

Alternatif Material Absorpsi Akustik Dari Modul Limbah Karton

Jocelyn Emilia Ukalvin^{1*}, Rully Damayanti²

¹Mahasiswa S2, Program Studi Arsitektur, Universitas Kristen Petra,
Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236, Indonesia

^{2,3}Program Studi Arsitektur, Universitas Kristen Petra, Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya
60236, Indonesia

*Email: jocelynemilia9@gmail.com

Abstrak. Penelitian ini merupakan upaya pemanfaatan limbah karton untuk mengurangi banyaknya sampah karton yang dihasilkan akibat banyaknya konsumsi *packing* dari karton. Daur ulang karton yang dilakukan yaitu dengan memodifikasi material karton menjadi sebuah partisi akustik. Hal ini didasari dari kesadaran para peneliti sebelumnya bahwa karton merupakan material yang berpotensi dikembangkan menjadi material bangunan dan digunakan untuk kebutuhan akustik interior. Pengolahan limbah karton menjadi alternatif material akustik murah sangat dibutuhkan terutama bagi berbagai bangunan yang mencakup berbagai kegiatan dan memerlukan bahan penyerap. Penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan. Untuk tahap pertama yaitu studi literatur, observasi awal, dan pengumpulan data. Tahap selanjutnya adalah melakukan pengetestan berbagai modul karton menggunakan tabung impedansi untuk menemukan koefisien absorpsi dari berbagai modul karton. Hasil penelitian ini berupa data-data koefisien absorpsi dari modul karton sebagai acuan untuk penggunaan dalam ruang.

Kata Kunci: limbah karton, akustik, modul, absorpsi.

1. Pendahuluan

Pengelolaan sampah menjadi hal penting yang perlu dilakukan di Indonesia. Kardono (2007) mengatakan bahwa permasalahan pengelolaan sampah di Indonesia dilihat dari beberapa indikator berikut, yaitu tingginya jumlah sampah yang dihasilkan, tingkat pelayanan pengelolaan sampah yang masih rendah, tempat pembuangan sampah akhir yang terbatas jumlahnya, institusi pengelola sampah dan masalah biaya. Hal ini juga telah disadari oleh pemerintah Indonesia, Presiden Joko Widodo sendiri telah mengumumkan dalam Peraturan Presiden No. 97 tahun (Republik Indonesia, 2017) mengenai Kebijakan dan Strategi Nasional Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga dalam rangka membantu terwujudnya “Indonesia Bersih Sampah” di tahun 2025.

Dalam membantu mengurangi peningkatan jumlah sampah di Indonesia, diperlukan seleksi terlebih dahulu terhadap limbah yang memiliki potensi besar untuk dapat dikembangkan. Dari sekian banyak limbah yang ada, limbah karton menjadi salah satu alternatif limbah yang banyak digunakan untuk diolah kembali. Mengolah kembali limbah karton perlu dilakukan karena hampir semua yang kita konsumsi saat ini dikemas dalam kotak karton, dan sebagian besar kotak tersebut memiliki nasib yang sama yaitu dibuang ke tempat sampah. Pemanfaatan kembali limbah karton perlu dilakukan agar dapat mengurangi banyaknya sampah karton dan secara tidak langsung dapat mengurangi kerusakan pada hutan sebagai sumber penghasil kertas. Selain itu, hal ini juga didukung dengan kenyataan bahwa limbah karton menempati salah satu volume limbah padat terbesar yang dihasilkan secara global, terutama di daerah perkotaan (Diarte & Shaffer, 2018).

Dalam beberapa penelitian lebih lanjut, limbah karton juga terbukti memiliki sifat akustik yang cukup baik. Namun belum ada penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan limbah karton sebagai material akustik. Melihat kondisi tersebut, penelitian ini mencoba memanfaatkan limbah karton untuk keperluan akustik terutama dalam hal absorpsi. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan sebuah alternatif baru bagi perkembangan akustik ruang, terutama dengan menggunakan limbah daur ulang dari limbah karton.

1.1. Bunyi dan Kebisingan

Kata “bunyi” memiliki dua definisi: (1) Secara fisis, bunyi adalah penyimpangan tekanan, pergeseran partikel dalam medium akustik seperti udara. (2) Secara fisiologis, bunyi adalah sensasi pendengaran yang disebabkan penyimpangan fisis yang digambarkan di atas. (Doelle, 1993).

Bunyi terjadi karena adanya objek atau benda yang bergetar sehingga menimbulkan gesekan dengan zat di sekitarnya. Tiga hal yang harus ada untuk dapat mendengar bunyi yaitu sumber atau objek yang bergetar, medium perambat serta pendengar atau penerima bunyi (Mediastika, 2005).

Bunyi memiliki beberapa sifat dan besaran fisis. Sifat-sifat bunyi antara lain: dapat dipantulkan, dapat berinterferensi, dan dapat dibelokkan. Bunyi merupakan salah satu jenis gelombang sehingga memiliki besaran-besaran gelombang seperti kecepatan, frekuensi, panjang gelombang, periode, tekanan bunyi, intensitas bunyi, dan daya akustik.

Bunyi yang memenuhi kualifikasi nyaman untuk didengar dapat dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari antara 40-60 dB (batas yang nyaman didengar). Sementara itu bunyi yang tidak berkualitas atau buruk ialah bunyi yang bersifat mengganggu kesehatan pendengaran, dan memiliki intensitas > 70 dB .

Kebisingan merupakan suara yang tidak dikehendaki atau tidak diinginkan dari usaha atau kegiatan dalam tingkat dan waktu tertentu yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan manusia dan kenyamanan lingkungan (KepMenLH No.48 Tahun 1996) atau semua suara yang tidak dikehendaki yang bersumber dari alat-alat proses produksi dan atau alat-alat kerja pada tingkat tertentu dapat menimbulkan gangguan pendengaran. Kebisingan umumnya dinyatakan dalam satuan desibel (dB).

Kebisingan yang umumnya terjadi dibedakan menjadi : (1) Kebisingan latar belakang yaitu tingkat kebisingan yang terpapar terus menerus pada suatu area, tanpa adanya sumber-sumber yang signifikan. Kebisingan ini terjadi tanpa menimbulkan gangguan yang berarti, besarnya intensitas kebisingan kurang dari 40dB. (2) Kebisingan ambient yaitu total tingkat kebisingan meliputi kebisingan lain yang muncul pada suatu waktu yang melebihi tingkat kebisingan latar belakang, umumnya kebisingan ini menimbulkan gangguan (Suhardiman, 2010).

Sumber bising ialah sumber bunyi yang kehadirannya dianggap mengganggu pendengaran baik dari sumber bergerak maupun tidak bergerak. Umumnya sumber ini berasal dari kegiatan

industri, perdagangan, pembangunan, alat pembangkit tenaga, alat pengangkut dan kegiatan rumah tangga.

Batas maksimal tingkat pada kebisingan yang diperbolehkan atau tidak, telah ditentukan oleh SNI 03-6386-2000. Karena kebisingan dapat menimbulkan gangguan pada kenyamanan dan kesehatan pada manusia.

Tabel 1. Baku Tingkat Kebisingan, Nilai Ambang Batas (NAB) kebisingan

Jenis Hunian	Tingkat Kebisingan yang dianjurkan (dBA)	Batas maksimum tingkat kebisingan (dBA)
Bangunan Pendidikan		
1. Kantin dan Pertokoan	40	50
2. Ruang Kelas		
- Kelas Tersendiri	35	40
- Kelas Terbuka	40	45
3. Ruang Konsultasi	40	45
4. Laboratorium		
- Kelas	35	40
5. Ruang Kelas s/d 50 Kursi	30	35
6. Perpustakaan		
- Ruang Baca	40	45
- Ruang Buku	45	50
7. Ruang Kesehatan	40	45
8. Ruang Kantor	30	35

Sumber: SNI 03-6386-2000

1.2. Karton Secara Umum

Karton atau dalam bahasa inggris dikenal sebagai *paperboard* adalah material yang terbuat dari *pulp*, baik *pulp* organik, *pulp* sintetis atau sisa produksi kertas (daur ulang). Merujuk pada(SNI ISO 536: 2010), sebuah material yang terbuat dari kertas dengan berat lebih dari 200 g/m² dikategorikan sebagai karton. Karton umumnya digunakan untuk bahan pembuatan kartu pos, kartu remi,dan lainnya yang membutuhkan daya tahan lebih tinggi dari kertas biasa.

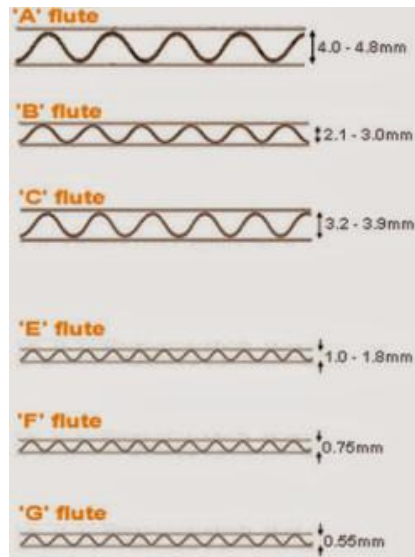
Akibat banyaknya kemungkinan kesalahan penafsiran di beberapa negara terkait karton, untuk membedakan antara istilah karton, karton box dan lainnya, secara umum karton di Indonesia sendiri dikenal beberapa klasifikasi antara lain:

- Karton *box* — adalah karton yang mudah dibentuk, dilipat tanpa merusak isi benda yang diletakan didalamnya. Biasanya jika kita melihat irisan melintang karton box, akan ditemukan sebuah lapisan bergelombang. Tujuannya adalah untuk memberikan kekuatan karton agar tidak mudah rusak. Diluar indonesia, karton box dikenal dengan istilah *corrugated paperboard*.
- *Packaging Box* — Sama seperti karton box yang mudah dibentuk dan dilipat, hanya saja digunakan untuk kemasan makanan/minuman cepat saji dengan menambahkan lapisan anti jamur, atau bahan yang mencegah kontaminasi kimia agar makanan dan minuman tidak terpapar zat racun yang berbahaya bagi tubuh. Produksi *folded box* mengikuti standar kesehatan tiap-tiap negara, untuk indonesia sendiri diatur oleh Depkes dan BPOM.
- Kertas Karton — Kertas karton biasanya digunakan untuk keperluan hasta karya dan tidak diperkenankan sebagai pelindung bahan-bahan yang mudah rusak. Namun beberapa kertas karton digunakan untuk melindungi permukaan suatu benda agar tidak mudah lecet saat pengiriman. Kita bisa menemukan karton ini dengan beragam warna dengan ukuran standar kertas plano (A0).

Bahan baku karton sama seperti kertas, yaitu **pulp** yang berasal dari serat kayu/selulosa atau limbah kertas. Setelah menjadi bubur kayu/bubur kertas, bahan baku kemudian dikelompokan untuk diberi warna atau tidak. Jika hendak dibuat karton dengan beraneka warna (biasanya untuk keperluan kreasi), maka bubur kayu ini akan melalui proses *bleaching*, sebuah proses dimana warna bubur akan menjadi putih dengan bantuan larutan Hidrogen Peroxida atau sejenisnya. Kemudian bubur kayu ini akan dicampurkan dengan pewarna sesuai dengan kebutuhan dan tahap akhir adalah pencetakan sesuai dengan ketebalan yang di inginkan.

Dikarenakan sifatnya yang mudah dibentuk dengan peralatan seperti cutter, bernilai ekonomis (murah), dan bisa ditemukan dimana-mana, membuat karton menjadi salah satu media kreasi yang cukup diminati oleh masyarakat. Terbukti dengan banyaknya kreasi yang terbuat dari karton box digunakan untuk hiasan atau peralatan yang bisa kita gunakan sehari-hari. Seperti kotak mainan yang memiliki nilai edukasi, hingga membuat *folding box* dari karton bekas.

Material karton box terbagi dalam tiga lapisan *fiberboard*. Dua *linerboard* tertumpuk kertas ditengahnya dengan bentuk gelombang. Gelombang ini disebut *flute*, yang ditambatkan ke papan dengan perekat. *flute* membentuk bagian yang kaku, dapat menopang banyak beban. Jarak antara *flute* dengan setiap sisinya berfungsi sebagai bantalan untuk melindungi kemasan.



Gambar 1. Perbandingan Jenis *Flute*

Setiap ukuran *flute* yang terdapat di dalam material karton memiliki fungsi yang berguna mulai dari kekuatannya saat pengiriman hingga meminimalisir ruang *storage* karena rongganya, untuk memaksimalkan kemampuan printing. Mulai dari A *flute* hingga F *flute*. Untuk ukuran A *flute* tinggi gelombang 4.0mm, B *flute* 2.1-3.0mm, C *flute* 3.5-4mm, dan E *flute* 1.-2mm.

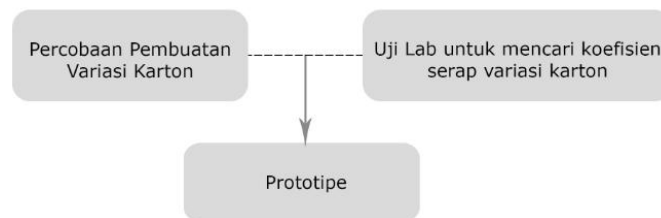
- A-*flute* adalah desain *flute* bergelombang yang pertama kali dibuat, paling tebal dari semua klasifikasi *flute*. Dengan ketebalannya, A-*flute* memberikan sifat bantalan terbaik untuk produk yang mudah pecah belah karena *flute* ini berbahan kaku.
- B *flute* adalah jenis *flute* yang cukup kuat. Pada umumnya digunakan untuk display di counter hingga karton die-cut. B-*flute* memiliki sifat tahan tusukan dan benturan yang sangat baik. Dikembangkan untuk mengemas barang kaleng, B-*flute* juga digunakan untuk bantalan atau partisi dalam sebuah kemasan, kemasan makanan, retail packaging, dan kemasan gelas. Dari segi printing, permukaan yang kaku dari B *flute* memberikan hasil yang baik sehingga saat membutuhkan fungsi estetika dalam custom packaging box, lebih baik menggunakan packaging box dengan B *flute*.
- C *flute* adalah grade *flute* yang paling banyak digunakan untuk karton. Secara fungsi yang serbaguna, C *flute* memberikan bantalan yang bagus untuk karton container pengiriman. Kebanyakan karton container yang diproduksi di pasaran terbuat dari board C *flute*.
- E *flute* adalah *flute* karton yang paling banyak digunakan kedua setelah C *flute*. Karena bentuknya yang tipis, sifat bantalannya, dan permukaannya yang rata, E-*flute* menawarkan alternatif yang kuat untuk karton konvensional termasuk kotak untuk kosmetik, display toko, dan kemasan pizza jika pemilik usaha ingin kemasan yang bagus namun efektif,
- F *flute* terbuat dari kandungan serat yang lebih rendah. Dengan pengurangan serat di dalam kemasan, kotak yang lebih kaku akan membuat lebih sedikit limbah padat yang akan masuk

ke tempat pembuangan sampah nantinya. Di Eropa, *F flute* digunakan sebagai kemasan display, packaging untuk perhiasan dan kosmetik, dan kotak sepatu.

Pada umumnya, *flute* yang berukuran lebih besar dapat memberikan ketahanan dan bantalan yang lebih besar, sedangkan *flute* yang berukuran lebih kecil memiliki kelebihan untuk printing dan lipatannya yang lebih baik.

2. Metode Riset

Penelitian ini menggunakan analisis kuantitatif. Analisis kuantitatif yang dilakukan yaitu perhitungan tingkat absorpsi pada material modul limbah karton. Sebelum melakukan penelitian dilakukan penyusunan modul dengan berbagai bentuk untuk mencari susunan yang paling efektif secara absorpsi. Beberapa parameter yang digunakan dalam penyusunan modul adalah ketebalan karton, bahan pelapis karton, material pendukung lainnya yang mampu menunjang kebutuhan akustik. Dari hasil pengujian, akan didapatkan hasil pengolahan karton yang sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 2. Urutan Pengerjaan Modul dan Menemukan Prototipe Terbaik

Guna mencari hasil pengukuran objektif, penelitian ini dilengkapi dengan data-data material akustik secara umum untuk dibandingkan dengan material limbah karton.

2.1. Pembuatan Sampel Modul



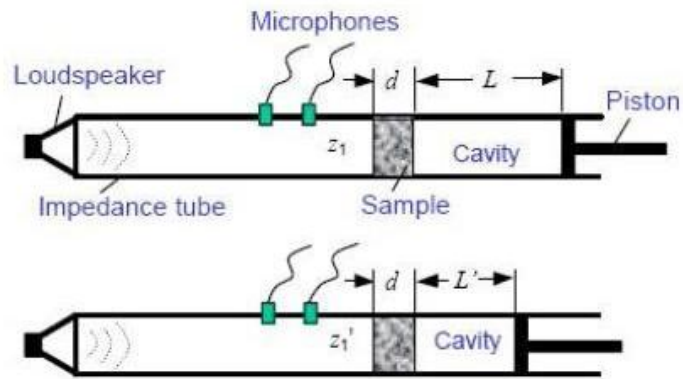
Gambar 3. Alat-alat yang digunakan

Alat yang digunakan untuk melakukan eksperimen adalah sebagai berikut:

1. Karton gelombang (kardus) bekas
2. Lem Fox Hijau
3. Gunting / *Cutter*
4. Penggaris 30 cm
5. *Cutting mat*
6. Jangka

2.2. Uji Laboratorium

Secara umum terdapat dua jenis tabung impedansi yang dapat digunakan untuk pengukuran koefisien absorpsi. Pertama ialah tabung impedansi dengan menggunakan mikrofon jenis probe dan kedua adalah menggunakan 2 mikrofon. Pada penelitian ini digunakan metode tabung impedansi metode transfer yang menggunakan 2 mikrofon dengan jarak.



Gambar 4. Tabung Impedansi (2 Mikrofon)

Pengukuran dengan metode fungsi transfer lebih cepat dalam pengukuran dibandingkan dengan metode menggunakan mikrofon probe. Pada tabung impedansi dengan mikrofon probe, pengukuran harus dilakukan berkali-kali pada frekuensi yang berbeda. Sementara pada metode fungsi transfer dilakukan hanya satu kali.

Pengukuran menggunakan tabung impedansi hanya mengukur koefisien suara dari sumber suara yang tegak lurus. Alat yang digunakan adalah tabung impedansi tipe SW420 dan SW470.

- Tabung Impedansi SW420
Tabung impedansi, SW420 berdiameter dalam 100mm. Alat dengan tipe ini melakukan pengukuran frekuensi rendah yaitu 80-500 Hz.
- Tabung Impedansi SW470
Tabung impedansi, SW470 berdiameter dalam 30mm. Alat dengan tipe ini melakukan pengukuran frekuensi rendah yaitu 500-6300 Hz

2.3. Variabel Penelitian

1. Variabel bebas (*Independent Variable*)

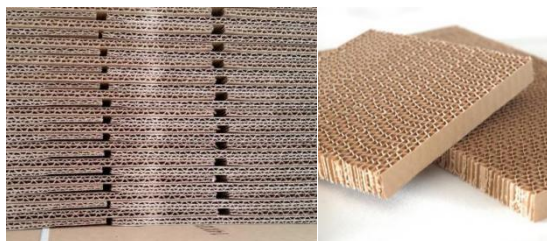
Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi, yang menyebabkan timbulnya atau berubahnya variabel terikat. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut.

a. Frekuensi bunyi

Dalam penelitian ini tingkat frekuensi bunyi divariasikan, mulai dari 80-6300Hz

b. Bentuk rangkaian modul

Dalam penelitian ini modul divariasikan menjadi dua yaitu susunan bentuk irisan vertikal maupun horizontal dan susunan modul dengan rongga. Sebagai acuan, dapat dilihat contoh pada gambar.



Gambar 5 dan 6. Contoh rangkaian sampel

c. Dimensi dan Jenis Karton

Dimensi modul yang digunakan dalam penelitian adalah dengan ketebalan 5 cm untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kinerja sampel yang diuji. Jenis karton yang dipakai adalah B

flute dengan ketebalan 3 mm. Alasan pemilihan karena tipe *B flute* paling mudah ditemukan di pasaran.

d. Lem dan Material Pelapis

Lem yang digunakan dalam penelitian adalah lem yang ramah lingkungan, seperti lem fox *green*. Material pelapis modul akustik yang dipilih dalam penelitian adalah material yang tidak padat dan keras tetapi menggunakan material kain yang lentur sehingga tidak mengganggu absorpsi pada modul yang dibuat.

e. Biaya

Produk modul akustik karton bekas akan dibandingkan dengan partisi pada umumnya seperti partisi pvc, grc atau gypsum dalam hal biaya, efektivitas akustik serta daya tahan pemakaian

2. Variabel terikat (*Dependent Variable*)

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi karena adanya variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah, kinerja modul atau koefisien absorpsi (α).

3. Hasil dan Pembahasan

Eksperimen yang dihasilkan berupa 4 sampel modul yang dilakukan sesuai dengan variabel penelitian. Berikut adalah 4 sampel dengan komposisi rangkaian yang berbeda. Sampel dibuat dengan ukuran diameter 10 cm dan 3 cm untuk menyesuaikan dengan kebutuhan dan ketersediaan alat uji di laboratorium.



Gambar 7. Sampel diameter 10 cm, Gambar 8. Sampel diameter 3 cm

4 sampel yang telah dibuat kemudian diuji di Laboratorium Fisika ITB untuk mencari besaran koefisien serap (absorpsi) pada modul. Berikut adalah tabel hasil dari uji laboratorium:

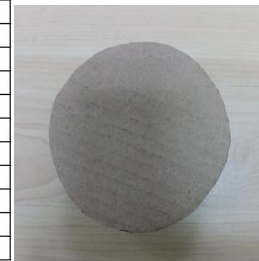
Tabel 2. Hasil Koefisien Absorpsi Modul Kardus 1

Frequency	Norm. Absorption Coefficient	Frequency	Norm. Absorption Coefficient	Frequency	Norm. Absorption Coefficient	Frequency	Norm. Absorption Coefficient
80	0,10					80	0,10
100	0,10					100	0,10
125	0,09					125	0,09
160	0,12					160	0,12
200	0,10					200	0,10
250	0,10	250	0,12			250	0,11
315	0,15	315	0,11			315	0,13
400	0,23	400	0,16			400	0,20
500	0,15	500	0,18			500	0,17
		630	0,21			630	0,21
		800	0,26			800	0,26
		1000	0,31	1000	0,38	1000	0,35
		1250	0,41	1250	0,48	1250	0,45
		1600	0,43	1600	0,54	1600	0,49
				2000	0,54	2000	0,54
				2500	0,51	2500	0,51
				3150	0,54	3150	0,54
				4000	0,70	4000	0,70
				5000	0,76	5000	0,76
				6300	0,65	6300	0,65



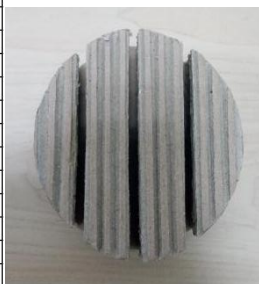
Tabel 3. Hasil Koefisien Absorpsi Modul Kardus 2

Frequency	Norm. Absorption Coefficient	Frequency	Norm. Absorption Coefficient	Frequency	Norm. Absorption Coefficient	Frequency	Norm. Absorption Coefficient
80	0,13					80	0,13
100	0,32					100	0,32
125	0,38					125	0,38
160	0,35					160	0,35
200	0,24					200	0,24
250	0,20	250	0,22			250	0,21
315	0,17	315	0,18			315	0,18
400	0,17	400	0,22			400	0,20
500	0,26	500	0,28			500	0,27
		630	0,22			630	0,22
		800	0,21			800	0,21
		1000	0,21	1000	0,18	1000	0,20
		1250	0,10	1250	0,30	1250	0,20
		1600	0,14	1600	0,45	1600	0,30
				2000	0,56	2000	0,56
				2500	0,65	2500	0,65
				3150	0,81	3150	0,81
				4000	0,71	4000	0,71
				5000	0,66	5000	0,66
				6300	0,63	6300	0,63



Tabel 4. Hasil Koefisien Absorpsi Modul Kardus 3

Frequency	Norm. Absorption Coefficient	Frequency	Norm. Absorption Coefficient	Frequency	Norm. Absorption Coefficient	Frequency	Norm. Absorption Coefficient
80	0,12					80	0,12
100	0,18					100	0,18
125	0,08					125	0,08
160	0,13					160	0,13
200	0,19					200	0,19
250	0,31	250	0,27			250	0,29
315	0,43	315	0,40			315	0,42
400	0,72	400	0,72			400	0,72
500	0,70	500	0,71			500	0,71
		630	0,61			630	0,61
		800	0,70			800	0,70
		1000	0,74	1000	0,45	1000	0,60
		1250	0,82	1250	0,63	1250	0,73
		1600	0,94	1600	0,86	1600	0,90
				2000	0,84	2000	0,84
				2500	0,62	2500	0,62
				3150	0,47	3150	0,47
				4000	0,52	4000	0,52
				5000	0,98	5000	0,98
				6300	0,69	6300	0,69

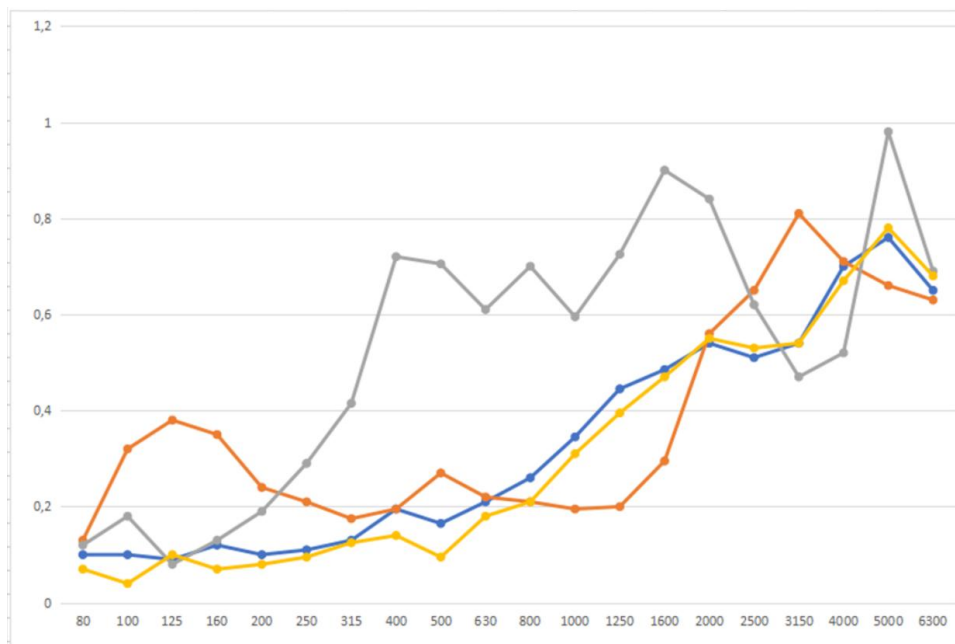


Tabel 5. Hasil Koefisien Absorpsi Modul Kardus 4

Frequency	Norm. Absorption Coefficient	Frequency	Norm. Absorption Coefficient	Frequency	Norm. Absorption Coefficient	Frequency	Norm. Absorption Coefficient
80	0,07					80	0,07
100	0,04					100	0,04
125	0,10					125	0,10
160	0,07					160	0,07
200	0,08					200	0,08
250	0,10	250	0,09			250	0,10
315	0,13	315	0,12			315	0,13
400	0,13	400	0,15			400	0,14
500	0,04	500	0,15			500	0,10
		630	0,18			630	0,18
		800	0,21			800	0,21
		1000	0,27	1000	0,35	1000	0,31
		1250	0,34	1250	0,45	1250	0,40
		1600	0,41	1600	0,53	1600	0,47
				2000	0,55	2000	0,55
				2500	0,53	2500	0,53
				3150	0,54	3150	0,54
				4000	0,67	4000	0,67
				5000	0,78	5000	0,78
				6300	0,68	6300	0,68



Gambar 9. Grafik Perbandingan Hasil Koefisien Absorpsi dari Modul Kardus 1, 2, 3, 4



Dari hasil pengujian didapatkan data koefisien serap (α) yang beragam dari 4 modul yang berbeda. Namun perbedaan yang signifikan ditunjukkan oleh modul dengan grafik berwarna abu-abu. Modul dengan gabungan susunan secara vertikal dan horizontal memiliki daya serap yang cukup baik pada frekuensi 400 hingga 6300.

Tabel 6. Koefisien Absorpsi Material Lainnya

Nature of Surface	Sound Absorption Coefficients at frequency					
	125	250	500	1000	2000	4000
Acoustic tile, rigid mount	0.2	0.4	0.7	0.8	0.6	0.4
Acoustic tile, suspended	0.5	0.7	0.6	0.7	0.7	0.5
Acoustical plaster	0.1	0.2	0.5	0.6	0.7	0.7
Ordinary plaster, on lath	0.2	0.15	0.1	0.05	0.04	0.05
Gypsum wallboard, 1/2" on studs	0.3	0.1	0.05	0.04	0.07	0.1
Plywood sheet, 1/4" on studs	0.6	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1
Concrete block, unpainted	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3
Concrete block, painted	0.1	0.05	0.06	0.07	0.1	0.1
Concrete, poured	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
Brick	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07
Vinyl tile on concrete	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02
Heavy carpet on concrete	0.02	0.06	0.15	0.4	0.6	0.6
Heavy carpet on felt backing	0.1	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
Platform floor, wooden	0.4	0.3	0.2	0.2	0.15	0.1
Ordinary window glass	0.3	0.2	0.2	0.1	0.07	0.04
Heavy plate glass	0.2	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
Draperies, medium velour	0.07	0.3	0.5	0.7	0.7	0.6
Upholstered seating, unoccupied	0.2	0.4	0.6	0.7	0.6	0.6
Upholstered seating, occupied	0.4	0.6	0.8	0.9	0.9	0.9
Wood seating, unoccupied	0.02	0.03	0.03	0.06	0.06	0.05
Wooden pews, occupied	0.4	0.4	0.7	0.7	0.8	0.7

Sumber: Geonoise Indonesia

Jika melihat koefisien absorpsi material lain pada tabel diatas, dapat dikatakan bahwa material limbah karton dapat bersaing dengan material-material akustik lainnya. Modul limbah karton baik 1, 2, 3, dan 4 memiliki tingkat penyerapan yang baik dan dapat digunakan sesuai dengan kebutuhan ruang yang diinginkan. Hal ini menunjukkan bahwa limbah karton sangat layak untuk digunakan sebagai bahan penyerap akustik pada ruangan.

4. Kesimpulan

Hasil pengujian menunjukkan modul dari limbah karton dengan ketebalan 5 cm memiliki kemampuan akustik koefisien serap yang baik pada semua rangkaian modul. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa modul limbah karton yang dihasilkan dapat dikategorikan sebagai material akustik *absorber* atau penyerap bunyi.

Bentuk panel tersusun dari bilah atau potongan dari lembaran karton gelombang yang ditumpuk dan direkatkan. Dalam eksperimen dihasilkan beberapa alternatif bentuk, diantaranya adalah ditumpuk secara vertikal, ditumpuk secara horizontal, gabungan dari kedua tumpukan, dan tumpukan vertikal dengan diberi celah.

Hasil dari pengujian di laboratorium menunjukkan bahwa susunan limbah karton gabungan vertikal dan horizontal memiliki koefisien serap yang baik pada rentang frekuensi 400-6300. Hal ini menunjukkan limbah karton sangat layak untuk digunakan sebagai material penyerap akustik

Daftar Pustaka

1. Diarte, J., & Shaffer, M. (2018, June). Urban Recycling Intervention: Prototype Tooling for Transforming Waste Corrugated Cardboard into Architectural Elements and Building Components. WASCON 2018 - No cradle, No Grave. Circular Economy Into Practice. 10th International Conference on the Environmental and Technical Implications of Construction with Alternative Materials, Tampere, Finland.
2. Doelle, L. L. (1993). Akustik lingkungan (3rd ed.). Erlangga.

3. Duarte, J., Vazquez, E., & Shaffer, M. (2019). Tooling Cardboard for Smart Reuse Testing a Parametric Tool for Adapting Waste Corrugated Cardboard to Fabricate Acoustic Panels and Concrete Formwork. *Blucher Design Proceedings*, 769–778. https://doi.org/10.5151/proceedings-ecaadesigradi2019_197
4. Kardono. (2007). Integrated solid waste management in Indonesia. *Proceedings of International Symposium on EcoTopia Science 2007*.
5. Makainas, I., Sela, R. L., & Nangoy, W. M. (2011). *KOMPARTEMEN AKUSTIK RUANG*. 11.
6. Republik Indonesia. (2017). Peraturan Presiden (PERPRES). <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/73225/perpres-no-97-tahun-2017>
7. SNI 03-6386-2000. (2000). Spesifikasi Tingkat bunyi dan waktu dengung dalam bangunan gedung dan perumahan (Kriteria desain yang direkomendasikan). Badan Standardisasi Nasional.
8. SNI ISO 536: 2010. (2010). Kertas dan Karton—Cara Uji Gramatur. Badan Standarisasi Nasional.
9. Suhardiman. (2010). Penyelidikan Karakteristik Akustik (Acoustical Properties) Material Komposit Polimer Yang Terbuat Dari Serat Batang Kelapa Sawit Menggunakan Variabel Komposisi Ketebalan. [Tsis]. Universitas Sumatera Utara.
10. Tatang-Endi, D. R. (2009). Kajian Kepmen Lingkungan Hidup No. 48 Tahun 1996 dari Hasil Pengukuran Kebisingan Lingkungan Tahun 2009. *Jurnal Purifikasi*, 12(1), 39–46. <https://doi.org/10.12962/j25983806.v12.i1.67>