

PENGARUH FRAKSI ABU ONGGOK AREN DAN KONFIGURASI RESONATOR PADA KINERJA SERAPAN AKUSTIK BATAKO EKSPOSE

Zulfa Kamila R, Iwan Yahya*, Utari

Lab Riset Akustik (iARG) – Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sebelas Maret

*Corresponding author: iwanyy@yahoo.com

ABSTRACT

Sound absorption performance optimization of expose brick has been conducted in associated with the fraction of sugar palm ash in its raw material and configuration of Helmholtz resonators inside the brick structure. The testing was conducted experimentally refer to ASTM E-1050-98 standard procedure. In this case there are three variations sugar palm ash fractions of 0%, 5%, 10%, and 20% as well as two array resonator configurations. The results showed that the brick with fraction of 10% sugar palm ash has the best combination of mechanical and sound absorption performance. As for the configuration of array identical Helmholtz resonator giving better performance improvement at low frequency span than complex resonator structure with coupled cavity where the best performance occur on (376-488) Hz frequency range with the absorption coefficient α of 0.54.

Keywords: exposed brick, sugar palm ash, Helmholtz resonator, the sound absorption coefficient

ABSTRAK

Telah dilakukan optimasi kinerja serapan akustik batako *expose* dikaitkan dengan fraksi abu onggok aren sebagai bahan baku serta konfigurasi resonator Helmholtz di dalam struktur batako. Pengujian kinerja dilakukan secara eksperimen mengacu kepada prosedur ASTM E-1050-98. Dalam hal ini terdapat tiga variasi fraksi abu onggok aren yakni sebesar 0%, 5%, 10%, dan 20% serta dua ragam konfigurasi resonator jamak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa batako dengan fraksi abu onggok sebesar 10% memiliki paduan kinerja serapan akustik dan mekanik terbaik. Adapun konfigurasi jamak resonator Helmholtz identik mampu memberikan peningkatan kinerja yang lebih baik di bentang frekuensi rendah dibandingkan struktur resonator kompleks dengan rongga ganda yang terkoneksi. Serapan akustik terbaik diperoleh pada bentang frekuensi 376-488 Hz dengan nilai koefisien serapan α sebesar 0,54.

Kata kunci : *batako expose, onggok aren, Resonator Helmholtz, koefisien serapan bunyi*

PENDAHULUAN

Pohon Aren (*Arenga pinnata merr*) tumbuh tersebar di semua wilayah Indonesia terutama kawasan yang mempunyai kelembaban relatif tinggi. Pemanfaatannya antara lain untuk industri tepung aren yang umumnya masih dilaksanakan secara tradisional. Dari proses pengolahan tepung aren tersebut dihasilkan limbah padat maupun cair. Limbah padatnya sendiri terbagi menjadi dua ragam yakni serbuk dan serat aren. Serbuk aren biasanya diolah kembali untuk pakan ternak sapi, sedangkan serat aren dapat dimanfaatkan dalam industri papan semen sebagai komposit atau penguat material, campuran genteng, campuran beton, dan pengisi gypsum.^[1]

Pemanfaatan lain dari limbah padat berupa abu onggok aren sebagai campuran bahan pembuatan batako *ekspose* disajikan dalam makalah ini. Pengaruh fraksi abu onggok dan konfigurasi resonator Helmholtz terhadap kinerja akustik batako *ekspose* telah dikaji berdasarkan pengujian eksperimental. Pilihan kajian atas dampak perubahan pada

kinerja akustik batako ekspose didasarkan pertimbangan bahwa batako ekspose merupakan bahan konstruksi dinding bangunan yang aplikasinya tanpa menyertakan lapisan semen penutup atau acian. Oleh karena itu, maka pemahaman yang baik atas perilaku dan respon akustiknya menjadi sangat penting untuk memenuhi standar yang berlaku untuk batas kenyamanan secara akustik. Adapun strategi yang dipilih untuk memperbaiki kinerja serapan adalah dengan penerapan prinsip resonator Helmholtz di dalam struktur batako ekspose.

Penambahan Resonator Helmholtz adalah salah satu metode yang sangat lazim dilakukan untuk reduksi bising, khususnya pada bentang frekuensi rendah. Struktur dasarnya menyerupai botol dimana rongganya dapat berbentuk bola, kotak atau bahkan bentuk sembarang. Ketika terdapat fluktuasi tekanan bunyi di permukaan resonator, maka massa udara yang bereda di dalam leher resonator akan berayun dengan perilaku yang analog dengan gerakan massa pada ayunan pegas sementara kerja rongga resonator itu sendiri analog dengan dengan perilaku pegasnya.

Untuk kepentingan penelitian, telah dikembangkan dua model rangkaian resonator Helmholtz yakni konfigurasi jamak berupa jajaran resonator sejenis yang bekerja secara mandiri serta struktur resonator kompleks yang memiliki rongga ganda yang terkoneksi satu sama lain melalui kanal penghubung antar rongga.

Pilihan atas ragam rancangan resonator seperti tersebut di atas didasarkan pada penelitian terdahulu antara lain oleh Wang and Mak yang menyajikan kajian bersifat teoretik atas respon untaian resonator jamak di dalam pipa yang mana diperoleh hasil bahwa pemakaian resonator jamak dapat memberikan kemampuan reduksi bising yang lebih efektif dibandingkan dengan dengan resonator tunggal^[2]. Kemudian Selamat and Lee meneliti resonator Helmholtz asimetris yang memiliki struktur perpanjangan leher di dalam rongga resonator^[3]. Hasilnya menunjukkan bahwa bentuk perpanjangan leher dan efek perforasi pada perpanjangan leher mempengaruhi frekuensi resonansi dari resonator tanpa harus mengubah volume rongga resonatornya.

Adapun Chanaud meneliti dampak dari geometri dan dimensi struktur leher dan rongga resonator terhadap frekuensi kerja Resontor Helmholtz^[4]. Hasil analisisnya sejalan dengan pemodelan teoretik berdasarkan analogi terhadap ayunan mekanik dimana dimensi leher dan rongga mengubah frekuensi resonansi dari resonator sementara perubahan geometri tidak menghasilkan perubahan pada respon akustiknya.

Dari sudut pandang aplikasi khususnya berkaitan dengan struktur permukaan peredam bising untuk bangunan, hasil penelitian Zulfian dkk pada panel beton busa menunjukkan bahwa perlakuan pada permukaan panel dinding beton mempengaruhi besarnya nilai penyerapan bunyi terutama pada bentang frekuensi rendah 125 Hz – 500 Hz^[5]. Permukaan panel dinding beton yang dilapisi dengan cata hanya memiliki nilai koefisien serapan sebesar 0,05 pada frekuensi 125 Hz, sementara permukaan berpori nilai koefisien serapan meningkat signifikan pada bentang frekuensi yang sama.

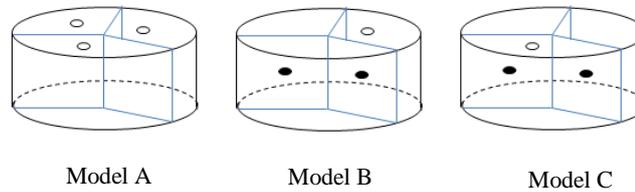
METODE

Pembuatan Model Batako Ekspose

Model batako ekspose yang digunakan dalam penelitian disajikan pada Gambar (1). Strukturnya terbuat dari komposisi semen, pasir, abu ongkok aren dan air. Setiap bahan ditimbang sesuai dengan proporsi yang direncanakan. Perbandingan semen-pasir yang digunakan adalah (1:4) sesuai hasil penelitian Simbolon^[5] dengan nilai fas 0,48. Adapun variasi fraksi abu ongkok berturut-turut 0%, 5%, dan 10% terhadap massa semen. Bahan yang sudah tercampur kemudian dimasukkan ke dalam cetakan berdiameter 100 mm dan ketebalam 30 mm. Model dibiarkan mengering secara alami selama sehari kemudian

diikuti proses perendaman dalam air selama lima hari lalu dikeringkan kembali selama satu hari.

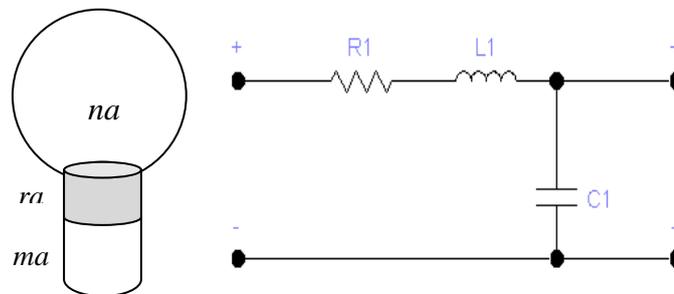
Dimensi dari struktur resonator di dalam model yang telah dikembangkan adalah sebagai berikut. Volume resonator tunggal adalah $12,38 \text{ cm}^3$, panjang dan tampang lintang leher berturut-turut 10 mm dan 5 mm.



Gambar 1. Model sampel batako dengan Resonator Helmholtz

Analogi Listrik Untaian Resonator Jamak

Analogi listrik sebuah resonator Helmholtz disajikan dalam Gambar (2) yang dalam hal ini berupa sebuah rangkaian RLC. Rongga resonator (na) analog dengan kapasitor C , impedansi pada tabung terbuka (ma) analog dengan induktor L , dan resistansinya (ra) analog dengan resistor R .



Gambar 2. Resonator Helmholtz dan analogi listriknya

$$L = \frac{\rho l}{S} \quad C = \frac{\rho c^2}{V} \quad R = \frac{\rho c}{S} \quad (1)$$

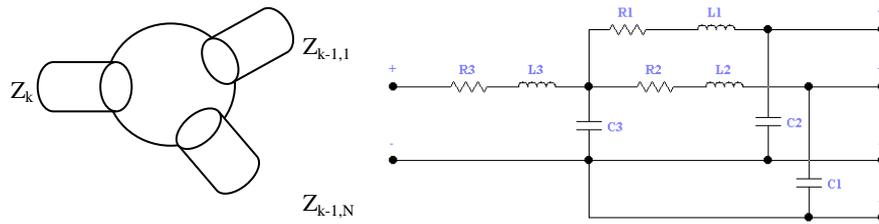
dimana dalam hal ini ρ adalah kerapatan udara (kg/m^3), c adalah kecepatan bunyi (m/s), V adalah volume rongga (m^3), dan S adalah tampang lintang leher resonator (m^2). Tekanan yang terjadi pada resonator tersebut adalah^[7]:

$$P_{\Sigma} = q \left(j\omega m_a + r_a + \frac{1}{j\omega n_a} \right) \quad (2)$$

sementara impedansi akustik resonator tunggal adalah^[8]:

$$Z = j\omega L + R + \frac{1}{j\omega C}, \text{ dimana } j = \sqrt{-1} \quad (3)$$

Adapun analogi untuk resonator kompleks disajikan dalam Gambar (3) dalam hal ini digunakan model pohon untuk menggambarkan interkoneksi rongga pada struktur resonator.



Gambar 3. Resonator Tree dan analogi listriknya

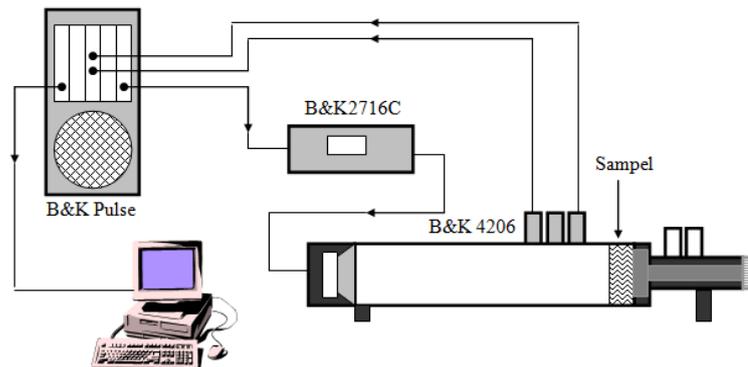
Impedansi yang reonator pada Gambar (3) diberikan oleh hubungan berikut,

$$Z_k(\omega) = j\omega L + R + \frac{1}{j\omega C + \sum_{n=1}^N Z_{1,n}}$$

$$= \frac{-\omega^2 LC + j\omega RC + 1}{j\omega C + \sum_{n=1}^N Z_{1,n}} \quad (4)$$

Pengujian Koefisien Serapan Bunyi

Untuk tujuan pengujian koefisien serapan bunyi dari model batako ekspose yang telah dikembangkan maka ditempuh prosedur pengujian dengan metode tabung impedansi dua mikrofon. Metode ini mengacu kepada prosedur standar ASTM E-1050-98 yang berbasis analisis fungsi tranfer terhadap sinyal yang terindera oleh kedua mikrofon. Rangkaiannya disajikan dalam Gambar (4).



Gambar (4). Konfigurasi dalam pengujian koefisien serapan bunyi dengan ASTM E-1050-98

Bunyi berupa *random noise* dibangkitkan dengan Generator Modul B&K 3160-A-042 yang kemudian diperkuat dengan amplifier B&K 2716C. Gelombang bunyi tersebut kemudian akan merambat dan mengenai model batako ekspose yang wujudnya disajikan dalam Gambar (5).

Sebagian gelombang akan diserap dan sebagian lagi akan terpantulkan kembali. Gelombang datang dan gelombang pantul akan diindera dengan dua buah mikrofon B&K 4187 yang merupakan free field microphone dengan diameter ¼ inchi. Setelah diperkuat, sinyal yang ditangkap oleh kedua mikrofon akan diteruskan ke 4-ch microphone module

B&K 3160-A-042 dimana akan dilakukan analisis frekuensi untuk mendapatkan fungsi respons frekuensi H_1 , fungsi respons frekuensi gelombang datang, H_i , dan fungsi respons frekuensi gelombang pantul H_r . Pada tahap ini dilakukan perhitungan koefisien refleksi yang diberikan oleh hubungan sebagai berikut,

$$R = \left(\frac{H_1 - H_i}{H_r - H_1} \right) e^{j2k(l+s)} \quad (5)$$

dengan k adalah bilangan gelombang. l dan s berturut-turut merupakan jarak mikrofon pertama ke sampel uji dan jarak antar mikrofon.

Dengan menggunakan hubungan nisbah impedansi ternormalisasi maka diperoleh,

$$\frac{z}{\rho c} = \frac{1 + R}{1 - R} \quad (6)$$

sehingga koefisien serapan α dapat dihitung dengan persamaan

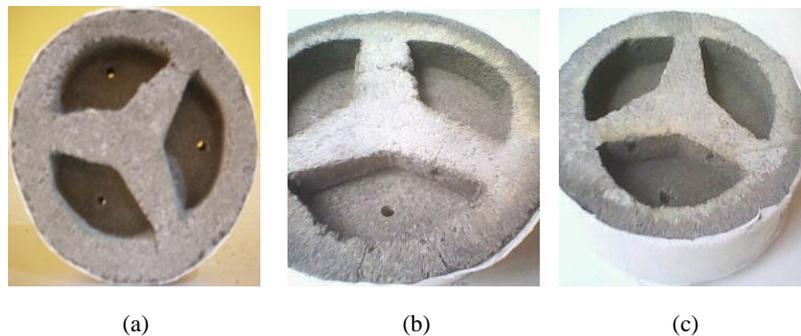
$$\alpha = 1 - |R|^2 \quad (7)$$

Pengolahan data pada eksperimen sepenuhnya dikerjakan dengan komputer menggunakan perangkat lunak B&K Labshop Software versi 16 serta Pulse Material Testing yang memang diperuntukkan untuk analisis serapan akustik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Variasi Resonator Helmholtz

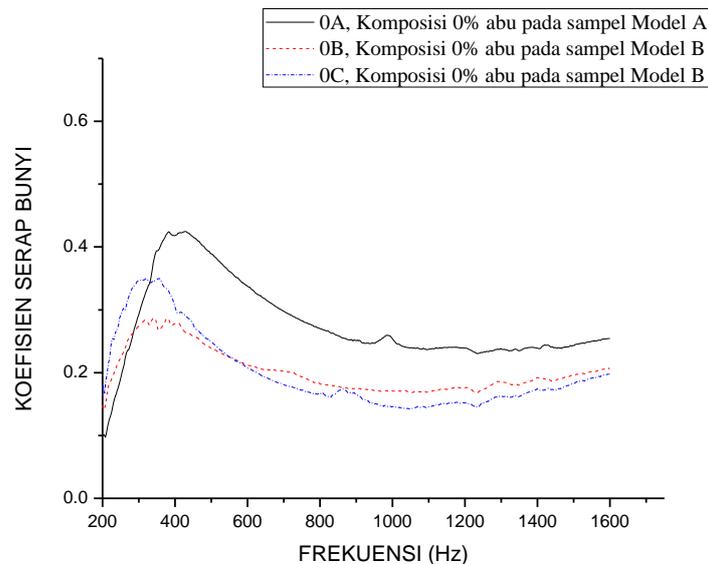
Pengujian dampak variasi konstruksi resonator dilakukan terhadap dua kategori dasar konfigurasi yakni model dengan tiga resonator seragam yang independen (Model A) dan model dengan struktur rongga kompleks yang meliputi untaian rongga terpasang seri (Model B) dan untaian rongga terpasang parallel (Model C).



Gambar 5. Sampel batako dengan variasi posisi resonator
(a) Model A, (b) Model B, (c) Model C

Hasil pengujian disajikan pada Gambar (6) yang menyajikan perbandingan kinerja ketiga model uji pada keadaan fraksi abu ongkok sebesar 0%. Tampak bahwa Model A menyajikan kinerja redaman terbaik dimana koefisien serapan bernilai lebih dari 0,4 dapat dicapai pada bentang frekuensi (360-480) Hz. Adapun Model B memiliki kinerja serapan maksimal sebesar 0,29 dengan nilai serapan yang lebih dari 0,2 tercapai pada bentang

frekuensi (234-716) Hz. Sementara itu nilai koefisien tertinggi yang dapat dicapai oleh Model C adalah 0,35 yang terjadi pada bentang (264-402) Hz.



Gambar 6. Grafik koefisien serapan bunyi variasi konfigurasi Resonator Helmholtz

Hasil tersebut sejalan dengan penelitian terdahulu oleh Wang and Mak dimana pemakaian resonator jamak dapat memberikan kinerja serapan yang lebih baik. Dalam hal ini ketiga struktur resonator tunggal yang terpasang pada model A telah bekerja dengan sangat baik. Konfigurasi tiga resonator tunggal memberi peluang yang lebih baik bagi terjadinya penyerapan energi bunyi melalui mekanisme redaman viskous karena terdapat tiga elemen massa udara yang berayun di dalam struktur leher resonator tersebut. Mekanisme yang demikian menghasilkan redaman yang lebih efektif di bentang frekuensi tinggi secara lebih baik dibandingkan dengan Model B dan Model C.

Sejalan dengan rumusan di dalam persamaan (4), bertambahnya nilai R akan berdampak bertambah besarnya mekanisme redaman viskous yang mengubah energi bunyi menjadi panas. Mekanisme itulah yang terjadi pada gerakan ayunan elemen udara di dalam leher ketiga resonator pada Model A.

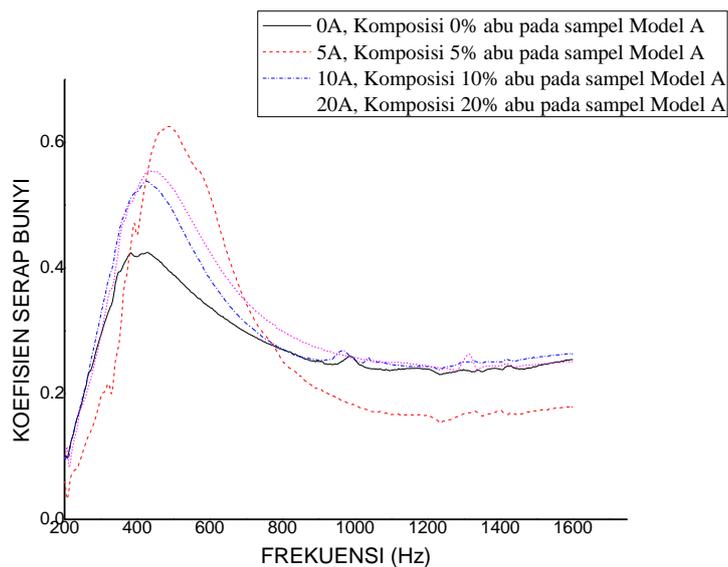
Adapun untuk Model B dan Model C, sebagaimana halnya yang juga tersaji dalam persamaan (4), bahwa perubahan nilai induktansi dan kapasitansi pada analogi listrik untaian resonator jamak akan berdampak pada berubahnya reaktansi struktur resonator. Perubahan reaktansi ini berhubungan langsung dengan perubahan frekuensi resonan dari struktur resonator yang dikembangkan. Maka tampak jelas dari hasil pengujian dalam Gambar (6) bahwa terjadi perubahan respon resonator ke bentang frekuensi yang lebih rendah.

Namun demikian, perubahan volume resonator yang semula bernilai $12,38 \text{ cm}^3$ untuk sebuah resonator tunggal pada Model A menjadi terakumulasi sesar btiga kali lipat pada Model B dan Model C belum memberikan dampak yang signifikan untuk memicu perubahan besar pada reaktansi struktur resonator kompleks tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa karena keterbatasan ruang untuk menciptakan rongga yang besar di dalam struktur sebuah batako ekspose, maka strategi reduksi bising dengan konfigurasi resonator kompleks berongga jamak belum mampu memberikan kinerja maksimal.

Variasi Fraksi Abu Aren

Pemakaian abu serat aren dimaksudkan untuk mereduksi pemakaian semen dalam struktur batako ekspose. Untuk tujuan dimaksud maka sangat penting untuk terlebih dahulu dilakukan analisis kandungan silika (Si) di dalam abu seran aren. Pengujian dengan teknik *atomic absorption spectroscopy* (AAS) menunjukkan bahwa kandungan silika dalam abu ongkok aren adalah sebesar 27,89%. Apabila dibandingkan dengan bahan lain selama ini juga telah digunakan sebagai campuran beton seperti *silica fume*(75,54 %), abu sekam padi (80,25%), *blast furnace slag*(35,85%), *fly ash* (56,25%) dan *trass*(25,71%), maka abu ongkok aren berpotensi untuk digunakan sebagai bahan campuran batako.^[9]

Untuk kepentingan pengujian kinerja akustik, maka telah digunakan tiga ragam fraksi abu ongkok aren yakni 0%, 5%, dan 10%. Ketiga ragam fraksi tersebut diujikan pada konstruksi batako ekspose Model A dengan pertimbangan karena model tersebut memiliki kinerja akustik terbaik. Hasil pengujiannya disajikan pada Gambar (7).



Gambar 7. Grafik koefisien serap bunyi variasi komposisi

Tampak dari Gambar (7) bahwa sampel 5A mampu memberikan kinerja yang baik dengan nilai koefisien serapan lebih dari 0,6 pada bentang frekuensi 450-520 Hz lalu kemudian berkurang secara signifikan pada frekuensi yang lebih tinggi. Secara keseluruhan, semua sampel uji mengalami mekanisme resonansi dalam bentang frekuensi yang relatif sama. Artinya ketiga resonator pada struktur yang mengacu kepada Model A tersebut bekerja secara akumulatif menghasilkan redaman efektif yang serupa.

Perbedaan yang menarik pada perilaku model 5A yang menunjukkan perbedaan respon mencolok di frekuensi tinggi. Perbedaan ini diduga terpicu oleh keadaan dimana pada jumlah fraksi abu ongkok 5% mampu menyajikan ikatan antar elemen semen, pasir, dan silika dalam serat ongkok dengan sangat baik sehingga modulus elastisitas dari campuran tersebut mencapai keadaan maksimal. Peningkatan modulus elastisitas ini berdampak pada perubahan mekanisme peredaman oleh model batako yang dikembangkan.

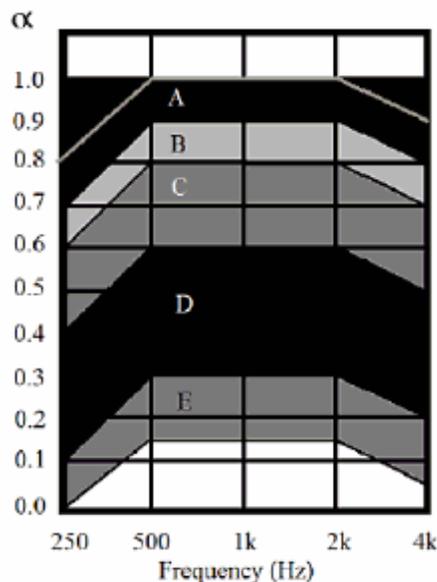
Perubahan densitas yang mengecil seiring dengan penambahan fraksi abu ongkok berdampak pada penurunan kekakuan dari model yang dikembangkan. Penurunan inilah yang kemudian dicirikan oleh bertambahnya nilai koefisien serapan bunyi pada bentang frekuensi lebih tinggi sebagaimana dihasilkan oleh Model 5A dengan fraksi abu ongkok

10% dan 20%. Hasil pengujian pada Gambar (7) juga menunjukkan bahwa keadaan tanpa abu ongkok bukan merupakan model dengan modulus elastisitas terbaik. Hal inilah yang menyebabkan respon akustik model dengan fraksi abu ongkok 0% serupa dengan respon pada model dengan fraksi 10% dan 20%. Hal tersebut diperkuat dengan hasil uji kuat tekan secara mekanik dengan *universal testing machine* (UTM) tipe DBBMTCL-5000Kg seri 36751 sebagaimana disajikan dalam Tabel (1). Gabungan hasil pengujian akustik dan mekanik yang telah dilakukan menunjukkan bahwa model batako ekspose dengan konfigurasi tiga resonator tunggal pada keadaan fraksi abu ongkok 10% menyajikan gabungan kinerja mekanik dan akustik terbaik dibandingkan dengan model dengan yang terbuat dari bahan dengan fraksi abu ongkok yang lain.

Tabel 1. Hasil Uji Kuat Tekan

Sampel	Diameter (mm)	Luas (mm ²)	Gaya (N)	Tekanan (MPa)
0A	99	7693.785	17511.5	2.276058
5A	99	7693.785	25013	3.251066
10A	98.5	7616.463	21643.5	2.841674
20A	98	7539.14	17728	2.351462

Selanjutnya, jika dikaitkan dengan ISO 11654:1997 untuk *Acoustical Sound Absorbers For Use In Buildings-Rating of Sound Absorption* sebagaimana tersaji dalam Gambar (8), maka jelas bahwa model batako eskpose yang dikembangkan berada pada kelas D dimana nilai koefisien serapan akustik berkisar antara 0,1 hingga 0,6 pada rentang frekuensi (250-2000) Hz.^[10]



Gambar 8. Kinerja akustik *building sound absorber* mengacu ISO 11654 1997

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis tersebut diatas dapat dikemukakan kesimpulan bahwa pemakaian rancangan resonator jamak dapat memberikan peningkatan kinerja akustik yang lebih baik

pada struktur batako ekspose. Akumulasi kinerja akustik dan mekanik terbaik dapat dicapai pada struktur yang mengacu pada rancangan Model A dengan fraksi abu ongkok sebesar 10%.

DAFTAR PUSTAKA

1. Firdayati, M. dan M. Handajani. Studi Karakteristik Limbah Industri Tepung Aren. *Jurnal Infrastructure and Environment*, Vol. 1 No. 2, pp. 22-23 (2005)
2. Wang, X. and C. Mak. *Wave Propagation in A Duct with A Periodic Helmholtz Resonators Array*. *Journal Acoustical Society of America*, 131, pp. 1-3 (2012)
3. Selamat, A. And Lee, I. 2003. Helmholtz Resonator with Extended Neck. *Journal Acoustical Society of America*, 113 (4), pp. 1979-1983
4. Chanaud, R. C. Effects of Geometry on The Resonance Frequency of Helmholtz Resonator. *Journal Sound and Vibration*, 178, pp. 341-347 (1994)
5. Zulfian, Abdullah, dan Fahridhal. Penentuan Nilai Penyerapan Suara Pada Panel Dinding Beton Busa sebagai Panel Alternatif yang Ramah Lingkungan. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan ISSN 1412-5064*, Vol. 8, No. 1, pp. 44-45 (2011)
6. Simbolon, Tiurma. *Pembuatan dan Karakterisasi Batako Ringan yang Terbuat dari Styrofoam-Semen*. Thesis Ilmu Fisika, Universitas Sumatera Utara. pp. 58-60 (2009)
7. Blauert, J., and Ning Xiang. *Acoustics for Engineers*, (Scientific Publishing Pvt. Ltd, India, 2009) pp. 24-25
8. Paiva, Rafael C. D., Valimaki, V. *The Helmholtz Resonator Tree*. *Proc. Of the 1^{5th} Int. Conference on Digital Audio Effects (DAFx-12)*, pp. DAFX-2- DAFX-3 (2012)
9. Haryono, Sri., Sudjatmiko, A. *Kajian Kandungan Pozzolan pada Limbah Abu Ampas Tebu (Baggase Ash) dengan Suhu Pembakaran secara Terkontrol*. *Simposium Nasional RAPI X FT UMS ISSN : 1412-9612*, pp. K59-K60 (2011)
10. Watson, R. and Downey, O.. *The Little Red Book of Acoustics*, (Blue Tree Acoustics, Inggris, 2008) pp. 25-26