

BAB II

TINJAUAN TEORITIS KENYAMANAN AUDIO DALAM RUANG TERTUTUP

II.1 Akustik Pada Ruang Tertutup

II.1.1 Pengertian Akustik

Akustik secara arsitektural dapat diartikan sebagai suatu teknologi dalam mendesain ruang, struktur dan sistem mekanik untuk mencapai kualitas suara dalam ruang. Dengan suatu desain akustik yang baik, maka suara yang “diinginkan” atau “tidak diinginkan” dapat diatur sedemikian rupa sehingga tidak akan sampai pada taraf mengganggu aktifitas yang ada dalam ruang.

Dalam pembahasan tentang akustik, terdapat beberapa istilah yang harus dikenali terlebih dahulu, antara lain :

a. Suara

Suara adalah gelombang fisis atau vibrasi mekanik atau sederhananya suatu seri dari variasi tekanan dalam medium yang elastis. Media penghantar utama adalah udara. Dalam struktur bangunan penghantar dapat berupa beton, baja, kaca, kayu atau kombinasi diantaranya. Ambang batas suara yang dapat di dengar manusia adalah 20 Hz – 20.000 Hz.

b. Frekwensi

Frekwensi dapat didefinisikan sebagai jumlah kondisi bolak-balik dari rapatan dan renggangan di udara yang terjadi di dalam satu satuan waktu.

Satuannya adalah Hz (Herz atau jumlah getaran/satuan waktu). Misalnya suara berbicara manusia secara mendasar memiliki daerah getaran antara 100 – 600 Hz.

c. Kecepatan Penyebaran Bunyi

Suara menyebar dalam kecepatan yang berbeda-beda tergantung media penghantarnya. Di udara tepat diatas permukaan laut, kecepatannya mencapai 344 m/det atau 1131 fps. Berikut ini tabel kecepatan penyebaran suara pada media-media yang berbeda.

Tabel 2.1
Kecepatan Penyebaran Suara Pada Berbagai Media

Medium	Kecepatan	
	M/det	Fps
Udara	344	1130
Air	1410	4625
Kayu	3300	10,825
Bata	3600	11,800
Beton	3700	12,100
Baja	4900	16,000
Kaca	5000	16,400
Alumunium	5800	19,000

Sumber : Benjamin Stein, *Mechanical and Electrical Equipment For Building*, Vol II, 1986

d. Panjang Gelombang (λ) dan Macam-Macam Penyebaran

Panjang gelombang dapat di definisikan sebagai jarak antara titik-titik yang sama (puncak-puncak/lembah-lembah) secara bersambungan dalam suatu garis gelombang atau jarak yang ditempuh oleh suara dalam satu

putaran penuh gelombang suara. Suara frekwensi rendah dapat dicirikan oleh panjang gelombang yang panjang dan suara berfrekwensi tinggi oleh panjang gelombang pendek.

e. Intensitas Suara

Suatu titik sumber suara dengan kekuatan yang konstan memencar dalam ruang yang bebas dan pada jarak tertentu di pantulkan oleh suatu permukaan.

f. Tingkat Intensitas Suara dan Desibel

Istilah ini merupakan pengukuran kuantitas relatif suatu titik yang diukur terhadap titik dasar dari ambang batas pendengaran. Dapat dinyatakan secara desimal, eksponensial ataupun logaritmanya (desibel). Untuk jelas dapat dilihat tabel berikut ini :

Tabel 2.2
Tingkat Intensitas Suara dan Desibel

Intensitas (W/cm^2)		Level Intensitas Notasi Log	Contoh
Notasi Desimal	Notasi Eksponensial		
0.001	10^{-3}	130 db	Jet lepas landas
0.0001	10^{-4}	120 db	
0.00001	10^{-5}	110 db	Orkestra
0.000001	10^{-6}	100 db	
0.0000001	10^{-7}	90 db	Teriak jarak 1.5 M
0.00000001	10^{-8}	70 db	Bicara sedang Jarak 1 M
0.000000001	10^{-9}	50 db	Kebisingan kantor
0.0000000001	10^{-10}	30 db	Kantor yang tenang
0.00000000001	10^{-11}	20 db	Daerah tenang Rural
0.000000000001	10^{-12}	10 db	
0.0000000000001	10^{-13}	0	Ambang batas dengar

Sumber : Benjamin Stein, *Mechanical and Electrical Equipment for Building*, Vol II 1986

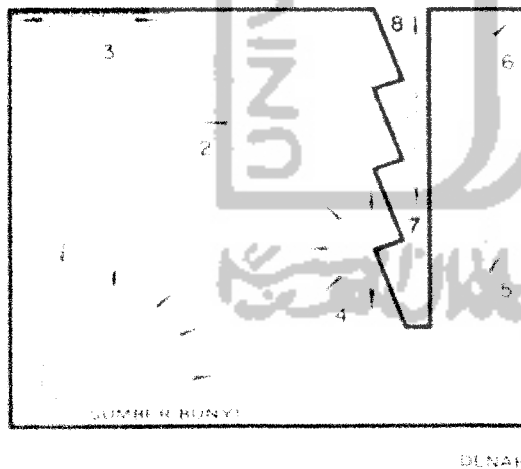
berhenti mengeluarkan bunyinya dan ini terjadi sampai pantulan suara itu seluruhnya terserap atau tertransmisi.

j. Kekerasan Suara

Sifat sensasi pendengaran yang bersifat subyektif (lemah menuju keras) satuannya *Phon*.

2.1.2. Gejala Akustik Dalam Ruang Tertutup

Dimana kelakuan gelombang bunyi pada suatu ruang dapat dilihat dengan analogi kelakuan sinar cahaya disebut juga *Akustik Geometrik*. Dapat dilihat pada gambar 2.6 yang menunjukkan apa yang terjadi bila gelombang bunyi menumbuk dinding-dinding suatu ruang, dimana sebagian energi akan dipantulkan, diserap, disebar, dibelokkan atau ditransmisikan ke ruang yang berdampingan, tergantung pada sifat akustik dindingnya, sebagai berikut :



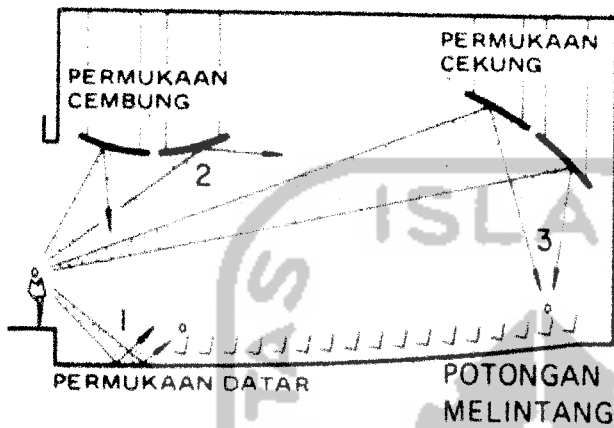
Gambar 2.1 : Kelakuan bunyi pada ruang tertutup
(1) Bunyi datang dan bunyi langsung ; (2) Bunyi pantul ; (3) Bunyi yang diserap oleh lapisan permukaan ; (4) Bunyi difusi atau bunyi yang disebar ; (5) Bunyi difraksi atau bunyi yang dibelokkan ; (6) Bunyi yang ditransmisi ; (7) Bunyi yang hilang dalam struktur bangunan ; (8) Bunyi yang dirambatkan oleh struktur bangunan.

Sumber : Leslie L. Doelle, *Akustik Lingkungan*, 1993

a. Pemantulan Bunyi

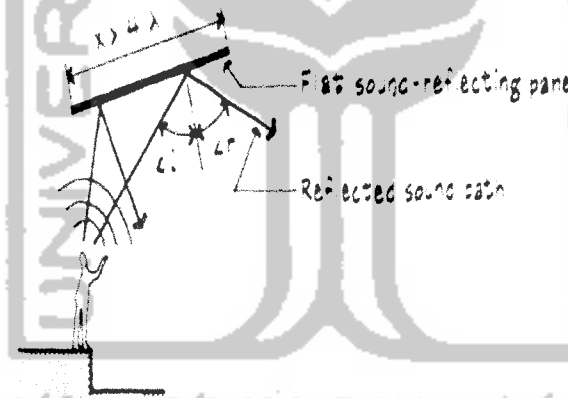
Permukaan yang keras, tegar dan rata, seperti beton, bata, batu, plester atau gelas memantulkan hampir semua energi bunyi yang jatuh padanya. Gejala pemantulan bunyi hampir serupa dengan pemantulan cahaya yang terkenal

(gelombang bunyi 2 dalam gambar 2.6). Permukaan pemantulan cembung cenderung menyebarkan gelombang dan permukaan cekung mengumpulkan gelombang bunyi pantul dalam ruang (gambar 2.7).



Gambar 2.2
Pemantulan bunyi dari permukaan – permukaan yang berbeda (1) Permukaan merata ; (2) Penyebaran bunyi/pemantulan pada permukaan cembung ; (3) Pemusatan pemantulan bunyi pada permukaan cekung.

Sumber : Leslie L. Doelle, *Akustik Lingkungan*, 1993



Sumber : M. David Egan, *Arsitektur Acoustic*, 1988

Gambar 2.3

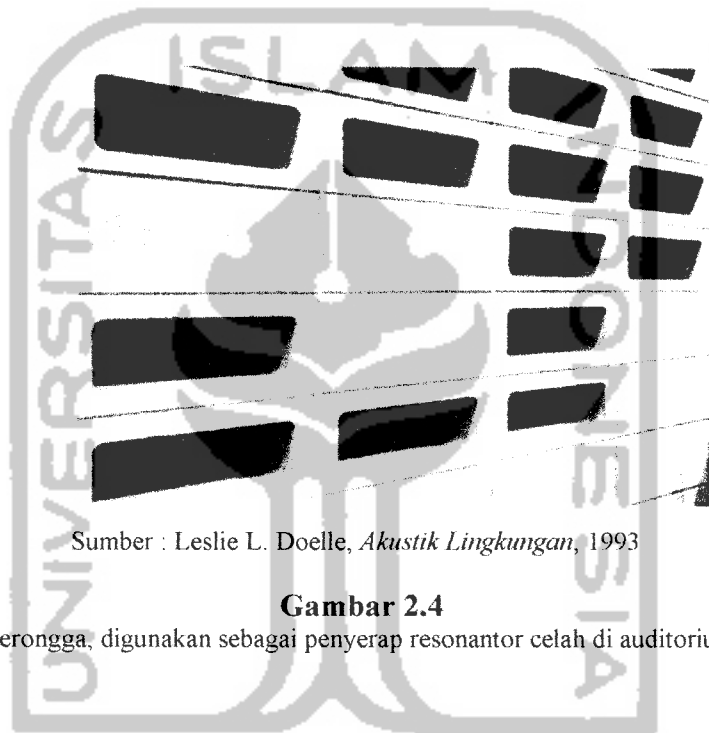
Batasan untuk pemantul merata. Untuk pemantul merata rumus yang bisa digunakan yaitu $x < \lambda$.

b. Penyerapan Bunyi

Bahan lembut, berpori dan kain serat juga manusia, menyerap sebagian besar gelombang bunyi yang menumbuk mereka dengan kata lain mereka adalah penyerap bunyi.

Dalam akustik lingkungan unsur-unsur berikut dapat menunjang penyerapan bunyi :

1. Lapisan permukaan dinding, lantai dan atap.
2. Isi ruang seperti audiens, bahan tirai tempat duduk dengan lapisan lunak dan karpet.
3. Udara dalam ruang.



Sumber : Leslie L. Doelle, *Akustik Lingkungan*, 1993

Gambar 2.4

Balok beton berongga, digunakan sebagai penyerap resonantor celah di auditorium/ ruang kelas

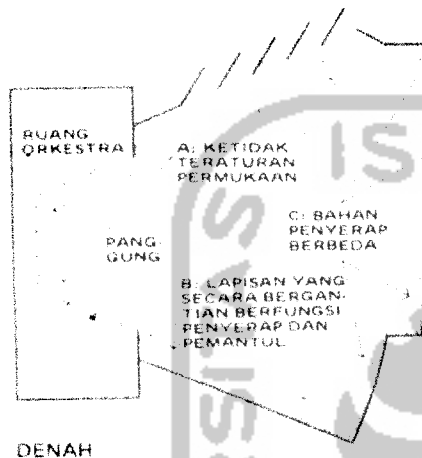
c. Difusi Bunyi

Penyebaran bunyi yang terjadi dalam ruangan (gelombang bunyi 4 dalam gambar 2.1)

Difusi bunyi dapat diciptakan dengan beberapa cara (gambar 2.5) :

1. Pemakaian permukaan dan elemen penyebar yang tidak teratur dalam jumlah yang banyak sekali, seperti : pilaster, balok-balok telajang, langit-langit yang terkotak-kotak dan dinding yang bergerigi.

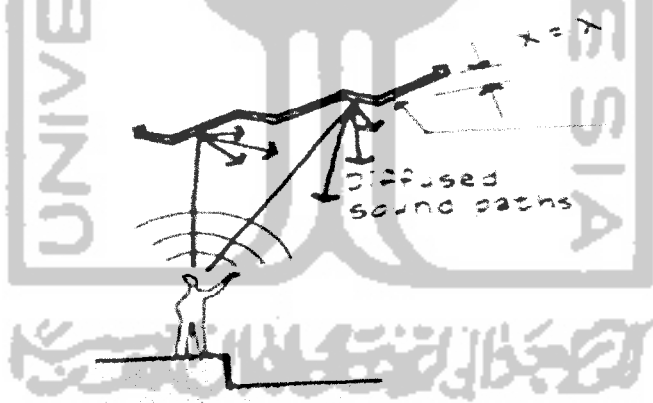
2. Penggunaan lapisan permukaan pemantul bunyi dan penyerap bunyi secara bergantian.
3. Distribusi lapisan penyerap bunyi yang berbeda secara tidak teratur dan acak.



Gambar 2.5

Difusi bunyi (penyebaran) atau distribusi energi bunyi yang merata dalam auditorium dapat di peroleh dengan menggunakan ; (A) Ketidak teraturan permukaan ; (B) Permukaan penyerap bunyi dan pemantulan bunyi yang di gunakan secara bergantian atau ; (C) Lapisan Akustik dengan penyerapan yang berbeda.

Sumber : Leslie L. Doelle, *Akustik Lingkungan*, 1993



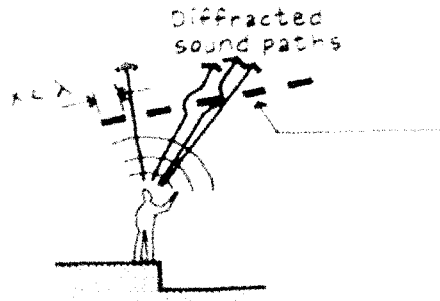
Sumber : M. David Egan, *Arstectural Acoustic*, 1988

Gambar 2.6

Difusi bunyi pada bidang Panel penyebaran (dimensi panjang dan lebar permukaan 3 ft sampai 10 ft dan kedalaman acak 6 inci sampai 2 ft)

d. Difraksi Bunyi

Gejala akustik yang menyebabkan gelombang bunyi dibelokkan atau dihembuskan sekitar penghalang seperti sudut (corner), kolom, tembok dan balok (gambar 2.1, gelombang bunyi 5).



Sumber : M. David Egan, *Arsitektur Acoustic*, 1988

Gambar 2.7 :
Difraksi bunyi pada bidang Jeruji pembelok (panel kecil sama dengan lebar [x] dan sama dengan jarak antar panel)

e. Dengung

Bila sumber bunyi telah berhenti, suatu waktu yang cukup lama akan berlalu sebelum bunyi hilang (meluruh) dan tidak dapat di dengar. Bunyi yang berkepanjangan ini sebagai akibat pemantulan yang berturut-turut dalam ruang tertutup setelah sumber bunyi dihentikan.

f. Resonansi Ruang

Air yang dituang dalam guci/kendi menghasilkan bunyi *deguk* (gurgling), frekwensinya naik secara bertahap bila jumlah air dalam guci bertambah. Udara dalam guci beresonansi pada frekwensi-frekwensi tertentu (seperti kamar mandi, dengan resonansinya sendiri mendorong hasrat menyanyi penyanyi-penyanyi awam).

II.1.3. Bahan dan Konstruksi Penyerap Suara

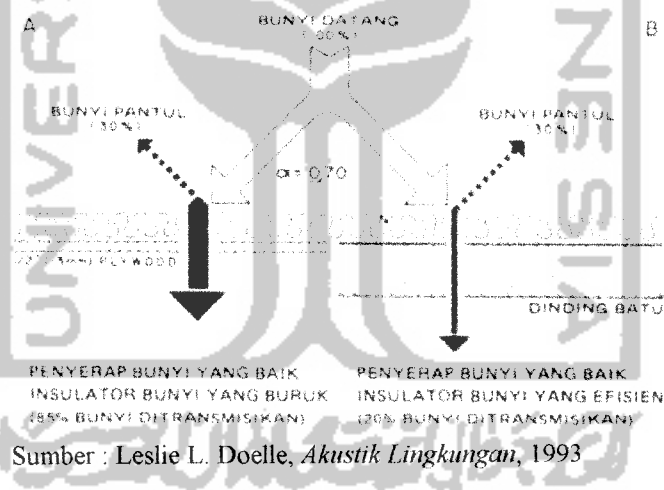
Semua bahan bangunan dan lapisan permukaan yang digunakan dalam konstruksi auditorium/ruang mempunyai kemampuan untuk menyerap bunyi

sampai suatu derajat tertentu. Namun terdapat juga bahan-bahan bangunan yang memang dirancang untuk pengendalian akustik atau reduksi bising.

Kemampuan suatu bahan bangunan dalam penyerapan suara mempunyai tingkatan yang berbeda-beda. Energi suara yang diserap akan diubah menjadi panas, tetapi sebagian besar ditransmisikan ke sisi lain lapisan tersebut, kecuali transmisi tersebut dihalangi oleh penghalang yang berat dan kedap.

Bahan-bahan dan konstruksi penyerap bunyi dapat diklasifikasikan menjadi :

1. Bahan berpori-pori
2. Penyerap panel / Penyerap selaput
3. Resonator rongga



Gambar 2.8

(A) Penyerap yang baik ($\alpha = 0,70$) dilekatkan pada insulator bunyi yang jelek, seperti plywood, tidak akan mencegah transmisi bunyi lewat dinding semacam itu. (B) sebagai ganti plywood, penghalang insulasi bunyi yang efektif, seperti bahan batu-batuan, harus digunakan untuk mengurangi transmisi bising lewat struktur itu.

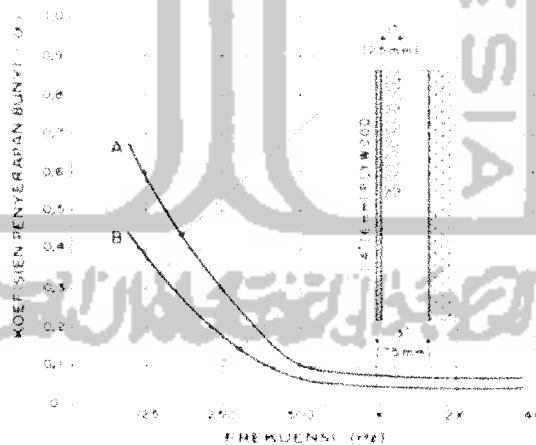
1. Bahan Berpori

Jenis-jenis bahan seperti papan serat (fiber board), plesteran lembut (soft plasters), mineral wool dan selimut isolasi, adalah merupakan suatu jaringan

selular dengan pori-pori yang saling berhubungan. Dimana energi bunyi diubah menjadi panas yang diserap dan sisanya yang telah berkurang energinya dipantulkan.

2. Penyerap Panel (Selaput)

Penyerap panel atau *selaput* yang tidak dilubangi mewakili kelompok bahan-bahan penyerap bunyi yang kedua. Tiap bahan kedap yang dipakai di pasang pada lapisan penunjang yang padat (solid backing) tetapi terpisah oleh suatu ruang udara yang akan berfungsi sebagai penyerap panel dan akan bergetar bila tertumbuk oleh gelombang bunyi. Getaran lentur (flexural) dari panel akan menyerap sejumlah energi bunyi datang dengan mengubahnya menjadi energi panas. Bahan ini sangat menunjang untuk frekwensi rendah, seperti terlihat dari gambar



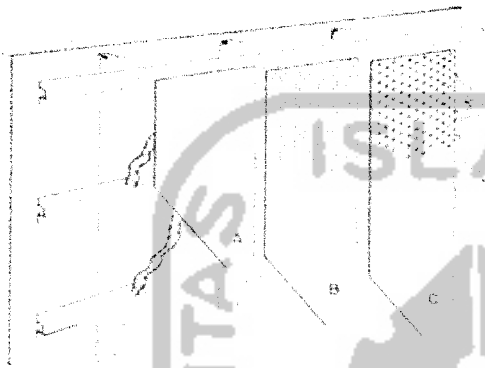
Sumber : M. David Egan, *Arsitectural Acoustic*, 1988

Gambar 2.9

Penyerapan bunyi panel 6mm dengan jarak pisah 75 mm dari dinding dengan (a) dengan selimut isolasi (b) tanpa selimut isolasi

3. Resonator Rongga

Terdiri dari sejumlah udara tertutup yang dibatasi oleh dinding-dinding tegar dan dihubungkan oleh lubang/celah sempit (disebut leher) ke ruang sekitarnya dimana gelombang bunyi merambat.

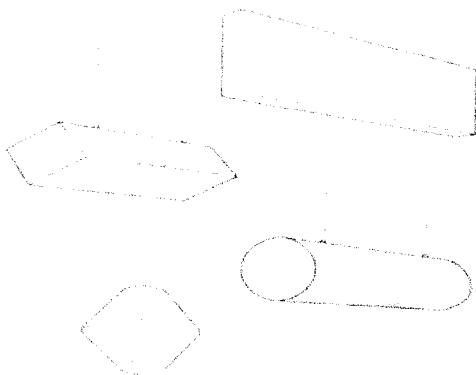


Gambar 2.10 : Pemasangan resonator panel berlubang dengan menggunakan bermacam bentuk lubang dan dengan isolasi dalam rongga udara (a) papan berlubang ; (b) hardboard bercelah/ di iris-iris ; (c) logam atau plastik berlobang.

Sumber : Leslie L. Doelle, *Akustik Lingkungan*, 1993

4. Penyerap Ruang

Bila dinding-dinding batas yang biasa dalam auditorium/ruang kuliah tidak menyediakan tempat yang cocok atau cukup untuk lapisan akustik konvensional, benda-benda penyerap bunyi, yang disebut penyerap ruang atau penyerap fungsional, dapat digantungkan pada langit-langit sebuah unit tersendiri. Ini dapat dipasang tanpa mengganggu peralatan dan perlengkapan yang telah ada, selain itu juga mempunyai daya serapan yang cukup besar.

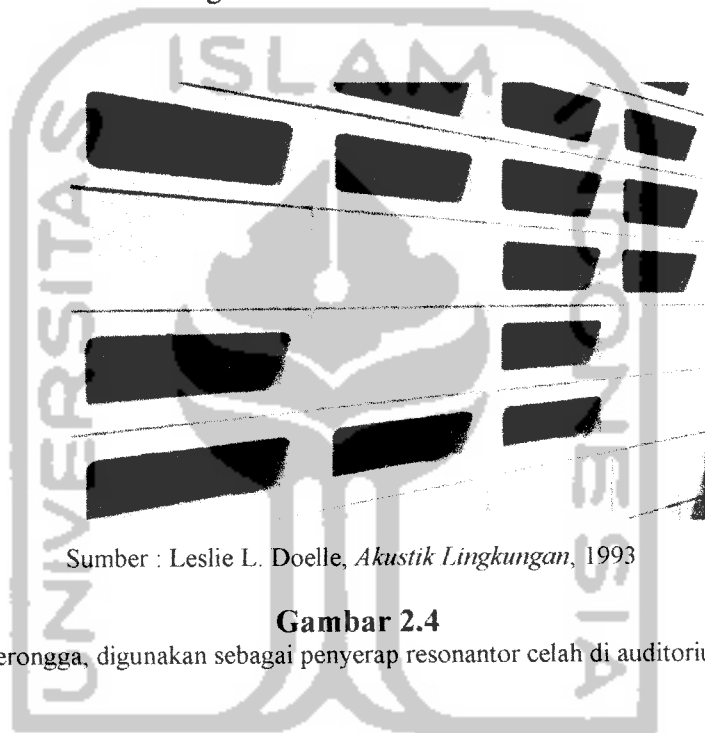


Gambar 2.11 : Penyerap ruang yang dapat digantung pada langit-langit sebagai unit individual. Biasa digunakan bila luas permukaan ruang tidak cukup untuk lapisan akustik konvensional.

Sumber : Leslie L. Doelle, *Akustik Lingkungan*, 1993

Dalam akustik lingkungan unsur-unsur berikut dapat menunjang penyerapan bunyi :

1. Lapisan permukaan dinding, lantai dan atap.
2. Isi ruang seperti audiens, bahan tirai tempat duduk dengan lapisan lunak dan karpet.
3. Udara dalam ruang.



Sumber : Leslie L. Doelle, *Akustik Lingkungan*, 1993

Gambar 2.4

Balok beton berongga, digunakan sebagai penyerap resonator celah di auditorium/ ruang kelas

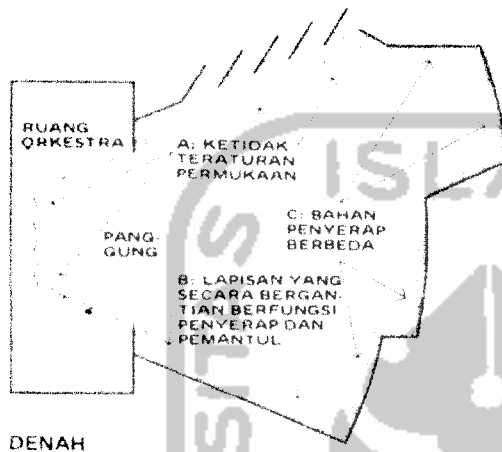
c. Difusi Bunyi

Penyebaran bunyi yang terjadi dalam ruangan (gelombang bunyi 4 dalam gambar 2.1)

Difusi bunyi dapat diciptakan dengan beberapa cara (gambar 2.5) :

1. Pemakaian permukaan dan elemen penyebar yang tidak teratur dalam jumlah yang banyak sekali, seperti : pilaster, balok-balok telajang, langit-langit yang terkotak-kotak dan dinding yang bergerigi.

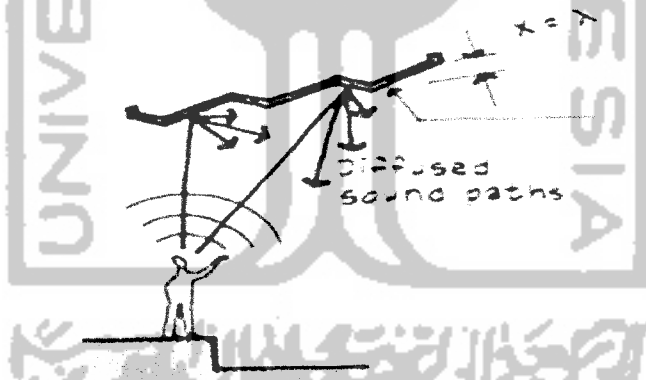
2. Penggunaan lapisan permukaan pemantul bunyi dan penyerap bunyi secara bergantian.
3. Distribusi lapisan penyerap bunyi yang berbeda secara tidak teratur dan acak.



Gambar 2.5

Difusi bunyi (penyebaran) atau distribusi energi bunyi yang merata dalam auditorium dapat di peroleh dengan menggunakan ; (A) Ketidak teraturan permukaan ; (B) Permukaan penyerap bunyi dan pemantulan bunyi yang di gunakan secara bergantian atau ; (C) Lapisan Akustik dengan penyerapan yang berbeda.

Sumber : Leslie L. Doelle, *Akustik Lingkungan*, 1993



Sumber : M. David Egan, *Arsitektur Acoustic*, 1988

Gambar 2.6

Difusi bunyi pada bidang Panel penyebaran (dimensi panjang dan lebar permukaan 3 ft sampai 10 ft dan kedalaman acak 6 inci sampai 2 ft)

d. Difraksi Bunyi

Gejala akustik yang menyebabkan gelombang bunyi dibelokkan atau dihembuskan sekitar penghalang seperti sudut (corner), kolom, tembok dan balok (gambar 2.1, gelombang bunyi 5).

II.2. Akustik Ruang Kuliah

II.2.1. Pengertian Ruang Kuliah

Pada masa lalu kebutuhan ruang dan biaya awal pembangunan ruang kuliah dinilai terlalu tinggi dibanding pemakaiannya, sehingga ruang kuliah didesain sedemikian rupa sehingga mampu berfungsi untuk kegiatan lain. Namun seiring perkembangan jaman permintaan akan kebutuhan ruang kuliah yang memadai semakin meningkat. Ruang kuliah lembaga pendidikan kadang disebut *amphiteater* yang merupakan ruang yang harus dirancang sesuai dengan prinsip akustik yang relevan sehingga mampu menjamin kejelasan pembicaraan.

Untuk kondisi ruang kuliah, intensitas suara yang distandarkan yaitu 40 db, maka untuk penelitian ini diambil ring intensitas yang masih dianggap memadai untuk ditoleransi yaitu antara 35 db sampai 45 db, dimana ring ini diambil berdasarkan pada acuan Leslie L.Doelle di akustik lingkungan yang menyatakan bahwa perubahan 5 db jelas tercatat. Dibawah ini dapat dilihat tingkat standar intensitas suara dalam berbagai tingkatan.

Tabel 2.3

Tingkat Intesitas (desibel, db)	Kerasnya suara yang Ditanggapi
140 db	Sakit fisik. Memekakkan
130 db	Ambang sakit
110 db	Kebisingan kereta api bawah tanah
100 db	Kebisingan pabrik industri
80 db	Kantor bising
70 db	Rata-rata kebisingan jalan
60 db	Rata-rata kantor
40 db	Kantor pribadi atau ruang kuliah
30 db	Kamar tidur
10 db	Suara pernafasan normal
0 db	Ambang pendengaran

Sumber : Snyder dan Catanese, *Pengantar Arsitektur*, Erlangga, 1994

II.2.2. Standar Akustik Ruang belajar

Dalam rancangan akustik ruang kelas, terutama yang digunakan untuk pidato (berbicara), *inteligibilitas* harus diberi prioritas utama. Bila suatu ruang digunakan untuk ruang kuliah, tentu sepenuhnya mahasiswa berharap dapat mendengar dan mengerti tiap kata yang diucapkan pembicara. Misalnya diperkenalkan istilah-istilah baru atau bahasa asing yang diucapkan, kondisi mendengar harus cukup baik sebaik kemampuan akustiknya. Dalam membuat standar akustik ruang belajar yang baik ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu:

1. Kriteria untuk ruang bicara

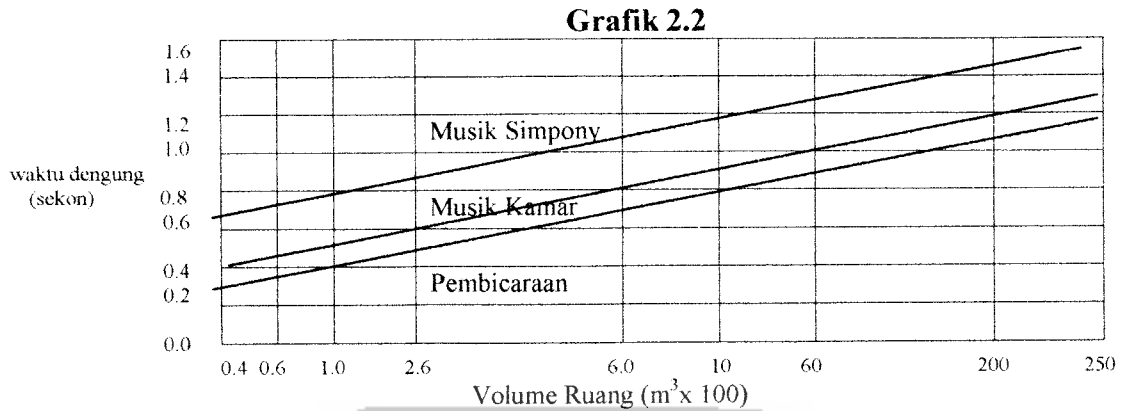
Untuk mencapai kondisi akustik yang mendukung proses bicara-dengar antar pembicara dengan pendengar dalam ruang belajar, maka sangat harus diperhitungkan suara pantulan yang timbul. Selama rata-rata suara pelan bernilai hampir sama dengan suara selubung (*masking noise*), maka suara pengulangan akibat pantulan harus tetap dijaga seminumum mungkin. Apabila terjadi suara pantulan yang melebihi 20% dari nilai RT (*waktu dengung*) diatas, maka akan berdampak negatif karena mengganggu suara pembicara. Pada grafik berikut ini diberikan angka RT (*reverberation time*) yang optimum berdasarkan ukuran ruang dan fungsinya (grafik 2.2)

II.2.2. Standar Akustik Ruang belajar

Dalam rancangan akustik ruang kelas, terutama yang digunakan untuk pidato (berbicara), *inteligibilitas* harus diberi prioritas utama. Bila suatu ruang digunakan untuk ruang kuliah, tentu sepenuhnya mahasiswa berharap dapat mendengar dan mengerti tiap kata yang diucapkan pembicara. Misalnya diperkenalkan istilah-istilah baru atau bahasa asing yang diucapkan, kondisi mendengar harus cukup baik sebaik kemampuan akustiknya. Dalam membuat standar akustik ruang belajar yang baik ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu:

1. Kriteria untuk ruang bicara

Untuk mencapai kondisi akustik yang mendukung proses bicara-dengar antar pembicara dengan pendengar dalam ruang belajar, maka sangat harus diperhitungkan suara pantulan yang timbul. Selama rata-rata suara pelan bernilai hampir sama dengan suara selubung (*masking noise*), maka suara pengulangan akibat pantulan harus tetap dijaga seminimum mungkin. Apabila terjadi suara pantulan yang melebihi 20% dari nilai RT (*waktu dengung*) diatas, maka akan berdampak negatif karena mengganggu suara pembicara. Pada grafik berikut ini diberikan angka RT (*reverberation time*) yang optimum berdasarkan ukuran ruang dan fungsinya (grafik 2.2)



Sumber : Benjamin Stein, *Mechanical And Electrical Equipment For building*, Vol II, 1986

Reverberation time berdasarkan ukuran ruang dan fungsinya

Tinggi ruangan juga berpengaruh pada waktu dengung dan pantulan suara, sehingga untuk ruangan yang didalamnya terdapat kegiatan berbicara dengan kapasitas ruangan yang kecil, maka harus dipertimbangkan perbedaan nilai mengenai suara langsung dan suara pantulan dari langit-langit ruangan yang datang ke penerima suara.

2. Alur Suara dalam Ruang

Idealnya setiap pendengar di ruang pengajaran, harus dapat mendengar suara pembicara dengan tingkat kekerasan dan kejelasan yang sama. Memang agak sulit bahkan hampir tidak mungkin untuk mendapat alur suara langsung dari sumber suara dalam ruangan tanpa menerima suara pantulan yang mengiringinya. Oleh sebab itu desain dasar dari akustik ruang belajar adalah bagaimana merencanakan suatu metode untuk memperkuat refleksi suara yang diinginkan dan meminimalisasi serta mengontrol suara-suara yang tidak diinginkan. Normalnya, hanya suara pantulan pertama saja yang diharapkan boleh diterima. Pantulan kedua dan selanjutnya biasanya dikurangi sampai

titik dimana keberadaan suara-suara tersebut dapat diabaikan, kecuali pada situasi khusus. Berikut ini bentuk-bentuk alur suara.

a. Refleksi Spekular

Refleksi ini terjadi ketika suatu alur suara terefleksi pada suatu permukaan dengan lapisan keras. Karakteristik suara seperti ini dapat berguna pada suatu ruangan yang membutuhkan suatu sumber suara bayangan (*image source*).

b. Diagram pancaran Suara

Diagram ini didesain untuk menganalisa distribusi suara yang terefleksi keseluruhan ruangan, dan hanya menggunakan suara hasil refleksi yang pertama saja. Namun desain ini biasanya dipertimbangkan untuk desain terhadap ruangan-ruangan dengan berskala besar, seperti ruang konser besar, dan lainnya. Namun prinsipnya harus tetap dipegang dalam perencanaan ruang belajar yang kecil sekalipun, karena sering kali ruang belajar hanya memiliki sedikit perabot didalamnya yang berarti pemantulan suara tidak dapat diredam dengan baik. Dan juga dapat digunakan baik terhadap langit-langit, lantai, dinding dan sebagainya.

c. Echo

Echo terjadi ketika suara dipantulkan dengan intensitas yang cukup mencapai pendengar lebih dari 1/20 detik setelah dia mendengar suara yang langsung berasal dari sumber (tidak dipantulkan). Kebanyakan echo yang timbul bersifat mengganggu kebersihan sumber suara.

d. Flutter

Flutter dapat dianggap sebagai efek echo yang berulang-ulang akibat pantulan bolak-balik antara dua permukaan paralel yang tidak bersifat meresap.

e. Pemfokusan

Dome berbentuk cekung, melengkung atau dinding akan memfokuskan suara pantulan ke area tertentu dalam ruang. Ini sering jadi mengganggu, karena dapat mengurangi intensitas suara pada pendengar dan menyebabkan adanya suara titik kelebihan suara pada sebagian kecil pendengar.

f. Difusi

Merupakan lawan dari pemfokusan, dan biasanya terjadi ketika suara dipantulkan dari bidang yang cembung. Tingkat rendah difusi juga terjadi pada permukaan datar dan permukaan yang dimiringkan.

g. Suara Merayap

Istilah ini menggambarkan refleksi suara pada permukaan cekung yang sumbernya berada pada dekat permukaan tersebut.

3. Tipe Akustik Ruang Belajar

System akustik pada ruang belajar harus ditinjau dari segi bentuk denah, bentuk reflektor, material permukaan dan peletakan permukaan suara/speaker. Berikut satu persatu standar dari faktor-faktor tersebut:

a. Bentuk Denah

Pada umumnya bentuk denah dari ruang belajar dapat ditunjukkan dengan gambar dibawah ini :



Sumber : Leslie L. Doelle, *Akustik Lingkungan*, Erlangga, 1993

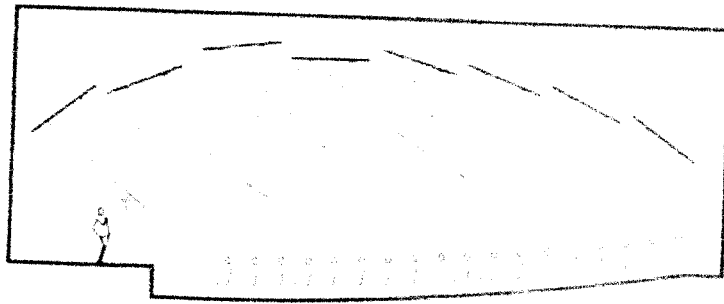
Gambar 2.12

Denah ruang belajar standar untuk akustik yang baik. C, Pusat gravitasi daerah pendengar ; D₁, D₂, Jarak rata-rata antara sumber bunyi dan pendengar.

Perbedaan dari keduanya adalah bahwa ruang dengan denah berbentuk kipas akan lebih dapat mendekatkan penonton kepada sumber bunyi dari pada berbentuk segi empat.

b. Bentuk Reflektor

Dalam hal ini, langit-langit dan dinding dapat dikatakan sebagai penentu bentuk dari penyebaran suara sumber keseluruhan penjuru ruang. Untuk ruang belajar dengan kapasitas yang kecil $\pm 80 \text{ m}^2$, dengan bentuk langit-langit yang datar, efek pemantulan dirasakan tidak mengganggu, dengan syarat tinggi ruang tidak menyebabkan suara hasil refleksi terlambat lebih dari $1/20\text{ms}$. Namun hasil ini akan menjadi lebih baik lagi apabila faktor reflektor ini diperhatikan dengan lebih baik pula (gambar 2.13).



Sumber : Leslie L. Doelle, *Akustik Lingkungan*, Erlangga, 1993

Gambar 2.13

Langit-langit pemantul yang diletakkan dengan tepat, dengan pemantulan bunyi yang makin banyak ke tempat-tempat duduk yang jauh, secara efektif menyumbang kekerasan yang cukup.

c. Material Permukaan Ruang

Untuk ruang dengan kapasitas kecil seperti ruang kuliah, maka pemilihan material permukaan ruang sering dipandang tidak terlalu penting. Untuk pertimbangan mengenai jalur suara langsung, maka hal ini mungkin tidak terlalu menjadi masalah, namun bila subyek pembicara menghadap ke arah yang berlawanan dengan pendengar, maka material yang akan didepan pembicara dapat sangat membantu penyebaran suara pantulan yang keluar dari sumber. Tetapi dalam hal ini, mungkin yang terpenting adalah bagaimana material yang ada dalam ruang tersebut dapat meredam bising yang berasal dari luar.

d. Peletakan Penguat Suara

Untuk ruang pengajaran dengan luas sampai dengan 100m², peletakan penguat suara (*loud speaker*) sering diletakkan didepan, baik bagian kiri dan kanan, maupun diatas depan. Hal ini lebih banyak dipengaruhi oleh faktor psikologis mengenai arah datang sumber suara yang lebih disukai, karena dianggap memberi kewajaran maksimum dimana bunyi

yang diperkuat datang dari arah yang sama dengan bunyi asli. Namun beberapa ruang tertentu juga memakai penguat suara yang disebarkan pada dinding kiri dan kanan. Dalam hal ini volume suara yang diinginkan tampaknya menjadi penentu letak dari penguat suara.

4. Insulasi Terhadap Suara Luar

Insulasi terhadap suara luar adalah proses meredam suara-suara bising yang datang dari luar sampai pada tingkat yang tidak mengganggu aktivitas yang ada didalam ruang. Bising yang paling mengganggu yang masuk dalam kategori bising luar ini adalah suara kendaraan, transportasi rel, transportasi udara, transportasi air dan lain-lain. Sumber bising lainnya dapat ditemukan pada alat-alat mekanis yang tampak seperti AC, proyektor dan lain-lain.

Metode-metode telah dikembangkan untuk sedapat mungkin mengisolasi suara luar. Ada beberapa cara yang dapat dilakukan antara lain dengan memodifikasi tertentu dari sumber atau jejak perambatan atau dengan pengaturan kembali seluruh daerah bising dengan sebaik-baiknya. Namun tindakan yang paling ekonomis adalah dengan menekan bising tepat disumbernya dengan memilih peralatan atau material yang relatif menimbulkan suara yang lebih tenang. Misalnya lantai memakai alas karpet agar langkah kaki tidak menimbulkan suara yang mengganggu, menggunakan karet busa penahan pintu untuk meredam bunyi bantingan pintu dan lain-lain.

Sumber : Robert B. Newman and The Staff, *Time Sever Standart*

Gambar 2.14
Beberapa contoh “terbuka” material arsitektur yang dapat digunakan untuk insulasi terhadap suara dari luar

5. Efek Suhu Udara

Suhu udara dalam ruang mempengaruhi laju rambat bunyi didalamnya, makin tinggi suhu udara yang ada dalam ruang makin cepat laju rambat bunyi. Laju rambat bunyi dalam udara pada suhu 0° C adalah 331 m/s atau 1087 ft/s, laju ini bertambah besar sebanyak 0.6 m/s atau 2 ft/s setiap suhu naik satu derajat celcius. (Frederick J. Bueche, Fisika, 1985)

Rumus untuk mencari Laju rambat bunyi (V) yaitu :

$$V = V_1 + V_2.(C^\circ) \text{ m/s}$$

Dimana :

V = Laju rambat bunyi (m/s)

V₁ = Laju rambat bunyi pada suhu 0° yaitu 331 m/s

V₂ = Pertambahan laju rambat bunyi setiap derajat C° yaitu 0.6 m/s

C° = Suhu udara di tempat

Kondisi ini tentu bertolak belakang dengan kenyamanan pencahayaan alami dimana pencahayaan alami membutuhkan banyak bukaan, hal ini tentu akan

menambah suhu dalam ruang yang akan berdampak pada tingginya laju rambat bunyi sehingga akan memudahkan terjadinya kebisingan.

II.3. Kenyamanan

Menurut Rustam Hakim dalam bukunya di Unsur Perancangan, kenyamanan adalah segala sesuatu yang memperlihatkan dirinya sesuai dan harmonis dengan penggunaan suatu ruang, baik dengan ruang itu sendiri maupun dengan berbagai bentuk, tekstur, warna, simbol maupun tanda, suara dan bunyi kesan, intensitas dan cahaya maupun bau, atau apapun juga. Atau dengan kata lain kenyamanan adalah kenikmatan atau kepuasan manusia dalam melaksanakan aktifitasnya.

Rasa nyaman yang dirasakan audiens didukung oleh suasana yang *Comfortable* baik itu disebabkan oleh penghawaan buatan, sistem akustik yang bagus maupun bentuk dan tata ruang. Menurut Poerwadarminta, kata nyaman itu sendiri artinya sejuk, segar dan sehat. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kenyamanan yaitu bentuk, visual, audio, thermal dan bau.

Kenyamanan dalam akustik yaitu adanya rasa nyaman yang dirasakan audiens dalam sensasi pendengarannya, dimana audiens dapat mendengarkan suara dengan baik tanpa adanya gangguan suara yang lain. Suara yang didengar terbebas dari suara yang “tidak diinginkan” serta terbebas dari cacat akustik seperti bising, dengung, echo yang berlebihan dan lain-lain.

II.4 Teknik Analisa Suara

A. Diagram RAY

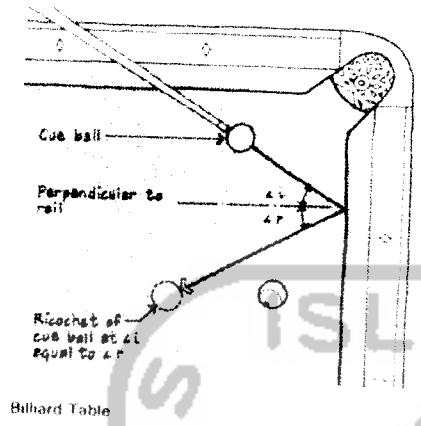
Diagram RAY adalah analogi akustik dari refleksi *specular* dari cahaya dimana besarnya sudut datang yang timbul ($\angle i$) dari gelombang suara yang mengenai suatu obyek/permukaan sebesar/sama dengan sudut pantul ($\angle r$) diukur dari garis tengah antara sudut datang dengan sudut pantul ke masing-masing permukaan sudut.

Analisis ini digunakan untuk mempelajari efek bentuk ruang terhadap distribusi suara. Dengan metode ini dapat juga digunakan untuk menganalisa permukaan-permukaan dalam ruang yang menimbulkan "Echo".

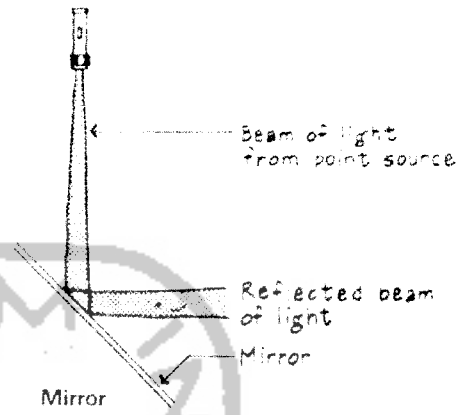
Diagram RAY dapat digunakan bila suara refleksi dapat diindikasikan oleh diagram RAY apabila dimensi ruang permukaan $> 4 \lambda$ (panjang gelombang). Dimana panjang gelombang didapat dari kecepatan bunyi dibagi frekuensi, untuk contoh frekuensi 1000 Hz memiliki panjang gelombang $1.1 \text{ ft} \approx 0.33528 \text{ M}$.

Secara umum sumber suara tidak menyebar dari sebuah posisi yang tetap, oleh karena itu bentuk optimum ruang tergantung pada keseimbangan distribusi suara yang baik dari beberapa posisi sumber suara di area pendengaran. Evaluasi penyebaran suara secara detil dalam permukaan ruang tidak memungkinkan dengan Diagram RAY. Oleh karena itu penggunaan skala model frekwensi dibolehkan dalam studi akustik dan sering kali digunakan dalam desain.

Hal ini sama perinsipnya antara pemantulan gelombang suara dengan pemantulan bola pada permainan biliard atau pada cahaya senter yang diarahkan pada cermin (gambar 2.15 dan 2.16).



Gambar 2.15 : Prinsip Pementulan Bola Billiard



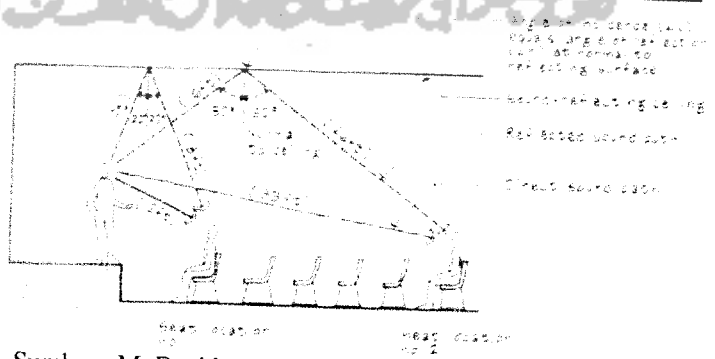
Gambar 2.16 : Prinsip Pemantulan Cahaya

Sumber : M. David Egan, *Arsitectural Acoustic*, 1988

B. Sound Path Different

Sound path different adalah perbedaan panjang lintasan suara antara *Direct Sound* (suara langsung) dan *Reflective Sound* (suara pantul). Dimana rumus yang digunakan yaitu :

$$\text{Path Different} = \text{Reflected sound} - \text{Direct Sound}$$



Sumber : M. David Egan, *Arsitectural Acoustic*, 1988

Gambar 2.17

Path Different antar suara langsung dan suara pantul pada kondisi tempat duduk berbeda

C. Time Delay Gap

Time Delay Gap dapat digunakan untuk mengetahui perbedaan waktu tunda, satuan yang di pakai meter per detik. Dimana rumus untuk mendapatkan perbedaan waktu tunda yaitu :

Jarak = Kecepatan x Waktu

Tabel 2.4
Tabel Batasan Kondisi Pendengaran

SOUND PATH DIFFRENT (ft)	TIME DELAY GAP (m/s)	LISTENING CONDITION
< 23	< 20	Exelent for speech and music
23 - 24	20 – 30	Good for speech, Fair for music
34 - 50	30 – 45	Marginal (blured)
50 - 68	45 – 60	Unsatisfactory
> 68	> 60	Poor (echo is too stroong)

Sumber : M. David Egan, *Arsitectural Acoustic*, 1988

Sistem metode analisa ini sangat penting peranannya, karena metode ini dapat digunakan untuk mengevaluasi kondisi pendengar dalam berbagai kondisi. Dengan metode analisa ini kita dapat menentukan garis arah pantulan suara yang terjadi di dalam suatu ruang.

II.5 SISTEM TATA SUARA ELEKTRONIS

II.5.1 Definisi Sistem Tata Suara Elektronis

Sistem tata suara elektronis merupakan elemen akustik yang sangat penting, hal tersebut disebabkan karena *sound system* tidak akan dapat terpisah

dari rangkaian secara menyeluruh akustik pada sebuah ruang (R.Alten, *Audio In Media*, 1986), maka dalam kondisi sebenarnya terdiri dari beberapa peralatan pendukung yang akan diuraikan dibawah ini.

II.5.2 Komponen-Komponen Sistem Tata Suara Elektronis

Untuk mendukung sistem tata suara yang dapat bekerja secara baik maka diperlukan komponen-komponen pokok yang harus ada. Komponen tersebut secara garis besar dapat dibagi menjadi tiga, antara lain Mikropon, *Electronic Control* dan pengeras suara (*Loudspeaker*).



Gambar 2.18 Komponen dasar sistem penguat bunyi saluran tunggal

1. Mikropon

Mikropon adalah komponen awal dalam sistem suara elektronis, alat ini berfungsi mengubah *airbond sound* menjadi *signal elektric* (R. Alten, *Audio In Media*, 1986).

Apabila dilihat dari cara kerjanya mikropon dapat dibagi menjadi 3 yaitu :

a. *Dynamic moving coil*

Terdiri dari diafragma tipis yang akan bergetar oleh gelombang suara dan menggerakkan koil kabel 2 kutub magnet sehingga menghasilkan potensial elektronis.

b. *Ribbon*

Variasi moving coil dimana pita aluminium berperan sebagai diafragma.

c. *Kondesor*

Diafragma tipis yang mudah bergerak di depan plat merubah kapasitas ke variasi signal elektronis.

2. Electronic Control

Rangkaian kedua dari komponen dasar penguat bunyi elektronis ini adalah electronic control yang tersusun oleh (M David Egan, Arhitectural Acoustic, 1988) :

a. Amplifer

Berfungsi sebagai pengendali sinyal elektrik (berhubungan dengan amplitudo).

b. Cross Over Network

Yang berfungsi mendistribusikan energi elektronis dari range frekuensi rendah dan frekuensi tinggi dilevel frekuensi yang tepat.

c. Mixer

Berfungsi mengontrol on / off-nya microphones didalam multi microphones besar.

d. Equalizer

Sebagai tone control untuk pengendali suara atau gelombang.

3. Pengeras Suara

Loud speaker sebagai komponen yang paling akhir dalam sistem tata suara elektronik yang dalam hal ini berfungsi mengubah signal elektronik menjadi Airbond sound (Leslie L Doelle, *Akustik Lingkungan*, 1993).

Menurut pola peletakan loud speaker dibagi menjadi 4 yaitu :

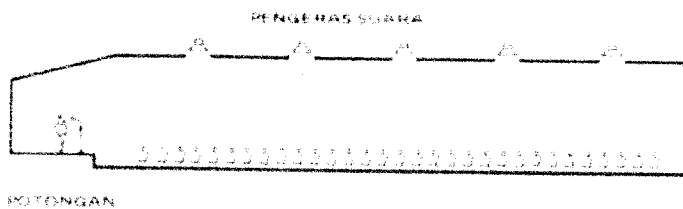
- a. Central loudspeaker system (gambar 2.19a)
- b. Distributed loudspeaker system (gambar 2.19b)
- c. Seat-integrated loudspeaker system (gambar 2.19c)
- d. Coloum loudspeaker system (gambar 2.19d)

a.



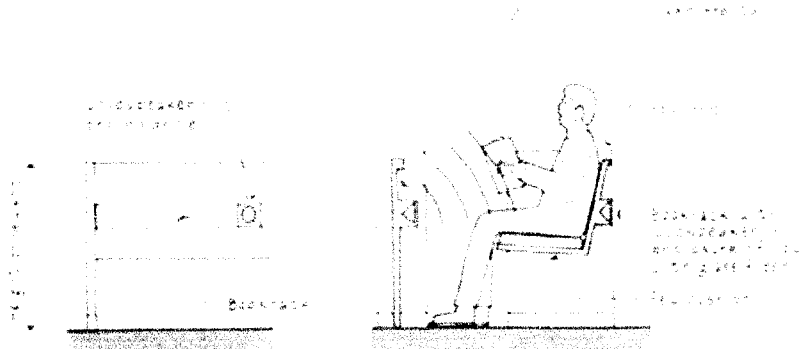
Sumber : Leslie L. Doelle, *Akustik Lingkungan*, Erlangga, 1993

b.



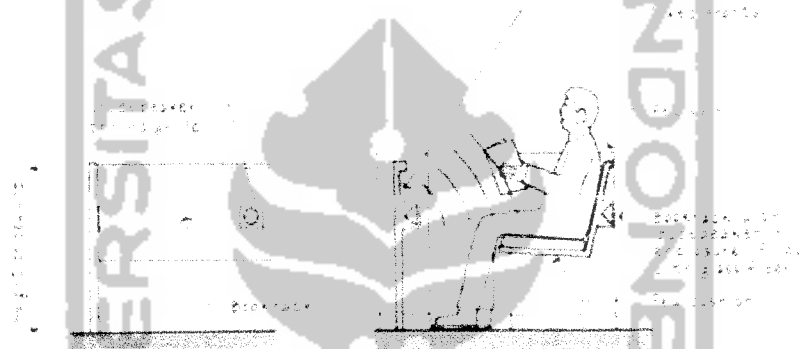
Sumber : Leslie L. Doelle, *Akustik Lingkungan*, Erlangga, 1993

c.



Sumber : M. David Egan, *Arstitectural Acoustic*,1988

d.



Sumber : M. David Egan, *Arstitectural Acoustic*,1988

Gambar 2.19

- a. Central loudspeaker ; b. Distributed loudspeaker ;
- c. Seat-integrate loudspeaker ; d. Coloum loudspeaker

II.5.3 Hubungan Antara Kecepatan, Jarak dan Penempatan Sistem Tata Suara

Untuk menemukan jarak loudspeaker yang tidak menyebabkan echo (gambar 2.20) dapat digunakan rumus :

$$\text{Signal Delay} = \text{Distance} : \text{Velocity}$$

Sebagai contoh :

- Jarak pendengar dari central LS = 80 m
- Jarak pendengar dari cone LS = 8 m
- Standart kecepatan suara elektronis dalam ruang = 11330 ft/s

Masuk ke rumus :

$$\begin{aligned}\text{Signal Delay} &= \text{Distance} : \text{Velocity} \\ &= (80 - 8) : 11330 \\ &= 64 \text{ ms}\end{aligned}$$



Sumber : M. David Egan, *Arsitektural Acoustic*, 1988

Gambar 2.20
Jarak loudspeaker yang tidak menyebabkan echo

Sistem tata suara terdistribusi ini dapat di hubungkan dengan jarak pendengar yakni sebaran loudspeaker harus memungkinkan suara yang muncul overlap (gambar 2.21)

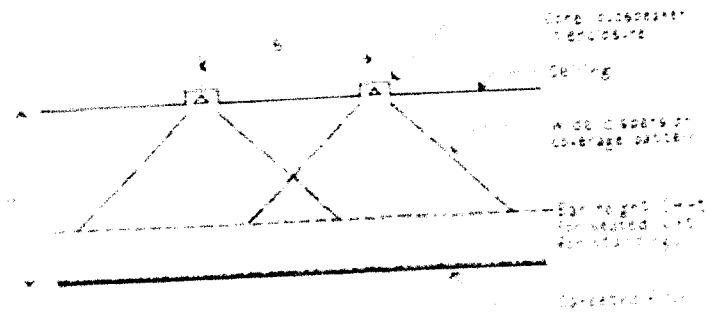
$$S = 1.4 (H - 4) \text{ Untuk pendengar duduk}$$

$$S = 1.6 (H - 6) \text{ Untuk pendengar berdiri}$$

Dimana :

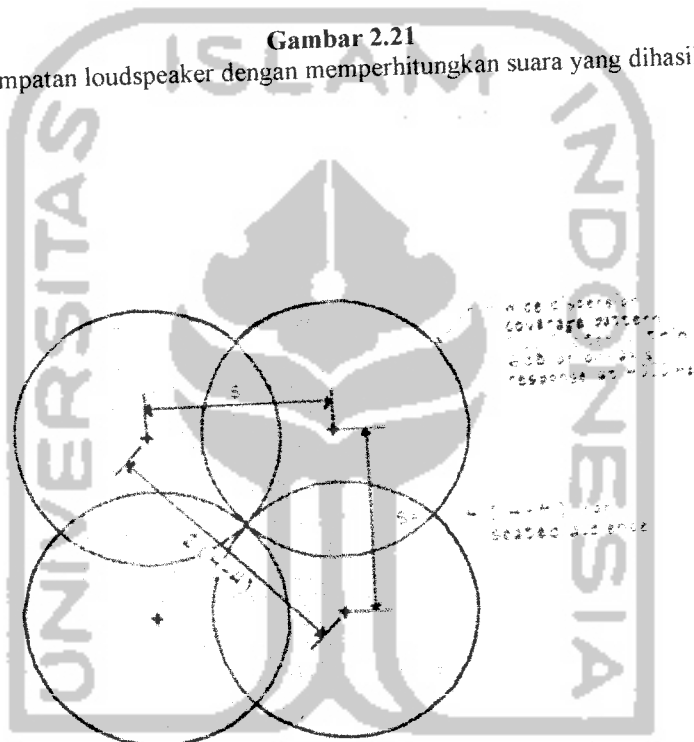
S = Jarak antara loudspeaker (ft)

H = Tinggi antara lantai dengan langit-langit (ft)



Sumber : M. David Egan, *Arsitectural Acoustic*,1988

Gambar 2.21
Penempatan loudspeaker dengan memperhitungkan suara yang dihasilkan



Sumber : M. David Egan, *Arsitectural Acoustic*,1988

Gambar 2.22
Pola penyebaran gelombang suara loudspeaker

II.6 Hasil Penelitian Terdahulu

Berdasarkan pada penelitian sebelumnya (Syam Hidayat,2002) diketahui bahwa kondisi akustik pada ruang kuliah di Fakultas tehnik sipil dan Perencanaan di Universitas Islam Indonesia pada umumnya kurang memenuhi standar yang

ideal untuk menjamin terciptanya kondisi kenyamanan audio yang dapat mendukung lancarnya proses belajar mengajar.

Pada hasil penelitian sebelumnya menyimpulkan bahwa dimana kondisi ruang kuliah tidak dapat memberikan suatu kenyamanan audio, hal ini disebabkan banyaknya terjadi cacat akustik didalam ruang kelas karena tidak tertata secara baik sistem akustik, bentuk dan tata ruang kurang bagus, tidak terdapatnya panel atau elemen akustik yang mendukung, kebisingan yang tinggi serta *inteligibilitas* pembicaraan yang kurang bagus.

Dalam penelitian yang lalu pengambilan data-data kondisi kenyamanan ruang kelas diambil dengan melakukan pengukuran tingkat penyebaran bunyi dengan menggunakan alat sound level meter, panel dan elemen akustik, kebisingan, analisa arah pantulan dan sumber suara serta dibantu dengan kuisioner.

Data-data tersebut diambil dalam berbagai kondisi akustik sehingga didapatkan hasil nilai pengukuran yang berbeda-beda, selain itu juga pengukuran di dalam ruang kelas dilakukan di berbagai titik-titik didalam ruang kelas. Hal ini dilakukan untuk melihat kondisi penyebaran suara didalam kelas.

Hasil data-data pengukuran tersebut serta hasil kuisioner dapat kita lihat dibawah ini :

a. Data Hasil Pengukuran

Pengukuran pada kondisi ini dilakukan pada beberapa titik dalam ruang kelas serta pada saat ruang terdapat audiens, hal ini dilakukan untuk mengetahui tingkat penyebaran suara, pengaruh penyerapan pada audiens, intensitas suara, tingkat kebisingan.

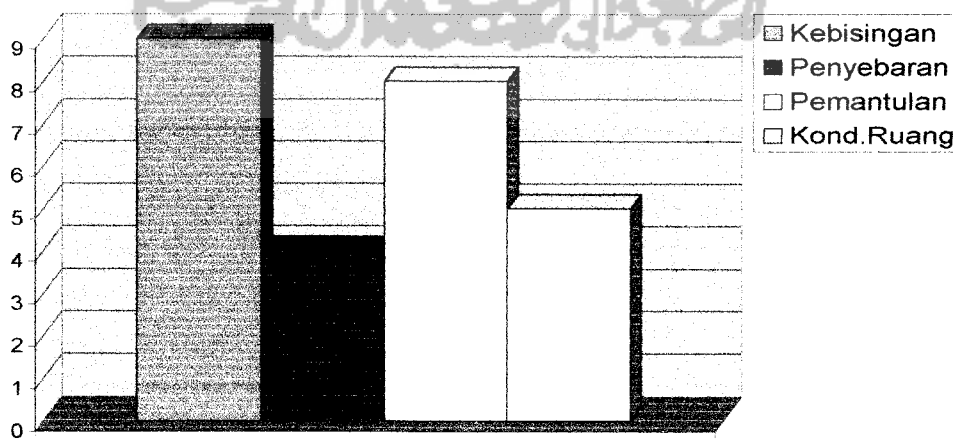
Dari hasil data pengukuran untuk kondisi yang berbeda-beda maka dapat dilihat bahwa penyebaran suara didalam kelas belum merata, intensitas suara tidak stabil dimana ringnya terlalu lebar pada level antara 70 db – 90 db, pengaruh penyerapan audiens belum begitu maksimal sehingga tingkat pemantulan suara yang berlebihan dan bising yang tinggi kurang dapat teratasi, kebisingan yang tinggi baik dari dalam ruangan itu sendiri maupun dari luar ruangan masih tinggi,

Untuk mempermudah melihat hasil dari pengukuran ini secara umum dapat kita jabarkan dengan pemberian kategori nilai 1- 10 dimana pembagian kategori nilai dapat dibuat sebagai berikut :

1. Untuk kebisingan, nilai 10 berarti kebisingan tinggi.
2. Untuk penyebaran suara, nilai 10 berarti penyebaran suara bagus.
3. Untuk pemantulan, nilai 10 berarti pemantulan berlebihan/ jelek.
4. Untuk kondisi ruang secara umum, nilai 10 berarti kondisi ruang baik.

Berdasar kategori diatas maka kita dapat melihat tabel kualitas ruang kelas secara umum berdasarkan hasil data pengukuran, yaitu :

Tabel 2.5

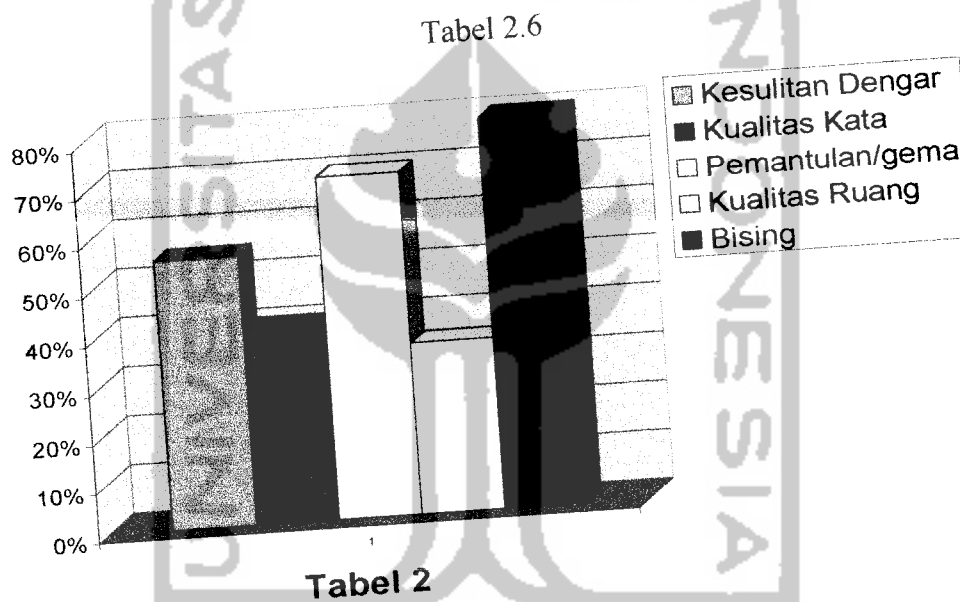


Tabel 1

b. Data Hasil Kuisioner

Data hasil penyebaran kuisioner yang dibagikan dengan jumlah responden 40 orang dimana responden diambil dari mahasiswa T. Arsitektur dan mahasiswa T. Lingkungan. Adapun hasil kuisioner yang didapat yaitu :

Berdasarkan hasil data kuisioner maka diperoleh data-data bahwa kondisi ruang berdasarkan penilaian audiens masih kurang untuk menjamin kondisi kenyamanan audio, dapat dilihat tabel hasil kuisioner dibawah ini :



Namun hasil dari penelitian terdahulu ini hanya sampai memberikan saran perbaikan pada kondisi ruang kuliah yang telah ada, sehingga solusi yang diberikan kurang begitu maksimal untuk pencapaian kondisi ideal kenyamanan audio, selain itu juga belum memberikan solusi rekomendasi model yang dapat menjadi suatu acuan untuk menjamin terciptanya kenyamanan audio pada ruang kuliah. Selain itu penelitian ini hanya pada lingkungan khusus FTSP saja belum pada lingkungan UII secara keseluruhan.