

Pemanfaatan Serat Kapuk Randu Sebagai *Filler* Pada Pembuatan *Acoustic Board* Berstruktur *Sandwich*

Nadya Indah Arifin^{*1)}, R Hari Setyanto²⁾, dan Taufiq Rochman³⁾

^{1*,2,3)}Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami No. 36A
Kientangan, Surakarta, 57126, Indonesia

Email: nandyaindah8@student.uns.ac.id, setyanto@staff.uns.ac.id, taufiqrochman@staff.uns.ac.id

ABSTRAK

Green building atau bangunan ramah lingkungan memiliki peran penting dalam mengurangi dampak pemanasan global. Selain fokus pada efisiensi energi dan pengelolaan limbah, konsep bangunan ramah lingkungan juga memperhatikan penggunaan material bahan bangunan yang ramah lingkungan untuk keberlanjutan lingkungan baik jangka pendek maupun jangka panjang. Terkait dengan konsep bangunan ramah lingkungan (*green building*), maka diperlukan adanya inovasi produk dengan memanfaatkan material alam yang ada untuk menggantikan penggunaan material sintetis yang memiliki dampak negatif bagi lingkungan. Peredam suara pada bangunan adalah salah satu produk yang terdapat di pasaran dan bahan baku umumnya berasal dari bahan sintetis. Pengendalian kebisingan pada bangunan umumnya menggunakan peredam suara berupa *acoustic board* yang diaplikasikan menjadi dinding, plafon, dan sebagainya. Untuk dapat mengatasi permasalahan tersebut, maka dilakukan sebuah penelitian untuk menghasilkan sebuah inovasi produk *acoustic board* dengan bahan serat alam yang lebih ramah lingkungan dengan memanfaatkan serat kapuk randu sehingga dapat menjadi alternatif pengganti bahan sintesis.

Kata kunci: *Acoustic Board*, *Green Building*, Serat Kapuk Randu

1. Pendahuluan

Isu pemanasan global menjadi topik hangat di seluruh dunia. Pemanasan global merujuk pada peningkatan suhu di permukaan bumi akibat peningkatan efek rumah kaca. Peningkatan suhu global yang disebabkan oleh emisi gas rumah kaca, diyakini sebagai akibat dari aktivitas pembangunan. Proses konstruksi mulai dari tahap pelaksanaan, pembangunan sampai bangunan tersebut bisa dimanfaatkan, dianggap dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan hidup di sekitar bangunan tersebut. Maka dari itu, fenomena *global warming* harus segera diantisipasi. Sebuah langkah yang bisa diambil untuk menghindari hal tersebut adalah dengan menerapkan pembangunan yang berkesinambungan (*sustainable development*) (Dianita, 2014).

Pembangunan yang berkesinambungan dimaksudkan untuk memenuhi kebutuhan sekarang tanpa mengurangi atau merusak kemampuan generasi mendatang dalam memenuhi kebutuhan mereka. Implementasi dari konsep pembangunan berkelanjutan adalah melalui konstruksi berkelanjutan. Salah satu contoh dari konstruksi berkelanjutan yang mudah diimplementasikan adalah bangunan ramah lingkungan (*green building*).

Green building, atau bangunan yang ramah lingkungan, memiliki peran dalam mengurangi laju pemanasan global. Bangunan ramah lingkungan adalah bentuk kepedulian terhadap keberlanjutan lingkungan dalam industri konstruksi. Bangunan ramah lingkungan didesain untuk mengurangi dampak keseluruhan pembangunan terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Selain berkaitan dengan manajemen penghematan energi dan pengelolaan limbah, bangunan ramah lingkungan juga memperhatikan bagaimana material bangunan tersebut tidak merugikan lingkungan, baik dalam jangka pendek maupun panjang (Dianita, 2014). Pemilihan material untuk bangunan memiliki peran penting dalam mencapai tujuan hemat energi dan ramah lingkungan. Oleh karena itu, pemilihan material bangunan sama pentingnya dengan desain bangunan itu sendiri. Pemilihan bahan yang sesuai akan meningkatkan aspek keindahan pada struktur bangunan serta menciptakan bangunan yang berkualitas. Dalam konteks bangunan

ramah lingkungan, pemilihan material yang tepat adalah material hijau atau material yang ramah lingkungan. Dengan menggunakan material yang ramah lingkungan, akan tercipta bangunan yang berkualitas dan berkelanjutan untuk lingkungan sekitar.

Terkait dengan konsep bangunan ramah lingkungan (*green building*), maka diperlukan adanya inovasi produk dengan memanfaatkan material alam yang ada untuk menggantikan penggunaan material sintetis yang tidak ramah lingkungan pada bangunan. Salah satu material yang sering dijumpai di pasaran dan umumnya terbuat dari bahan sintetis adalah peredam suara. Pengendalian kebisingan pada bangunan umumnya menggunakan peredam suara berupa *acoustic board* yang diaplikasikan menjadi dinding, plafon, dan sebagainya. *Acoustic board* memiliki fungsi mereduksi kebisingan agar bunyi tidak merambat keluar maupun masuk ke dalam ruangan. Bahan peredam suara yang umumnya digunakan pada bangunan berasal dari bahan sintetis seperti *soft plester*, *glass wool*, dan sebagainya (Muhammad Munir et al., 2015). Bahan sintetis tersebut memiliki sifat akustik yang baik, namun sebagian besar berasal dari luar negeri dan dapat menimbulkan dampak buruk bagi lingkungan, karena tidak dapat diuraikan secara alami dan berpotensi merugikan generasi mendatang (Islam et al., 2018).

Untuk mengatasi hal tersebut, material berbasis serat alam mulai dikembangkan untuk menggantikan bahan sintetis yang ada (Kusmiran dkk., 2019). Material berbasis serat alam memiliki banyak keunggulan termasuk koefisien penyerapan suara yang tinggi, ramah lingkungan, dapat terurai secara hayati, ketersediaan yang melimpah, biaya rendah, dan kemudahan dalam proses pembuatannya (Gokulkumar dkk., 2020).

2. Metode

Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen faktorial. Eksperimen faktorial digunakan untuk meneliti interaksi antara tiga variabel independen yang berbeda. Dengan menggunakan metode eksperimen faktorial, peneliti dapat menguji beberapa hipotesis dalam satu eksperimen, sehingga menghemat waktu dan sumber daya daripada melakukan eksperimen terpisah. Ada tiga faktor yang digunakan sebagai variabel independen dalam penelitian ini, yaitu ketebalan rongga resonator, diameter leher resonator, dan volume isian. Variabel dependen dalam studi ini adalah nilai *decibel drop*.

Penentuan Jumlah Observasi

Jumlah observasi yang dilakukan dalam penelitian ini ditentukan melalui faktor yang mempengaruhi uji serap bunyi. Variabel tersebut diuraikan sebagai berikut.

a. Variabel *Dependent*

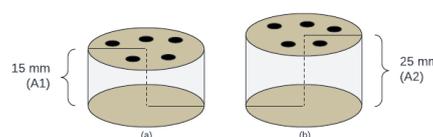
- 1) Variabel respon : nilai *decibel drop*
- 2) Unit spesimen : 8 spesimen uji serap bunyi dengan 5 replikasi

b. *Restrictions* (Faktor Pembatas)

- 1) Faktor ketebalan *skin* resonator berbahan papan triplek, yaitu sebesar 6 mm

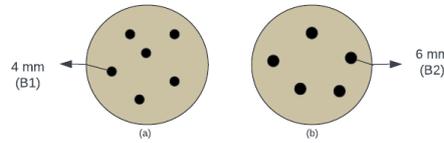
c. Variabel *Independent*

- 1) Faktor ketebalan rongga resonator (A) yang terdiri dari dua tingkat, yaitu:



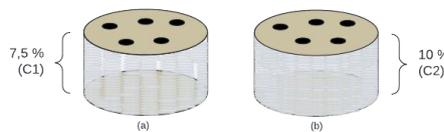
Gambar 1. Faktor Ketebalan Rongga Resonator

- a) Ketebalan rongga resonator 15 mm (A1)
 - b) Ketebalan rongga resonator 25 mm (A2)
- 2) Faktor diameter leher resonator (B) yang terdiri dari dua tingkat, yaitu:



Gambar 2. Faktor Diameter Leher Resonator

- a) Leher resonator dengan diameter 4 mm (B1)
 - b) Leher resonator dengan diameter 6 mm (B2)
- 3) Faktor volume isian (C) yang terdiri dari dua tingkat, yaitu:



Gambar 3. Faktor Volume Isian

- a) Volume isian sebesar 7,5% (C1)
- b) Volume isian sebesar 10% (C2)

Setelah variabel-variabel yang terlibat dalam penelitian teridentifikasi, selanjutnya dilakukan penentuan *layout* eksperimen. Variabel *independent* pada penelitian ini dilakukan replikasi sebanyak 5 kali. Sehingga, *layout* eksperimen dapat disajikan melalui Tabel 1.

Tabel 1. *Layout* Eksperimen Pembuatan Spesimen Uji Serap Bunyi

Ketebalan Rongga Resonator (A)	Diameter Leher Resonator (B)	Replikasi	Volume Isian (C)	
			7,5% (C1)	10% (C2)
15 mm (A1)	4 mm (B1)	1	Y1111	Y1121
		2	Y1112	Y1122
		3	Y1113	Y1123
		4	Y1114	Y1124
		5	Y1115	Y1125
	6 mm (B2)	1	Y1211	Y1221
		2	Y1212	Y1222
		3	Y1213	Y1223
		4	Y1214	Y1224
		5	Y1215	Y1225
25 mm (A2)	4 mm (B1)	1	Y2111	Y2121
		2	Y2112	Y2122
		3	Y2113	Y2123
		4	Y2114	Y2124
		5	Y2115	Y2125
	6 mm (B2)	1	Y2211	Y2221
		2	Y2212	Y2222
		3	Y2213	Y2223
		4	Y2214	Y2224
		5	Y2215	Y2225

Keterangan: Y₁₁₁₁ merupakan spesimen pengujian untuk ketebalan rongga resonator 15 mm, diameter leher resonator 4 mm, dan volume isian sebesar 7,5%, pada pengulangan (replikasi) pertama.

Perumusan Hipotesis

Pada tahap ini dilakukan penentuan terhadap hipotesis eksperimen yang digunakan. Hipotesis eksperimen ditunjukkan sebagai berikut.

- a. H_{0A} : Perbedaan ketebalan rongga resonator tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*.
 H_{1A} : Perbedaan ketebalan rongga berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*.
- b. H_{0B} : Perbedaan diameter leher resonator tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*.
 H_{1B} : Perbedaan diameter leher resonator berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*.
- c. H_{0C} : Perbedaan volume isian tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*.
 H_{1C} : Perbedaan volume isian berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*.
- d. H_{0AB} : Perbedaan ketebalan rongga resonator dan diameter leher resonator resonator tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*.
 H_{1AB} : Perbedaan ketebalan rongga resonator dan diameter leher resonator berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*.
- e. H_{0AC} : Perbedaan ketebalan rongga resonator dan volume isian tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*.
 H_{1AC} : Perbedaan ketebalan rongga resonator dan volume isian berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*.
- f. H_{0BC} : Perbedaan diameter leher resonator dan volume isian tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*.
 H_{1BC} : Perbedaan diameter leher resonator dan volume isian berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*.
- g. H_{0ABC} : Perbedaan ketebalan rongga resonator, diameter leher resonator dan volume isian tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*.
 H_{1ABC} : Perbedaan ketebalan rongga resonator, diameter leher resonator dan volume isian berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*.

Persiapan Alat dan Bahan

a. Alat

Berikut merupakan alat-alat yang digunakan dalam pembuatan spesimen.

Tabel 2. Alat Penunjang Penelitian

No.	Nama Alat	Keterangan
1.	<i>Hand Drill</i>	Alat ini digunakan membuat lubang pada leher <i>skin</i> resonator bagian atas
2.	Timbangan	Alat ini digunakan sebagai alat ukur berat dari bahan hingga dicapai nilai yang diinginkan
3.	Gerinda	Alat ini digunakan untuk menyesuaikan ukuran spesimen agar sesuai dengan ASTM E1050-98
4.	<i>Impedance Tube Bruel and kjaer tipe 4206 standar ASTM E1050-98</i>	Alat ini digunakan sebagai alat ukur koefisien serap bunyi yang nantinya akan mengukur koefisien dari masing-masing spesimen. Alat ini terdiri atas tabung impedansi B&K 4206, dua mikrofon B&K tipe 4187, separangkat, komputer dengan <i>Soft Pulse System</i> , generator B&K tipe 3160, dan amplifier B&K tipe 2716C

b. Bahan

Bahan penunjang penelitian yang digunakan

- i. Kapuk randu
- ii. Papan triplek
- iii. Plastik mika
- iv. Lem

Pembuatan Spesimen

Pada bagian ini menjelaskan mengenai proses pembuatan spesimen uji dari penelitian yang dilakukan. Spesimen berbahan dasar serat kapuk randu dan triplek. Eksperimen akan *running* 8 buah perlakuan dengan 5 replikasi pada setiap perlakuan. Berikut ini merupakan langkah-langkah pembuatan spesimen uji (ditunjukkan pada Gambar 11) dengan spesifikasi ketebalan rongga resonator 25 mm, diameter leher resonator sebesar 6 mm, volume isian sebesar 7,5% dan ketebalan *skin* resonator sebesar 6 mm:

1. Ukur kebutuhan kapuk randu untuk *filler* pada pembuatan spesimen menggunakan timbangan (volume isian sebesar 7,5%, ketebalan rongga resonator sebesar 25 mm, ukuran spesimen sebesar 10 cm, dengan densitas kapuk randu sebesar 0,348 gr/cm³, maka didapatkan kebutuhan kapuk randu untuk *filler* sebesar 2 gr).



Gambar 4. Pengukuran Berat *Filler* Serat Kapuk Randu

2. Mengamplas bagian *skin* berupa triplek yang sudah berbentuk lingkaran dengan ketebalan 6 mm menggunakan alat gerinda sehingga menjadi ukuran yang sesuai dengan standar ASTM E1050-98 yaitu sebuah lingkaran berdiameter sebesar 10 cm.



Gambar 5. Pengamplasan *Skin* Triplek

3. Membuat pola *binary* random pada *skin* resonator bagian atas secara manual menggunakan alat pensil



Gambar 6. Pembuatan Pola *Binary*

4. Kemudian membuat lubang berdiameter 6 mm pada leher *skin* resonator bagian atas yang sudah di gambar pola dengan menggunakan alat *hand drill*



Gambar 7. Pembuatan Lubang Pada *Skin* Resonator Bagian Atas

5. Membuat sekat rongga resonator dengan ketebalan 25 mm menggunakan plastik mika dengan alat gunting



Gambar 8. Pembuatan Sekat Rongga Resonator

6. Menyatukan 2 bagian yaitu *skin* resonator bagian bawah dan sekat rongga resonator menggunakan alat lem tembak



Gambar 9. *Assembly Skin* dan Sekat Rongga Resonator

7. Memasukkan *filler* serat kapuk randu ke dalam bagian sekat rongga resonator



Gambar 10. Memasukkan *Filler* ke Sekat Rongga Resonator

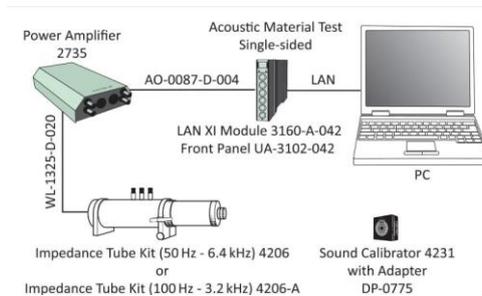
8. Menyatukan bagian *skin* resonator bagian atas dan *skin* resonator bagian bawah yang sudah diberi sekat rongga dan *filler* sehingga menjadi spesimen uji serap bunyi.



Gambar 11. Assembly Spesimen Uji Serap Bunyi

Pengujian Spesimen

Pada tahap ini dilakukan pengujian serap bunyi untuk mengetahui nilai koefisien serap bunyi dari masing-masing *treatment* yang berbeda. Pengujian dilakukan di Laboratorium *Iwany Acoustic Research Group* (iARG), Program Studi Fisika, Universitas Sebelas Maret. Prosedur pengujian serap bunyi dilakukan dengan standar ASTM E1050-98 menggunakan peralatan berupa tabung impedansi 2 mikrofon.



Gambar 12. Diagram Rangkaian Alat Ukur Koefisien Serap Bunyi

Langkah-langkah pengujian koefisien serap bunyi menggunakan tabung impedansi 2 mikrofon, sebagai berikut:

1. Mempersiapkan spesimen uji serap bunyi berbentuk lingkaran dengan ukuran diameter sebesar 10 cm.
2. Lepaskan pengunci pada tabung impedansi, lalu masukkan spesimen ke dalam tabung dan kunci tabung tersebut kembali.
3. Melakukan penyetingan dengan sumber suara. Sumber suara yang digunakan dalam pengujian ini adalah suara frekuensi acak pada rentang frekuensi 0 hingga 1600 Hz. Frekuensi acak ini dihasilkan oleh generator fungsi B&K 3160-A-042 dan diperkuat oleh amplifier B&K 2716C.
4. Melakukan uji spesimen menggunakan *software Pulse Labshop* melalui komputer. Sumber suara sebelum dan sesudah diserap oleh spesimen kemudian ditangkap dengan mikrofon B&K 4187, dan hasil penangkapan mikrofon ini dikirim ke penganalisis *Pulse* untuk diproses dan ditampilkan nilai koefisien penyerapan melalui komputer.

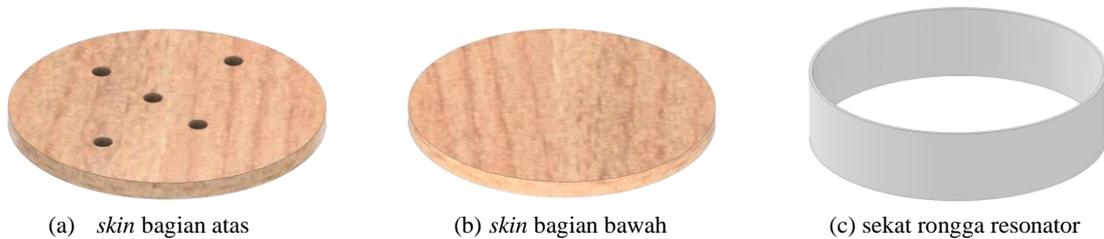
Pengolahan Data

Dalam penelitian ini, data yang didapatkan dari hasil pengujian akan di uji normalitas, uji homogenitas, uji independensi, uji ANOVA, dan uji pembandingan ganda menggunakan *software* Minitab 18. Setelah itu, data pengujian ini akan dilakukan analisis untuk menentukan variasi faktor yang memiliki pengaruh paling optimal terhadap nilai koefisien serap bunyi.

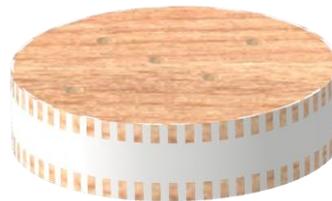
3. Hasil dan Pembahasan

Desain 2D Spesimen Uji Serap Bunyi

Spesimen *acoustic board* yang di buat dirancang dengan sistem *sandwich* terdiri dari tiga *layer*, yaitu *skin* bagian atas atau muka dari spesimen uji, sekat rongga resonator dan *skin* bagian bawah atau belakang. Variasi faktor yang diterapkan pada spesimen uji yaitu adanya sekat rongga resonator / ketebalan rongga resonator (A) sebesar 15 mm (A1) dan 25 mm (A2). Pada sekat rongga resonator diberikan penambahan *acoustic fill* serat kapuk randu (B) sebanyak 7,5 % (B1) dan 10 % (B2). Pada *skin* bagian atas atau muka diberi lubang (C) dengan diameter lubang sebesar 4 mm (C1) dan 6 mm (C2). Sehingga dengan adanya variasi tersebut diharapkan dapat melihat kinerja *acoustic board* isian serat kapuk randu terhadap nilai koefisien serap bunyi. Gambar desain spesimen *acoustic board* ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 13. Dimensi Bagian Spesimen *Acoustic Board*



Gambar 14. *Assembly* Spesimen *Acoustic Board*

Spesimen *acoustic board* dengan diameter 10 cm dipersiapkan sesuai dengan alat uji tabung impedansi dua mikrofon sesuai standar uji ASTM E1050 98.

Data Hasil Eksperimen

Hasil eksperimen menampilkan hasil pengukuran koefisien serap bunyi spesimen *acoustic board* yang diukur menggunakan alat uji serap bunyi metode tabung impedansi 2 mikrofon pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Hasil Eksperimen

Ketebalan Rongga Resonator		15 mm				25 mm				
Diameter Leher Resonator		4 mm		6 mm		4 mm		6 mm		
Volume Isian		7,5%	10%	7,5%	10%	7,5%	10%	7,5%	10%	
Replikasi Spesimen	1	200 Hz	0.203	0.169	0.187	0.181	0.397	0.299	0.337	0.368
		400 Hz	0.323	0.294	0.368	0.336	0.472	0.349	0.787	0.714
		800 Hz	0.221	0.199	0.294	0.362	0.166	0.146	0.339	0.334
		1600 Hz	0.134	0.137	0.191	0.188	0.100	0.124	0.175	0.202
	2	200 Hz	0.201	0.178	0.178	0.163	0.388	0.288	0.341	0.341
		400 Hz	0.324	0.280	0.376	0.352	0.467	0.363	0.762	0.742
		800 Hz	0.230	0.201	0.289	0.361	0.169	0.165	0.395	0.323
		1600 Hz	0.133	0.133	0.189	0.181	0.117	0.112	0.151	0.211
	3	200 Hz	0.211	0.173	0.178	0.178	0.368	0.238	0.348	0.319
		400 Hz	0.332	0.282	0.385	0.353	0.433	0.333	0.737	0.716
		800 Hz	0.223	0.192	0.298	0.378	0.176	0.175	0.381	0.342
		1600 Hz	0.111	0.161	0.167	0.167	0.167	0.166	0.170	0.247
	4	200 Hz	0.218	0.178	0.198	0.148	0.327	0.225	0.326	0.325
		400 Hz	0.318	0.278	0.388	0.358	0.457	0.327	0.738	0.725
		800 Hz	0.222	0.162	0.279	0.372	0.171	0.189	0.389	0.359
		1600 Hz	0.126	0.186	0.187	0.186	0.165	0.175	0.179	0.219
	5	200 Hz	0.222	0.168	0.168	0.166	0.356	0.244	0.354	0.324
		400 Hz	0.312	0.240	0.390	0.390	0.474	0.371	0.781	0.719
		800 Hz	0.219	0.189	0.291	0.331	0.131	0.131	0.331	0.331
		1600 Hz	0.119	0.199	0.199	0.189	0.179	0.178	0.178	0.238

Noise Reduction Coefficient (NRC)

Noise Reduction Coefficient (NRC) bisa dihitung dengan mencari rata-rata koefisien serap bunyi pada frekuensi 200 Hz, 400 Hz, 800 Hz, dan 1600 Hz.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Noise Reduction Coefficient (NRC)

Ketebalan Rongga Resonator	Diameter Leher Resonator	Volume Isian	NRC				
			1	2	3	4	5
15 mm	4 mm	7.5%	0.220	0.222	0.219	0.221	0.218
		10.0%	0.200	0.198	0.202	0.201	0.199
	6 mm	7.5%	0.260	0.258	0.257	0.263	0.262
		10.0%	0.267	0.264	0.269	0.266	0.269
25 mm	4 mm	7.5%	0.284	0.285	0.286	0.280	0.285
		10.0%	0.230	0.232	0.228	0.229	0.231
	6 mm	7.5%	0.410	0.412	0.409	0.408	0.411
		10.0%	0.405	0.404	0.406	0.407	0.403

Decibel Drop

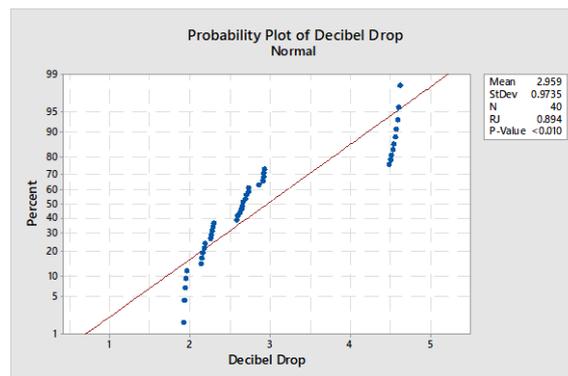
Decibel Drop dapat diperoleh dari data nilai NRC yang diolah menggunakan rumus.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Decibel Drop

Ketebalan Rongga Resonator	Diameter Leher Resonator	Volume Isian	Decibel Drop				
			1	2	3	4	5
15 mm	4 mm	7.5%	2.158	2.180	2.146	2.170	2.136
		10%	1.938	1.916	1.960	1.950	1.928
	6 mm	7.5%	2.616	2.592	2.580	2.650	2.638
		10%	2.698	2.662	2.722	2.686	2.722
25 mm	4 mm	7.5%	2.902	2.914	2.926	2.854	2.914
		10%	2.270	2.292	2.248	2.258	2.282
	6 mm	7.5%	4.582	4.612	4.568	4.554	4.598
		10%	4.510	4.496	4.524	4.538	4.480

Uji Normalitas

Uji normalitas digunakan untuk mengecek apakah nilai *decibel drop* dari setiap perlakuan memiliki distribusi yang normal. Dalam penelitian ini, uji normalitas dilakukan menggunakan metode uji *Shapiro Wilk*.

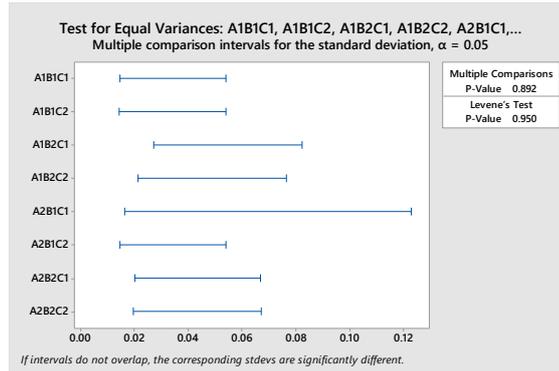


Gambar 15. Normal Probability Plot

Berdasarkan grafik di atas, dapat disimpulkan bahwa nilai *decibel drop* didistribusikan secara normal karena grafik yang menggambarkan data sebenarnya mengikuti pola garis diagonal.

Uji Homogenitas

Uji homogenitas dilakukan terhadap nilai *decibel drop* dengan metode *Bartlett*.

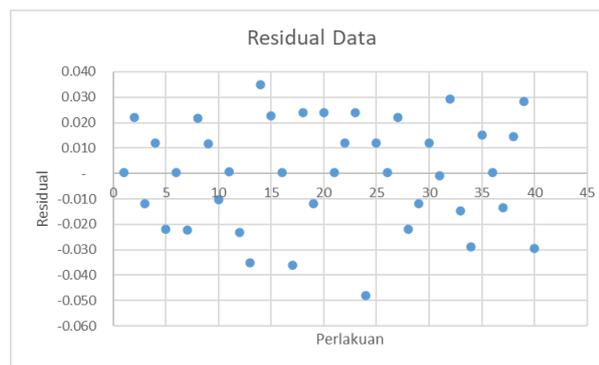


Gambar 16. Uji Homogenitas *Bartlett*

Berdasarkan diagram diatas, dapat diketahui bahwa nilai *decibel drop* dari setiap kelompok spesimen homogen. Nilai *decibel drop* dinyatakan homogen karena nilai *P-Value* > 0,05.

Uji Independensi

Uji independensi berguna untuk menentukan apakah ada perbedaan yang signifikan antara variabel dependen dan independen. Uji independensi dilakukan dengan membuat plot data nilai residual untuk setiap perlakuan eksperimen berdasarkan urutan pengambilan data.



Gambar 17. Uji Independensi

Dari grafik di atas, terlihat bahwa nilai residual dari *decibel drop* tersebar merata di sekitar garis nol tanpa membentuk pola khusus. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa data *decibel drop* dari setiap perlakuan memenuhi persyaratan independensi.

Uji ANOVA

Uji ANOVA ini dilakukan untuk dapat mengetahui faktor baik secara interaksi maupun secara independen berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*. Uji ANOVA dilakukan setelah data *decibel drop* dinyatakan berdistribusi normal, homogen, dan independen.

Tabel 6. Uji ANOVA

Faktor	df	SS	MS	Fhit	Ftab	Keterangan
Perlakuan	7	36.943	5.278			
A	1	14.731	14.731	27728.941	4.15	Signifikan
B	1	16.495	16.495	31049.412	4.15	Signifikan
C	1	0.444	0.444	835.765	4.15	Signifikan
AB	1	4.568	4.568	8598.588	4.15	Signifikan
AC	1	0.201	0.201	378.353	4.15	Signifikan
BC	1	0.462	0.462	869.647	4.15	Signifikan
ABC	1	0.042	0.042	79.059	4.15	Signifikan
Galat	32	0.017	0.000531			
Total	39	36.960				

Kesimpulan yang diambil dengan berdasarkan hasil perhitungan ANOVA seperti pada tabel diatas, sebagai berikut:

1. Ditinjau dari faktor ketebalan rongga resonator (A), nilai F_{Hitung} lebih besar daripada nilai F_{Tabel} , sehingga H_0 ditolak. Dapat disimpulkan bahwa faktor ketebalan rongga resonator mempengaruhi nilai *decibel drop*.
2. Ditinjau dari faktor diameter leher resonator (B), nilai $F_{Hitung} > F_{Tabel}$, sehingga H_0 ditolak. Dapat disimpulkan bahwa faktor diameter leher resonator mempengaruhi nilai *decibel drop*.
3. Ditinjau dari faktor volume isian (C), nilai $F_{Hitung} > F_{Tabel}$, sehingga H_0 ditolak. Dapat disimpulkan bahwa faktor volume isian mempengaruhi nilai *decibel drop*.
4. Ditinjau dari faktor ketebalan rongga resonator dan diameter leher resonator (AB), nilai $F_{Hitung} > F_{Tabel}$, sehingga H_0 ditolak. Dapat disimpulkan bahwa faktor ketebalan rongga resonator dan diameter leher resonator mempengaruhi nilai *decibel drop*.
5. Ditinjau dari faktor ketebalan rongga resonator dan volume isian (AC), nilai $F_{Hitung} > F_{Tabel}$, sehingga H_0 ditolak. Dapat disimpulkan bahwa faktor ketebalan rongga resonator dan volume isian mempengaruhi nilai *decibel drop*.
6. Ditinjau dari faktor diameter leher resonator dan volume isian (BC), nilai $F_{Hitung} > F_{Tabel}$, sehingga H_0 ditolak. Dapat disimpulkan bahwa faktor diameter leher resonator dan volume isian mempengaruhi nilai *decibel drop*.
7. Ditinjau dari faktor ketebalan rongga resonator, diameter leher resonator, dan volume isian (ABC), nilai $F_{Hitung} > F_{Tabel}$, sehingga H_0 ditolak. Dapat disimpulkan bahwa ketebalan rongga resonator, diameter leher resonator, dan volume isian mempengaruhi nilai *decibel drop*.

Uji Pembandingan Ganda

Uji pembandingan ganda ini dilakukan untuk dapat mengetahui tingkatan yang berpengaruh dari masing masing faktor guna memberikan perbedaan nilai *decibel drop* serta menentukan tingkatan terbaik dari masing masing faktor.

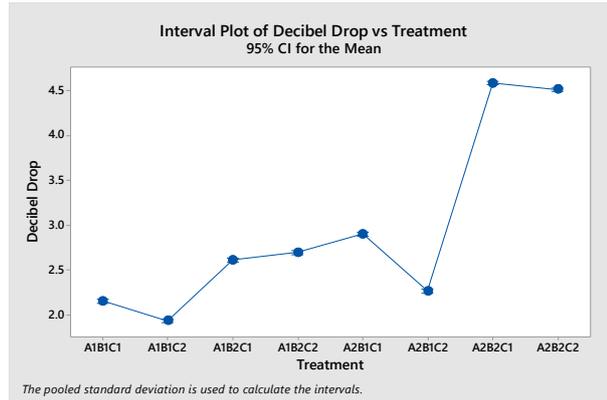
Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Treatment	N	Mean	Grouping
A2B2C1	5	4.5828	A
A2B2C2	5	4.5096	B
A2B1C1	5	2.9020	C
A1B2C2	5	2.6980	D
A1B2C1	5	2.6152	E
A2B1C2	5	2.27000	F
A1B1C1	5	2.15800	G
A1B1C2	5	1.93840	H

Means that do not share a letter are significantly different.

Gambar 18. Uji Pembandingan Ganda

Berdasarkan hasil perhitungan uji pembandingan ganda *Tukey* pada faktor ketebalan rongga resonator, diameter leher resonator dan volume isian dapat disimpulkan bahwa ketiga faktor tersebut memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai *decibel drop*. Hasil *decibel drop* paling optimal ditunjukkan pada Gambar 19.



Gambar 19. Plot Uji Pembandingan Ganda

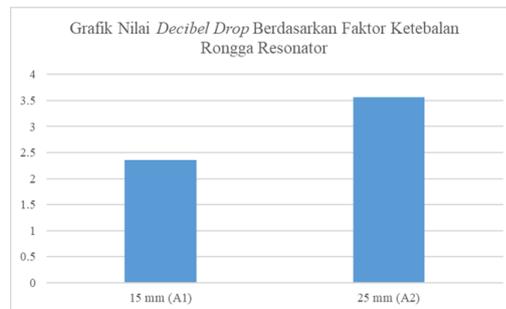
Berdasarkan diagram di atas, dapat diketahui bahwa variasi ketebalan rongga resonator sebesar 25 mm, diameter leher resonator sebesar 6 mm dan volume isian sebesar 7,5% (A2B2C1), memiliki nilai rata rata *decibel drop* sebesar 4,5828 sehingga memiliki hasil yang paling optimal dan lebih tinggi dibandingkan variasi lainnya.

Analisis dan Interpretasi Hasil

Analisis hasil pengujian serap bising yang meliputi analisis pengaruh faktor ketebalan rongga resonator, diameter leher resonator, dan volume isian.

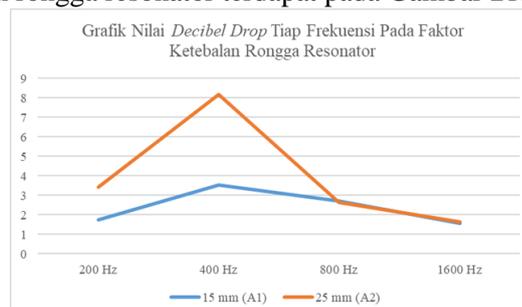
Analisis Faktor Ketebalan Rongga Resonator terhadap Nilai *Decibel Drop*

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan uji ANOVA yang membuktikan bahwa faktor ketebalan rongga resonator berpengaruh terhadap nilai *decibel drop*. Kemudian dilakukan uji pembandingan ganda dengan metode Tukey didapatkan bahwa pada ketebalan rongga resonator sebesar 25 mm memberikan perbedaan signifikan terhadap nilai *decibel drop*. Grafik rata-rata nilai *decibel drop* dengan faktor ketebalan rongga resonator terdapat pada Gambar 20.



Gambar 20. Grafik Nilai *Decibel Drop* Berdasarkan Faktor Ketebalan Rongga Resonator

Grafik nilai *decibel drop* pada Gambar x menunjukkan bahwa rata-rata nilai *decibel drop* dengan faktor ketebalan rongga resonator sebesar 15 mm dan 25 mm berturut-turut adalah 2,352 dB dan 3,566 dB. Grafik nilai *decibel drop* tiap frekuensi (200 Hz, 400 Hz, 800 Hz, dan 1600 Hz) pada faktor ketebalan rongga resonator terdapat pada Gambar 21.



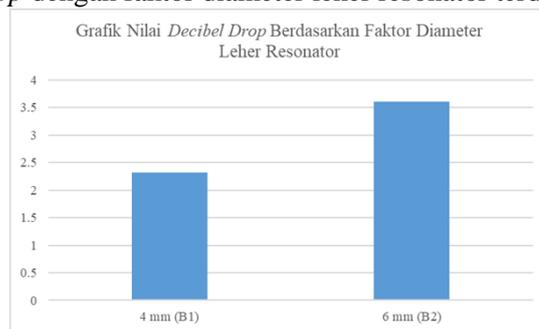
Gambar 21. Grafik Nilai *Decibel Drop* Tiap Frekuensi pada Faktor Ketebalan Rongga Resonator

Gambar 21 menunjukkan pergerakan nilai *decibel drop* tiap frekuensi dengan faktor ketebalan rongga resonator. Resonator dengan ketebalan rongga 15 mm memiliki nilai *decibel drop* pada frekuensi 200 Hz sebesar 1,761 dB, pada frekuensi 400 Hz sebesar 3,547 dB, pada frekuensi 800 Hz sebesar 2,719 dB, dan pada frekuensi 1600 Hz sebesar 1,563 dB. Sedangkan pada resonator dengan ketebalan rongga 25 mm memiliki nilai *decibel drop* pada frekuensi 200 Hz sebesar 3,436 dB, pada frekuensi 400 Hz sebesar 8,170 dB, pada frekuensi 800 Hz sebesar 2,656 dB, dan pada frekuensi 1600 Hz sebesar 1,657 dB.

Bentuk fisik dari *acoustic board* mempengaruhi kemampuan *acoustic board* tersebut dalam menyerap kebisingan. Faktor ketebalan rongga resonator dapat meningkatkan nilai koefisien serap bunyi pada frekuensi rendah atau menengah. Pada ketebalan rongga resonator sebesar 25 mm cocok untuk meningkatkan nilai koefisien serap bunyi pada frekuensi rendah karena pada frekuensi tersebut memiliki gelombang suara yang lebih panjang sehingga memerlukan rongga yang tebal untuk dapat menyerap secara efektif.

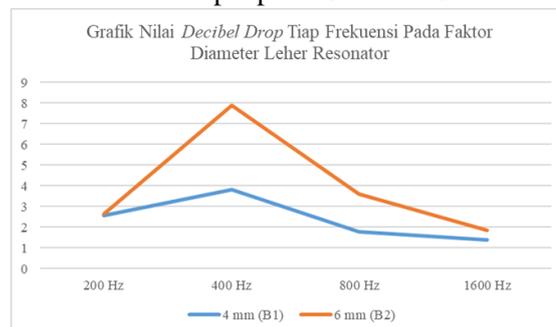
Analisis Faktor Diameter Leher Resonator terhadap Nilai *Decibel Drop*

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan uji ANOVA yang membuktikan bahwa faktor diameter leher resonator berpengaruh terhadap nilai *decibel drop*. Kemudian dilakukan uji perbandingan ganda dengan metode SNK didapatkan bahwa pada diameter leher resonator sebesar 6 mm memberikan perbedaan signifikan terhadap nilai *decibel drop*. Grafik rata-rata nilai *decibel drop* dengan faktor diameter leher resonator terdapat pada Gambar 22.



Gambar 22. Grafik Nilai *Decibel Drop* Berdasarkan Faktor Diameter Leher Resonator

Grafik nilai *decibel drop* pada Gambar 5.3 menunjukkan bahwa rata-rata nilai *decibel drop* dengan faktor diameter leher resonator sebesar 4 mm dan 6 mm berturut-turut adalah 2,317 dB dan 3,601 dB. Grafik nilai *decibel drop* tiap frekuensi (200 Hz, 400 Hz, 800 Hz, dan 1600 Hz) pada faktor diameter leher resonator terdapat pada Gambar 23.



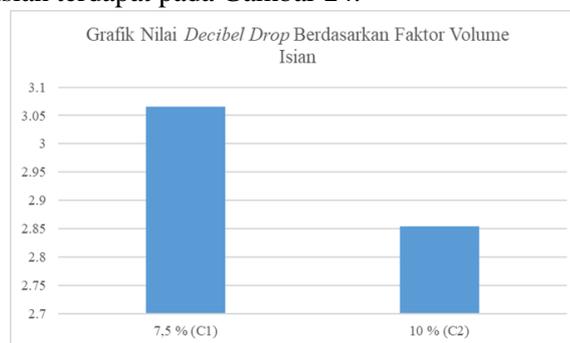
Gambar 23. Grafik Nilai *Decibel Drop* Tiap Frekuensi pada Faktor Diameter Leher Resonator

Gambar 23 menunjukkan pergerakan nilai *decibel drop* tiap frekuensi dengan faktor diameter leher resonator. Resonator dengan diameter leher 4 mm memiliki nilai *decibel drop* pada frekuensi 200 Hz sebesar 2,571 dB, pada frekuensi 400 Hz sebesar 3,817 dB, pada frekuensi 800 Hz sebesar 1,771 dB, dan pada frekuensi 1600 Hz sebesar 1,378 dB. Sedangkan pada resonator dengan diameter leher 6 mm memiliki nilai *decibel drop* pada frekuensi 200 Hz sebesar 2,625 dB, pada frekuensi 400 Hz sebesar 7,900 dB, pada frekuensi 800 Hz sebesar 3,605 dB, dan pada frekuensi 1600 Hz sebesar 1,842 dB.

Bentuk fisik dari *acoustic board* mempengaruhi kemampuan *acoustic board* tersebut dalam menyerap kebisingan. Penambahan lapisan papan yang berlubang juga dapat menjadi alternatif untuk meningkatkan kemampuan menyerap suara. Penambahan lubang (pola *binary*) pada permukaan *acoustic board* dapat menambah porositas material sehingga menambah penyerapan gelombang bunyi pada frekuensi rendah. Penambahan lubang (pola *binary*) pada leher resonator dapat meningkatkan nilai koefisien absorpsi bising karena jumlah volume bising yang masuk melalui leher resonator juga semakin besar, sehingga jumlah bising yang dipantulkan akan semakin kecil.

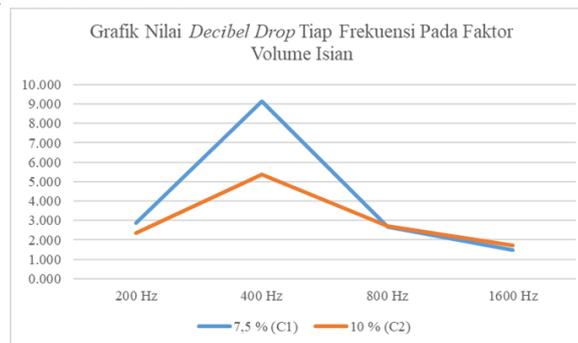
Analisis Faktor Volume Isian terhadap Nilai *Decibel Drop*

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan uji ANOVA yang membuktikan bahwa faktor volume isian berpengaruh terhadap nilai *decibel drop*. Kemudian dilakukan uji perbandingan ganda dengan metode SNK didapatkan bahwa pada volume isian sebesar 7,5 % memberikan perbedaan signifikan terhadap nilai *decibel drop*. Grafik rata-rata nilai *decibel drop* dengan faktor volume isian terdapat pada Gambar 24.



Gambar 24. Grafik Nilai *Decibel Drop* Berdasarkan Faktor Volume Isian

Grafik nilai *decibel drop* pada Gambar 24 menunjukkan bahwa rata-rata nilai *decibel drop* dengan faktor volume isian sebesar 7,5 % dan 10 % berturut-turut adalah 3,065 dB dan 2,854 dB. Grafik nilai *decibel drop* tiap frekuensi (200 Hz, 400 Hz, 800 Hz, dan 1600 Hz) pada faktor volume isian terdapat pada Gambar 25.



Gambar 25. Grafik Nilai *Decibel Drop* Tiap Frekuensi pada Faktor Volume Isian

Gambar 25 menunjukkan pergerakan nilai *decibel drop* tiap frekuensi dengan faktor volume isian. Resonator dengan volume isian 7,5 % memiliki nilai *decibel drop* pada frekuensi 200 Hz sebesar 2,850 dB, pada frekuensi 400 Hz sebesar 9,123 dB, pada frekuensi 800 Hz sebesar 2,671 dB, dan pada frekuensi 1600 Hz sebesar 1,493 dB. Sedangkan pada resonator dengan volume isian 10 % memiliki nilai *decibel drop* pada frekuensi 200 Hz sebesar 2,347 dB, pada frekuensi 400 Hz sebesar 5,381 dB, pada frekuensi 800 Hz sebesar 2,704 dB, dan pada frekuensi 1600 Hz sebesar 1,727 dB.

Bentuk fisik dari *acoustic board* mempengaruhi kemampuan *acoustic board* tersebut dalam menyerap kebisingan. Penambahan *acoustic fill* (volume isian) dapat meningkatkan nilai koefisien serap bunyi. Semakin kecil volume isian maka nilai koefisien serap bunyi pada frekuensi rendah akan semakin besar karena porositas akan semakin besar sehingga suara yang

diserap akan lebih banyak pada frekuensi rendah dan sebaliknya semakin besar volume isian maka nilai koefisien serap bunyi pada frekuensi rendah akan semakin kecil.

Simpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan uji ANOVA yang telah dilakukan, kombinasi faktor ketebalan rongga resonator, faktor diameter leher resonator, dan faktor volume isian berpengaruh terhadap nilai *decibel drop* dengan kombinasi faktor terbaik (A2B2C1).
2. Hasil pengujian diperoleh kombinasi faktor yang memiliki nilai *decibel drop* tertinggi adalah dari kombinasi ketebalan rongga resonator sebesar 25 mm, diameter leher resonator sebesar 6 mm, dan volume isian sebesar 7,5% dengan nilai *decibel drop* pada frekuensi 200 Hz, 400 Hz, 800 Hz, dan 1600 Hz berturut-turut sebesar 3,622 dB; 12,432 dB; 3,972 dB; dan 1,630 dB serta memiliki nilai rata-rata *decibel drop* sebesar 4,5828 dB.
3. Serat kapuk randu dapat digunakan sebagai bahan alternatif untuk *filler* pada pembuatan *acoustic board* karena dapat mereduksi bunyi sesuai dengan prinsip akustik ruang, yaitu menyerap energi bunyi dengan mengubahnya menjadi energi panas.

Daftar Pustaka

- Dianita, R., Sucipto, T., & Sutrisno. (2014). Analisa Pemilihan Material Bangunan Dalam Mewujudkan *Green Building* (Studi Kasus: Gedung Kantor Perwakilan Bank Indonesia Solo). *Jurnal FKIP UNS*.
- Gokulkumar, S., Thyla, P., Prabhu, L., & Sathish, S. (2020). *Measuring Methods of Acoustic Properties and Influence of Physical Parameters on Natural Fibers*. *Journal of Natural Fibers*.
- Islam, S., Sukardan, M., Novarini, E., & Aditya, F. (2018). Pembuatan *Porous Absorber* Panel Pengendali Kebisingan Suara Dari Sabut Kelapa Dan Serat Limbah PET (*Shoody Fiber*). *Jurnal Area Tekstil*.
- Kusmiran, A., Hidayat, M., Desiasni, R., & Maad, A. (2019). *Numerical Analysis of Composite With Natural Fiber Reinforcement Using Finite Element Method: Leaf Spring Composite Application*. *ICOST 2019*. doi: 10.4108/eai.2-5-2019.2284617
- Munir, M., & Dzulkiflih. (2015). Pemanfaatan *Styrofoam* Sebagai Bahan Dasar Peredam Suara Dengan Metode Tabung Impedansi. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*.