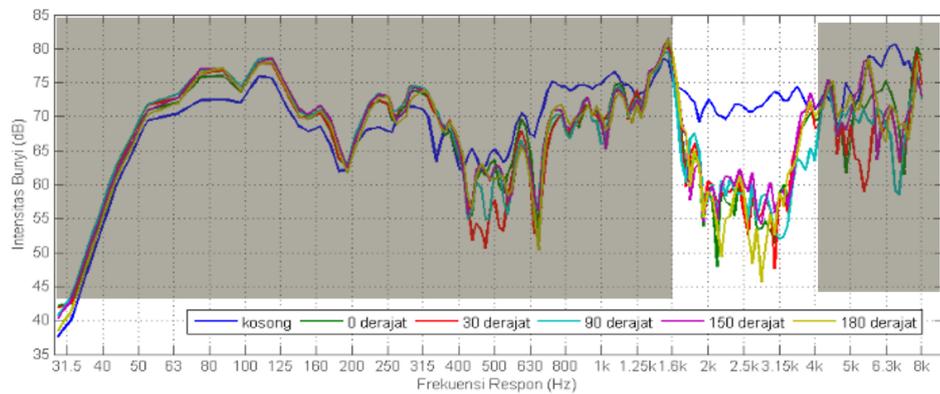
(a) 2 lubang



(b) 4 lubang

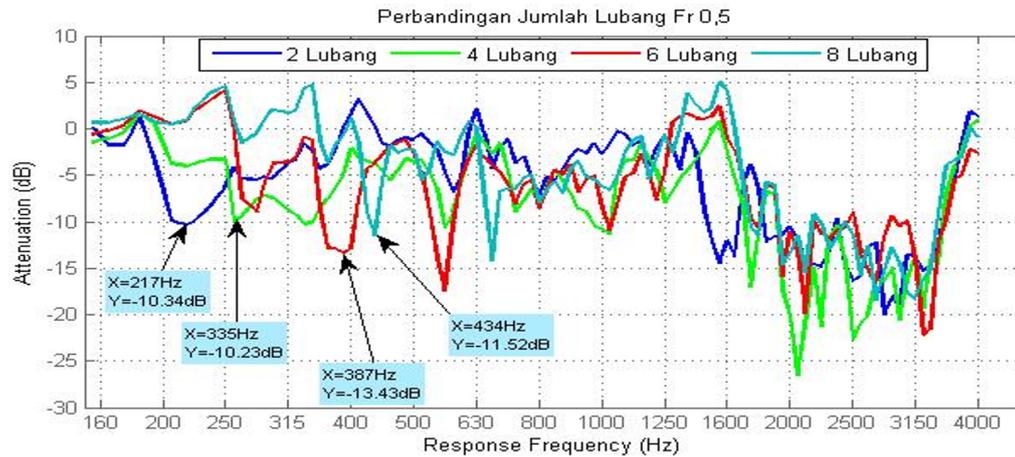


(c) 6 lubang



(d) 8 lubang

Gambar 7: Grafik hasil pengukuran dengan variasi sudut saat pipa dengan jumlah lubang (a). 2, (b). 4, (c). 6, (d). 8, terhadap 3 baris.



Gambar 8: Perbandingan nilai atenuasi suara untuk variasi jumlah lubang terhadap frekuensi.

yang lainnya. Sehingga saat lubang panel mengarah pada sudut 180° frekuensi resonansinya akan lebih mendekati frekuensi resonansi saat ruangan tanpa panel kristal sonik (kosong).

Berdasarkan pada nilai tersebut maka dapat dikatakan bahwa pada frekuensi target penurunan dominan terjadi pada sudut 30° . Hal ini 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* diletakkan 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.

IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran dan analisis data, dapat diambil simpulan bahwa pengaruh 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 $-4,0$ dB, untuk 30° sebesar $-10,7$ dB, untuk sudut 90° sebesar $-6,7$ dB, untuk 150° sebesar $-4,0$ dB dan untuk sudut 180° sebesar $-4,4$ dB. Sehingga sudut yang paling optimal adalah pada saat lubang pada panel mengarah pada sudut 30° .

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada DRPM Ristek Dikti melalui dana penelitian 2019 LPPM ITS skema PDUPT dengan no kontrak: 913/PKS/ITS/2019.

- [1] N. Kessissoglou, and S.M.B. Fard, "Sonic crystal Noise Barrier Using Locally Resonant Scatterers", UNWS Sydney: Australia, 2016.
- [2] F. Morandi, *et al.*, "Acoustic Measurements on a Sonic crystals Barrier", University of Bologna, Italy, 2015.
- [3] T. Miyashita, "Sonic crystal and Sonic Wave-Guides" Meas. Sci. Technol., vol. 16, pp. R47-R46, 2005
- [4] R. Kristiani, Iwan Yahya & Harjana, "Kinerja Serapan Bunyi Komposit Ampas Tebu berdasarkan Variasi Ketebalan dan Jumlah Quarter Wavelength Resonator terhadap Kinerja Bunyi", J. Fis. dan Apl., vol. 10, no. 1, hlm. 14-18, Oktober 2014.
- [5] K.B. Ginn, "Architectural Acoustics", Bruel & Kjr, Denmark,

1978.

- [6] R.F. Barron, "Industrial Noice Control and Acoustic", Marcel Dekker, Inc. USA, 2001.
- [7] 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.
- [8] M.A. Annas, Suyatno, G. Prajitno, S. Indrawati, "Effect of Perforation Holes to Sound Attenuation on PVC pipe of Sonic crystal", International Seminar on Science and Technology (ISST) 2019, ITS, Surabaya, 2019.