

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **II.1. Akustik Ruang**

##### **II.1.1. Perilaku Suara Dalam Ruang(Barron, 1993).**

Ketika suara mulai dibunyikan, energi suara menyebar ke berbagai arah. Pada suatu titik tertentu, terukur intensitas suara meningkat sesuai suara yang datang langsung dari sumber suara dan kemudian meningkat kembali secara perlahan dengan suara pantul yang datang hingga intensitas suara total tercapai. Ketika sumber suara dimatikan, maka intensitas suara menurun sesuai energi suara yang hilang dari suara langsung dan berkurang secara perlahan sesuai energi suara yang berkurang yang datang secara pantul. Perilaku perjalanan suara yang kompleks sangat dipengaruhi oleh karakteristik bidang ruang. (Barron, 1993).

Suara mengalir dengan kecepatan 343,7 m/s pada suhu udara 20 Derajat Celcius dan pada keadaan langsung suara diterima oleh pendengar dalam waktu antara 0,01 sampai 0,2 detik. Kemudian suara pantul yang paling awal datang secara tipikal dalam jangka waktu 0,05 sekon (50 milisekon). Energi suara yang datang berikutnya sudah melemah, *amplitude* mengecil dan dikenal dengan istilah *reverberant sound* atau *late reflections*. (Barron, 1993).

##### **II.1.2. Analisa Matematis Waktu Dengung**

Penurunan tingkat suara biasa dikenal dengan istilah waktu dengung (*reverberation time*). Penurunan tingkat suara baik terjadi pada suara langsung yang terpengaruh oleh jarak (energi suara yang terserap oleh udara), maupun hasil dari multi refleksi suara yang mengandung fungsi penyerapan dan pemantulan. Di dalam ruang tertutup besar waktu dengung berbanding lurus dengan volume ruang dan berbanding terbalik dengan luas bidang serap (luas bidang dikalikan koefisien serap bahan). Untuk ruang yang sangat besar dan

panjang, waktu dengung lebih dipengaruhi oleh jarak (*distance*) daripada efek pantul (*depth*). (Barron, 1993).

Tiga rumus perhitungan waktu dengung yang biasa digunakan dalam analisa akustik adalah rumus Sabine, Eyring dan Millington. Rumus Sabine dan Eyring diformulakan berdasarkan pada asumsi bidang-bidang ruang yang bias menghasilkan penyebaran yang merata (*diffuse reverb field*). Formula Sabine lebih sederhana dari formula Eyring, dan lebih akurat untuk nilai absorpsi kurang dari 0,2 (20%) serta cocok diterapkan pada sebagian besar jenis ruang. Penggunaan rumus-rumus di atas dimaksudkan agar peningkatan ukuran ruang, meningkatkan waktu dengung secara proporsional apabila koefisien serap tetap. Kesalahan akurasi perhitungan yang banyak terjadi bidang-bidang di dalam ruang didesain terdiri dari berbagai macam bahan yang berbeda koefisien serap, atau bentuk ruang yang ekstrem menyebabkan pantulan yang kompleks. Apabila dua bidang berparalel rapat, sebagai contoh dua dinding samping yang berhadapan, menyebabkan refleksi berulang yang cepat, biasa dikenal dengan *flutter echo*. Formula Millington Sette juga berdasarkan asumsi yang sama dengan kedua rumus lain, tetapi pendekatan perhitungan koefisien serap dilakukan dengan mempertimbangkan runtutan refleksi pada setiap bidang ruang. (Barron, 1993). Ringkasan pada **Tabel 2.1** dibawah:

**Tabel 2.1.** Rumus atau formula perhitungan waktu dengung

	Sabine	Millington	Eyring
Absorption coefficients	$\bar{\alpha} < 0.2$	$\bar{\alpha} \geq 0.2$ and $\alpha_{i,f}$ do not $\rightarrow 1$	$\bar{\alpha} \geq 0.2$
Equivalent area of the boundaries $A_f^{bound}$	$\sum_i^{bound} (S_i \cdot \alpha_{i,f})$	$\sum_i^{bound} \left( S_i \cdot \ln \left( \frac{1}{1 - \alpha_{i,f}} \right) \right)$	$-S \cdot \ln \left\{ 1 - \sum_i \frac{S_i \cdot \alpha_{i,f}}{S} \right\}$
where	$S_i$ area of surface $i$ [ $m^2$ ] $\alpha_{i,f}$ Sabine absorption coefficient of surface $i$ at frequency $f$		

Secara terperinci diuraikan seperti dibawah:

**a. Sabine Formula**

Koefisien serap (*absorbtion Coeficient*),  $\alpha$  ditentukan:

$$\bar{\alpha} = \frac{A}{S}$$

dimana

$A$  = total serapan dalam satuan luas[m<sup>2</sup>]

$S$  = total luas bidang [m<sup>2</sup>]

.....(Rumus II.1)

Waktu dengung dihitung dengan rumus:

$$T = \frac{0.161V}{S\bar{\alpha}}$$

dimana

$V$  = volume ruang [m<sup>3</sup>]

$$RT = \frac{(0.161V)}{A}$$

.....(Rumus II.2)

**b. Norris Eyring Formula**

untuk T ini memberi:

$$T = \frac{0.161V}{-S \ln(1 - \bar{\alpha}_E)}$$

$$RT = \frac{(0.161V)}{-S \ln(1 - a)}$$

dimana  $S$  adalah total area (m<sup>2</sup>) dan  $a$  adalah koefisien serap rata-rata

.....(Rumus II.3)

**c. Millington-Sette Formula**

$$T = \frac{0.161V}{-\sum_i S_i \ln(1 - \alpha_{Ei})}$$

Catatan : jika nilai  $\alpha_{Ei}$  sama dengan 1 T akan sama dengan 0.

$$RT = \frac{(0.161V)}{-\sum_i S_i \ln(1 - ai)}$$

dimana  $S$  adalah total area (m<sup>2</sup>) dan  $a$  adalah koefisien serap rata-rata.

.....(Rumus II.4)

Untuk menggambarkan perilaku akustik pada ruangan, besar waktu dengung ruangan diukur berdasarkan waktu yang dibutuhkan untuk penurunan tingkat intensitas suara sebesar 10 dB atau *early decay time* (EDT). Penurunan tingkat intensitas suara juga ditunjukkan dari kecepatan penurunan (*decay rate*). Tingkat penurunan energi suara atau *decay rate* dihitung dengan nilai RT60 dengan cara berikut (Everest, 1988).

$$Decay\ rate = \frac{60(dB)}{RT60} \text{ (dB/det)} \dots\dots\dots(Rumus\ II.5)$$

Waktu dengung yang panjang atau *decay rate* yang lambat sesuai untuk ruang musik untuk memberikan kesan lebih hidup. Ruang pidato menuntut kejelasan bicara (*speech intelligibility*) mensyaratkan waktu dengung yang pendek atau *decay rate* yang cepat.

## II.2. Parameter Akustik Ruang

Faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas suara di dalam ruang seperti faktor keras suara (*loudness*), kejelasan suara (*clarity*) dan kehidupan suara (*liveness*).Setiap aktifitas di dalam ruang yang berkaitan dengan suara, membutuhkan karakteristik akustik ruang yang berbeda dan spesifik.Ketiga faktor diatas harus diatur sesuai fungsi pemakaian dari ruang yang dirancang.Setiap kegiatan yang berlangsung mensyaratkan nilai-nilai optimum yang dibutuhkan seperti pada pidato, kebutuhan *loudness* dan *liveness* menjadi lebih disyaratkan.Kekerasan suara ditentukan pertama kali oleh kuat sinyal sumber suara (*sound intensity* dan *pressure*) yang dihasilkan dari tingkat vibrasi yang tinggi (*high reverberant level*).Pada sumber suara alami (suara manusia) yang dihasilkan oleh usaha berbicara (*vocal effort*) dan dibatasi oleh mekanisme suara manusia, suara yang masuk ke telinga pendengar kemudian juga dipengaruhi oleh faktor kebisingan (*noise*).Apabila sinyal bicara lebih keras daripada suara pengganggu, maka suara aslitetap terdengar dengan baik (*intelligible*), namun terkadang jugamenciptakan tegangan suara (*voice stress*) apabila suara kebisingan cukup kuat dan berinteraksi. Untuk memastikan

kejelasan suara (*clarity*) atau kejelasan pidato (*speech intelligibility*), mengatur *ambient noise* yang rendah menjadi lebih efektif daripada menambah keras suara. Untuk ruang kuliah tanpa penguat suara, gereja, maupun *conference room*, tingkat kebisingan yang diijinkan adalah tidak melebihi 25 dB.(Cowan, 2000).

Berbicara di dalam ruang menghasilkan kombinasi suara langsung dan tak langsung. Dengan komposisi bidang-bidang ruang yang bervariasi sesuai rancangan ruang, suara berpantul berulang dan menyebabkan suara datang ke pendengar dengan jangka waktu yang berbeda-beda. Ada yang segera terdengar, namun ada pula yang datang terlambat. Ketepatan kedatangan suara pantul menguatkan dan menambah kejelasan suara sesuai tipe akustika (*audible stream type*) yang diinginkan. Pada kegiatan pidato, suara pantul yang datang sangat cepat yang kurang dari 0,05 detik, meningkatkan *speech level* dan *speech intelligibility* dan apabila lebih lambat mengaburkan suara (*blurr*). Pada kegiatan bermain musik yang memiliki range *audible* lebih luas (20 hz sampai 20 Khz), membutuhkan suara pantul yang lebih lambat untuk menjaga kontinuitas suara dan 'kehidupan suara' (*liveness*). Suara musik yang patah-patah (*brittleness and dryness*) karena waktu dengung yang pendek, mengganggu keindahan alunan dan irama suara.(Cox, 2004).

Kriteria yang biasa dipakai untuk mengukur kualitas akustik ruang ruang seminar atau pidato adalah parameter subjektif dan objektif. Parameter subjektif lebih banyak ditentukan oleh persepsi individu, berupa penilaian terhadap seorang pembicara oleh pendengar dengan nilai indeks antara 0 sampai 10. Parameter subjektif meliputi *intimacy*, *spaciousness* atau *envelopment*, *fullness*, dan *overall impressions* yang biasa dipakai untuk akustik teater dan *concert hall*. Parameter memiliki banyak kelemahan karena persepsi masing-masing individu memberikan penilaian yang berbeda-beda sesuai dengan latar belakang individu, sehingga diperlukan metoda pengukuran yang lebih objektif dan bersifat analitis seperti bising latar belakang (*background noise*), distribusi Tingkat Tekanan Bunyi (TTB), RT

(*Reverberation Time*), EDT (*Early Decay Time*), D50 (*Deutlichkeit*), C50, C80 (*Clarity*), dan TS (*Centre Time*). (Doelle, 1972).

### **II.2.1. Tingkat Bising Latar Belakang (*Background Noise Level*). (Menurut *Environmental Acoustic*, L Leslie Doelle, 1972)**

Dalam setiap ruangan, dirasakan atau tidak, selalu ada suara yang menjadi dasar pengertian tentang ada bising latar belakang (*backgroundnoise*). Bising latar belakang didefinisikan sebagai suara yang berasal bukan dari sumber suara utama atau suara yang tidak diinginkan. Dalam suatu ruang tertutup seperti ruang seminar atau pidato maka bising latar belakang dihasilkan oleh peralatan mekanikal atau elektrik di dalam ruang seperti pendingin udara (*airconditioning*), kipas angin. Demikian pula, kebisingan yang datang dari luar ruangan, seperti bising lalu lintas di jalan raya, bising di area parkir kendaraan. Bising latar belakang tidak bisa dihilangkan seluruhnya, tetapi bisa dikurangi atau diturunkan melalui serangkaian perlakuan akustik terhadap ruangan. Besaran bising latar belakang ruang bisa diketahui melalui pengukuran Tingkat Tekanan Bunyi (TTB) di dalam ruangan pada rentang frekuensi tengah pita oktaf antara 63 Hz sampai dengan 8 kHz, dimana hasil pengukuran digunakan untuk menentukan kriteria kebisingan ruang dengan cara dipetakan pada kurva kriteria kebisingan (*Noise Criteria – NC*). (Doelle, 1972).

### **II.2.2. Distribusi Tingkat Tekanan Bunyi (Menurut Neubauer, 2000)**

Salah satu tujuan dalam mendesain ruang seminar atau pidato adalah mencapai suatu tingkat kejelasan yang tinggi sehingga diharapkan agar setiap pendengar pada semua posisi menerima tingkat tekanan bunyi yang sama. Suara yang dipancarkan oleh pembicara atau pemusik diupayakan menyebar merata dalam auditorium, agar para pendengar dengan posisi yang berbeda-beda dalam auditorium memiliki penangkapan dan pemahaman yang sama tentang informasi yang disampaikan oleh pembicara maupun pemusik. Syarat agar pendengar menangkap informasi yang disampaikan meskipun dalam

posisi berbeda adalah selisih antara tingkat tekanan bunyi terjauh dan terdekat tidak lebih dari 6 dB. Jika dalam suatu ruangan yang relatif kecil di mana sumber bunyi dengan tingkat suara yang normal mampu menjangkau pendengar terjauh, maka dipastikan bahwa distribusi tingkat tekanan bunyi dalam ruangan merata.(Neubauer, 2000).

### **II.2.3. Respon Impuls Ruang**

#### **a. Waktu Dengung (*Reverberation Time*)**

Parameter yang sangat berpengaruh dalam desain akustik ruang seminar atau pidato adalah waktu dengung (*Reverberation Time*). Waktu dengung tetap dianggap sebagai kriteria paling penting dalam menentukan kualitas akustik suatu ruang seminar atau pidato. Dalam geometri akustik disebutkan bahwa bunyi juga mengalami pantulan jika mengenai permukaan yang keras, tegar, dan rata, seperti plesteran, batu bata, beton, atau kaca. Selain bunyi langsung, muncul pula bunyi yang berasal dari pantulan. Bunyi yang berkepanjangan akibat pemantulan permukaan yang berulang-ulang disebut dengung. Suatu energi suara untuk meluruh hingga sebesar sepersejuta dari energi awal, yaitu sebesar 60 dB.(Vigran, 2008).

Sabine (1993) mendefinisikan waktu dengung yaitu durasi waktu terjadi dengung di dalam ruangan yang masih terdengar. Dalam perkembangan, waktu dengung tidak hanya didasarkan pada peluruhan 60 dB saja, tetapi juga pada pengaruh suara langsung dan pantulan awal (EDT) atau peluruhan-peluruhan yang terjadi kurang dari 60 dB, seperti 15 dB (RT15), 20 dB (RT20), dan 30 dB (RT30). Waktu dengung (*Reverberation Time*) sangat menentukan dalam mengukur tingkat kejelasan pidato (*speech intelligibility*). Auditorium yang memiliki waktu dengung terlalu panjang menyebabkan penurunan *speech intelligibility*, karena suara langsung masih sangat dipengaruhi oleh suara pantul. Sedangkan auditorium dengan waktu dengung terlalu pendek mengesankan ruangan “mati”.

**b. EDT (*Early Decay Time*)(Sieben, 2000).**

EDT atau *Early Decay Time* yang diperkenalkan oleh V. Jordan yaitu perhitungan waktu dengung (RT) yang didasarkan pada pengaruh bunyi awal yaitu bunyi langsung dan pantulan-pantulan awal yaitu waktu yang diperlukan Tingkat Tekanan Bunyi (TTB) untuk meluruh sebesar 10 dB. Pengukuran EDT disarankan untuk menghitung parameter subjektif seperti *reverberance*, *clarity*, dan *impression*. (Sieben, 2000).

**c. *Definition* atau *Deutlichkeit* ( a time window of 50 ms), D50 (Sieben, 2000).**

*Definition* merupakan kemampuan pendengar membedakan suara dari masing-masing alat musik dalam pertunjukan musik pada kondisi transien, nada dasar dan harmonik alat musik mulai terbentuk sehingga kemungkinan terjadi variasi spektrum.*Definition* juga merupakan kriteria dalam penentuan kejelasan pembicaraan dalam suatu ruangan dengan cara memanfaatkan konsep perbandingan energi yang termanfaatkan dengan energi suara total dalam ruangan. D50 merupakan rasio antara energi yang diterima pada 50 ms pertama dengan total energi yang diterima. Durasi 50 ms disebut juga batas kejelasan *speech* yang diterima. Semakin besar nilai D50 maka semakin baik pula tingkat kejelasan pembicaraan, karena semakin banyak energi suara yang termanfaatkan dalam waktu 50 ms. *Inteligibilitas* atau kejelasan yang baik didapatkan untuk harga D50 >0%. (Sieben, 2000). Adapun kategori penilaian bagi *speechintelligibility* berdasarkan D50 diukur sepertipada**Tabel 2.2.**

**Tabel 2.2.**Kategori penilaian *Speech Intelligibility* berdasarkan D50

<b>D50 (%)</b>	<b>SI (%)</b>	<b>Kategori</b>
<b>0 – 20</b>	<b>0 – 60</b>	Sangat buruk
<b>20 – 30</b>	<b>60 – 80</b>	Buruk
<b>30 – 45</b>	<b>80 – 90</b>	Cukup / Sedang
<b>45 – 70</b>	<b>90 – 97,5</b>	Bagus
<b>70 - 80</b>	<b>97,5 – 100</b>	Sangat bagus

**d. Clarity atau Klarheitsmass (C50 ; C80) (Vigran, 2008)**

*Clarity* diukur dengan membandingkan antara energi suara yang termanfaatkan (yang datang sekitar 0.05 – 0.08 detik pertama setelah suara langsung) dengan suara pantulan yang datang kemudian, dengan mengacu pada asumsi bahwa suara yang ditangkap pendengar dalam percakapan adalah antara 50-80 ms (mili sekon) dan suara yang datang kemudian dianggap suara yang merusak. Semakin tinggi nilai C50, maka semakin pendek waktu dengung. Tingkat kejelasan pembicaraan bernilai baik jika C50 lebih kecil atau sama dengan -2 dB. C80 merupakan rasio dalam dB antara energi yang diterima pada 80 ms pertama dari signal yang diterima dan energi yang diterima kemudian. Batas C80 ditujukan untuk kejelasan pada musik. Nilai C80 adalah nilai parameter yang terukur lebih dari 80 ms, semakin tinggi nilai C80 maka suara semakin tidak bagus. (Vigran, 2008).

**e. TS (Centre Time) (Ribeiro, 2002)**

TS merupakan waktu tengah antara suara datang (*direct*) dan suara pantul (*early to late*), semakin tinggi nilai TS maka kejernihan suara semakin buruk. TS merupakan titik dimana energi diterima sebelum titik seimbang dengan energi yang diterima sesudah titik TS. TS sebagai pengukur sejauh mana kejelasan suara diterima oleh pendengar, di mana semakin rendah nilai TS semakin jelas suara yang diterima. Parameter objektif berupa respon impuls ruang yang meliputi waktu dengung (*Reverberation Time*), waktu peluruhan (*Early Decay Time*), D50 (*Definition*), C50, C80 (*Clarity*) dan TS (*Centre Time*) memiliki standar besaran optimum tertentu yang perlu diperhatikan pada **Tabel 2.3**. (Ribeiro, 2002).

**Tabel 2.3.**Nilai optimum parameter akustik sesuai fungsi ruang

<i>Accoustical Parameters</i>	<i>Conference</i>	<i>Music</i>
<i>Reverberation Time (RTmid,s)</i>	0.85<RTmid<1.30	1.30<RTmid<1.83
<i>Early Decay Time (EDT,s)</i>	0.648<EDTmid≤0.81	1.04<EDTmid≤1.76
<i>Definition (D,%)</i>	≥65	-
<i>Clarity (C<sub>50</sub>, C<sub>80</sub>, dB)</i>	C <sub>50</sub> >6	-2<C <sub>80</sub> <4
<i>Centre Time (TS, ms)</i>	<80	<80

**Tabel 2.4.** Standar nilai parameter akustik.

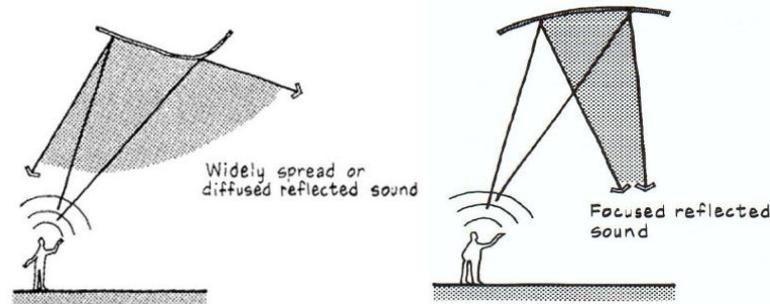
<i>Parameter</i>	<i>Min</i>	<i>Step</i>	<i>Max</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
D-50	10	10	90	%	<i>i.e. ranges: &lt;10, 10-20,...,80-90,&gt;90</i>
C-50	-10	1	10	dB	
C-80	-10	1	10	dB	
LF	5	5	50	%	<i>See example above</i>
SPL	Max -20	1	Max	dB	<i>Top 20 dBs are divided in 1 dB step</i>
G	Max-20	1	Max	dB	<i>See SPL</i>
RT'	Min	0,1	Max	S	
Ts	min	0.1	Max	Ms	
RASTI	30	15	75	%	<i>i.e.: &lt;30,30-45,45-60,60-75,&gt;75 *)</i>
STI user	30	15	75	%	<i>See RASTI</i>

\*) *Corresponds to the BAD, POOR, FAIR, GOOD, and EXCELLENT ranges.*

#### **II.2.4. Efek Geometri Ruang Terhadap Akustik(Templeton, 1996)**

Geometri ruang memegang peranan penting dalam mengatur waktu dengung.Penjalanan suara (*sound path*) di dalam ruang menghasilkan panjang suara yang dipengaruhi olehsuara yang terpantul berulang dan nilai penyerapan energi yang terjadi.Energi suara merupakan energi gelombang yang merambat melalui udara dan bergerak dengan perilaku sesuai hukum-hukum gerak gelombang. Apabila suatu ruang diasumsikan lebih besar dari panjang gelombang suara yang terjadi, maka perilaku *sound path* menyerupai cahaya yang bergerak di dalam ruang optik. *Sound path*bergerak lurus dan membentur bidang pelingkup serta terpantul sesuai hukum pemantulan

gelombang cahaya. Sudut datang energi suara terhadap garis normal sama dengan sudut pantul terhadap garis normal yang sama. Demikian pula bila bidang pantul berbentuk kurva lengkung, maka mengakibatkan energi suara tersebar (bila bentuk cembung atau *convex*) dan memusat (bila bentuk cekung atau *concave*) lebih jelas pada **Gambar 2.1.**(Templeton, 1996)



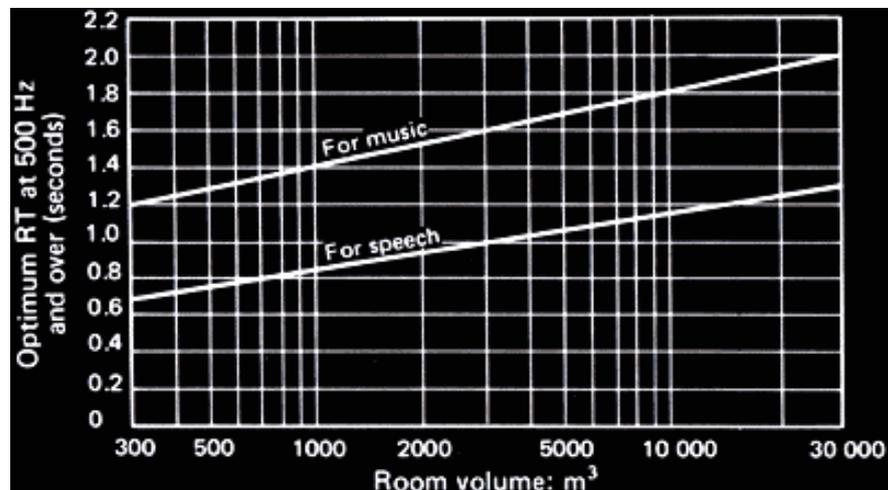
**Gambar 2.1.**(a) Bidang pantul cekung, (b) Bidang pantul cembung.  
(Sumber:Duncan Templeton. 1996. *Detailing for Acoustic*, Van Nostrand Reinhold)

Ukuran ruang audio dilihat dalam dua klasifikasi, dimensi ruang (panjang, lebar dan tinggi) dan dimensi volume (kubik).Dimensi dari ruang lebih berpengaruh pada ukuran dan posisi bidang, mempengaruhi perjalanan suara, pemantulan dan penyerapan serta posisi sumber suara dan pendengar.Ruang diasumsikan sebagai kompleks resonator, sehingga karakteristik frekuensi suara pantul bergantung pada bentuk dan ukuran, sedangkan nilai serap suara dipengaruhi oleh karakteristik bahan (*boundary condition*).Pada ruang dengan dimensi yang besar (secara diagonal), mendukung penciptaan suara resonansi frekuensi rendah.Sedangkan dari segi volume,lebih berpengaruh pada pemenuhan ruang dengan energi suara yang berefek pada kekerasan suara (*loudness - sound pressure*). (Neubauer, 2000).

Pada ruang dengan volume yang besar, sumber suara alami manusia relatif sulit untuk memenuhi ruangan, sehingga biasa dicapai dengan sumber suara buatan dari *loudspeaker*.Selain itu volume ruang juga dipertimbangkan sebagai pendekatan awal perancangan waktu dengung.Formula perhitungan waktu dengung yang ada semua berhubungan dengan fungsi volume ruang.Pengembangan lebih lanjut dengan memperhatikan efek jumlah pengguna yang termasuk dalam faktor penyerap bunyi. Volume

dispesifikasikan dengan volume setiap orang. Untuk memperoleh pendekatan desain waktu dengung yang lebih ideal, maka ruang untuk fungsi pidato dicapai dengan nilai minimal 2,3 m<sup>3</sup>, ideal optimal pada 3,1 m<sup>3</sup> dan maksimum pada 4,3 m<sup>3</sup> per orang. (Neubauer, 2000).

Mengatur bidang-bidang ruang juga merupakan salah satu cara untuk meningkatkan kualitas akustik ruang. Tata letak bidang-bidang ruang harus diatur sedemikian rupa sebagai suatu fungsi pemantul suara (*reflector*) dan penyerap suara (*absorber*). Keteraturan geometri ruang, meniadakan bentuk-bentuk bidang pemusat (cekung - *convex*), dan penyebaran bidang pantul, serap, selain itu juga pengaturan objek pemecah suara menjadi syarat untuk menciptakan distribusi intensitas suara yang merata (*diffuse*). (Neubauer, 2000).



**Gambar 2.2.** Waktu dengung optimum berdasarkan volume ruang.  
(Sumber: [http://www.kemt.fei.tuke.sk/Predmety/KEMT320\\_EA/\\_web/Online\\_Course\\_on\\_Acoustics/index-2.html](http://www.kemt.fei.tuke.sk/Predmety/KEMT320_EA/_web/Online_Course_on_Acoustics/index-2.html))

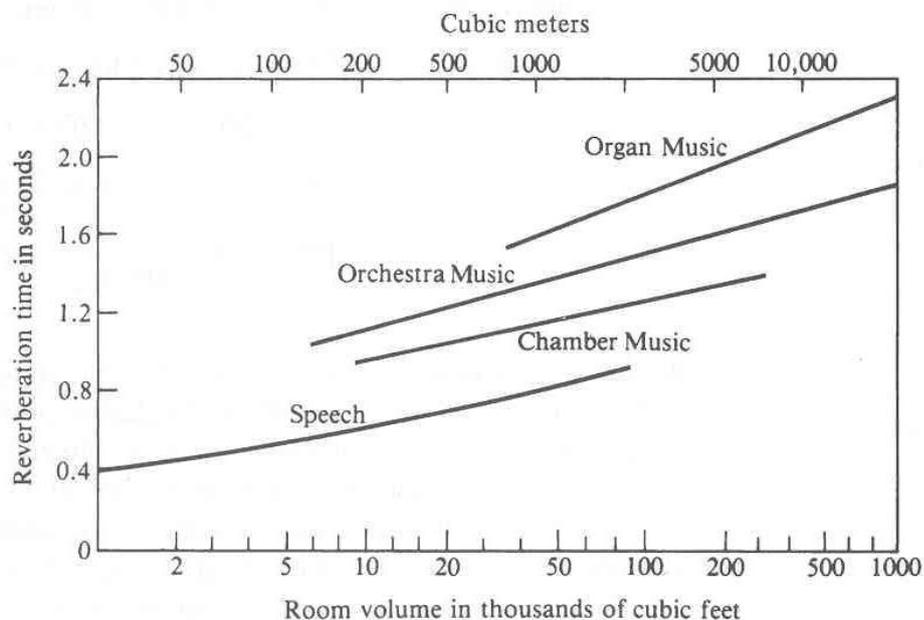
Mengharapkan suara yang merata dan didukung dengan suara pantul yang datang dengan waktu tempuh yang cepat, menuntut penempatan bidang-bidang pantul atau serap yang tepat pula, untuk mengatur panjang dan pendek garis suara dan jumlah pantulan suara. Berdasarkan pertimbangan pantulan suara, efek faktor geometri menjadi penting dalam efektifitas pengaturan waktu dengung. (Neubauer, 2000).

### II.3. Perancangan Ruang Auditorium Fungsi Pidato (Mehta, 1999)

Untuk ruang auditorium yang lebih diprioritaskan untuk pidato (*speech*), maka faktor *speech intelligibility* yang baik untuk seluruh pendengar secara merata adalah tujuan utama perancangan akustika. Pengucapan kata dan artikulasi yang terdengar secara jelas dan terpisah dengan baik serta tidak terjadi pengucapan kata yang kabur dari suara yang didengar. Untuk mencapai kejelasan dalam pengucapan kata dalam pidato, Mehta dkk (1999), menyebutkan lima persyaratan dalam perancangan akustik ruang untuk fungsi pidato, yakni:

- Menciptakan waktu dengung secara optimal untuk pidato,
- Mengurangi kerusakan akustik,
- Memaksimalkan tingkat kekerasan suara,
- Meminimalkan tingkat kebisingan di dalam ruangan,
- Menyediakan sistem penguat suara jika diperlukan.

Waktu dengung yang optimal untuk ruang pidato adalah 0,5 – 1,0 detik pada frekuensi menengah (**Gambar 2.3**) dan tidaknaik banyak untuk frekuensi rendah.



**Gambar 2.3.** Waktu dengung optimum untuk beberapa fungsi ruang berdasarkan volume ruang (Mehta, 1999).

Waktu dengung optimum mudah dicapai dengan menciptakan suara pantul awal yang pendek dengan pengaturan koefisien penyerap suara pada bidang ruangan atau dengan menambahkan volume ruangan. Besar koefisien serap rata-rata adalah untuk suara pada frekuensi 250, 500, 1000, dan 2000 Hertz. Koefisien penyerap suara sering disebut sebagai *Noise Reduction Coefficient* (NRC). Mehta (1999).

Panjang ruangan mempengaruhi kejelasan pidato. Mehta (1999) menyebutkan jarak maksimum antara pembicara dengan pendengar pada auditorium adalah 25 meter. Ruangan berbentuk kipas adalah bentuk yang biasa digunakan untuk auditorium, karena mampu menampung banyak pendengar dengan tetap menjaga jarak maksimal pembicara ke pendengar. Jika ruangan harus berbentuk persegi, maka cara lain membuat bidang miring pada sisi kiri dan kanan ruangan. Kemiringan bidang yang disarankan adalah sebesar 35 hingga 65 derajat (Mehta, 1999).

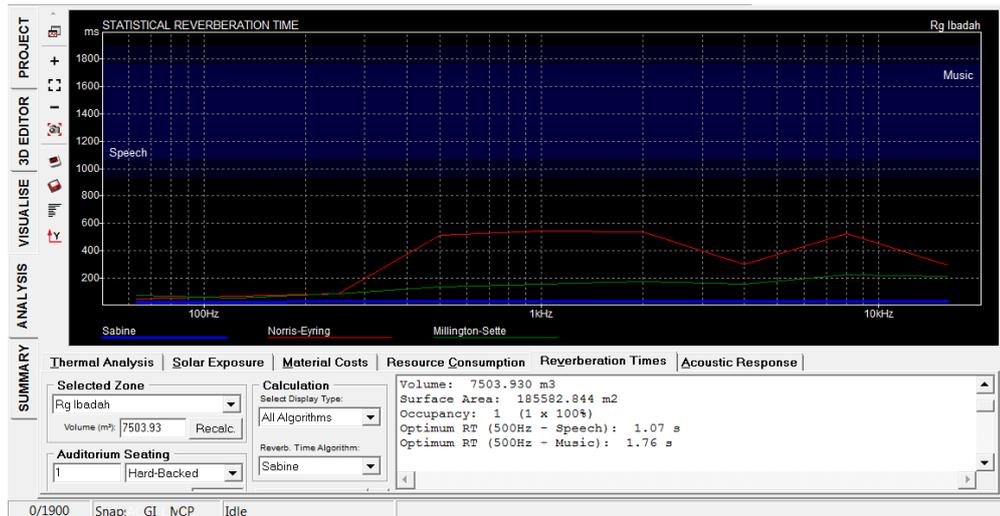
#### **II.4. Ecotect sebagai Program Simulasi Performa Bangunan (Ecotect v.5.5 Help Document, 2003)**

*Ecotect* adalah *packaged software* dengan pendekatan *environment* yang unik untuk perancangan bangunan. Menggabungkan kajian rancangan secara 2 dan 3 dimensi dengan berbagai analisis performa bangunan yang komprehensif serta kemampuan visualisasi hasil yang informatif. Analisis performa bangunan yang disediakan terdiri dari analisa pembayangan, analisa radiasi panas matahari, analisa pencahayaan, analisa performa termal, analisa akustik ruang, serta analisa biaya dan pengelolaan sumberdaya. *Ecotect* dipersiapkan sebagai konsep kalkulator yang dipergunakan sejak tahap paling awal perancangan hingga tahap validasi hasil akhir perancangan. *Ecotect* menyediakan fasilitas *modelling* yang sudah terintegrasi dan diekspor atau diimpor dari program yang biasa digunakan untuk membuat model seperti *Sketch Up*, *AutoCAD*, *Rhinoceros*, dll. Model kemudian dilengkapi dengan *boundary condition* yang dibutuhkan dengan memilih dan menghubungkan dengan *database properties* material yang tersedia. *Boundary*

*condition* menjadi kelebihan *Ecotect* dalam merancang dan menghitung ulang, guna mendapatkan nilai rancangan yang optimum. Dalam akustika, *Ecotect* menyediakan analisa yang cukup memadai, menggabungkan analisa akustik ruang guna menghitung RT secara matematis (berdasarkan volume ruang dan luas bidang serapan), dengan analisa perjalanan suara yang terjadi berdasarkan geometri volume ruang. Analisa kedua dibangun dengan membangkitkan *acoustic rays* (garis-garis perjalanan suara) yang disebarkan ke seluruh volume ruang dari sumber suara, kemudian berdasarkan garis-garis perjalanan suara, perubahan intensitas energi suara dihitung dengan memperhatikan faktor serap dan waktu (*ray tracing*). Secara lengkap *Ecotect* menyediakan 5 metode analisa akustika: *Statistical Reverberation, Geometric Acoustics, Linked Acoustic Rays, Ray And Particle Analysis, Acoustic Response*. (*Ecotect v.5.5 Help Document*. 2003).

#### **II.4.1. *Statistical Reverberation* (*Ecotect v.5.5 Help Document*. 2003)**

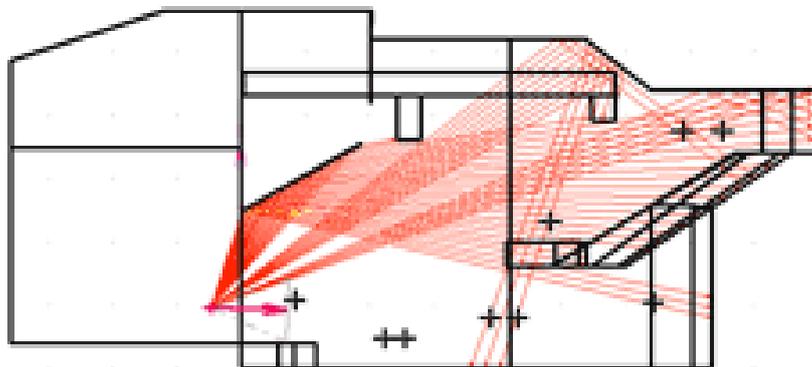
*Statistical reverberation* merupakan analisa panjang waktu dengung dengan berdasarkan pada volume ruang dan data material bidang permukaan ruang. Metode kalkulasi pada software *Ecotect* mengadopsi formula Sabine, Norris Eyring dan Millington Sette atau disebut sebagai cara '*statistical reverberation*'. Semua rumus analisa panjang waktu dengung kemudiandiaplikasikan untuk setiap band oktaf suara dan dilengkapi dengan fasilitas untuk melihat efek tempat duduk dan jumlah pengguna. Karena kalkulasi hanya berdasarkan pada jumlah total koefisien serap (perkalian luas bidang serap dikalikan koefisien masing-masing bahan terpakai), maka permodelan secara tiga dimensi lebih berfungsi sebagai visualisasi saja dan kalkulasi berlangsung secara cepat.



**Gambar 2.4.** Tampilan grafik waktu dengung dari hasil simulasi Ecotect secara statistic dengan rumus Sabine, Eyring dan Millington.

#### II.4.2. *Linked Acoustic Rays* (Ecotect v.5.5 Help Document. 2003)

Fasilitas *Linked Acoustic Rays* digunakan untuk menganalisa perjalanan garis suara yang berjalan di dalam ruang. Penyebaran garis suara diatur secara sudut vertikal dan horizontal (*altitude* dan *azimuth*), serta diatur kepadatan. Perhitungan sudut datang dan pergi dibangun berdasarkan hukum pantul gelombang suara.



**Gambar 2.5.** Analisis perjalanan garis suara yang ditampilkan secara grafis oleh Ecotect.

#### II.4.4. Particle and Rays Analysis (Ecotect v.5.5 Help Document. 2003)

Ecotect memberikan analisa garis suara yang lebih kompleks dengan fasilitas *Particle and Rays Analysis (PRA)*. Analisis PRA bersifat animasi dan merupakan variasi dari fasilitas *linked acoustic rays* yang lebih interaktif dan informatif. Penyebaran *sound ray* divisualisasikan baik secara 2 dimensi maupun 3 dimensi, serta nilai perubahan energi suara selama perjalanan dideteksi. Sebaran energi suara tidak divisualisasikan dengan objek garis tetapi dengan objek titik (*particles*), sehingga gerakan penyebaran secara 3 dimensi mudah terdeteksi.



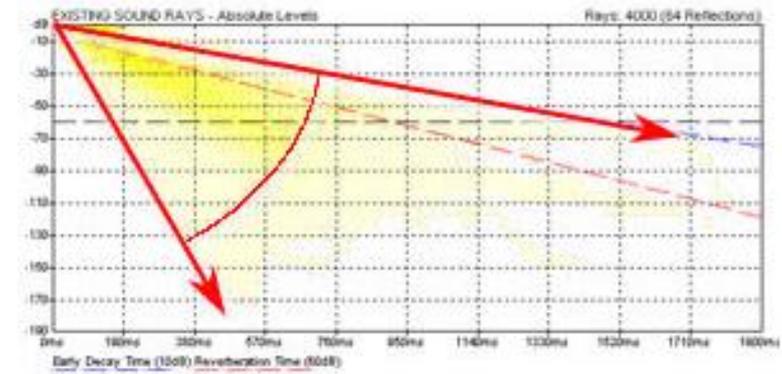
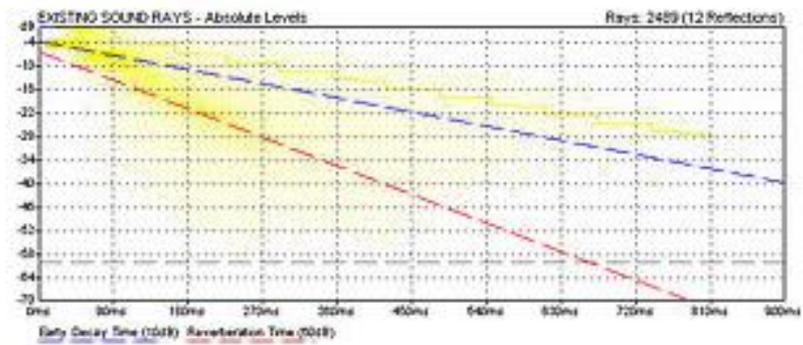
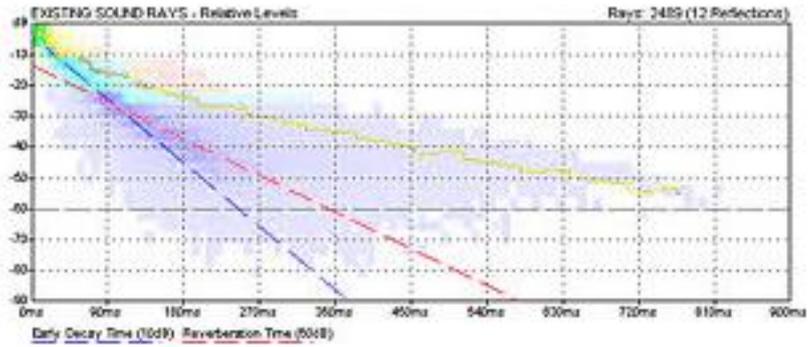
**Gambar 2.6.** Analisis distribusi energi suara dengan animasi partikel suara.

Hasil dari analisis PRA selain digunakan untuk melihat titik jatuh suara pada suatu bidang setelah sejumlah pantulan yang diinginkan, juga untuk menganalisa karakteristik energi suara yang berjalan, baik secara nilai absolute (dinyatakan dalam penurunan nilai dB suara), maupun secara relatif terhadap suara langsung yang dinyatakan dalam kode warna (suara *direct*, *useful*, *border*, *echo*, *reverbs* dan *mask*).

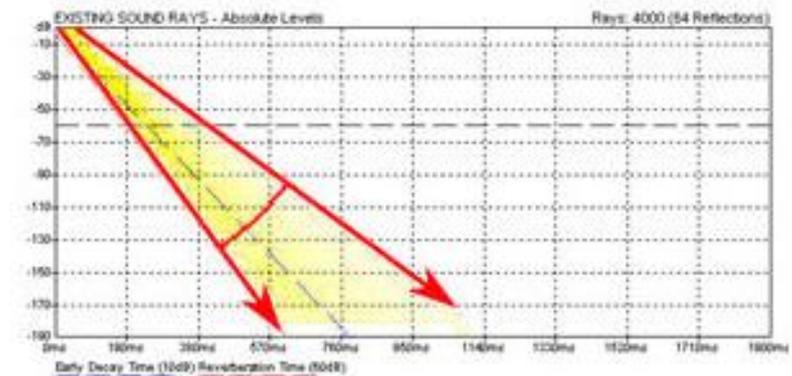
#### II.4.4. Acoustic Response (AR) (Ecotect v.5.5 Help Document. 2003)

Mempertimbangkan pengaruh dari faktor geometri terhadap waktu dengung (*reverberation time*), maka Ecotect menyediakan beberapa macam analisa waktu dengung yang unik seperti berikut :

- a. Analisa waktu dengung berdasarkan sebaran partikel kondisi eksisting (*Existing Acoustic Particles*). Analisa AR mengambil data perjalanan suara (*sound path*) dan perubahan energi yang dilakukan dengan fasilitas *Particles & Rays analysis*, kemudian data penurunan suara dari masing-masing garis diplot dalam grafik, serta rata-rata penurunan energi suara hingga 60 dB dihitung rata-rata. Untuk keberhasilan atau ketepatan perhitungan, sebaran partikel atau garis suara harus dilakukan secara merata dan padat dengan asumsi seluruh efek pantulan dan penyerapan bidang pada energi suara terjadi.
- b. Analisa waktu dengung berdasarkan perjalanan suara secara acak (*Random Acoustic Particles*). Dalam analisa waktu dengung, suara disebarkan dari sumber suara dan pengaruh dari pantulan dan serapan diperhitungkan secara langsung dan diambil nilai rata-rata. Karena jumlah pantulan suara atau panjang pendek waktu suara berjalan, berpengaruh terhadap waktu dengung, maka analisa diawali dengan menentukan jumlah pantul dan waktu penyebaran melalui penyebaran suara, yang dilakukam secara acak dari sumber suara sebanyak 20 kali. Kemudian seluruh kalkulasi dilanjutkan berdasarkan nilai percobaan.
- c. Analisa kerataan penyebaran waktu dengung (*homogeneity*). Analisa dipakai untuk melihat apakah waktu dengung rata-rata tersebar merata (*diffuse*) di seluruh ruangan. Indikasi penyebaran ditandai dengan lebar dan sempit sudut sebaran waktu dengung rata-rata yang tergambar seperti dalam grafik dibawah. Namun kekurangan analisa homogeneity adalah belum ada standar kerataan yang digunakan.



Low homogeneity



High homogeneity

Gambar 2.7. Analisis Ecotect untuk kerataan penyebaran waktu dengung