

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Aspek Fisis Kebisingan

Kebisingan adalah semua suara yang tidak dikehendaki yang bersumber dari alat-alat proses produksi dan atau alat-alat kerja yang pada tingkat tertentu dapat menimbulkan gangguan pendengaran (Kepmenaker No. 51 Tahun 1999). Intensitas kebisingan atau arus energi persatuan luas biasanya dinyatakan dalam satuan logaritmis yang disebut decibel (dB) dengan memperbandingkan dengan kekuatan dasar $0,0002 \text{ dyne/cm}^2$ yaitu kekuatan dari bunyi dengan frekuensi 1.000 Hz yang tepat didengar oleh telinga normal (Sasongko, 2000).

Bunyi yang menimbulkan kebisingan disebabkan oleh getaran yang dihasilkan oleh suatu sumber suara. Getaran yang berasal dari suatu sumber ini mengganggu kestabilan molekul-molekul udara di sekitarnya sehingga molekul-molekul tersebut ikut bergetar. Akumulasi getaran tersebut menyebabkan terjadinya rambatan gelombang energi secara mekanis pada udara sebagai media rambatan menurut pola rambatan longitudinal. Rambatan gelombang getaran di udara ini dikenal sebagai suara atau bunyi (Sasongko, 2000).

Dalam dunia industri, sumber bunyi merupakan gabungan dari beberapa sumber suara yang saling terpropagasi satu sama lain, yaitu (Utama, 2002) :

- a. *Fluid turbulence*, bising yang terbentuk oleh getaran yang diakibatkan antar partikel dalam fluida, misalnya terjadi pada pipa, *valve*, *gas exhaust*.
- b. *Moving and vibration part*, bising terjadi oleh getaran yang disebabkan oleh gesekan, benturan atau ketidakseimbangan gerakan bagian mesin/peralatan seperti *bearing* pada kompresor, turbin, pompa, dan *blower*.
- c. *Temperature difference*, bising yang terbentuk oleh pemuaian dan penyusutan fluida, misalnya terjadi pada mesin jet pesawat.
- d. *Electrical equipment*, bising yang disebabkan efek perubahan fluks elektromagnetik pada bagian inti yang terbuat dari logam, misalnya generator, motor listrik, *transformator*

2.1.1. Tekanan, Daya Suara dan Intensitas Suara

Rambatan suara di udara akan menimbulkan gangguan terhadap kondisi keseimbangan tekanan udara dimana persamaanya dituliskan sebagai berikut (Bell, 1993) :

$$P(t) = Pa + p(t) \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

- P(t) = Tekanan Suara (Pa)
 Pa = Tekanan atmosfer udara
 P(t) = Gangguan tekanan suara (Pa)

Tekanan suara digunakan untuk mendapatkan nilai rata-rata positif dari sinyal yang berisolasi. *Sound Power Level* menyatakan satuan daya dalam skala logaritmis, dirumuskan dengan persamaan (Bell, 1993) :

$$Lw = 10 \text{ Log } \left(\frac{W}{W_o} \right) \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

- Lw = satuan daya suara
 W = daya suara (*watt*)
 Wo = daya suara acuan (10^{-12} *watt*)

Intensitas suara didefinisikan sebagai laju aliran energi (daya) suara yang menembus suatu luasan tertentu, dengan kata lain intensitas suara merupakan kecepatan energy suara per satuan luas. Dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut (Bell,1993) :

$$I = \frac{W}{S} = \frac{W}{4\pi r^2} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

I = Intensitas suara (W/m^2)

W = Daya suara (w)

S = Luas permukaan yang ditembus suara (m^2)

r = Jarak titik dari sumber suara (m)

Apabila dinyatakan dalam skala logaritmis maka akan diperoleh skala satuan intensitas suara, yang dirumuskan dengan persamaan (Sasongko, 2000) :

$$L_i = 10 \text{ Log } \left(\frac{I}{I_0} \right) \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

L_i = Satuan intensitas suara (dB)

I = Intensitas suara (W/m^2)

I_0 = Intensitas suara acuan ($10^{-12} \text{ W}/\text{m}^2$).

2.1.2. Satuan Tingkat Kebisingan

Satuan tekanan suara sebagai satuan tingkat kebisingan atau suara kurang praktis karena daerah pendengaran manusia memiliki jangkauan yang sangat lebar ($2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ sampai 200 Pa) dan respon telinga manusia tidak linier terhadap tekanan suara, tetapi bersifat logaritmis. Berdasarkan alasan ini maka ukuran tingkat kebisingan biasanya dinyatakan dalam skala tingkat tekanan suara (*sound pressure level*=*SPL*) dengan satuan decibel (dB). Tingkat tekanan suara ini dirumuskan menurut persamaan (Kinsler, 2000):

$$SPL = 10 \text{ Log } \frac{P^2}{P_0^2} = 20 \text{ Log } \left(\frac{P}{P_0} \right) \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

SPL = tingkat tekanan suara (dB)

P = tekanan suara (Pa)

P_0 = tekanan suara ambang dengan acuan ($2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$)

2.1.3. Pembobotan Suara

Mayoritas *sound level meter* memiliki skala pembobotan, dinyatakan dengan skala A-,B-, dan C- (ANSI S1.4, 1971). Pada awalnya, skala A- di desain untuk menyesuaikan respon telinga manusia pada tingkat tekanan suara 40 dB di semua frekuensi. Skala B- di desain untuk menyesuaikan respon telinga manusia pada tingkat tekanan suara pada 70 dB di semua frekuensi. Skala C- kurang lebih konstan pada frekuensi 63 Hz – 4000 Hz (Barron, 2003).

Skala B- sangat jarang digunakan. Skala A- banyak digunakan sebagai pengukuran tunggal untuk kemungkinan adanya kerusakan pendengaran, gangguan karena kebisingan, dan untuk memenuhi baku mutu. Untuk mengkonversi pembobotan dapat menggunakan tabel berikut :

Tabel 2.1 Konversi Pembobotan

No	Frekuensi (Hz)	A- Weighting CFA (dB)	B- Weighting CFB (dB)	C- Weighting CFC (dB)
1	10	-70,4	-38,2	-14,3
2	12,5	-63,4	-33,2	-11,2
3	16	-56,7	-28,5	-8,5
4	20	-50,5	-24,2	-6,2
5	25	-44,7	-20,4	-4,4
6	31,5	-39,4	-17,1	-3,0
7	40	34,6	-14,2	-2,0
8	50	-30,2	-11,6	-1,3
9	63	-26,2	-9,3	-0,8
10	80	-22,5	-7,4	-0,5
11	100	-19,1	-5,6	-0,3
12	125	-16,1	-4,2	-0,2
13	160	-13,4	-3,0	-0,1
14	200	-10,9	-2,0	0
15	250	-8,6	-1,3	0
16	315	6,6	-0,8	0
17	400	-4,8	-0,5	0
18	500	-3,2	-0,3	0
19	630	-1,9	-0,1	0
20	800	-0,8	0	0
21	1000	0	0	0
22	1250	+0,6	0	0
23	1600	+1,0	0	-0,1

No	Frekuensi (Hz)	A- Weighting CFA (dB)	B- Weighting CFB (dB)	C- Weighting CFC (dB)
24	2000	+1.2	-0.1	-0.2
25	2500	+1.3	-0.2	-0.3
26	3150	+1.2	-0.4	-0.5
27	4000	+1.0	-0.7	-0.8
28	5000	+0.5	-1.2	-1.3
29	6300	-0.1	-1.9	-2.0
30	8000	-1.1	-2.9	-3.0
31	10000	-2.5	-4.3	-4.4
32	12500	-4.3	-6.1	-6.2
33	16000	-6.6	-8.4	-8.5
34	20000	-9.3	-11.1	-11.2

Sumber : Barron, 2003

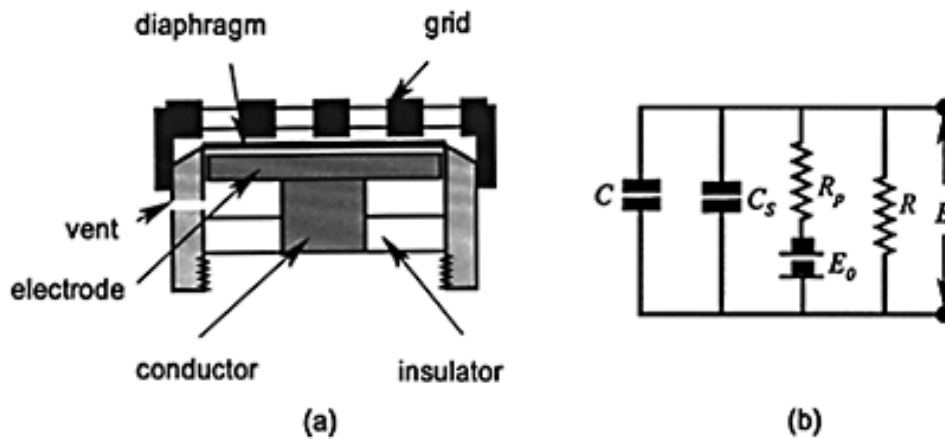
2.2. Instrumen Pengukuran Kebisingan

2.2.1. Mikrofon

Banyak jenis alat transdusi setiap tahun diperkenalkan sebagai alat untuk mengubah fluktuasi tekanan suara menjadi sinyal elektrik yang dapat diukur alat ini disebut dengan mikrofon. Transduser yang paling banyak dipakai karena pengukurannya yang presisi adalah mikrofon kondenser. Dan tingkatan yang lebih rendahnya adalah piezoelektrik mikrofon. Keduanya digunakan karena mempunyai respon frekuensi yang uniform dan stabilitas sensitivitas yang stabil dalam jangka waktu yang lama (Bies, 2003).

1) Mikrofon Kondenser

Mikrofon kondenser terdiri dari diaphragma yang berfungsi sebagai elektroda pada kondenser, paralel dari diaphragma dan dipisahkan oleh celah udara yang sangat sempit, yang berfungsi sebagai elektroda lain. Mikrofon kondenser biasanya menghasilkan pengukuran yang paling akurat dan konsisten tapi lebih mahal untuk dibuat dibandingkan dengan piezoelektrik mikrofon (Bies, 2003).



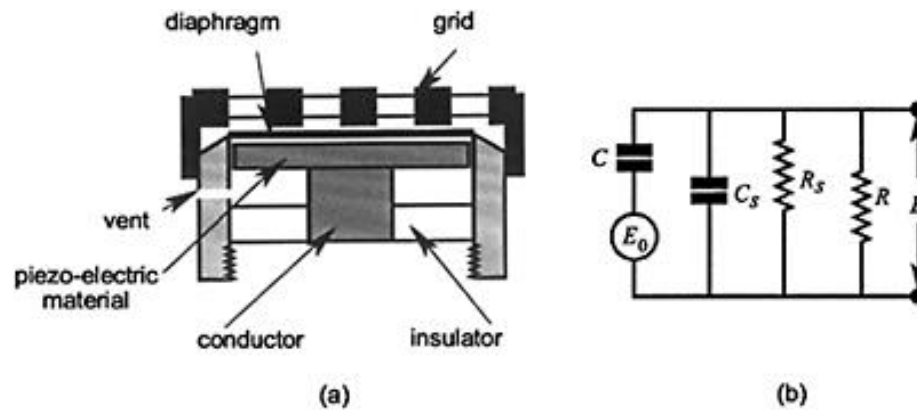
Gambar 2.1 Representasi Skematik Mikrofon Kondenser

Sumber : Bies, 2003

Terdapat dua jenis mikrofon kondenser yaitu poralized dan pre-poralized. Mikrofon kondenser poralized sangat sensitive terhadap debu dan kelembaban pada diaphragmnya, tetapi sangat tahan digunakan pada daerah dengan elevasi tinggi. Mikrofon kondenser tipe pre-poralized tidak terlalu sensitif pada debu dan kelembaban sehingga biasa dipakai instrument pengukuran suara. Kedua tipe tersebut secara relative tidak terlalu sensitif terhadap getaran (Bies, 2003).

2) Mikrofon Piezoelektrik

Pada mikrofon piezoelektrik suara yang melewati diaphragma cenderung menimbulkan stress atau sebaliknya pada piezoelektrik tersebut, dimana sebagai respon menginduksi beban terikat disekitar kapasitansi. Efek beban variable bekerja seperti generator voltase.

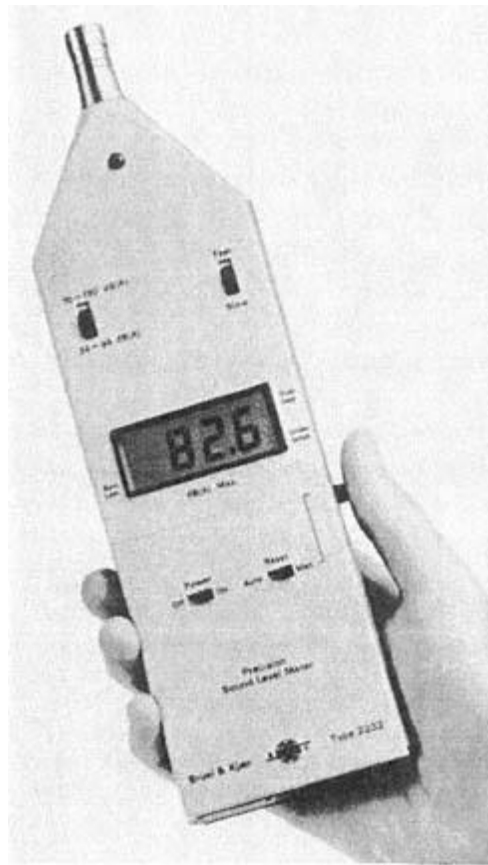


Gambar 2.2 Skematik Representasi Mikrofon Piezoelektrik

Sumber : Bies, 2003

2.2.2. Sound Level Meter

Instrument yang paling banyak digunakan untuk mengukur level tekanan suara pada bidang suara adalah *sound level meter* (SLM). Perangkat pada mikrofon mengubah suara yang ditangkap menjadi sinyal elektrik. Karena tegangan mikrofon proporsional terhadap tekanan suara, SLM dapat berguna sebagai pengukuran. Sebuah SLM harus bisa menampilkan nilai L_{eq} dan L_{Aeq} . Juga dapat berguna untuk data statistik kuantitatif seperti L_{10} dan L_{90} beserta oktaf atau filter 1/3 oktaf (Bies, 2003).



(a)

Gambar 2.3 Sound Level Meter*Sumber : Bell, 1993*

Jika suara yang akan diukur lebih dari 140 dB, maka SLM dengan sensitifitas rendah yang dipakai. Sementara jika suara yang diukur kurang dari 30 dB maka yang dipakai adalah SLM dengan sensitifitas tinggi. Kebanyakan mikrofon memiliki jarak dinamis antara 100 sampai 120 dB (David Bies, 2003).

Suara yang ditemui dalam latihan selalu stabil di level tertentu. Hampir selalu ditemui fluktuasi dan kadang-kadang variasi level bisa cukup besar. Untuk mengakomodasi fenomena ini, SLM dilengkapi dengan dua indicator respon. Satu, berlabel "cepat", memiliki waktu konstan 100 ms dan dirancang untuk perkiraan respon telinga. Yang lain, berlabel "lambat", memiliki waktu konstan 1s, dan meskipun tidak mensimulasikan respon telinga, hal tersebut berguna untuk menentukan level rata-rata ketika suara yang diukur berfluktuasi terus

menerus dan tak terkira selama pengukuran dan sound level meter tidak memiliki kemampuan mengukur L_{eq} (Bies, 2003).

2.2.3. Kelas Sound Level Meter

Beberapa kelas sound level meter dapat dilihat dan dipelajari standar IEC (*International Electrotechnical Commission*). Standar terbaru membedakan SLM menjadi 2 Kelas yaitu (Bies, 2003) :

- 1) Kelas 1, presisi, diperuntukan untuk keperluan laboratorium atau pengukuran lapangan dimana dibutuhkan pengukuran yang akurat;
- 2) Kelas 2, untuk keperluan biasa, diperuntukan untuk keperluan lapangan umum dan merekam data tingkat kebisingan untuk analisis frekuensi

2.2.4. Kalibrasi

Kalibrasi adalah pemeriksaan suatu instrumen terhadap seluruh fungsi jarak frekuensi, biasanya membutuhkan prosedur dengan waktu yang lama melibatkan spesialisasi terhadap instrument tersebut. Kalibrasi berbeda tergantung perusahaan pembuat alat tersebut, tapi biasanya kalibrasi melibatkan penempatan suatu alat penghasil suara didepan mikrofon yang menghasilkan tekanan suara sebesar 94 dB sampai 124 dB) pada frekuensi tertentu (Bies, 2003).

2.2.5. Pengukuran Kebisingan

Data yang bagus dan akurat adalah hasil dari atensi yang hati-hati pada detail dan mengeliminasi kemungkinan sumber kesalahan pada pengukuran. Kesalahan utama pada pengukuran diantaranya adalah (Bies, 2003):

- 1) Salah penanganan pada mikrofon

Jika mikrofon ditempatkan pada permukaan yang bergetar, maka mikrofon akan menghasilkan sinyal palsu yang akan terbaca oleh indikator sebagai tekanan suara. Harap diperhatikan untuk menjaga mikrofon dari sumber yang menghasilkan getaran, exposure pada tingkat suara yang

ekstrim, atau guncangan akibat mikrofon yang jatuh yang akan mengakibatkan perubahan kalibrasi pada mikrofon.

2) Salah penanganan *amplifier*

Amplifier pada SLM harus dilindungi dari gaya magnet, suara dan getaran yang terlalu intens, jika tidak maka akan bertindak seperti mikrofon dan akan menghasilkan hasil yang keliru.

2.2.6. Faktor Gangguan Pengukuran

Data yang baik adalah hasil dari atensi pada detail dan eliminasi kemungkinan pada gangguan pengukuran. Perlu dicatat bahwa pertimbangan yang akan disebutkan adalah hal yang umum dan dapat terjadi pada pengukuran. Faktor gangguan yang terjadi adalah sebagai berikut (Bies, 2003) :

1) Suara Latar Belakang

Suara latar belakang adalah faktor yang paling mempengaruhi pembacaan tekanan suara. Untuk memastikan pengaruh suara latar belakang tidak mengganggu maka sumber suara harus dimatikan operasinya (jika memungkinkan). Jika suara latar belakang kurang dari 10 dB dibawah total level sumber suara ketika operasi, maka harus dilakukan koreksi setiap pembacaan.

2) Angin

Bahkan angin yang berhembus mengenai mikrofon dapat menghasilkan pembacaan palsu, terutama pada frekuensi dibawah 200 Hz. Gangguan ini dapat dikurangi dengan pemasangan busa pelindung disekitar mikrofon.

3) Suhu

Komponen yang sensitif terhadap suhu adalah baterai dan mikrofon. Ketika suhu naik, daya tahan baterai akan berkurang. Beberapa mikrofon tidak sensitif terhadap suhu.

4) Kelembapan dan Debu

Mikrofon kondenser secara khusus sensitif terhadap kelembapan dan debu pada diaphragma-nya, kedua hal tersebut dapat menyebabkan bunyi palsu dengan level yang cukup tinggi.

5) Refleksi Permukaan Sekitar

Objek sekitar, dapat mempengaruhi radiasi suara dari sumber, sehingga sebisa mungkin tidak terganggu untuk keperluan pengukuran; contoh ketika mengukur tingkat kebisingan. Kemungkinan hal tersebut dapat terjadi jika dimensi objek sebanding atau lebih besar dibandingkan dengan panjang gelombang suara yang sedang diukur.

2.2.7. Variasi Waktu Suara

Variasi waktu suara biasanya dijelaskan secara statistik, baik dalam hal L_{eq} yaitu tingkat tekanan suara kontinu setara untuk periode tertentu, atau dalam hal L_x , suara tingkat tekanan yang melebihi $x\%$ dalam suatu waktu. Baik L_{eq} dan L_x umumnya dinyatakan dalam satuan dB(A). Dua tingkat yang paling umum digunakan adalah L10 dan L90. Kuantitas L10, tingkat yang dilampaui untuk 10% dalam suatu waktu, adalah ukuran kebisingan yang lebih tinggi (karena lebih mengganggu), sedangkan L90 adalah ukuran dari latar belakang atau tingkat residu (juga disebut sebagai tingkat ambient). Baik L10 dan L90 dapat Diperkirakan, menggunakan *sound level meter* diatur ke A-weighting dan respon "cepat". Kuantitas L10 berhubungan kira-kira dengan rata-rata defleksi pointer maksimum, dan L90 dengan rata-rata minimum (Bies, 2003).

2.3. Kriteria Kebisingan

Hal penting dari program pengendalian kebisingan perencanaan kriteria yang tepat untuk penentuan solusi yang dapat diterima untuk masalah kebisingan. Jadi dimana penghapusan total kebisingan tidak mungkin, kriteria yang sesuai memberikan panduan untuk menentukan seberapa tinggi tingkat kebisingan yang dapat diterima. Pada saat yang sama, kriteria menyediakan sarana untuk

memperkirakan berapa banyak reduksi diperlukan. Reduksi yang diperlukan sebagai gantinya memberikan sarana untuk menentukan kelayakan proposal alternatif untuk pengendalian, dan sarana untuk memperkirakan biaya untuk memenuhi kriteria yang relevan (Bies, 2003).

Pada industri, kriteria kebisingan akan memastikan hal-hal dibawah ini:

- Bahwa resiko gangguan pendengaran pada pekerja cukup kecil;
- Bahwa pengurangan efisiensi kerja dikarenakan tingkat kebisingan tinggi cukup kecil;
- Bahwa, jika dibutuhkan, dapat berkomunikasi selama bekerja;
- Bahwa kebisingan di sekitar industri cukup kecil dan dapat diterima oleh komunitas di lingkungan industri.

Kriteria kebisingan sangat penting untuk perancangan aula, ruang kelas, auditorium dan semua tipe fasilitas bangunan dimana orang berkumpul dan membutuhkan komunikasi, atau hanya sekedar beristirahat dan lepas dari suara-suara yang mengganggu. Maka sangat penting untuk pertama-tama menjelaskan tentang berbagai pengukuran kebisingan yang digunakan pada standar dan regulasi untuk menetapkan batas kebisingan yang diinginkan (Bies, 2003).

2.3.1. Tingkat Kebisingan Ekuivalen

Pernyataan tingkat kebisingan equivalent merupakan model yang dipergunakan untuk menyatakan tingkat kebisingan yang merupakan tingkat tekanan suara rerata dalam interval waktu tertentu. Model matematisnya disajikan dalam persamaan (Bies, 2003) :

$$L_{eq} = 10 \text{ Log } \sum_{i=1}^n f_i \cdot 10^{L_i/10} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

L_{eq} = Tingkat kebisingan equivalent (dBA).

F_i = Faksi waktu terjadinya tingkat kebisingan pada interval waktu pengukuran tertentu.

L_i = Nilai tengah tingkat kebisingan pada interval waktu pengukuran tertentu.

2.3.2. Tingkat Kebisingan Sesaat

Pernyataan tingkat kebisingan sesaat merupakan model yang dipergunakan untuk menyatakan tingkat kebisingan pada keadaan tertentu dalam interval waktu yang sangat singkat seperti kebisingan yang ditimbulkan aktifitas tinggal landas pesawat terbang. Model matematis yang dipergunakan disajikan menurut persamaan (Bies, 2003) :

$$L_t = 10 \text{ Log } \int_{t_1}^{t_2} 10^{l(t)/10} dt \text{ dBA} \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan :

L_t = Tingkat kebisingan sesaat (dBA).

$L(t)$ = Tingkat kebisingan rerata dalam interval waktu pengukuran tertentu (dBA).

dt = Interval waktu pengukuran t_1 ke t_2 (detik).

2.3.3. Tingkat Kebisingan Siang dan Malam

Pernyataan tingkat kebisingan siang-malam merupakan model tingkat kebisingan equivalent yang dipergunakan untuk menyatakan tingkat kebisingan terutama di daerah permukiman. Pengukurannya dilakukan selama 24 jam, yang dibagi dalam interval waktu malam (22.00 – 06.00) dan interval waktu siang (06.00 – 22.00).

Model matematisnya disajikan menurut persamaan (Bies, 2003) :

$$L_{sm} = 10 \text{ Log } \left(\frac{1}{24} \right) \left[\sum_{i=1}^{16} 10^{(leq)_i/10} + \sum_{j=1}^8 10^{(leq)_j+10/10} \right] \dots \dots (2.8)$$

Keterangan :

L_{sm} = tingkat kebisingan siang – malam (dBA)

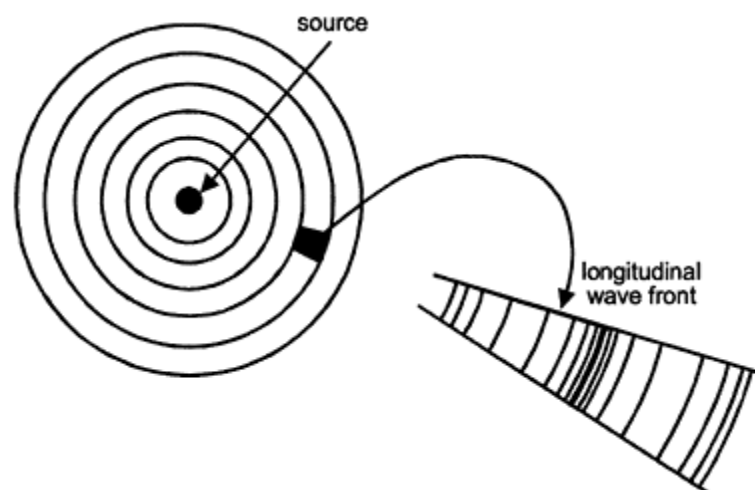
L_{eq} = tingkat kebisingan *equivalent*

2.4. Sumber Kebisingan

Sumber dari suatu suara biasanya cukup rumit dan sering kali diluar kapabilitas kemampuan analisis rata-rata jika dibutuhkan data yang spesifik, untungnya data yang spesifik tidak terlalu dibutuhkan untuk keperluan pengendalian kebisingan.

2.4.1. Sumber Sederhana

Sumber sederhana adalah sumber suara yang menyebar secara uniform ke segala arah dimana lebih kecil dari panjang gelombang suara yang tersebar. Sumber ini bisa pengeras suara kecil yang terbuat dari kotak keras dan terpasang di suatu tembok, tetapi selama panjang gelombang yang ditimbulkan lebih besar dibandingkan dengan dimensi kotak tersebut, maka termasuk sebagai sumber sederhana (Bies, 2003)



Gambar 2.4 Radiasi Suara dari Sumber Sederhana

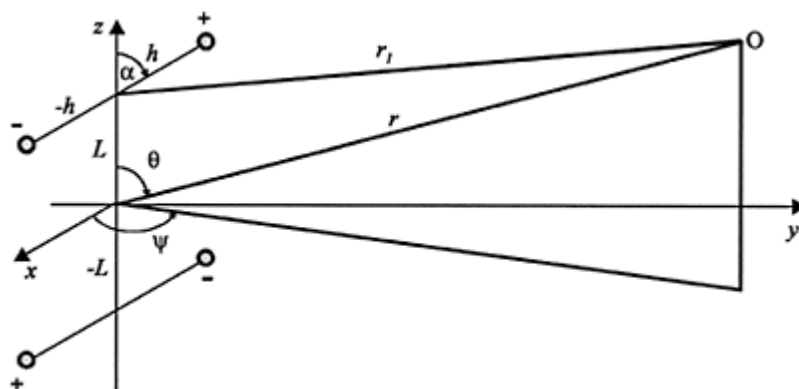
Sumber : Bies, 2003

2.4.2. Sumber Dipole

Jika dua sumber sederhana dengan kemampuan sama ditempatkan saling dekat satu sama lain dan diatur fasenya saling berlawanan dan dipisahkan oleh jarak yang kecil dibandingkan dengan panjang gelombang suara. Sementara satu sumber memperluas kontrak sumber lainnya. Hasilnya adalah fluida (udara) di dekat dua sumber mengalir bolak-balik untuk menghasilkan suara. Sebuah bola yang berosilasi bolak-balik bertindak seperti sumber dipole, seperti halnya pengeras suara tanpa kotak (sementara bagian depan mendorong keluar bagian belakang sedang menyedot). Sumber dipol tidak memancarkan suara ke segala arah secara merata.

2.4.3. Sumber Quadrupole

Jika dua monopole fase berlawanan membentuk dipol, maka dua dipol berlawanan membentuk sumber quadrupole. Dalam pengaturan Quadrupole Lateral dua dipol tidak terletak di sepanjang garis yang sama (empat monopole dengan fase bolak-balik di sudut-sudut persegi). Pola *directivity* untuk quadrupole lateral terlihat seperti pola daun semanggi; suara dipancarkan dengan baik di depan setiap sumber monopole, tetapi suara dibatalkan pada titik yang sama dari monopole yang berseberangan (Bies, 2003).

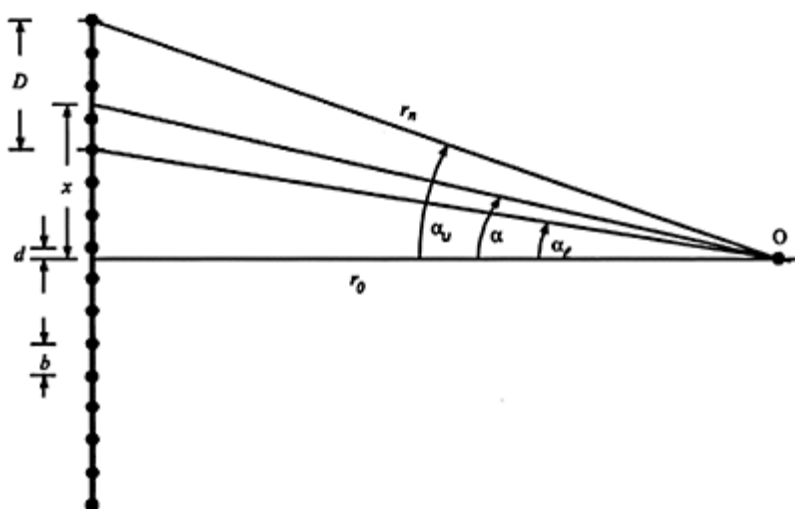


Gambar 2.5 Geometri Sumber Quadrupole

Sumber : Bies, 2003

2.4.4. Sumber Garis

Suatu sumber disebut sumber suara garis jika sumber suara tersebut memanjang dan terbatas satu arah dibandingkan dengan jarak penerima. Contoh lalu lintas jalan raya. Mengingat deretan sumber tidak koheren di ruang bebas yang jauh dari permukaan pantulan, setiap sebaran kekuatan suara dan jarak terpisah satu sama lain.



Gambar 2.6 Geometri Sumber Garis

Sumber : Bies, 2003

2.5. Tipe Kebisingan

Menurut Suma'mur (2005), dilihat dari hubungan tingkat bunyi sebagai waktu maka kebisingan dapat dibagi menjadi :

a) Kebisingan Kontinyu

Kebisingan yang fluktuasi intensitas kebisingan tidak lebih dari 6 dB dengan spektrum frekuensi yang luas. Contohnya seperti suara mesin gergaji.

b) Kebisingan terputus-putus

Kebisingan yang dimana bunyi mengeras dan melemah secara perlahan. Contohnya misalnya seperti jalan raya dan bunyi yang dihasilkan dari kereta api.

c) Kebisingan impulsif berulang

Kebisingan dimana waktu yang dibutuhkan untuk mencapai puncaknya tidak lebih dari 65 ms dan waktu yang dibutuhkan untuk penurunan intensitasnya sampai 20 dBA dibawah puncaknya tidak lebih dari 500 ms. Contohnya seperti suara mesin tempa di pabrik

d) *Steady-state noise*

Kebisingan dengan tingkat tekanan bunyi stabil terhadap perubahan waktu dan tak mengalami kebisingan yang stabil. Contohnya seperti kebisingan sekitar air terjun dan kebisingan pada interior pesawat terbang saat sedang diudara.

e) *Fluctuating noise*

Kebisingan yang kontinyu namun berubah-ubah tingkat tekanan bunyinya.

2.6. Propagasi Suara pada Ruang Terbuka

Masalah yang timbul dari perambatan suara di luar ruangan mungkin berkisar relatif sederhana hingga sangat kompleks, tergantung pada sifat sumber dan distribusi daerah sekitar yang terkena dampak. Jika sumber terdiri dari banyak komponen individu sumber, seperti yang sering terjadi pada industri, dan daerah sekitarnya yang terpengaruh secara luas, maka penggunaan komputer untuk melakukan analisis terkait prediksi level sangat penting pada sejumlah skema harus dirancang untuk tujuan tertentu (Tonin, 1985). Skema ini umumnya sangat bergantung pada informasi empiris ditentukan dari survei lapangan tetapi secara berangsur-angsur empirisme diganti dengan analisis yang lebih efektif berdasarkan penelitian yang luas. Saat ini skema yang paling sukses bergantung pada kombinasi teori dan empirisme (Bies, 2003).

1. Absorpsi Udara

Suatu sumber kehilangan energi sejati adalah hasil dari absorpsi udara yang disebabkan oleh konduksi suhu panas, pergeseran viskositas dan kehilangan relaksasi molekular yang berkaitan dengan pertukaran antara

molekular translational dan molekular rotational atau energi vibrasi. Yang berakhir terjadi di nitrogen dan oksigen pada udara yang keduanya berhubungan dengan suhu, kelembaban, dan relaksasi frekuensi yang bergantung pada tekanan (Bies, 2003).

2. Pelemahan karena Hutan dan Dedaunan Lebat

Untuk pelemahan pada hutan dan dedaunan, pelemahan yang disebabkan oleh tanah meningkat pada frekuensi rendah karena akar tumbuhan menyebabkan tanah menjadi berpori. Pada frekuensi tinggi, dengan daun sebanding dengan panjang gelombang akan ada potensi pelemahan dikarenakan sebaran antara dedaunan tersebut (Bies, 2003).

3. Pelemahan oleh Tanah

Propagasi suara pada tanah secara substansial adalah interaksi pada permukaan tanah. Kunci parameter untuk meng-evaluasi propagasi suara pada permukaan tanah adalah impedansi permukaan tanah itu sendiri. Pada model impedansi tanah sederhana; tanah dianggap bereaksi normal, impedansi tanah tidak tergantung dari sudut terjadinya tubrukan gelombang suara (Bies, 2003).

4. Efek Meteorologis

Dua prinsip variabel meteorologis adalah distribusi angin dan gradien suhu vertikal. Ketika suhu naik searah dengan ketinggian dan gradien suhu sehingga nilainya positif, kondisi ini disebut dengan inversi. Ketika suhu turun searah dengan ketinggian sehingga gradien suhu bernilai negatif, kondisi ini disebut selang. Hal ini sudah dipastikan bahwa kurvatur propagasi suara tergantung dari gradien vertikal dari kecepatan suara, yang dapat disebabkan oleh angin atau oleh gradien suhu, juga telah dibuktikan bahwa refraksi yang diakibatkan oleh gradien angin vertikal atau gradien suhu vertikal menghasilkan efek akustik ekuivalen. Gradien suhu positif (suhu inversi) di dekat tanah akan menghasilkan gelombang suara yang

biasanya bergerak ke atas terdifraksi ke bawah menuju tanah, menyebabkan peningkatan tingkat kebisingan di tanah. Atau, a gradien suhu negatif (selang suhu) akan menyebabkan penurunan tingkat kebisingan di tanah. Karena kecepatan angin umumnya meningkat dengan ketinggian, angin bertiup ke arah pendengar dari sumbernya akan memantulkan gelombang suara ke bawah, menyebabkan tingkat kebisingan yang meningkat. Sebaliknya, angin yang bertiup dari pendengar ke sumber akan membiaskan gelombang suara ke atas, menyebabkan penurunan tingkat kebisingan (Bies, 2003).

2.7. Propagasi Suara pada Ruangan Tertutup

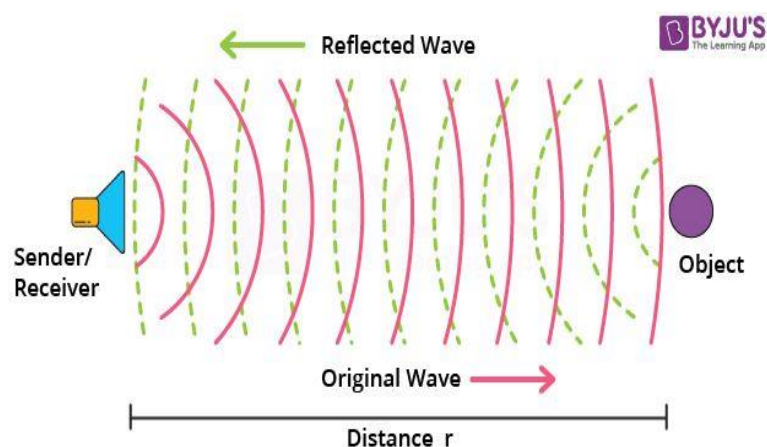
Suara pada ruangan tertutup sangat terpengaruh oleh properti yang bersifat reflektif pada permukaannya dan selama permukaan penutup bersifat reflektif, bentuk penutup juga mempengaruhi bidang suara. Ketika ruang tertutup dibatasi oleh umumnya permukaan reflektif, banyak refleksi akan terjadi, dan bidang gema akan terbentuk pada bidang langsung dari sumbernya. Dengan demikian, pada suatu titik dalam suatu penutup, tingkat tekanan suara keseluruhan adalah fungsi dari energi yang terdapat dalam bidang langsung dan gema (Bies, 2003).

Area yang dibatasi oleh bahan yang memungkinkan gelombang suara dapat dilewati cenderung nyaman secara akustik, karena efek suara tidak langsung dari refleksi akan berkurang di dalam ruang. Dalam ruangan ini, suara dari sumber eksternal dapat melewati material ke dalam ruangan sebagai kebisingan latar belakang. Getaran dari beberapa material dapat menjadi sumber kebisingan di dalam ruang. Dan gelombang suara dapat berperilaku sebagai berikut (Kinsler, 2000):

- Refleksi
- Absorpsi
- Refraksi
- Difusi
- Difraksi
- Transmisi

1) Refleksi

Ini terjadi ketika panjang gelombang suara lebih kecil dari permukaan penghalang. Dalam hal ruang tertutup, gelombang suara menghantam setiap sisi penutup secara terus menerus hingga energi suara berkurang menjadi nol. Jumlah gelombang yang dipantulkan tergantung pada kehalusan, ukuran, dan kelembutan bahan penutup. Sudut insidensi sinar bunyi sama dengan sudut pantulan hanya jika permukaan reflektor rata. Tetapi ketika melengkung, sudutnya berbeda (Kinsler, 2000).

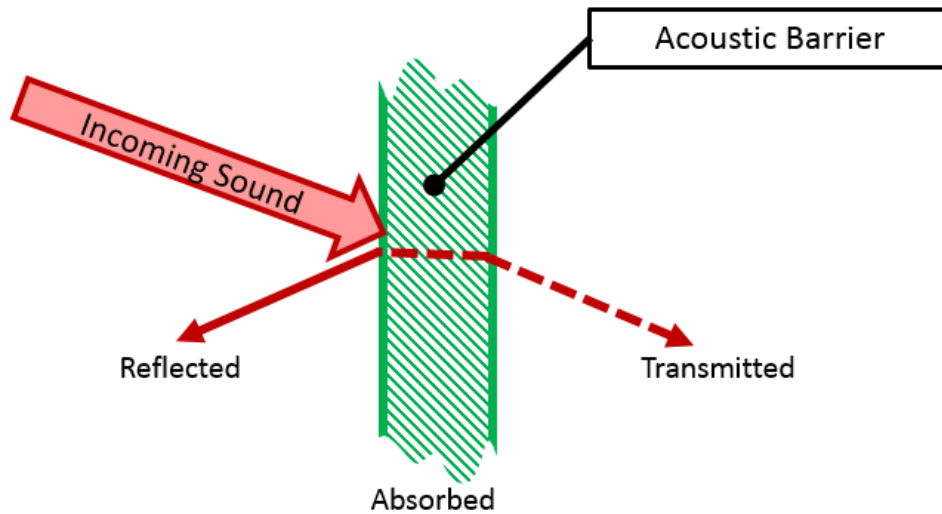


Gambar 2.7 Gelombang suara mengalami refleksi

Sumber : <https://byjus.com/physics/sound-reflection/>

2) Absorpsi

Ketika gelombang suara menghantam permukaan penghalang, sebagian energinya dipantulkan sementara dan sebagian hilang melalui transfer ke molekul penghalang. Energi suara yang hilang dikatakan telah diserap oleh penghalang. Ketebalan dan sifat material sehubungan dengan kelembutan dan kekerasan, mempengaruhi jumlah energi suara yang diserap (Kinsler, 2000).

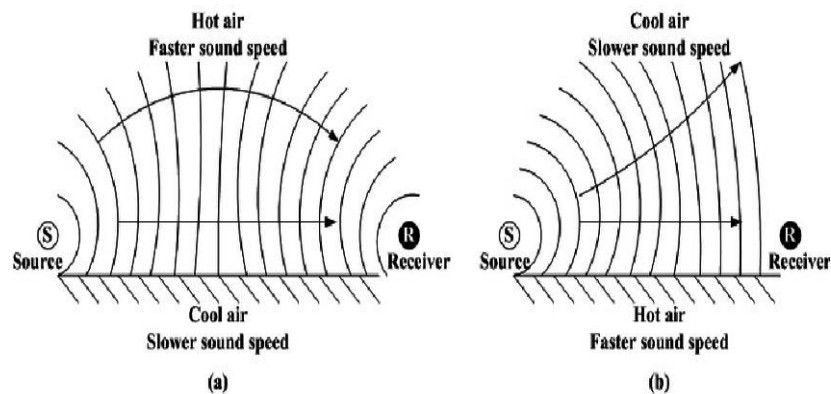


Gambar 2.8 Gelombang suara mengalami absorpsi

Sumber : <https://community.sw.siemens.com/s/article/sound-absorption>

3) Refraksi

Ini adalah membelokkan suara ketika bergerak dari satu medium ke medium lain. Perbedaan komposisi dari dua media yang berbeda membelokkan suara yaitu sudut insidensi berubah menjadi sudut refraksi saat bergerak ke media baru (Kinsler, 2000).

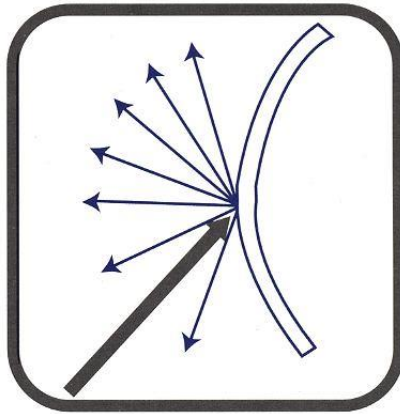


Gambar 2.9 Gelombang suara mengalami refraksi

Sumber : https://www.researchgate.net/figure/Sound-refraction-from-temperature-gradients-Sound-refraction_fig3_233866277

4) Difusi

Ini adalah hamburan gelombang dari suatu permukaan. Ini terjadi karena tekstur dan kekerasan dari penghalang sebanding dengan panjang gelombang suara. Arah gelombang datang dan berubah saat menghantam permukaan penghalang. Keseimbangan tercapai ketika suara terdengar ke segala arah pada level yang sama (Kinsler, 2000) .

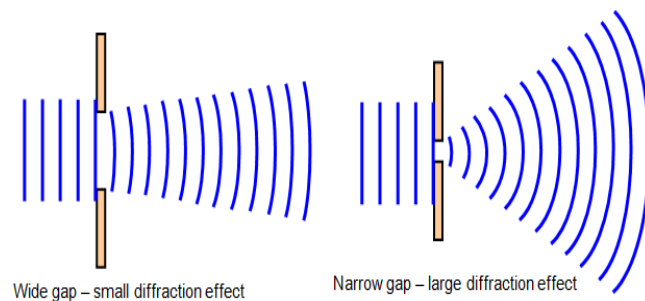


Gambar 2.10 Gelombang suara mengalami difusi

Sumber : <https://www.theinsulationguy.com/how-acoustic-diffusion-works>

5) Difraksi

Ketika panjang gelombang dari gelombang suara lebih kecil atau sama dengan ukuran hambatan, gelombang suara cenderung menekuk di sekitar tepi penghalang sehingga mengubah tepi menjadi sumber suara (Kinsler, 2000).

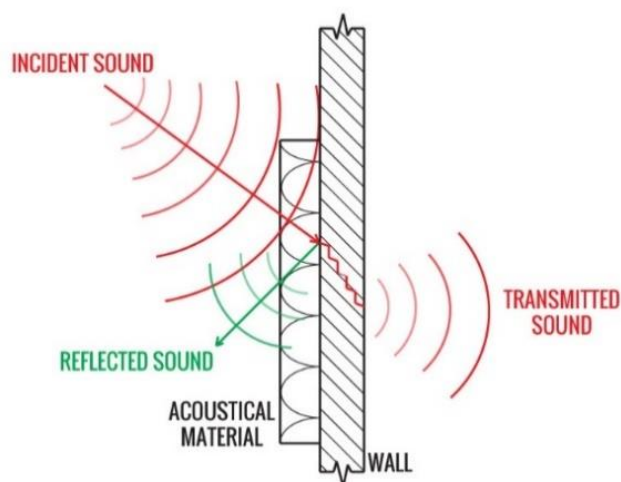


Gambar 2.11 Gelombang suara mengalami difraksi

Sumber : <https://sites.google.com/site/wavebehaviourraft/diffraction>

6) Trasmisi

Pada fenomena ini, gelombang suara dibawa oleh molekul-molekul penghalang melalui getaran dan dipancarkan kembali ke sisi lain dan terlepas dari mediumnya. Itu bisa terbawa oleh struktur, terbawa udara atau pengaruh gsuara. sumber kebisingan di satu ruangan mengirimkan gelombang tekanan udara yang mendorong getaran ke satu sisi dinding atau elemen struktur yang membuatnya bergerak sedemikian rupa sehingga sisi lain dinding bergetar di ruangan yang saling berdekatan (Kinsler, 2000).



Gambar 2.12 Gelombang mengalami transmisi

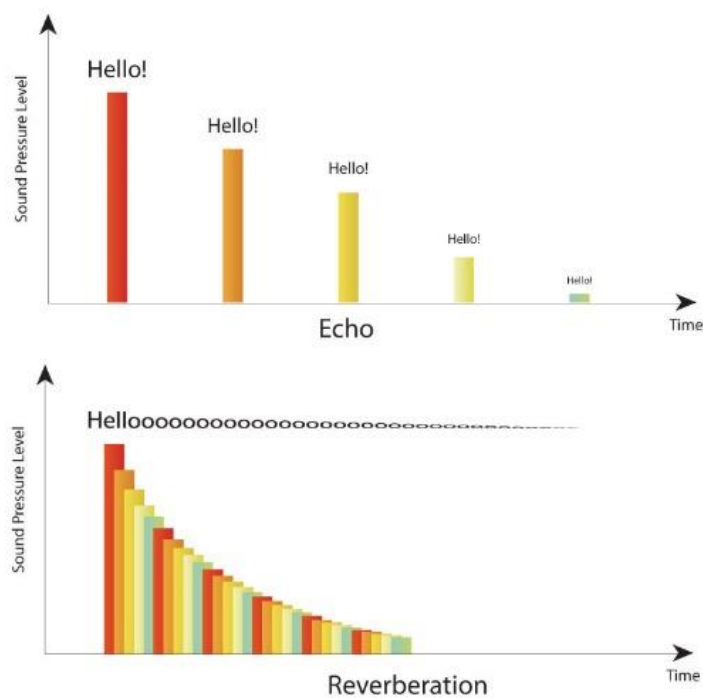
Sumber : <http://www.technature.ca/acoustics-101/sound-absorption/>

7) Gaung dan Gema

Reverbansi (gaung) adalah suara di ruang tertutup sebagai hasil dari refleksi terus menerus atau hamburan suara sampai sumber berhenti. Ini adalah salah satu perilaku suara yang paling menonjol di dalam ruangan tertutup. Terjadi ketika gelombang suara menyentuh permukaan dan dipantulkan ke permukaan lain yang juga memantulkannya. Beberapa suara diserap dengan refleksi terus menerus ini secara bertahap mengurangi energi suara menjadi nol. Fenomena ini dapat memengaruhi kemampuan mendengar suara di dalam ruangan tertutup, terutama jika waktu dengung, yang merupakan waktu yang

dibutuhkan tingkat tekanan suara untuk berkurang hingga 60 dB di bawah nilai awalnya.

Gema terjadi ketika waktu gema cukup lama untuk menyebabkan pengulangan yang berbeda dari suara langsung. Kondisi ini adalah bentuk gema lanjutan di mana suara terdengar dengan jelas dan berulang-ulang setelah beberapa waktu sampai menghilang (Bies, 2003).



Gambar 2.13 Perbedaan Gaung dan Gema

Sumber : <https://www.cirrusresearch.co.uk/blog/2018/03/whats-the-difference-between-echo-and-reverberation/>

2.8. *Transmission Loss dan Noise Reduction*

Transmission loss adalah nilai berkurangnya desibel bunyi yang datang pada suatu panil akibat melewati suatu struktur, atau dapat diartikan sebagai kemampuan suatu bahan dalam mereduksi suara yang dinyatakan dalam satuan *decibel* (dB). TL sama dengan jumlah berkurangnya energi bunyi yang datang pada panil bila melewati struktur. Nilai numerik TL hanya bergantung dari panil dan berubah setiap frekuensi bunyi. TL bergantung juga pada sifat akustik kedua ruang yang

dipisahkan oleh panil. TL merupakan perbandingan dari daya akustik yang menumbuk dinding dengan daya akustik yang disalurkan pada sisi-sisi lain dinding. Sehingga dari definisi diatas dapat dijelaskan melalui persamaan sebagai berikut (Bell, 1993):

$$TL = 10 \text{ Log } \frac{W_1}{W_2} \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan :

W1 = daya akustik yang menumbuk panil.

W2 = daya akustik yang meradiasikan ke permukaan lain.

Noise Reduction adalah perbedaan tingkat tekanan suara pada ruang sumber bunyi dengan tingkat tekanan suara pada ruang penerima yang melibatkan jejak-jejak transmisi antara ruang sumber dan ruang penerima. Nilai NR dapat lebih tinggi atau lebih rendah dibandingkan dengan nilai TL tergantung pada hubungan antara luas panil. Nilai NR dapat dijelaskan melalui persamaan sebagai berikut (Bell, 1993) :

$$NR = Lp1 - Lp2 \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan :

NR = *Noise reduction* (dB)

Lp1 = Tingkat kebisingan sumber (dB)

Lp2 = Tingkat kebisingan penerima (dB)

2.8.1. Hubungan *Transmission Loss* dengan *Noise Reduction*

Hubungan antara *transmission loss* dengan *noise reduction* dapat dijelaskan melalui persamaan berikut (Bell, 1993):

$$NR = TL + 10 \log\left(\frac{1}{4} + \frac{S_w}{R}\right) \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

NR = *Noise reduction* (dB)

TL = *Transmission loss* (dB)

Sw = Luas area permukaan antara dua ruangan (m²)

R = Konstanta ruang penerima

Transmission loss ditentukan oleh sifat fisis sebuah panil, tanpa melibatkan sifat akustik ruang-ruang yang terpisah oleh partisi tersebut. Sedangkan *Noise reduction* menyatakan insulasi bunyi antara ruang sumber dan ruang penerima yang ikut memperhitungkan efek berbagai jejak transmisi antara ruang sumber dan ruang penerima, juga sifat akustik ruangan tersebut.

Jika sebuah sumber kebisingan dihalangi oleh sebuah panil dimana bunyi merambat melalui panil tersebut dan kemudian ke udara luar yang mengakibatkan nilai R menjadi sangat besar dibandingkan dengan nilai Sw maka berlaku persamaan berikut (Bell, 1993) :

$$NR = TL + 6 \dots \dots \dots (2.12)$$

Keterangan :

NR = *Noise Reduction* (dB)

TL = *Transmission Loss* (dB)

Dan jika di antara sumber kebisingan dengan penerima tidak ada panil yang menghalangi maka nilai TL memiliki nilai nol.

Nilai TL dan NR adalah sebuah syarat untuk menentukan material bahan untuk alat kebisingan seperti *enclosure*, *barrier* dan bahan lainnya yang ditentukan melalui perbandingan antara frekuensi yang dihasilkan sumber kebisingan dengan kerapatan massa jenis material akustik. Terdapat persamaan menghitung nilai TL yang berkaitan dengan besarnya frekuensi sebagai berikut (Bell, 1993) :

$$TL = (20 \log W) + (20 \log f) - C \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan :

TL = *Transmission loss* (dB)

W = Kerapatan massa jenis (Kg/m²/cm))

F = Frekuensi (Hz)

C = Nilai koefisien transmisi yang telah ditentukan yaitu 47

2.9. Material Akustik

Material akustik merupakan suatu bahan yang mempunyai kemampuan menyerap energi suara yang datang dari suatu sumber. Besar suatu energi yang terserap berbeda-beda setiap jenis bahannya. Ketebalan material dan daya absorpsi material sangat berpengaruh dimana penyerapan energi akan relatif rendah pada frekuensi yang rendah.

Terdapat beberapa jenis material akustik yang dapat di aplikasikan untuk mengurangi kebisingan yaitu material berpori, membran penyerap, rongga penyerap, manusia dan furnitur. Setiap material memiliki kemampuan yang berbeda-beda, kemampuan tersebut antara lain kemampuan memperbesar kehilangan transmisi suara yang merambat pada material tersebut, kemampuan ini memperbesar nilai TL setiap frekuensi tingkat suara yang merambat melalui material tersebut. Berikut beberapa spesifikasi material akustik (Barron, 2001) :

Tabel 2.2 Kerapatan Material Akustik

No	Material	Ketebalan Minimum (mm)	Densitas Permukaan (Kg/m ²)	Densitas Permukaan (Kg/m ² /Cm)
1	<i>Polycarbonate</i>	8 – 12	10 - 14	11,6 - 17,6
2	<i>Acrylic</i>	15	18	12
3	<i>Concrete Block</i>	200	151	7,55
4	<i>Dense Concrete</i>	100	244	24,4
5	<i>Light Concrete</i>	150	244	19,2
6	<i>Brick</i>	150	288	19,2
7	<i>Steel, 18 ga</i>	1,27	9,8	81,67
8	<i>Steel, 20 ga</i>	0,95	7,3	76,64

No	Material	Ketebalan Minimum (mm)	Densitas Permukaan (Kg/m ²)	Densitas Permukaan (Kg/m ² /Cm)
9	Steel, 22 ga	0,79	6,1	77,21
10	Aluminium Sheet	3,18	8,8	29,33
11	Wood	25	18	7,2
12	Plywood	25	16,1	6,44

Sumber : Bell, 1993

Tabel 2.3 Kemampuan Transmission Loss Material Akustik

Material	Transmission Loss/Frekuensi						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Brick, 4 in	30	36	37	37	37	43	-
Cinder Block, 7,5 in	33	33	33	39	45	51	-
Concrete Block, 6 in	33	34	35	38	46	51	55
Concrete, 4 in thick	29	35	39	43	44	50	55
Lead, 1/32 in thick	22	24	29	33	40	43	49
Plywood, 3/4 in thick	24	22	27	28	25	27	35
Lead Vinyl 1 lb/ft ²	15	17	21	28	26	32	37
Steel 18 Gauge	15	19	31	32	35	48	53
Plexiglass, 1 in thick	25	28	32	32	24	46	46
Glass, 1/4 in thick	17	23	25	27	28	29	30

Sumber : Bies, 2003

Tabel 2.4 Koefisien Serapan Material Akustik

Material	Koefisien Serapan Bahan/Frekuensi (hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Brick, Unglazed	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07
Brick, Unglazed, Painted	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Concrete Block, Unpainted	0,36	0,44	0,31	0,29	0,39	0,25
Concrete Block, Painted	0,1	0,05	0,06	0,07	0,09	0,08
Door, Solid Wood Panel	0,1	0,07	0,05	0,04	0,04	0,04
Marble or Terrazzo	0,01	0,01	0,015	0,02	0,02	0,02
Plywood 3/4-In	0,2	0,18	0,15	0,12	0,1	0,1
Plate Glass	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02

Sumber : Barron, 2003

2.10. Kebisingan Pembangkit Listrik

Komponen – komponen pada stasiun pembangkit listrik adalah penyebab utama kebisingan pada area tersebut. Ada beberapa sumber kebisingan pada pembangkit listrik seperti turbin, transformer dan lain – lain. Untuk memahami cara suara yang dihasilkan oleh komponen – komponen tersebut saling berpropagasi antara satu sama lain. Turbin, generator, dan transformer daya adalah komponen dengan biaya yang intensif dan komponen elektro-mekanis paling penting. Faktor perputaran menghasilkan frekuensi getaran yang spesifik. Kualitas dan performa dari sebuah mesin atau peralatan ditentukan dari amplitudo getaran. Karena ketika amplitudo getaran meningkat maka faktor perputaran akan menimbulkan beberapa masalah. Kelebihan pada vibrasi akan mengakibatkan adanya masalah kebisingan (Kanta, 2016).

Kebisingan yang berasal dari turbin air hampir serupa dengan turbin angin dan propeller ombak, cukup diketahui bahwa turbin angin dan propeller ombak menghasilkan dua tipe ciri khas akustik yang dinamakan *harmonic noise* dan *broadband noise*. Pentingnya dua ciri khas akustik ini pada turbin hidrokinetik belum ditentukan dan tidak akan mungkin sampai pengukuran dasar dilakukan. Sumber utama dari getaran adalah sebagai berikut (Kanta, 2016) :

- Getaran elektris
- Getaran mekanis, dan
- Getaran hidrolis

Getaran tidak hanya dihasilkan oleh peralatan yang berputar tetapi dihasilkan juga oleh peralatan yang tidak berputar. Penyebab vibrasi pada peralatan dijelaskan pada penjelasan dibawah ini (Kanta, 2016):

a) *Turbine runner* (kipas turbin)

Vibrasi pada *turbine runner* dapat disebabkan oleh beberapa alasan. Yaitu ketidakseimbangan mekanis, ketidakseimbangan hidrolis, ketidakselarasan, kavitasi, ketidakstabilan *bearing* pada turbin (karena gesekan dan gaya hidrolis), zona operasi yang buruk, kesalahan pelumasan pada

peralatan mekanis, *bearing* yang sudah aus, kerusakan pada *wicket gate linkage*, keretakan dan sumbing pada *blade* dan *shaft*.

b) *Motor*

Vibrasi pada *motor* diklasifikasikan sebagai mekanis, aerodinamis, dan elektromagnetis. Permasalahan secara mekanis antara lain :

- Ketidakseimbangan mekanis
- Ketidakselarasan mekanis
- Kerusakan pada kumparan karena guncangan
- Kerusakan pada *bearing*
- *Motor* yang longgar

c) Pelumasan yang kurang baik

Pelumasan yang kurang baik pada peralatan mekanis dengan parameter pelumasan yang tidak cocok menyebabkan vibrasi pada lapisan oli.

Sementara penyebab utama getaran pada turbin dan generator adalah :

1. Erosi abrasif
2. Resirkulasi
3. Kerenggangan mekanis

d) Vibrasi Lain

Vibrasi atau getaran umumnya dihasilkan pada transformer, mesin elektrik, dan turbin generator, mengukur sinyal getaran tersebut menggunakan peralatan khusus dapat membantu mendiagnosis kesalahan teknis yang terjadi pada peralatan tersebut.

2.11. Nilai Ambang Batas

Nilai Ambang Batas kebisingan adalah besarnya tingkat suara dimana sebagian besar tenaga kerja masih berada dalam batas aman untuk bekerja 8 jam/hari. Sesuai dengan Peraturan Menteri Tenaga Kerja No. Per. 13/MEN/X/2011,

tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja adalah 85 dB(A). Adapun data intensitas dan jam kerja yang diperkenankan tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 2.5 Nilai Ambang Batas Kebisingan

No	Waktu Pemajanan per Hari	Satuan	Intensitas Kebisingan dalam dBA
1	8	Jam	85
2	4	Jam	88
3	2	Jam	91
4	1	Jam	94
5	30	menit	97
6	15	menit	100
7	7,5	menit	103
8	3,75	menit	106
9	1,88	menit	109
10	0,94	menit	112
11	28,12	detik	115
12	14,06	detik	118
13	7,03	detik	121
14	3,52	detik	124
15	1,76	detik	127
16	0,88	detik	130
17	0,44	detik	133
18	0,22	detik	136
19	0,11	detik	139

Sumber : Permenaker No. Per.13/MEN/X/2011

2.12. Pengendalian Kebisingan

Pengendalian kebisingan merupakan sebuah strategi, manajemen yang mempunyai tujuan untuk mengendalikan dengan mereduksi tingkat suara pada nilai tertentu sesuai acuan yang ditinjau maupun pada nilai yang diinginkan. Kurangnya pengendalian yang baik pada perkantoran, apartemen, ruang kelas maupun industri sekalipun, dapat menghambat fungsi efektif seseorang pada ruangan tersebut. Meskipun, suara tersebut tidak berbahaya dan mengganggu, jika seseorang tersebut tidak dapat berkomunikasi dengan baik, maka suara tersebut tidak diinginkan.

Ada 3 prinsip pada sistem pengendalian kebisingan yaitu (Barron, 2001) :

1. Sumber suara
2. Medium rambatan suara
3. Penerima suara

Di banyak kasus, seperti contoh dimana industri beserta fasilitasnya sudah memiliki konstruksi, dan tidak akan memungkinkan untuk memodifikasi karakteristik sumber kebisingannya, pada kasus ini, solusi yang mungkin dilakukan adalah dengan memodifikasi jalur atau medium rambatan antara sumber kebisingan dan penerima kebisingan. Pada situasi tertentu hal pertama yang harus dilakukan untuk mengendalikan kebisingan adalah menentukan jalur transmisi dan mengurutkannya dari yang relatif penting (Bies, 2003).

2.12.1. Pengendalian Pada Sumber

Pertimbangan pemeliharaan pada unit menjadi suatu alasan untuk menyarankan agar dilakukannya pengendalian kebisingan pada pembangkit listrik tenaga air. Dibutuhkan material, alat dan metode yang tepat agar sebisa mungkin bebas perawatan di kemudian hari dan tetap mencapai penurunan kebisingan yang dibutuhkan untuk memperkecil kemungkinan adanya potensi kehilangan kemampuan pendengaran (*hearing loss*) diantara para pekerja. Material atau bahan juga menjadi salah satu pertimbangan untuk memenuhi regulasi keselamatan yang membahas antara lain bahaya pada api, asap dan toksisitas. Ada beberapa teknik pendekatan untuk mengendalikan kebisingan pada sumber, yaitu (Peterson, 1980) :

- Ubah proses mesin yang lebih tenang,
- Kurangi energi mesin yang menghasilkan kebisingan,
- Gunakan komponen yang presisi,
- Ganti bagian yang aus atau rusak,
- Lumasi komponen saling bergesekan,

- Kurangi kecepatan atau aliran (udara, gas, cairan), usahakan aliran laminar dan tidak turbulen,
- Hindari kebocoran
- Gunakan semacam penghalang untuk menyerap energi suara
- Gunakan material yang elastis untuk menghindari tumbukan

2.12.2. Pengendalian Pada Medium

Modifikasi pada medium dimana bising terpropagasi biasanya digunakan ketika modifikasi pada sumber bising tidak memungkinkan, tidak praktis, atau tidak ekonomis secara finansial. Untuk bising yang terjadi di ruangan terbuka, pendekatan yang sederhana untuk mengendalikan kebisingan dapat dilakukan dengan memindahkan sumber bunyi sejauh mungkin dari penerima. Untuk sumber bising yang berlokasi di dalam ruang tertutup, jalur transmisi dapat di modifikasi dengan pemasangan suatu tembok atau *barrier* diantara sumber bising dengan penerima (Baron F Randall, 2001). Berikut teknik-teknik pengendalian pada medium rambatan kebisingan (Jeffrey, 2015) :

1) *Acoustic Damping*

Damping atau peredaman adalah istilah yang digunakan untuk menjelaskan pengaplikasian materi viskoelastis pada suatu bangunan yang berfungsi untuk mengurangi getaran pada bangunan tersebut. Bahan viskoelastis adalah salah satu tipe dari fluida non-Newtonian yang memiliki sifat viskos. (kental) dan elastis Karena suara (energi akustik) dapat dihasilkan oleh struktur yang bergetar dan bersifat radiator yang efisien, pengurangan nilai kecepatan permukaan dengan *damping* akan mengurangi nilai kebisingan. Bahan *damping* ada dalam beberapa bentuk dan ukuran. *Damping* menggunakan bahan yang disemprot dalam beberapa lapisan. Lapisan tersebut dibentuk sesuai dengan ketebalan yang diinginkan (secara efektif biasanya setengah dari ketebalan struktur yang akan di redamkan) (Jeffrey, 2015).



Gambar 2.14 Damping pada Rongga Dinding

Sumber : <https://www.constructionspecifier.com/making-sense-of-sprayed-polyurethane-foam/>

2) *Tuned Resonance Sound Absorption*

Tuned absorber adalah alat yang di desain untuk menyerap energi pada frekuensi tertentu. Peredam adalah contoh yang paling dikenal menyerap energi untuk mengurangi kebisingan. Material penyerap pada dasarnya adalah sebuah rongga yang di desain untuk menyerap energy akustik. *Tuned absorber* pada hal ini adalah panel berlubang yang saling berlawanan dengan dinding bangunan. Dengan menyesuaikan ukuran lubang dan jarak antar lubang, energi akustik pada frekuensi tertentu akan “terjebak” diantara panel dan dinding akan terhamburkan. Tingkat penyerapan dapat meningkat signifikan dengan menambahkan bahan yang absorptif, seperti kaca fiber terenkapsulasi pada ruang antara permukaan dinding dan panel berlubang (Jeffrey, 2015).



Gambar 2.15 Material pada Permukaan Dinding

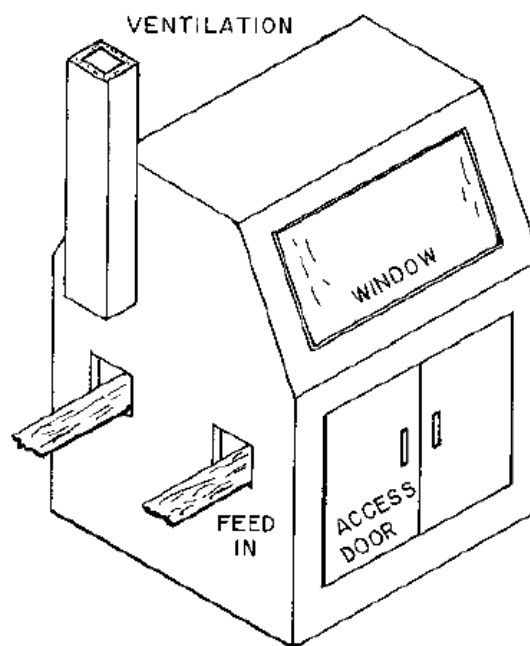
Sumber : <https://www.accurateperforating.com/resources/technical-information/acoustic-uses>

Konsep dasar dibalik penggunaan absorpsi di daerah dengan permukaan yang keras seperti lantai pada gedung pembangkit listrik dan lubang turbin, adalah untuk mengurangi waktu dengung. Waktu dengung yang tinggi menunjukkan energi akustik bergema pada permukaan yang keras dan tidak terhamburkan. Energi yang terpantul ini terus bertambah pada energi akustik secara terus menerus yang berasal dari sumber sebagai hasil, tingkat kebisingan tetap tinggi. Dengan menyerap energi tersebut dan mengurangi waktu dengung, jumlah keseluruhan tingkat kebisingan akan tereduksi. Efek ini juga dapat dicapai dengan menambahkan material penyerap akustik tradisional pada permukaan, akan tetapi bahan ini membutuhkan pemeliharaan yang lebih dibandingkan dengan panel berlubang (Jeffrey, 2015).

3) *Enclosure* Akustik

Sebuah *enclosure* untuk sumber kebisingan biasanya solusi yang paling praktis untuk mengendalikan kebisingan pada mesin eksisting. Biasanya pengurangan tingkat bunyi hingga 20-30 dB jika mesin di-*enclosure* secara total. Tingkat kebisingan setinggi 50 dB dapat dicapai dengan perlakuan isolasi khusus pada *enclosure* (Barron, 2001).

Biasanya kelemahan yang umum pada pemasangan *enclosure*, jika aksesibilitas pada mesin tidak dibutuhkan, adalah biaya awal pembuatan *enclosure*. Jika aksesibilitas pada mesin dibutuhkan, maka *enclosure* sebagian yang digunakan (Baron, 2001). Berikut contoh *enclosure* pada mesin *automatic press* :



Gambar 2.16 Enclosure pada Mesin Automatic Press

Sumber : Barron, 2001

4) Pengendalian Getaran

Banyak sumber kebisingan terjadi pada suatu kegiatan diakibatkan karena ada hubungan dengan getaran atau vibrasi pada suatu permukaan, dan dengan pengecualian pada aerodinamis sumber kebisingan, pengendalian getaran penting untuk program pengendalian kebisingan. Getaran adalah gerakan osilasi dari suatu bentuk atau permukaan pada posisi rata-rata dan terjadi pada tingkat tertentu di semua mesin industri. Ini mungkin ditandai dalam hal akselerasi, kecepatan, perpindahan, tegangan permukaan atau amplitudo regangan

permukaan, dan frekuensi terkait. Isolasi getaran dianggap atas dasar getaran yang ditanggung oleh struktur dari suatu sumber untuk beberapa struktur, yang kemudian menghasilkan kebisingan, mungkin memang sama pentingnya atau mungkin lebih lebih penting daripada radiasi langsung dari sumber getaran itu sendiri. Hampir semua senar alat musik adalah contohnya (Barron, 2001) .



Gambar 2.17 Isolasi Getaran pada Mesin

Sumber : <https://kineticsnoise.com/hvac>

5) Acoustic Barrier dan Cladding

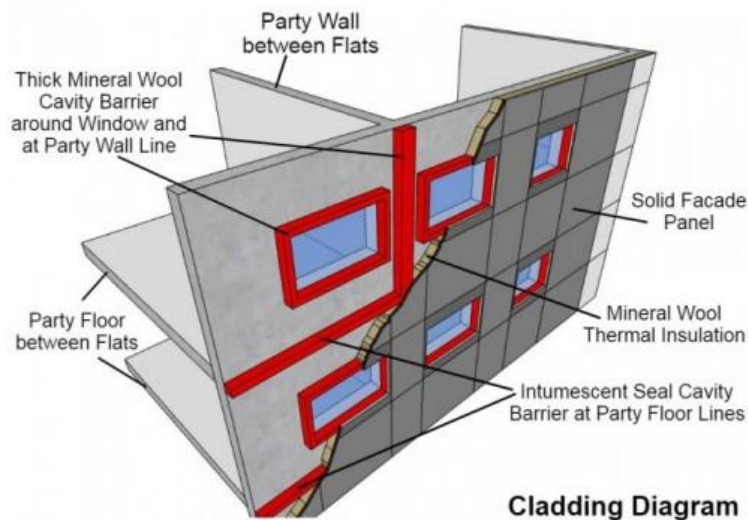
Penggunaan *barrier* tidak akan efektif untuk mereduksi kebisingan dalam ruangan ketika suara yang terpancar secara langsung dari sumber menuju penerima akan kurang signifikan dari bunyi yang terpancar secara tidak langsung kepada penerima melalui refleksi pada permukaan ruangan. Untuk kasus ini, kebisingan dapat dikurangi melalui pemasangan material absorpsi akustik pada tembok ruangan. Yang paling efektif, meskipun terkadang mahal, prosedur pengendalian kebisingan dengan mengurung sumber bunyi dengan *enclosure* akustik (Barron, 2001).

Konsep dari penghalang akustik sangat sederhana. Dengan menempatkan dinding padat diantara sumber bunyi dan penerima , energi akustik akan terpantul kembali ke sumber bunyi dan tidak akan menggapai penerima, dengan demikian keseluruhan suara akan tereduksi. Ada banyak contoh dari penghalang, tetapi biasanya termasuk *acoustical enclosure*, panel, tirai, dan *cladding*. Tirai akustik dapat dalam bentuk panel gantung yang saling tumpang tindih dalam bentuk penghalang fleksibel. Tipe pengendalian ini sangat ideal untuk ruangan yang membutuhkan akses berlebih, namun reduksi yang signifikan pada transmisi energi akustik juga dibutuhkan, seperti akses pada lubang turbin. *Acoustic cladding* mengacu pada perlakuan yang terdiri dari lapisan material impedansi rendah, seperti kaca fiber, yang dilapisi oleh lapisan pelindung dengan impedansi tinggi, seperti *lead – vinyl*. Material tersebut biasanya dipasang secara langsung pada struktur, seperti pipa, untuk mereduksi suara yang ter-radiasi (Jeffrey, 2015).



Gambar 2.18 Barrier pada Sisi Jalan Raya

Sumber : <http://www.archiexpo.com/prod/carmo/product-71918-824940.html>



Gambar 2.19 Diagram Cladding

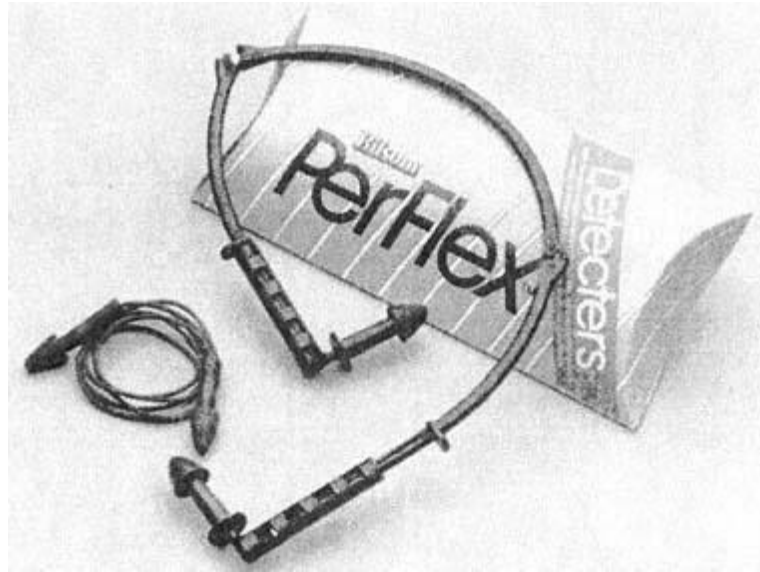
Sumber : <https://news.aberdeencity.gov.uk/information-from-aberdeeen-city-council-on-cladding-materials/>

2.12.3. Pengendalian Pada Penerima

Telinga manusia adalah “penerima” yang umum pada kebisingan, dan hanya ada beberapa modifikasi yang dapat dilakukan pada telinga seseorang. Salah satu pendekatan untuk membatasi pajanan kebisingan industri pada para pekerja adalah dengan membatasi waktu ketika pekerja terpajan oleh tingkat kebisingan yang tinggi. Seseorang dapat terpajan kebisingan pada 95 dBA selama 4 jam setiap waktu kerja, resiko yang ditimbulkan hanya 10% mengalami kehilangan pendengaran secara permanen (Barron, 2001).

Pelindung telinga efektif dalam mencegah kehilangan pendengaran yang diakibatkan oleh kebisingan industri. Pada beberapa kasus, penggunaan pelindung telinga secara praktis hanya membatasi pekerja terpajan oleh kebisingan (Barron, 2001).

Ada dua jenis dasar pelindung telinga yaitu *earplugs* dan *earmuffs*. *Earplugs* adalah yang dimasukkan hingga ke saluran telinga. *Earmuffs* melindungi telinga bagian luar sebagai pelindung akustik (Bell, 1993).



Gambar 2.20 Contoh Earplug

Sumber : Bell, 1993



Gambar 2.21 Contoh Earmuff

Sumber : Bell, 1993