

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Bunyi dan Kebisingan

2.1.1 Bunyi dan Sifat-sifatnya

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

Bunyi memiliki berbagai sifat. Beberapa diantaranya adalah 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.

Berikut ini merupakan penjelasan lebih lanjut mengenai berbagai sifat bunyi, (Suptandar, 2004) yaitu:

a. Pemantulan bunyi

Pemantulan bunyi terjadi jika gelombang bunyi menimpa sebuah bidang, sebagian energi akan dipantulkan dari permukaan bidang, sebagian diserap dan ditransmisikan. Semakin besar permukaan bidang maka semakin tinggi energi bunyi yang terpantul. .

b. Penyerapan bunyi

Penyerapan bunyi terjadi jika gelombang bunyi menimpa permukaan bidang lunak yang dapat menyerap getaran bunyi, tetapi kurang baik untuk memantulkan bunyi. Penyerapan bunyi pada ruangan terjadi ketika energi bunyi hilang saat menimpa permukaan bidang.

c. Transmisi bunyi

Transmisi bunyi merupakan bunyi yang merambat pada lapisan permukaan yang kemudian diteruskan ke berbagai penjuru atau ruang-ruang lain. Untuk menghindari kebisingan pada ruang digunakan material dengan transmisi rendah serta perhitungan konstruksi pada kombinasi lapisan penyerap.

d. Difraksi bunyi

Difraksi bunyi merupakan sebuah pembelokan bunyi yang disebabkan oleh benda penghalang atau pembatas, seperti sudut ruangan, kolom, tembok-tembok, balok-balok dan perabot lainnya.

2.1.2 Kebisingan dan Sumbernya

Kebisingan merupakan bunyi yang tidak diinginkan yang berasal dari usaha atau kegiatan dalam tingkat dan waktu tertentu yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan pada manusia dan kenyamanan lingkungan (Tatang-Endi, 2009) atau semua suara yang tidak dikehendaki yang bersumber dari alat produksi dan berbagai alat yang dapat menimbulkan gangguan bagi pendengaran. Kebisingan dinyatakan dalam satuan desibel (dB).

Kebisingan yang umum terjadi didefinisikan menjadi beberapa bagian : (1) Kebisingan latar belakang atau *background noise* yaitu tingkat kebisingan yang terjadi terus menerus pada suatu area, tanpa adanya sumber-sumber yang signifikan. Kebisingan ini seringkali tidak menimbulkan gangguan yang berarti, umumnya besar intensitas kebisingan kurang dari 40dB. (2) Kebisingan *ambient* adalah total tingkat kebisingan mencakup kebisingan yang muncul pada suatu waktu yang melebihi tingkat kebisingan latar belakang, umumnya kebisingan ini akan menyebabkan gangguan (Suhardiman, 2010).

Sumber bising adalah sumber bunyi yang dihasilkan dan dianggap mengganggu pendengaran baik dari benda bergerak maupun tidak bergerak. Umumnya sumber ini ditemukan pada kegiatan industri, perdagangan, pembangunan, alat pembangkit tenaga, alat pengangkut dan kegiatan rumah tangga.

Sumber kebisingan pada dasarnya dibagi menjadi tiga macam yaitu sumber titik, sumber bidang, dan sumber garis (Suroto, 2010). Kemudian sumber-sumber kebisingan juga dapat bersumber dari:

1. Bising Interior (dalam)

Bising Interior adalah sumber kebisingan yang berasal dari manusia, peralatan rumah tangga, atau mesin pada gedung.

2. Bising Outdoor (luar)

Bising outdoor atau bising luar yaitu sumber kebisingan yang berasal dari kegiatan lalu lintas, transportasi, industri, mesin-mesin mekanis, tempat konstruksi pembangunan, perbaikan jalan, aktivitas olahraga dan berbagai sumber lainnya.

Batas maksimal tingkat kebisingan yang dianjurkan telah ditentukan oleh SNI 03-6386-2000 (Tabel 2.1). Berikut adalah batas kebisingan agar tidak menimbulkan gangguan pada kenyamanan dan kesehatan pada manusia.

Tabel 2.1

Baku Tingkat Kebisingan Menurut SNI

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. (2000). Spesifikasi tingkat bunyi dan waktu dengung dalam bangunan gedung dan perumahan (kriteria desain yang direkomendasikan). Badan Standardisasi Nasional.

2.1.3 Reverberation Time / Waktu Dengung

Bunyi yang mengalami perpanjangan akibat adanya pemantulan suara yang berulang – ulang di dalam ruang tertutup setelah sumber dari bunyi tersebut hilang, dimana memberikan pengaruh terhadap kondisi pendengar. Waktu dengung atau *reverberation time* adalah waktu yang dibutuhkan oleh bunyi yang dihentikan seketika untuk menurunkan intensitas bunyi sebesar 60 dB dalam hitungan detik. (Satwiko, 2009). Setiap ruang memiliki standar waktu dengung yang berbeda – beda. Ruangan akan memberikan kesan “mati” apabila waktu dengung memiliki jangka yang terlalu pendek. Sedangkan ruangan akan memberikan kesan “hidup” apabila waktu dengung memiliki jangka yang panjang. Waktu dengung suatu ruang akan bergantung pada luas permukaan bidang – bidang, koefisien serap permukaan bidang, volume ruang, serta frekuensi bunyi yang muncul. Apabila volume ruang semakin besar, maka waktu dengung yang dimiliki semakin besar. Demikian halnya dengan material pada bangunan memiliki luasan dan koefisien yang lebih besar, waktu dengung yang dimiliki semakin kecil.

Reverberation time memiliki rumus dengan teori klasik Sabine untuk dihitung dari data ruangan dengan persamaan :

$$R = \frac{0,16V}{A}$$

dengan :

R = Waktu Dengung (s)

V = Volume Ruang (m³)

A = Penyerapan ruang total (sabin)

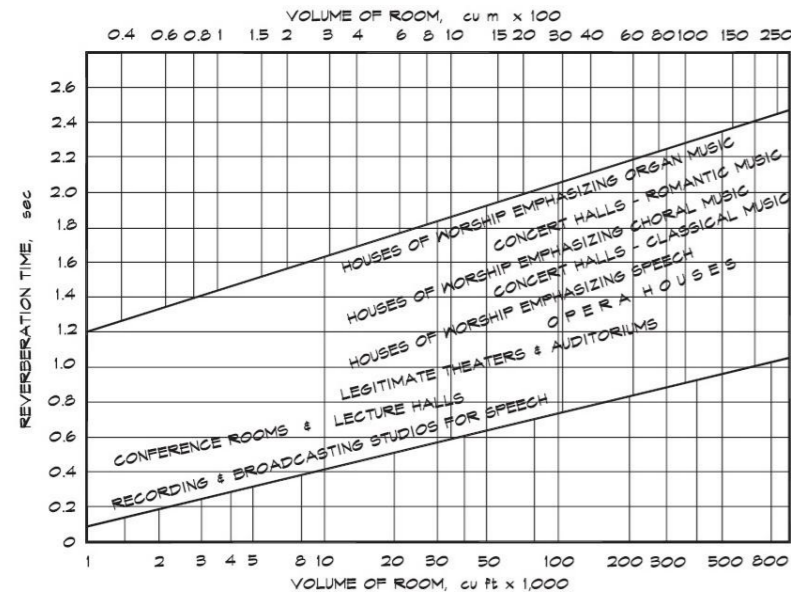
Sedangkan menurut Mediastika (2009) pada frekuensi diatas 1000 Hz terdapat koefisien udara yaitu 0.007 dengan persamaan :

$$R = \frac{0,16V}{A+XV}$$

dengan :

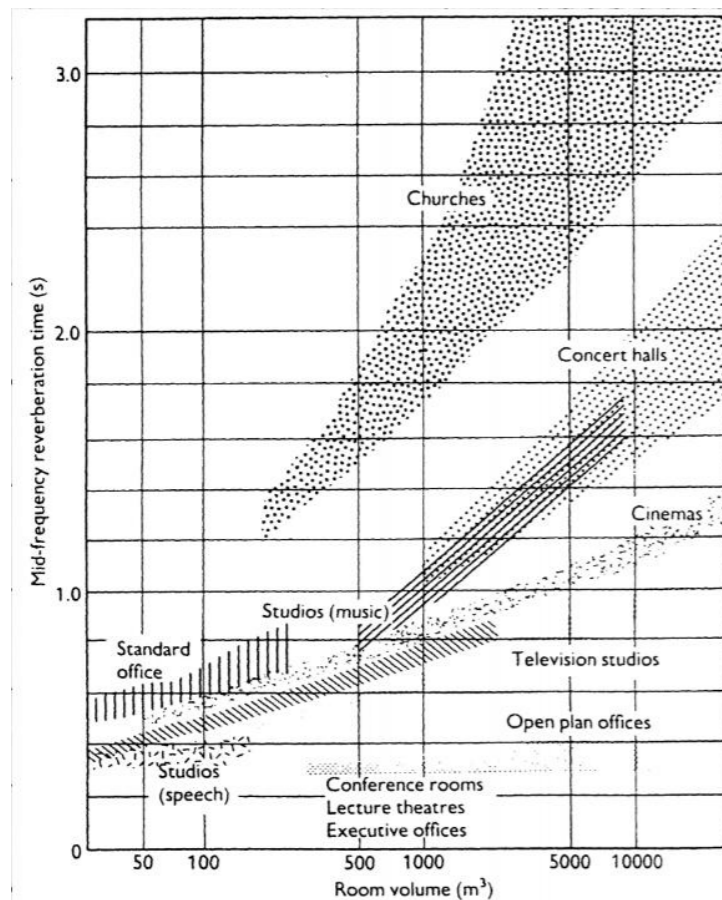
X = Koefisien Udara 0.007

Waktu dengung juga dipengaruhi oleh volume ruang. Semakin besar ruang maka semakin panjang kebutuhan waktu dengung. Pada gambar 2.1 dapat dilihat bahwa untuk fungsi musik ada perbedaan antara ruang dengan volume 250.000 m³ dengan 400 m³. Waktu dengung pada dua ruang dengan volume berbeda dapat mencapai 1,2 detik atau dua kalinya. Hal ini menunjukkan bahwa faktor volume ruang menjadi bagian penting yang perlu diperhatikan. Selain itu, waktu dengung yang berkaitan dengan bunyi musik akan berada di atas 1,2 detik, sedangkan yang berhubungan dengan suara manusia berada di bawahnya. Bunyi musik cenderung lebih membutuhkan waktu dengung sedangkan pada suara manusia, waktu dengung cenderung mengurangi kejernihan laval yang diucapkan. Namun dalam penelitian ini akan menggunakan grafik dari SRL Suffolk (Gambar 2.2) karena pada grafik tersebut dapat ditentukan waktu dengung rekomendasi dari kantor.



Gambar 2.1 Waktu Dengung pada berbagai jenis ruang

Sumber: Long, M. (2006). *Architectural acoustics*. Burlington: Elsevier academic press



Gambar 2.2 Waktu Dengung pada berbagai jenis ruang

Sumber: Sound Research Laboratories Limited.(1976). *Practical building acoustics*. Suffolk, England: Halstaedt press.

2.1.4 Material Insulasi Suara dan Penyerap Suara



Gambar 2.3 Ilustrasi Insulasi Suara

Sumber: *Acourete*. (2020, September 3). <https://acourete.com/material-insulasi-suara-vs-material-penyerap-suara/>

Material peredam suara terbagi menjadi beberapa jenis yaitu material insulasi suara (*sound insulation*) dan material penyerap suara (*absorber*). Material insulasi suara adalah material yang dapat menahan (*block*) suara agar tidak bocor dari atau ke dalam ruangan. Garis hijau pada gambar merupakan dinding dengan material insulasi yang memisahkan antar kedua ruangan (Gambar 2.3). Material insulasi dapat menahan kebocoran suara sehingga ruangan lain tidak mengalami kebisingan akibat sumber suara. Ada beberapa karakteristik dari material insulasi diantaranya adalah cukup berat, tidak berpori, permukaannya keras, dan viskoelastis. Bahan insulasi dapat ditingkatkan kualitas insulasinya dengan digabungkan bahan peredam lain sebagai contoh gabungan antara material gipsum dan *glaswool*. Material insulasi yang umum ditemukan adalah: *rockwool*, *glasswool*, karet busa, gabus, dan sebagainya.

Ruang yang berkaitan dengan suara, seperti studio musik, *home theater*, aula akan mendapatkan fungsi akustik yang baik apabila menggunakan material akustik yang tepat sesuai tujuannya. Akan tetapi, umumnya terjadi penggunaan peredam suara tidak tepat dengan kebutuhannya. Sebagai contoh adalah pemasangan *glasswool* dengan tujuan mengurangi kebocoran suara pada studio. Dalam hal ini, kebocoran suara tidak akan berkurang dikarenakan *glasswool* bertujuan untuk menyerap suara. Sedangkan, untuk mengurangi kebocoran suara, perlu menggunakan material yang dapat membatasi perpindahan suara.

Berikut beberapa karakteristik material insulasi suara:

1. Berat: Semakin berat material, semakin baik nilai redamannya.
2. Tidak Berpori: Semakin rapat material, semakin baik nilai redamannya.
3. Permukaan Keras: Semakin keras permukaan material, semakin baik nilai redamannya.

4. Viskoelastis: Semakin baik dalam menahan redaman, semakin baik nilai redamannya.

Kemampuan sebuah material insulasi suara ditentukan dengan nilai *Sound Transmission Class* (STC) atau *Sound Transmission Loss*. STC adalah nilai tunggal yang dinyatakan dalam satuan dB (decibel). *Sound transmission loss* adalah nilai pengurangan suara dalam satuan dB (decibel) dari frekuensi rendah ke frekuensi tinggi.



Gambar 2.4 Ilustrasi Penyerap Suara

Sumber: *Acourete*. (2020, September 3). <https://acourete.com/material-insulasi-suara-vs-material-penyerap-suara/>

Material penyerap suara merupakan material yang dapat menyerap suara dari sumber suara untuk mengurangi kebisingan dalam ruang. Ilustrasi pada gambar 2.4 bagian kiri adalah sumber suara dan bagian kanan adalah penerima, dan garis putus berwarna hijau adalah material penyerap suara. Tidak semua suara dapat terserap oleh material *absorber*. Ketika suara mengenai material penyerap suara, suara akan diserap dan ada yang diteruskan, sehingga jika diharapkan material peredam suara dapat mengurangi suara dari luar agar tidak masuk ke dalam ruangan dan sebaliknya maka menggunakan material penyerap suara merupakan pilihan yang kurang tepat.

Karakteristik dari material penyerap suara adalah:

1. Ringan
2. Berpori
3. Permukaan lunak
4. Tidak dapat meredam getaran

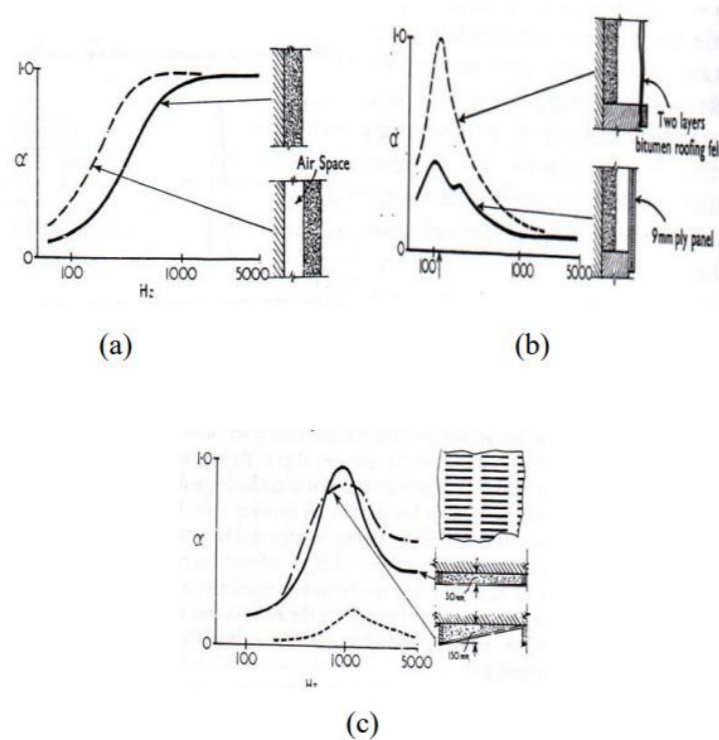
Kemampuan material peredam suara untuk menyerap suara ditentukan dengan nilai *Noise Reduction Class* (NRC) atau *Sound Absorbing Coefficient*. NRC adalah nilai koefisien. *Sound Absorbing Coefficient* adalah nilai berkurangnya suara dalam satuan dB (decibel) dari frekuensi rendah ke frekuensi tinggi.

Kedua jenis material ini seringkali dikombinasikan agar menghasilkan performa yang bagus untuk mengurangi kebisingan. Material insulasi untuk menahan suara yang datang perlu dikombinasikan dengan material penyerap suara untuk menyerap sisa energi suara yang tidak dapat dibatasi oleh material insulasi.

2.1.5 Jenis-Jenis Material Penyerap

Setiap material memiliki sifat akustik yang berbeda. Dalam penyerapan bunyi ada beberapa kriteria yang mempengaruhi penyerapan yaitu ketebalan, porositas, konstruksi, dan frekuensi. Material penyerap bunyi terbagi menjadi tiga jenis, yaitu bahan berpori, penyerap panel, dan resonator rongga (Gambar 2.3).

- a. Bahan berpori, berfungsi menyerap energi suara melalui gesekan yang terjadi antara komponen kecepatan gelombang suara dengan permukaan materialnya. Pada frekuensi tinggi, semakin tebal lapisan bahan penyerap akan semakin efisien, misalnya serat kacang (*rock woll*), *glasswool*, serat kayu, papan komposit serat (*fiber board*), seperti karpet, korden, *foam*, *cellulose fiber*, dan material lunak lainnya.
- b. Penyerap panel atau membran, berfungsi sebagai pengubah energi bunyi menjadi energi getaran. Penyerap panel yaitu lembaran bahan solid (tidak berporous) yang dipasang dengan lapisan udara dibagian belakangnya (*air space backing*). Bergetarnya panel saat menerima energi suara serta transfer energi getaran tersebut ke lapisan udara, menyebabkan terjadinya penyerapan suara. Membran penyerap sangat efisien bekerja pada frekuensi rendah. Karakteristik penyerapan membran penyerap misalnya kaca, pintu, panel kayu.
- c. Penyerap resonator rongga (Helmholtz), berfungsi untuk mengurangi energi melalui gesekan dan interrefleksi pada lubang dalam yang bekerja pada frekuensi rendah. Berbeda dengan penjelasan sebelumnya mengenai karakteristik bahan penyerap yang ringan, resonator rongga menjadi pengecualian karena merupakan bahan penyerap yang tidak ringan. Contohnya seperti *sound block*, resonator panel berlubang dan resonator celah, panel kayu tipis. Resonator Helmholtz dapat bekerja pada frekuensi tertentu, tergantung pada ukuran lubang, leher, dan volume ruang udaranya.



Gambar 2.5 Karakteristik Penyerapan Pada Berbagai Material

Sumber: Makainas, I., Sela, R. L., & Nangoy, W. M. (2011). *Kompartemen akustik ruang*. 11.

Dari berbagai karakteristik material yang ada, perlu diperhatikan bahwa koefisien absorpsi suatu material dapat berubah menyesuaikan frekuensi suara yang datang. Koefisien absorpsi adalah nilai yang menunjukkan jumlah dari keseluruhan energi suara yang datang, yang mampu diserap oleh material tersebut.

$$\text{Koefisien absorpsi (a)} = \frac{\text{jumlah suara yang diserap}}{\text{total energi suara datang}}$$

Nilai maksimum (a) adalah 1 jika permukaan dapat menyerap secara sempurna dan dengan nilai minimum adalah 0 untuk permukaan yang merefleksikan sempurna.

Koefisien penyerapan bunyi bahan bangunan biasa, bahan-bahan akustik, dan isi ruang (penonton, tempat duduk dan seterusnya) yang akan berguna untuk melakukan perhitungan RT (Tabel 2.2).

Tabel 2.2

Koefisien Absorpsi Berbagai Bahan.

Description	Frequency, Hz						Source*
	125	250	500	1000	2000	4000	
Acoustical plaster, average	0.07	0.17	0.50	0.60	0.68	0.66	8
Acoustic steel deck, 6-in. (150-mm) ribs	0.58	0.64	0.71	0.63	0.47	0.40	7
Acoustone space tile, 32 in. (81 cm) OC, per unit	0.22	0.81	1.88	2.28	2.16	1.83	7
Air, per 1,000 cu ft volume, relative humidity 50%				0.9	2.9	7.4	6
Per 100 cu m volume, relative humidity 50%				0.3	0.9	2.4	6
Audience, in upholstered seats, per unit floor area	0.39	0.57	0.80	0.94	0.92	0.87	2
Unoccupied, well-upholstered seating, per unit floor area	0.19	0.37	0.56	0.67	0.61	0.59	2
Unoccupied, leather-covered upholstered seating, per unit floor area	0.15	0.25	0.36	0.40	0.37	0.35	8
Wooden pews, occupied, per unit floor area	0.37	0.44	0.67	0.70	0.80	0.72	8
Musician, with seat and instrument, per person	4.0	8.5	11.5	14.0	13.0	12.0	3
Brick, exposed, unglazed, unpainted	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07	1
Carpet, heavy, on concrete	0.02	0.06	0.14	0.37	0.60	0.65	1
Heavy, on 40-oz (1.35 kg per sq m) hair felt or foam rubber	0.08	0.24	0.57	0.69	0.71	0.73	1
Concrete block, unpainted	0.36	0.44	0.31	0.29	0.39	0.25	1
Painted	0.10	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08	1
Concrete, poured, unpainted	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	2
Fabrics, medium velour, 14 oz (0.48 kg per sq m), draped to half area	0.07	0.31	0.49	0.75	0.70	0.60	1
Floors, concrete or terrazzo	0.01	0.01	0.015	0.02	0.02	0.02	1
Linoleum, vinyl, rubber, or cork tile on concrete	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	1
On subfloor	0.02	0.04	0.05	0.05	0.10	0.05	3
Wooden	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07	1
Wooden platform, with air space beneath	0.40	0.30	0.20	0.17	0.15	0.10	2
Geocoustic tile, 32 in. (81 cm) OC, per unit	0.13	0.74	2.35	2.53	2.03	1.73	4
Glass, heavy plate	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	1
Ordinary window	0.35	0.25	0.18	0.12	0.07	0.04	1
Gypsum board 1/2 in. (13 mm), on 2- by 4-in. (50- by 100-mm) stud, 16 in. (41 cm) OC	0.29	0.10	0.05	0.04	0.07	0.09	1
Plaster, gypsum or lime, smooth finish, on brick	0.013	0.015	0.02	0.03	0.04	0.05	1
On concrete block	0.12	0.09	0.07	0.05	0.05	0.04	2
On lath	0.14	0.10	0.06	0.04	0.04	0.03	1
On lath, over air space, or on studs	0.30	0.15	0.10	0.05	0.04	0.05	3
Plywood, 1/4 in. (6 mm) over 3-in. (75-mm) air space, 1-in. (25-mm) glass-fiber backing	0.60	0.30	0.10	0.09	0.09	0.09	5
Soundblox unit, type B, 8-in. (20-cm) thick, painted	0.74	0.57	0.45	0.35	0.36	0.34	4
Wood panel, 3/8 to 1/2 in. (10 to 13 mm), over 2- to 4-in. (50- to 100-mm) air space	0.30	0.25	0.20	0.17	0.15	0.10	2

Sumber : Doelle, L. L. (1993). *Akustik lingkungan* (3rd ed.). Erlangga.

2.2. Karton Secara Umum

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

Adanya kemungkinan kesalahan definisi terkait karton, maka perlu membedakan berbagai istilah karton, karton *box* dan lainnya, secara umum karton di Indonesia dibagi menjadi beberapa klasifikasi diantaranya:

- Karton *box* adalah karton yang mudah dibentuk, dilipat yang biasanya digunakan untuk diletakkan benda didalamnya. Pada bagian irisan melintang karton *box*, akan ditemukan sebuah lapisan bergelombang. Tujuan adanya lapisan tersebut adalah untuk memberikan

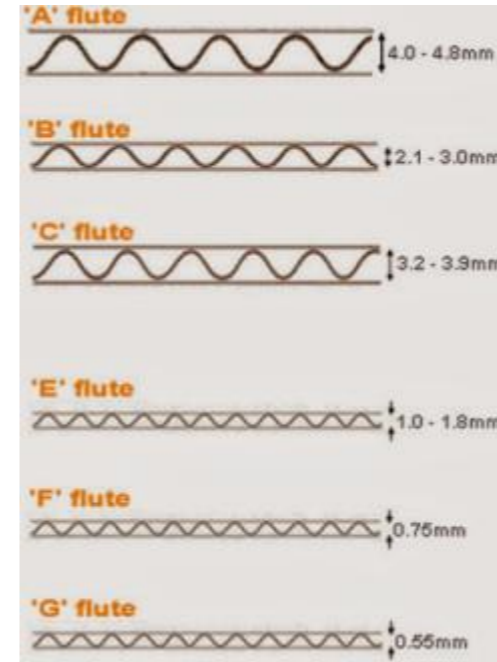
kekuatan pada karton agar tidak mudah rusak. Di beberapa negara lain, karton *box* lebih dikenal dengan istilah corrugated paperboard.

- *Packaging Box* adalah karton box yang mudah dibentuk dan dilipat, dan umumnya digunakan pada kemasan makanan/minuman cepat saji dengan menambahkan lapisan anti jamur atau bahan yang dapat mencegah kontaminasi kimia agar makanan dan minuman tidak terpapar zat racun. Produksi *packaging box* harus mengikuti standar kesehatan yang diterbitkan negara. Di Indonesia standar ini diatur oleh Depkes dan BPOM.
- Kertas karton umumnya digunakan untuk keperluan olah karya dan tidak digunakan sebagai pelindung bahan yang mudah rusak. Namun ada beberapa kertas karton yang dapat digunakan untuk melindungi permukaan suatu benda agar tidak mudah rusak saat pengiriman. Karton dengan tipe ini dapat ditemukan dengan beragam warna dengan ukuran standar kertas.

Bahan baku karton yaitu *pulp* berasal dari serat kayu/selulosa atau limbah kertas. Setelah menjadi bubur kayu/bubur kertas, bahan baku kemudian dikelompokkan untuk diberi warna atau tidak diberi warna. Untuk membuat karton dengan berbagai warna, maka bubur kayu akan diolah dengan melalui proses *bleaching*, yaitu proses dimana warna bubur akan menjadi putih dengan bantuan larutan *Hidrogen Peroxida* atau sejenisnya. Selanjutnya bubur kayu dicampurkan dengan pewarna sesuai dengan kebutuhan dan kemudian pada tahap akhir adalah dicetak sesuai dengan ketebalan yang diinginkan.

Sifat dari karton yang mudah dibentuk dengan berbagai peralatan seperti gunting dan cutter, bernilai ekonomis, dan dapat ditemukan dimana saja, menjadikan karton sebagai salah satu media yang banyak diminati oleh masyarakat. Hal ini terbukti dengan banyaknya kreasi karya yang terbuat dari karton *box* dan digunakan dalam berbagai kebutuhan seperti hiasan atau peralatan yang dapat kita gunakan sehari-hari.

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 2.6 Perbandingan Jenis *Flute*

Sumber: *Motekarprint*. (2014, January 15). <http://www.motekarprint.co.id/index.php/56-packaging-boxes/80-jenis-jenis-flute-gelombang-yang-digunakan-pada-kertas-corrugated-box>

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 (Gambar 2.6).

- *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.

2.3. Karton sebagai Material Sustainable

Bahan baku utama untuk produksi karton adalah serat yang dapat didaur ulang. Hal ini membuat karton menjadi bahan yang menarik dari perspektif lingkungan. Industri kertas secara global, terutama industri kertas di Eropa, telah melakukan upaya besar dalam beberapa tahun terakhir untuk membuat produksi kertas dan karton lebih berkelanjutan. Lebih dari 57% energi yang digunakan di pabrik kertas berasal dari sumber daya hayati.

Karton yang terbuat dari serat murni lebih hemat energi daripada karton yang terbuat dari serat daur ulang. Namun, karton yang terbuat dari serat murni 40% lebih kuat dari karton yang terbuat dari serat daur ulang. Oleh karena itu, perkiraan biaya dan intensitas energi karton juga perlu diperhatikan untuk setiap proyek. Pengangkutan karton yang dibongkar ke tempat daur ulang mungkin lebih mahal daripada produksi karton baru dari bahan sumber yang berbeda.

Bahan seperti lem, pelapis atau resin, yang digunakan untuk menyambung berbagai elemen karton atau untuk melindungi karton dari air dan api, dapat menyebabkan elemen karton tidak cocok untuk didaur ulang. Dalam hal bangunan keberlanjutan, hal ini dapat menjadi faktor penentu.

Karton merupakan material dengan *high embodied energy*, namun hal ini dapat diimbangi dengan kinerja termalnya yang cukup memuaskan. Biaya yang digunakan juga cukup rendah jika menggunakan material bangunan yang terbuat dari karton. Walau teknologi tambahan seperti proteksi kebakaran, *waterproof*, cat dan lem belum dikembangkan lebih lanjut untuk menyesuaikan material karton, penggunaan karton dapat terus dimaksimalkan terutama untuk rumah darurat sementara, ruang

pameran sementara atau elemen dalam ruangan yang membutuhkan daya tahan dan kedap air yang lebih sedikit.

Struktur kertas dan karton harus lebih sering dikembangkan sebagai produk bangunan. Jika tidak, karton akan selalu dikaitkan dengan konstruksi eksperimental, dan akan tetap dianggap sebagai bahan kemasan berkualitas rendah dan sekali pakai. Keuntungan dari karton sebagai bahan bangunan juga dapat ditemukan dalam hal kemudahannya untuk dibongkar, dibuang dan didaur ulang, dibandingkan dengan material lain.

2.4. Karton sebagai Material Bangunan

Karton merupakan alternatif yang sangat baik untuk bahan bangunan. Karton terbuat dari kertas yang merupakan bahan ramah lingkungan, mudah dirawat dan didaur ulang.

Ada beberapa ketidakpastian dalam arsitektur tentang kekuatan dan daya tahan karton sebagai bahan bangunan. Material ini umumnya dipandang sebagai material dengan sifat dan kekuatan yang buruk, juga dianggap sebagai bahan sekali pakai.

Mengutip pemenang penghargaan Pritzker dan ahli karton Arsitek Shigeru Ban, “Kekuatan bangunan tidak ada hubungannya dengan kekuatan material, bahkan bangunan beton dapat dihancurkan oleh gempa, tetapi bangunan yang terbuat dari kertas tidak.”

Karton, sesuai dengan pernyataan ini, berkinerja sangat baik jika menggunakan teknik dan perawatan desain yang tepat. Karton dapat digunakan dalam berbagai bentuk sebagai bahan konstruksi, yaitu tabung kertas, panel sarang lebah, dll.

Karton terbuat dari bubur kayu dan kertas daur ulang. Bubur kayu diperoleh dari pohon. Menebang pohon untuk bubur kayu akan mengakibatkan kerusakan lingkungan yang besar. Oleh karena itu untuk menguranginya kayu dipanen secara khusus untuk memenuhi kebutuhan penduduk dan tidak mengganggu keseimbangan ekologi. Penting bagi desainer dan arsitek untuk memeriksa sumber kayu sebelum menggunakannya. Proses pembuatannya membutuhkan air dalam jumlah yang lebih besar, tetapi sebagian besar air yang digunakan diolah untuk digunakan kembali.

Proses pembuatan dilakukan dengan menggunakan salah satu dari dua metode ini:

1. Metode kimia.
2. Metode mekanis.

Salah satu keunggulan utama karton sebagai bahan konstruksi adalah sifatnya yang dapat didaur ulang. Karton dapat sepenuhnya didaur ulang dan dapat digunakan kembali sebagai komponen manufaktur. Proses daur ulang hampir mirip dengan proses pembuatannya, tetapi tergantung pada

kekuatan dan kualitas karton. Karton yang sudah digunakan sebagai bahan konstruksi dapat mengandung perekat, resin, pelapis, dan berbagai campuran lainnya yang dapat mengurangi jumlah produk yang didaur ulang.

Statistik menyatakan bahwa proses daur ulang kertas atau karton membutuhkan sepertiga hingga seperenam energi daripada yang dibutuhkan untuk membuat kertas baru dengan serat murni. Proses ini juga membutuhkan lebih sedikit air serta emisi gas rumah kaca dan bahan kimia beracun berkurang dalam jumlah yang cukup besar.

Ketahanan karton sebagai bahan bangunan selalu dicermati karena sifat dan penggunaan dasarnya. Karton setelah dirawat dengan perawatan yang tepat dapat berfungsi sebagai insulator termal yang sangat baik, dapat dibuat tahan api yang mempengaruhi daya tahan dan umur bangunan.

Mengingat penggunaan karton sebagai bahan bangunan oleh para arsitek dalam struktur permanen di masa kini, dapat diperkirakan bahwa umur dari struktur permanen yang terbuat dari karton adalah lima belas hingga dua puluh tahun.

Arsitek Shigeru Ban, menguasai arsitektur kertas karton, dan telah merancang beberapa proyek menggunakan karton sebagai bahan bangunan utama terlepas dari sifat dan penggunaannya. Berikut ini beberapa diantaranya:

1. Sekolah Pembibitan Kertas, Sichuan, Cina.

Wilayah kota Ya'an, Sichuan, Cina, terkena dampak buruk gempa yang melanda wilayah tersebut pada tahun 2013. Sekolah ini dirancang sebagai struktur sementara (Gambar 2.7) yang dibangun dan dibangun oleh para sukarelawan. Ar. Shigeru Ban mendesain sekolah ini menggunakan tabung karton sebagai kerangka strukturnya (Gambar 2.8 dan Gambar 2.9). Bangunan itu terdiri dari dua ruang kelas dan koridor tengah. Sudut L (baja), digunakan untuk menopang rangka.



Gambar 2.7 Proses Konstruksi, Gambar 2.8 Struktur Atap, Gambar 2.9 Perspektif Bangunan
Sumber: Chin, A. (2014). *Sichuan, china receives paper nursery school by Shigeru Ban.*
<https://www.designboom.com/architecture/sichuan-china-receives-paper-nursery-school-by-shigeru-ban-04-24-2014/>

3. Paper log house, India

Paper log house, merupakan proyek bantuan bencana gempa bumi oleh Ar. Shigeru Ban, di wilayah Bhuj, Gujrat India. Dindingnya dibangun menggunakan tabung kertas karton yang didirikan di saluran besi galvanis (Gambar 2.10). Strukturnya tahan air dan dibuat menggunakan bahan yang dapat didaur ulang serta tersedia secara lokal. Keunikan dari rumah ini adalah pondasinya yang terbuat dari puing-puing yang terbentuk dari bangunan yang hancur akibat gempa. Hal ini membuat fondasi yang lebih baik dan kuat, memberikan solusi ekologis untuk masalah yang dapat diperdebatkan untuk fondasi struktur karton dan kertas (Gambar 2.11).



Gambar 2.10 Keadaan setelah bangunan terbangun (kiri), Gambar 2.11 Interior Ruang (kanan)
Sumber: *Paper log house India*. (2014, March 23). <https://www.architectmagazine.com/project-gallery/paper-log-house-india>

3. Paper log house, Kobe

Ini adalah salah satu proyek brilian terkait perumahan bantuan bencana oleh Ar. Shigeru Ban. Dindingnya terbuat dari tabung kertas. Tabung kertas ini memiliki ketebalan 4 mm dan diameter sekitar 106 mm. Pondasinya terbuat dari peti bir dan karung pasir (Gambar 2.13). Pita spons terjepit di antara tabung kertas. Hal ini berfungsi sebagai perekat dan waterproofing (Gambar 2.12). Semua bahan yang digunakan dapat digunakan kembali dan didaur ulang.



Gambar 2.12 Interior Ruang (kiri), Gambar 2.13 Perspektif Bangunan (kanan)
Sumber: *Paper log house Kobe*. (2014, March 23). <https://www.architectmagazine.com/project-gallery/paper-log-house-kobe>

4. Aula konser kertas, L'Aquila, Italia.

Ini adalah gedung konser sementara, yang dibangun setelah wilayah tersebut terkena gempa. Bangunan ini seluas 700 meter persegi yang berbentuk oval serta menggunakan material dari baja, tanah liat, karton, dan kaca. Bangunan ini menggunakan struktur sederhana dengan atap piramidal (Gambar 2.14). Aula ini dikelilingi oleh 44 pilar, dengan pintu akordeon yang membuka ke ruangan dan ditutupi oleh tirai merah (Gambar 2.15). Aula dapat menampung 230 orang.



Gambar 2.14 Interior Ruang (kiri), Gambar 2.15 Perspektif Sisi Depan Bangunan (kanan)

Sumber: *Paper concert hall*. (2010). <https://www.archilovers.com/projects/28436/paper-concert-hall.html>

5. Katedral Karton, Selandia Baru

Salah satu proyek Ar. Shigeru Ban, adalah Katedral Karton, Christchurch, Selandia Baru. Wilayah itu dilanda gempa besar yang meruntuhkan monumen kota. Ar. Shigeru Ban percaya, "Orang tidak terbunuh oleh gempa bumi, mereka terbunuh oleh bangunan yang runtuh". Inilah ideologi di balik penggunaan karton sebagai bahan bangunan.

Desainnya berupa tabung kertas dengan panjang yang sama disusun membentuk paviliun bangunan 'A-shape' (Gambar 2.16). Dinding setinggi 70 kaki (di atas altar). Total 96 tabung karton digunakan untuk katedral ini. Tabung-tabung ini ditempatkan dengan celah dua inci agar cahaya dapat menembus ke dalam gereja (Gambar 2.17 dan Gambar 2.18). Katedral dapat menampung 700 orang sekaligus. Katedral ini adalah struktur kertas terbesar dalam karir Ar. Shigeru Ban (Gambar 2.19).



Gambar 2.16 Perspektif Bangunan (kiri), Gambar 2.17 Interior Ruang (kanan)

Sumber: *Newly released photos of Shigeru Ban's cardboard cathedral in New Zealand*. (2013).

<https://www.archdaily.com/413224/shigeru-ban-completes-cardboard-cathedral-in-new-zealand>

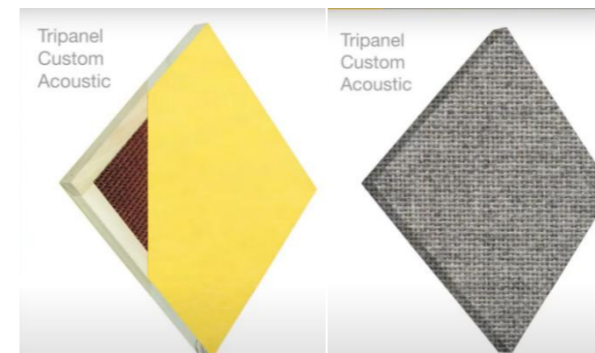


Gambar 2.18 Struktur Atap dari *Paper Log* (kiri), Gambar 2.19 Proses Pembuatan *Paper Log* (kanan)

Sumber: *Shigeru Ban's cardboard cathedral in New Zealand*. (2013). <https://www.archdaily.com/345255/shigeru-bans-cardboard-cathedral-underway-in-new-zealand>

2.5 Karton sebagai Elemen Akustik

Ada beberapa produk yang mencoba untuk menggabungkan material karton dengan berbagai material lain untuk keperluan akustik. Salah satu contohnya adalah *Tripanel Custom Acoustic* yang dapat dilihat pada Gambar 2.20. Panel ini diproduksi oleh *Tricel Honeycomb*. *Tripanel Custom Acoustic* memiliki ketebalan 1-2 inci. *Tripanel Custom Acoustic* menggunakan bingkai kayu solid dan dapat ditutup dengan kain (Gambar 2.21).



Gambar 2.20 Rangka Panel Akustik, Gambar 2.21 Panel setelah dilapisi kain

Sumber: *Acoustic panels*. (2022). <https://www.tricelcorp.com/acoustic-panels/>

Contoh lainnya adalah dengan menggabungkan material karton yang disusun sedemikian rupa kemudian digabungkan dengan material daur ulang kertas untuk keperluan akustik (Gambar 2.22). Kemudian untuk melapisi permukaan panel serta menunjang penampilan panel akustik, digunakan kain sebagai lapisan terakhir.



Gambar 2.22 *Sandwich Panel* dari Karton

Sumber: *Acoustic panel*. (n.d.). <http://acoustic-panel-en.alibaba.com>

Pada berbagai penelitian mengenai material akustik dari karton, diharapkan akan muncul lebih banyak prototipe yang menunjang berbagai kebutuhan. Oleh karena itu pengembangan lebih lanjut mengenai material akustik dari karton terutama dalam menemukan pola penyusunan karton yang ideal dan mencari material pendukung lainnya yang cocok untuk digabungkan sebagai sebuah material akustik yang memadai. Dalam penelitian terdahulu telah didapatkan koefisien serap dari material kotak karton gelombang yang dikemudian hari dapat membantu untuk keperluan penelitian (Tabel 2.3).

Tabel 2.3
Koefisien Penyerapan Bunyi Kotak Karton Gelombang.

Material	Ketebalan	Frekuensi	Koefisien Serap
Kotak Karton Gelombang	2.0 cm	125 Hz	0.15
		250 Hz	0.13
		500 Hz	0.15
		1000 Hz	0.39
		2000 Hz	0.70
		4000 Hz	0.89
	4.0 cm	125 Hz	0.08
		250 Hz	0.17
		500 Hz	0.22
		1000 Hz	0.52
		2000 Hz	0.88
		4000 Hz	0.95

Sumber: Kurniawan, O., Widodo, P., & Wibisono, A. (2015). Eksperimen perancangan kemampuan daya serap panel akustik dari sampah kotak karton gelombang. 8.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis dan Tahapan Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen yang memerlukan perlakuan khusus terhadap penggunaan material karton untuk memenuhi kebutuhan akustik. Teknik pengumpulan data yang digunakan adalah kuantitatif. Tahapan penelitian yang dilakukan (Gambar 3.1) adalah studi pustaka untuk mendapatkan parameter material partisi yang dapat mendukung kebutuhan kantor dari segi akustik. Studi literatur yang digunakan adalah beberapa penelitian terdahulu yang telah menguji coba material karton dalam berbagai kebutuhan. Observasi objek penelitian juga dilakukan untuk mendapatkan kriteria pengolahan material yang sesuai untuk kebutuhan partisi akustik. Hal ini dilakukan untuk membandingkan parameter yang ada dan hasil observasi.

Pengujian dilakukan di lab akustik dengan mengambil beberapa parameter yang dapat menguji material karton. Beberapa parameter yang digunakan adalah ketebalan karton, bahan pelapis karton, material pendukung lainnya yang mampu menunjang kebutuhan akustik. Pengujian selanjutnya adalah mengetes background noise dan waktu dengung pada ruang kantor dosen P 06.07 Gedung P UK Petra. Pengujian dilakukan dengan alat *sound level meter* serta dibantu dengan amplifier dan speaker sebagai sumber suara. Dari hasil pengujian, akan didapatkan hasil waktu dengung dan background noise yang kemudian dianalisis untuk menentukan penggunaan material absorpsi karton yang sesuai dengan kebutuhan. Setelah pengujian selesai dilakukan, maka akan didapatkan prototipe modul partisi akustik yang kemudian akan digunakan pada layout ruang kantor.



Gambar 3.1 Tahapan Penelitian