

BAB II

Tinjauan Pustaka

2.1 Dasar Bunyi

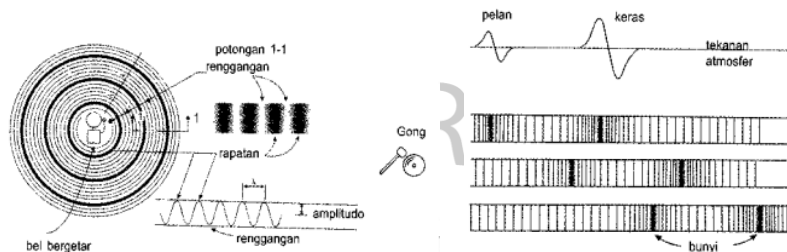
2.1.1 Pengertian Bunyi

Bunyi merupakan sensasi rangsangan yang dirasakan oleh indera pendengaran manusia akibat terjadinya fluktuasi tekanan udara yang terjadi secara cepat. Fluktuasi pada tekanan ini merupakan fenomena yang terjadi akibat terdapatnya objek yang bergetar yang mengakibatkan terbentuknya gelombang longitudinal pada udara yang mana gelombang longitudinal bunyi merupakan sebuah gelombang elastic yang mana dapat terjadi apabila medium tersebut memiliki kerapatan dan elastisitas (Ginn, 1978).

Sejatinya bunyi merupakan suatu fenomena dinamis yang dapat terdengar akibat adanya rambatan. Bunyi atau suara merupakan kekuatan yang mampu menjalar melalui segala macam medium baik solid dan ataupun fluida yang ada di sekitarnya. Fenomena bunyi yang kita kenal selanjutnya merupakan fenomena yang disebutkan dalam bahasa saintifik sebagai propagasi. Fenomena propagasi atau perambatan bunyi dapat dijabarkan Ketika suatu sumber menghasilkan getaran yang kemudian menjadi bunyi kemudian merambat melalui medium baik berupa medium solid, gas, dan ataupun cair. Ketika medium yang paling dekat dari sumber menerima energi dari rambatan sumber akan terjadi penerusan energi ke medium yang berada di sekitarnya yang mana fenomena ini akan terjadi secara terus menerus hingga sumber tersebut kehilangan energi untuk merambat akibat terurai. Ketika terjadinya propagasi akan tercipta suatu rambatan dan juga renggangan (Mediastika, 2005)

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwasanya bunyi merupakan fenomena yang membutuhkan tiga faktor utama agar terciptanya persepsi bunyi. Ketiga faktor tersebut mencakup sumber yang merupakan objek yang

bergetar, medium sebagai sarana agar terjadinya penerusan energi dari sumber atau disebut sebagai fenomena propagasi, dan faktor ketiga adalah penerima bunyi dengan reseptor. Tanpa hadirnya salah satu di antara ketiga komponen tersebut dapat dipastikan bahwa bunyi atau suara tidak dapat terjadi.



Gambar 1. Rengangan dan Rapatan Gelombang Bunyi (Mediastika, 2005)

2.1.2 Sumber Bunyi

Fenomena kehidupan manusia telah memungkinkan terjadinya banyak sumber bunyi. Adapun bunyi yang berasal dari satu buah sumber yang bergetar adalah dikenal sebagai bunyi dengan sumber titik. Selanjutnya jika bunyi merupakan hasil produk dari beberapa benda yang bergetar merupakan bunyi yang dikenal sebagai bunyi garis

Sebagaimana hukum alam, karakteristik dari bunyi dengan sumber titik memiliki tingkat rambatan yang lebih rendah dibandingkan dengan bunyi majemuk. Dalam kehidupan sehari-hari manusia seringkali kita mendengar bunyi yang bersumberkan banyak alias garis ketimbang bunyi yang berasal dari rambatan bunyi bersumber titik (Mediastika, 2005).

Salah contoh di antara yang paling sering kita gunakan adalah ketika menggunakan piranti pemutar music yang kita sambungkan dengan *earphone*, *headphone*, atau alat pengeras stereo. Ketika pengeras suara tersebut bersifat stereo, terdapat dua pengeras suara yang bekerja sekaligus, menjadikannya majemuk. Berlawanan dengan pengeras suara, salah contoh di antara bunyi yang bersumberkan titik adalah ketika kita menggunakan *handsfree* yang kita pasang pada salah satu kuping saja. Mono merupakan lawan dari stereo dimana terdapat hanya satu sumber saja yang bekerja pada waktu tersebut.

2.1.3 Gelombang Bunyi

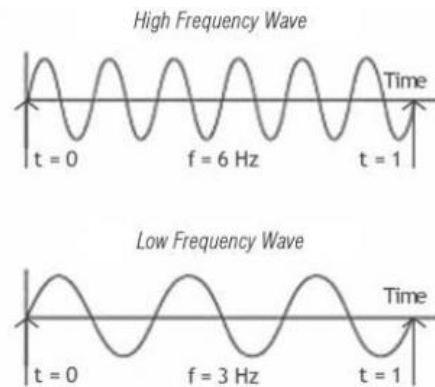
Bunyi sejatinya merupakan suatu fenomena perambatan energi yang terjadi pada medium tertentu. Adapun komponen yang turut hadir dalam fenomena adalah sebagai berikut:

2.1.4 Panjang Gelombang (λ)

Gelombang bunyi merupakan gelombang yang dapat terukur melalui satuan panjang gelombang, frekuensi, serta kecepatan rambat. Lambda (λ) merupakan jarak antara titik satu dengan titik lain dalam sebuah gelombang dengan kedudukan posisi yang ekuivalen. Dalam penggambaran gelombang secara sinusoidal maka dapat dikatakan keberadaan lambda adalah jarak antara gunung atau lembah. Satuan yang menjadi acuan dalam mengukur panjang gelombang adalah sama seperti satuan untuk mengukur perihail panjang, yakni meter (m). Lambda atau panjang gelombang sendiri merupakan satu indikator yang menentukan kuat atau lemah dari suatu bunyi. Semakin panjang lambda maka semakin kuat bunyi tersebut dengan demikian maka kekuatan dari propagasi juga akan turut meningkat (mediastika, 2005).

2.1.5 Frekuensi

Adapun faktor kedua adalah frekuensi. Frekuensi sendiri memiliki penjabaran berupa banyaknya getaran dalam kurun waktu 1 (satu) detik. Jika mengacu kepada visualisasi gelombang sinusoidal frekuensi merupakan kombinatori antara kurva gunung dan lembah setiap detik. Satuan yang dipakai untuk menyatakan frekuensi adalah Hertz atau yang lebih sering disingkat sebagai Hz. Jumlah getaran itu sendiri sangatlah bergantung kepada kemampuan dari suatu objek untuk bergetar.



Gambar 2. Frekuensi gelombang bunyi (Latifah, 2015)

Dalam praktis nyata di kehidupan manusia, frekuensi turut dikaitkan dengan nada. Diantara aplikasinya adalah bagaimana dentingan setiap tuts yang ada pada piano memiliki karakteristiknya tersendiri. Dalam praktiknya frekuensi sendiri tidak hanya berlaku pada fisika yang mengkaji bunyi saja. Bangunan dengan frekuensi naturalnya yang menjadi faktor penting dalam berdirinya sebuah bangunan adalah salah satu contoh lain dari penerapan ilmu frekuensi. Adapun kemampuan dari suatu objek bergetar juga dapat menjadi alasan mengapa kita mengenali suatu objek terbuat dari suatu material tertentu. Dengan demikian kemampuan suatu objek untuk bergetar turut dipengaruhi oleh material penyusun dari objek tersebut. Semisalkan dentingan logam yang beradu dengan logam.

Berbicara mengenai manusia sebagai reseptor, manusia merupakan reseptor yang mampu menerima rangsang dari frekuensi 20Hz yang merupakan frekuensi terendah yang dapat didengar oleh manusia hingga frekuensi puncak yakni 20.000Hz. Bunyi yang keberadaannya pada tingkat di bawah 20Hz disebut sebagai bunyi infrasonik sedangkan bunyi yang berada di atas ambang batas disebut sebagai bunyi ultrasonik. Selanjutnya terdapat pembagian rentang frekuensi yang secara umum terbagi menjadi tiga. Ketiga rentang frekuensi tersebut adalah frekuensi rendah yang tersusun mulai dari rentang 20Hz sampai dengan 1000Hz, frekuensi sedang yang berkisar di rentang 1000Hz sampai dengan 4.000Hz dan frekuensi tinggi yang berada di atas 4.000Hz. Sebagaimana pengertian bunyi sebagai sesuatu yang objektif, respon sensitivitas manusia terhadap rentang frekuensi sangat berbeda antara tiap individu. Frekuensi merupakan indikator pada energi bunyi yang menunjukkan

karakteristik dari tonalitas suatu suara atau warna suara. Salah satu contohnya adalah bagaimana setiap orang memiliki suara yang berbeda adalah frekuensi menjadi salah satu faktor mengapa seorang memiliki suara yang berbeda dari yang lainnya.

2.1.6 Cepat Rambat Bunyi

Factor ketiga dari sebuah gelombang bunyi adalah kecepatan propagasi atau perambatan melalui medium-medium di sekitarnya. Sama seperti kebanyakan kecepatan pada umumnya dalam perumusan saintifik, cepat rambat suatu bunyi dinotasikan dengan v yang memiliki satuan meter/detik (m/s). Adapun terdapat persamaan dari kecepatan rambat gelombang adalah sebagai berikut:

$$V = f \cdot \lambda$$

V = Kecepatan rambat (m/s) f = frekuensi (Hz)

λ = panjang gelombang (m)

Meskipun persamaan di atas menunjukkan bahwasanya kecepatan suatu propagasi memiliki keterikatan terhadap frekuensi yang dikalikan dengan lambda, namun pada kenyataannya cepat rambat juga sangat dipengaruhi oleh kerapatan dari medium rambatan tersebut. Selanjutnya kerapatan juga turut dipengaruhi oleh temperature, susunan partikel beserta kandungan partikel lain dalam medium tersebut. Hal ini dikarenakan ketika suatu bunyi merambat pada medium yang homogen, maka, kecenderungan dari rambatan tersebut akan diteruskan ke segala arah dengan kecepatan rambat yang ekuivalen, namun sejatinya hampir sangat sulit untuk menemukan satu objek yang tersusun atas satu zat penyusun saja dalam kehidupan sehari-hari manusia. Kehidupan manusia sangatlah bersentuhan dengan medium udara. Sebagaimana yang telah disebutkan sebelumnya bahwa bunyi sangat dipengaruhi oleh mediumnya ketika kita berbicara mengenai cepat rambat dari suatu bunyi dan medium sangat dipengaruhi oleh temperatur, zat penyusun udara. Dengan demikian untuk menyederhanakan kalkulasi diambillah satu angka tetapan sebesar 340m/s.

Selain udara, beberapa kecepatan rambat bunyi pada beberapa medium adalah sebagai berikut:

Medium	Cepat Rambat Bunyi (m/s)
Udara (0°C)	331
Udara (25°C)	340
Air (0 °C)	1490
Air (25 °C)	1530
Alumunium (20 °C)	5100
Tembaga (20 °C)	3560
Besi (20 °C)	5130

Tabel 1. Propagasi pada beberapa medium

Jika frekuensi merupakan bagian yang menentukan warna suara maka lambda atau panjang gelombang merupakan bagian dari energi bunyi yang menentukan kuat atau lemahnya suatu bunyi. Konteks kuat atau lemah di sini bukan seberapa keras atau kecilnya bunyi yang dihasilkan. Kuat atau lemah disini merupakan seberapa kuat suatu gelombang dapat merambat. Hubungan antara frekuensi dan lambda adalah ketika suatu gelombang semakin rendah frekuensinya maka gelombang tersebut memiliki panjang gelombang yang kian besar. Salah satu contoh di antaranya adalah ketika kita mendengar ada pesta yang menggunakan pengeras suara, ketika dari jauh hal yang paling terasa terlebih dahulu dari kejauhan adalah hadirnya rumble dari suara bass. Hal ini dikarenakan bass memiliki frekuensi yang lebih rendah ketimbang vocal atau treble. frekuensi rendah cenderung memiliki kekuatan untuk menggetarkan objek yang berada di sekitarnya.

2.1.7 Amplitudo

Jika frekuensi merupakan bagian yang sangat menentukan sifat dari tonalitas atau warna pada suara dan lambda yang merupakan panjang gelombang merupakan indikator yang menentukan kuat atau lemahnya rambatan suatu bunyi, maka hal yang menentukan kuat atau lemahnya suatu bunyi dalam konteks ‘keras atau pelan’ ditentukan oleh amplitudo

Amplitudo merupakan simpangan terjauh yang dapat dihasilkan oleh suatu gelombang bunyi. Dalam visualisasi gelombang sinus amplitudo dapat diartikan sebagai seberapa jauh simpangan dari sebuah gunung (maxima) atau lembah (minima). Semakin tinggi dan semakin rendah simpangan tersebut tervisualisasikan oleh gelombang sinus, maka bunyi yang dihasilkan semakin keras. Jika sebaliknya, simpangan tersebut tidak seberapa jauh, maka, bunyi yang dihasilkan juga tidak semakin keras. Amplitudo atau simpangan terjauh tidaklah terikat oleh panjang gelombang yang mana sebelumnya kita telah membahas menentukan kekuatan rambat suatu gelombang.

2.2 Akustik dan Arsitektur

Kamus Britanica menyatakan bahwa akustika merupakan sains yang berangkat dari kata akoustos yang berarti dengar. Akustik sendiri merupakan sains yang mengkaji bagaimana bunyi tercipta, pengontrolan, transmisi dan penerimaan dari fenomena bunyi.

Jika diambil suatu kasus dimana sebuah sumber bunyi berada pada suatu ruangan. Gelombang bunyi tersebut akan berpropagasi menjauh dari sumber tersebut hingga Batasan dari volume ruangan tersebut atau pendinding, pelantai, dan pengatap dari ruangan tersebut. Ketika gelombang tersebut bertemu dengan batasan dari pembentuk ruangan tersebut, beberapa gelombang tersebut akan memantul kembali di ruangan tersebut, terserap, dan ataupun tersalurkan ke ruangan di sebelahnya. Kompleksnya suatu perilaku suara dalam sebuah ruangan yang mana memungkinkan terciptanya suara dan memudarnya suara merupakan pemenuhan atas definisi akustik ruangan (Ginn, 1978).

Apa yang coba diterapkan dalam pengaplikasian akustik dalam sebuah arsitektur adalah untuk memberikan produksi bunyi yang ideal. Penghasilan bunyi yang ideal dapat dilaksanakan berdasarkan bagaimana suatu bunyi tercipta, merambatnya suatu bunyi, serta penerimaan bunyi serta pengontrolan nois (Latifah, 2015).

2.2.1 Karakteristik Akustik Dalam Arsitektur

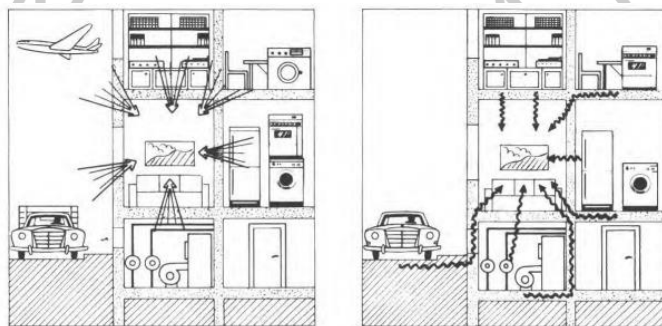
Karakteristik bunyi dalam sebuah ruangan sangat dipengaruhi oleh properti dari komponen arsitektur penyusunan kubikasi suatu ruang. Oleh sebabnya terdapat beberapa karakteristik yang perlu ditinjau untuk menciptakan kesesuaian akustik terhadap arsitektur.

2.2.2 Fenomena Timbulnya Bunyi Pada Arsitektur

Secara garis besar bagaimana suatu suara ditimbulkan dalam konteks arsitektur dapat terbagi menjadi dua berdasarkan cara bunyi tersebut berpropagasi.

Pengelompokan pertama merupakan bunyi yang berpropagasi langsung ke medium udara atau yang disebut sebagai airborne. Contoh dari bunyi yang termasuk ke dalam kelompok ini adalah bunyi yang dihasilkan akibat adanya sound reinforcement dengan menggunakan penguat suara dan juga manusia yang bersuara.

Kelompok selanjutnya adalah bunyi yang berpropagasi secara melalui struktur. Fenomena ini dikenal sebagai *structureborne sound* dan terkadang juga disebut sebagai *impact sound*. Beberapa contoh dari *structureborne/impact sound* adalah hentakan kaki, hempasan pintu saat tertutup.

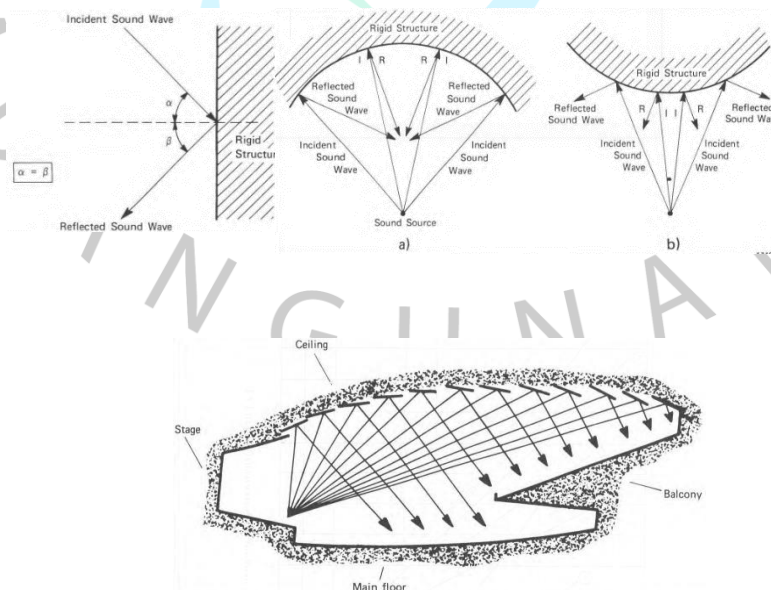


Gambar 3. Ilustrasi penghasilan bunyi (Ginn, 1978)

2.2.3 Refleksi (lag)

Refleksi merupakan fenomena pantulan gelombang bunyi akibat terdapatnya elemen geometri pembentuk kubikasi ruangan baik berupa pendinding, pelantai, maupun pengatap. Karakteristik dari sebuah pantulan sebuah gelombang sangat bergantung pada permukaan yang menjadi bidang pantulnya. Apabila bidang tersebut memiliki kekerasan yang cukup keras, licin, serta homogen maka kemungkinan terjadinya fenomena pantulan gelombang bunyi akan terjadi sesuai dengan sudut arah datangnya (**gambar 4**).

Refleksi merupakan komponen yang dibutuhkan dalam sebuah arsitektur untuk menghadirkan kesan hidup pada sebuah ruangan. Refleksi yang dibutuhkan pada sebuah ruang idealnya tidak terjadi melebihi 1/20 detik dari bunyi asli atau jarak yang ditempuh oleh fenomena pantulan dari sumber-pemantulan-pendengar tidak melebihi 20,7m. Apabila sebuah pantulan terjadi melebihi kedua kriteria tersebut, fenomena yang akan terbentuk adalah echo (Mediastika, 2005). Kebalikan dari sebuah ruang yang apabila tidak terdapat echo di dalamnya, maka, ruang tersebut disebut sebagai anechoic room.



Gambar 4. Korelasi suara insiden dengan suara pantulan (refleksi) (Ginn, 1978)

2.2.4 Difusi

Difusi merupakan fenomena yang hampir sama dengan refleksi. Perbedaan refleksi dengan difusi adalah sifat difusi yang merupakan refleksi yang terjadi secara menyebar. Difusi dapat digunakan untuk menghilangkan flutter echoes (Mediastika, 2005).

2.2.5 Absorpsi

Selain dipantulkan, sebuah bunyi insiden juga dapat terabsorpsi oleh bidang pembatas ruang. Akibat dari terjadinya fenomena absorpsi atau penyerapan adalah berkurangnya energi bunyi. Absorpsi dapat dijadikan sarana untuk mengatasi noise yang ditimbulkan dari impact sound seperti hentakan kaki, pintu yang menutup dan sebagainya sehingga meminimalisir signal to noise ratio.

Kekuatan material dalam mengabsorpsi sebuah bunyi sangat bergantung pada aspek koefisien serap atau absorpsi. Adapun bagaimana material mereduksi suatu bunyi juga turut dipengaruhi oleh frekuensi yang dibawa dalam gelombang bunyi tersebut. Koefisien absorpsi memiliki formula sebagai berikut:

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

*Nilai a maksimum adalah = 1 dimana merupakan absorpsi sempurna.

*Nilai a minimum adalah = 0 dimana merupakan refleksi sempurna.

Material	Frequency, Hz					
	125	250	500	1000	2000	4000
Air, per cu. m.	nil	nil	nil	0,003	0,007	0,02
Acoustic paneling	0,15	0,3	0,75	0,85	0,75	0,4
Plaster	0,03	0,03	0,02	0,03	0,04	0,05
Floor, concrete	0,02	0,02	0,02	0,04	0,05	0,05
Floor, wood	0,15	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Floor, carpeted	0,1	0,15	0,25	0,3	0,3	0,3
Brickwall	0,05	0,04	0,02	0,04	0,05	0,05
Curtains	0,05	0,12	0,15	0,27	0,37	0,50
Total absorption of one seated person	0,18	0,4	0,46	0,46	0,51	0,46

780120

Gambar 5. Tabel Absorpsi (Ginn, 1978)

2.2.6 Material Berpori

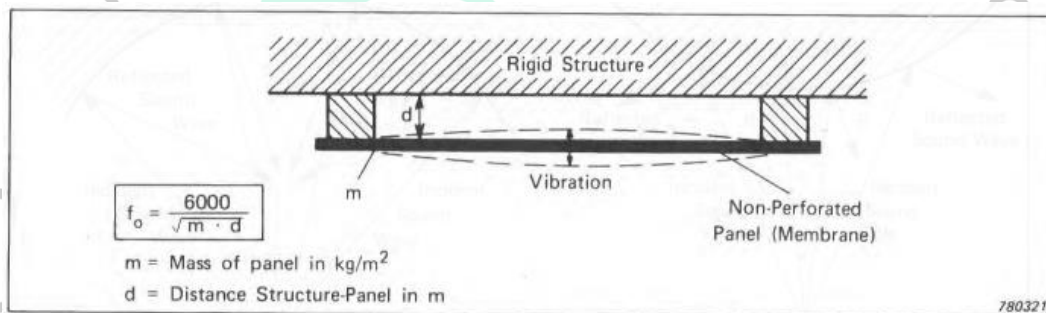
Material berpori seperti wol dan karpet merupakan material yang lumrah ditemukan sebagai material absorpsi. Ketika gelombang bunyi bersentuhan langsung dengan pori menyebabkan udara pada pori bergetar namun pergerakan ini terbatas akibat hambatan yang ada dari material berpori. Karena terdapat hambatan akibat dari penggunaan material berpori dengan demikian osilasi dari amplitudo dapat diminimalisir (Ginn, 1978). Kemampuan untuk mengabsorpsi pada material jenis ini akan efektif untuk menyerap bunyi dengan frekuensi di atas 1000Hz (Mediastika, 2005).

2.2.7 Panel Absorpsi

Seperti namanya panel absorpsi merupakan sistem peredam berupa lembaran-lembaran yang dipasangkan pada tembok rigid dengan rongga berudara di antara lembaran penyerap dan dinding (Mediastika, 2005). Sistem ini berperan selayaknya spring-mass system di mana panel absorpsi merupakan massa dan udara pada rongga di belakang panel merupakan per. Sistem ini berguna untuk mengabsorpsi frekuensi menengah dan bawah.

Karena panel memiliki inersia dan kemampuan untuk mereduksi osilasi (*damping*), maka Sebagian energi yang terserap akibat energi bunyi akan berubah menjadi energi mekanik dan terurai menjadi panas dengan begitu terjadi absorpsi. Absorpsi sempurna terjadi apabila panel beresonansi dengan frekuensi yang sama dengan energi bunyi. Namun karena system ini juga turut bergetar hampir jarang ditemui system absorpsi dengan koefisien serap lebih besar dari 0.5 dengan tingkat penyerapan dikalkulasikan berdasarkan formula di bawah:

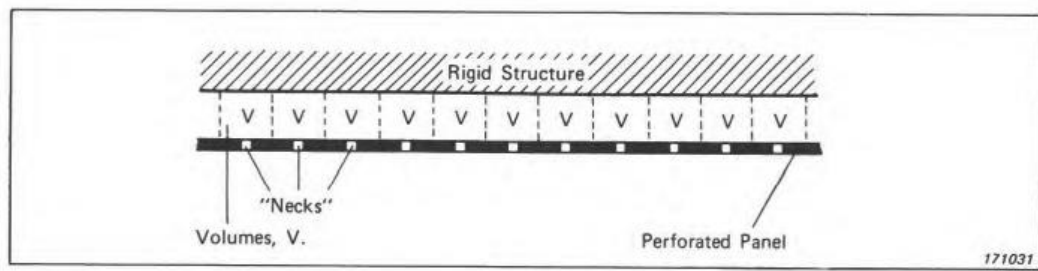
$$f = \frac{6000}{\sqrt{m \cdot d}}$$



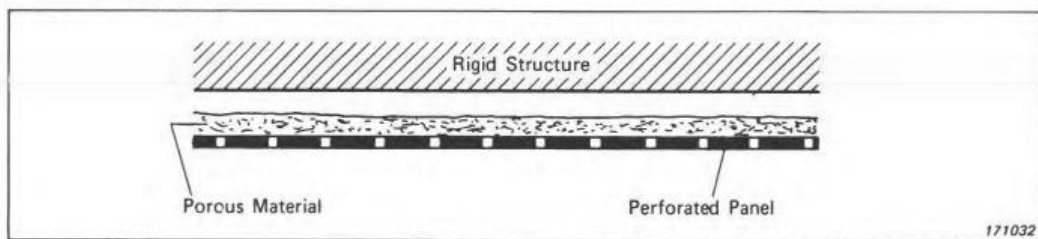
Gambar 6. Panel Absorpsi (Ginn, 1978)

2.2.8 Panel Absorpsi Berpori

Merupakan material absorpsi yang lebih umum dan cukup mirip dengan material absorpsi panel di mana terdapat kubikasi udara di antara struktur rigid dengan panel absorpsi. Pada penampang panel terdapat leher yang memungkinkan prinsip Helmholtz resonator berjalan. Pada dasarnya prinsip dari Helmholtz resonator adalah sebuah rongga dengan bukaan yang memungkinkan gelombang udara bersentuhan dengan udara di dalam resonator. Ketika gelombang bunyi menimpa udara pada rongga tersebut udara akan bergetar dan akan menyebabkan kompresi dan refraksi. Gesekan akibat fenomena tersebut memungkinkan energi untuk diserap.



Gambar 7. Panel Absorpsi Berpori (Ginn, 1978)



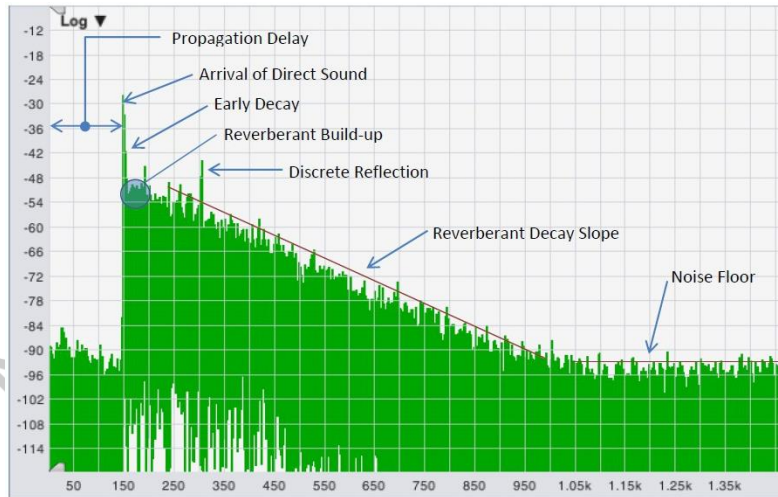
Gambar 8. Panel Absorpsi Berpori (Ginn, 1978)

2.2.9 Respon Impuls

Dalam konteks akustika, respon impuls merupakan sebuah sistem. Sistem ini memboyong terkait waktu kedatangan dan frekuensi yang terkandung dari sebuah bunyi asli (direct sound) serta pantulan dari bunyi tersebut, karakteristik laju peluruhan (decay). Selain hal tersebut respon impuls juga dapat dikaji dalam mempelajari karakteristik signal to noise ratio yang dapat mempengaruhi pemahaman akan percakapan.

Secara garis besar respon impuls akustika merupakan produk dari sebuah sumber suara yang memantul dalam sebuah ruangan. Karakteristik secara umum adalah semakin awal sebuah suara terdengar pada sebuah alat pengukuran umumnya akan terdengar lebih keras dibandingkan suara yang telah terpantulkan karena telah melintasi lintasan yang lebih panjang selagi kehilangan energi pada koefisien serap udara dan juga material lainnya.

2.2.10 Anatomi Respon Impuls



Gambar 9. Anatomi Respon Impuls (Smaart V8)

2.2.11 Propagation Delay (Jeda Propagasi)

Propagation delay atau jeda propagasi merupakan waktu yang dibutuhkan oleh sebuah gelombang bunyi untuk sampai pada alat ukur.

2.2.12 Bunyi asli (direct Sound)

Bunyi asli merupakan bunyi yang berpropagasi secara garis lurus. Pada umumnya fenomena attack atau transien bunyi asli merupakan peak (puncak tertinggi) dalam respon impuls. Suara dari bunyi asli dapat disimulasikan melalui pengeras suara omnidirectional, sound system, atau balon yang dipecahkan.

2.2.13 Discrete Reflection

Setelah terjadinya bunyi asli, yang umumnya terjadi adalah timbulnya peak yang lebih rendah dibanding bunyi asli. Peak ini disebut sebagai refleksi diskret. Refleksi diskret merupakan produk sumber eksitasi. Sebagaimana yang telah dijabarkan di atas, refleksi diskret jika terjadi pada waktu tunda yang tepat semisalkan tidak melebihi threshold of echo dapat menguatkan bunyi asli dan sebaliknya.

2.2.14 Growth and Decay Pada Ruang

Sebuah sumber suara jika diletakan di sebuah ruangan maka pada titik tertentu suara tersebut akan teramplifikasi akibat adanya fenomena refleksi bunyi. Fenomena refleksi bunyi ini akan berhenti di titik ekuilibrium ketika energi yang dihadirkan dari energi bunyi adalah sama dengan energi yang terabsorpsi. Ketika suara dimainkan dan dihentikan secara mendadak pada ruangan yang bukan anechoic room maka akan terdengar seolah suara tidak langsung berhenti. Masih terdapat terdengar sisa dari refleksi yang kemudian hilang. Kejadian ini disebutkan sebagai fenomena reverberasi atau dengung. Reverberasi merupakan pantulan bunyi yang dibutuhkan bagi sebuah ruang untuk memberikan kesan hidup.

2.2.15 Waktu Dengung (Reverberation Time)

Waktu dengung (RT60) merupakan waktu yang dibutuhkan suara untuk decay sebanyak 60dB setelah fenomena sumber suara yang dihentikan secara mendadak. Waktu reverberasi atau dengung juga dinotasikan sebagai RT60. Secara formula waktu reverberasi menurut Wallace Clement Sabine dapat dikalkulasikan dengan formula:

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

Di mana RT: Waktu reverberasi (detik) ; V: Volume ruangan (m³), dan;

A: $\sum$ luas permukaan absorpsi dari pembentuk ruangan

Formula sabin merupakan formula yang berdasarkan geometri akustika yang berangkat pada asumsi di mana sebuah bunyi pada suatu penutup merupakan fenomena difus dan memungkinkan propagasi ke segala arah adalah mungkin terjadi. Formula sabin merupakan simplifikasi dari bunyi yang mana mengabaikan posisi elemen pada ruang seperti keberadaan material absorbs dalam suatu ruang. Kelemahan teori sabin adalah ketika sebuah ruang merupakan anechoic room formula sabin tetap menghasilkan RT60 sebesar 0,161V/A yang seharusnya RT = 0. Terdapat formula lain yang digunakan yakni formula Eyring. Formula eyring merupakan formula yang lebih akurat di mana ketika sebuah ruang merupakan ruang anechoic room, formula yang dijabarkan oleh Eyring mampu menjawab secara tepat di mana RT60 = 0. Formula Eyring adalah sebagai berikut:

$$Rt = \frac{0,161V}{-S \ln (1-a_{Avg})}$$

Di mana S = Luas total area pembentuk bidang batas; ***aAvg*** = rerata koefisien absorbs material pendinding (m2).

2.2.16 Waktu Tunda

Waktu tunda merupakan waktu yang dibutuhkan bagi bunyi refleksi untuk terdengar setelah bunyi asli terjadi. waktu di antara bunyi asli dengan pantulan juga dapat disebut sebagai *inter-stimulus interval (ISI)*. Terdapat dua dampak yang dapat ditimbulkan akibat adanya waktu tunda. Apabila waktu tunda terjadi dengan selang waktu yang tepat setelah bunyi asli (*direct sound*) maka bunyi dalam waktu tunda tersebut dapat menjadi penguatan suara atau sound reinforcement bagi bunyi asli tersebut namun akan menghadirkan keadaan sebaliknya jika bunyi pantulan membutuhkan selang waktu tunda yang berkepanjangan.

Mungkin yang menjadi pertanyaan adalah bagaimana efek dari multi refleksi yang terjadi dengan berbagai waktu terhadap persepsi akustik yang tercipta pada pendengaran manusia? Manusia memiliki kemampuan yang

disebut sebagai *precedence effect (PE)*. Sebuah kemampuan terkait psikoakustik di mana manusia dapat melokalisasi bunyi dalam satu kesatuan dalam lingkup reverberasi meskipun banyak pantulan bunyi dari berbagai lintasan.

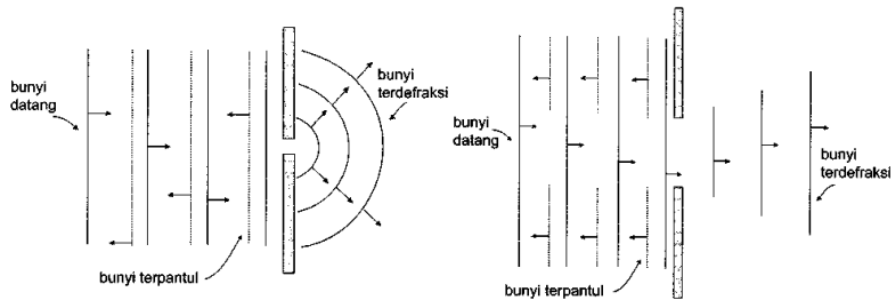
Terdapat tiga jenis PE. Efek pertama disebut sebagai *summing localization*, *localization dominance*, dan *breakup of direct sound*. *Summing localization* merupakan *precedence effect* yang terjadi 0-1ms (milisekon). Pada fenomena *summing localization* apa yang didengar oleh manusia merupakan spontan atas suara asli dan pantulan dan merupakan fusi di antara kedua jenis bunyi.

Untuk ISI yang terjadi di antara 1ms sampai dengan batas dari echo (*threshold of echo*) yang biasanya berlangsung antara 4,5ms-80ms fusi suara antara bunyi asli dengan pantulan juga dapat terjadi, Hanya saja suara yang terdengar merupakan suara yang terlokalisasi dari bunyi asli dan menganulir informasi yang terkandung di dalam lag atau refleksi.

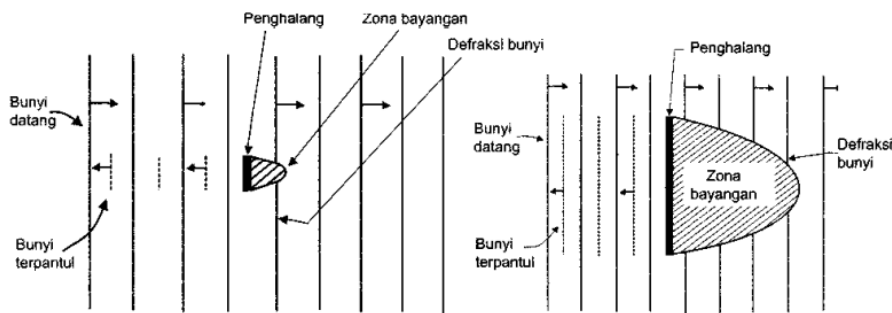
Efek PE terakhir merupakan pemisahan antara bunyi asli dengan bunyi pantulan. Yang terjadi pada PE ini adalah ISI yang terjadi berada di atas ambang echo (*threshold of echo*) yakni di atas 80ms (milisekon). Fenomena ini memungkinkan psiko akustik untuk memaknai bunyi asli dan pantulan yang terjadi secara terpisah. Dengan demikian fenomena ini dikenal sebagai echo.

2.2.17 Difraksi & Refraksi

Difraksi merupakan pembelokan gelombang bunyi akibat melalui celah kecil pada bidang batas (gambar 10). Fenomena difraksi juga dapat turut menghadirkan area bayangan bunyi. Sedangkan refraksi merupakan pembelokan gelombang bunyi akibat melalui kerapatan medium yang berbeda.



Gambar 10. Difraksi (Mediastika, 2005)



Gambar 11. Zona bayangan suara (Mediastika, 2005)

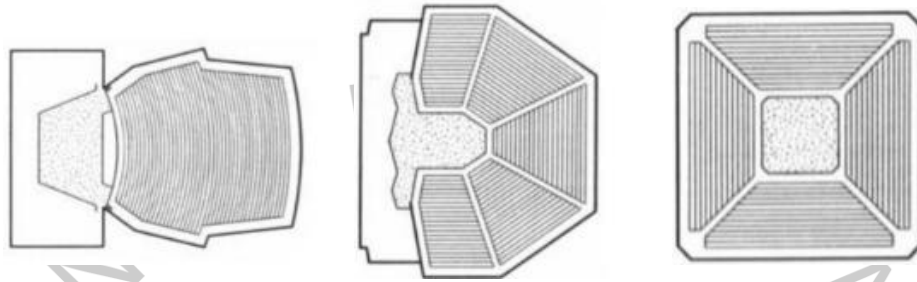
2.3 Auditorium

Auditorium merupakan bagian dari bangunan dimana para audiens berada dan duduk. Secara garis besar auditorium memiliki anatomi yang tersusun atas panggung, tempat pertunjukan, atau tempat orasi dan juga tempat keberadaan audiens duduk untuk menyaksikan kegiatan yang sedang dipertunjukkan atau diperdengarkan.

Auditorium dapat dibedakan kedalam beberapa kategori. Kategori pertama adalah auditorium berdasarkan fungsi yang mencakup auditorium pertemuan dan seni yang mencakup music dan pergerakan, serta auditorium multifungsi. Salah satu contoh yang akan dijadikan pembahasan kali ini adalah Auditorium yang terletak di lantai 4 (empat) Universitas Pembangunan Jaya.

Kategori selanjutnya adalah auditorium dibedakan berdasarkan keberadaannya atau lokasinya. Berdasarkan lokasinya auditorium dapat terbagi menjadi indoor dan juga outdoor. Salah satu contoh di antaranya adalah Plaza Bhodi sebagai amphitheatre pada Universitas Pembangunan Jaya.

Kategori ketiga dalam klasifikasi auditorium adalah auditorium ditinjau berdasarkan tatanan denah. Berdasarkan klasifikasi ini auditorium terbagi atas auditorium dengan panggung proscenium , terbuka, dan arena.



Gambar 12. Denah auditorium (Latifah, 2015)

Kiri : Tertutup, Tengan : Terbuka, Kanan : Arena

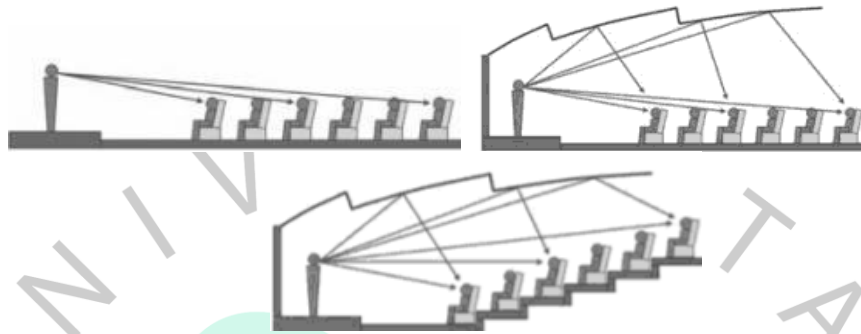
Kategori terakhir, auditorium dapat diklasifikasikan dengan bentuk dari potongan auditorium. Berdasarkan potongan dari auditorium, auditorium terbagi menjadi mencangkup horizontal seating, reflective shell, reflective shell with raked seating (Latifah, 2015).

Auditorium dengan horizontal seating merupakan auditorium dengan kualitas akustik dan visual yang terbilang kurang ideal. Hal ini akibat tidak terdapatnya elemen refleksi bagi gelombang bunyi sehingga tidak terjadinya persebaran bunyi yang merata dan juga keras. Selain itu karena tidak terdapat perbedaan elevasi dengan audiens yang berada di baris lebih depan hal ini menyebabkan penghalangan objek yang juga berpengaruh terhadap pemerataan bunyi dalam auditorium.

Auditorium reflective shell merupakan auditorium yang memungkinkan pemerataan akustik lebih baik sehingga suara yang terdengar cukup ideal. Di lain sisi karena masih terdapat ketidakhadirannya perbedaan elevasi antara audiens yang duduk di bangku lebih depan dengan belakang, maka, segi visual masih dapat terbilang kurang ideal.

Kategori terakhir adalah auditorium reflective shell with rake seating. Auditorium jenis ini merupakan jenis auditorium dengan tatanan akustik dan visual yang dapat dikatakan paling ideal. Hal ini dikarenakan dari segi akustika

terdapat jalur pemantulan bunyi yang memungkinkan pemerataan bunyi. Dari segi visual dengan adanya perbedaan elevasi memungkinkan audiens melihat agenda yang dipertunjukkan tanpa terhalang audiens yang berada di bangku baris depan.

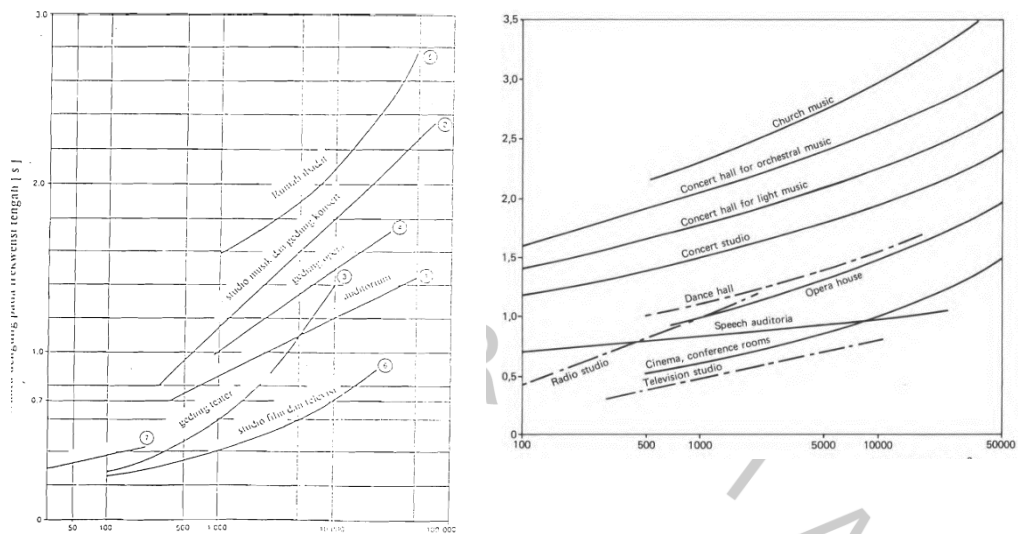


Gambar 13. Auditorium Berdasarkan Potongan, Kiri : Horizontal seating ; Tengah : Reflective Shell ; Kanan : Reflective Shell with Raked Seating, (Latifah, 2015)

2.4 Akustika Interior Auditorium

2.4.1 Waktu Dengung Sebagai Tolok Ukur

Salah satu tolok ukur utama dalam perancangan sebuah auditorium adalah diukur dari waktu dengung (RT60). Waktu reverberasi dalam sebuah auditorium sangat bergantung dengan fungsi yang diterapkan pada auditorium tersebut. Semisal pada fungsi auditorium yang difungsikan untuk pertunjukan orchestra maka auditorium tersebut dianjurkan untuk memiliki waktu reverberasi yang cukup untuk menimbulkan kesan hidup. Selanjutnya pada auditorium yang difungsikan sebagai auditorium percakapan hendaknya memiliki waktu reverberasi yang instan untuk memberikan kepastian percakapan.



Gambar 14. Waktu Dengung SNI 03-6368-2000 Kiri, ISO 3382-1997 Kanan

2.4.2 Keintiman atau presence

Merupakan fenomena psiko akustik dimana seorang dapat merasakan kualitas keruangan berdasarkan pengalaman akustik yang tercipta dari sebuah ruang. Presence sangat bergantung dengan waktu jeda antara suara langsung (direct sound) dan suara yang terefleksikan. Presence sendiri dapat dibedakan menjadi source presence dan room presence. Source presence merupakan respon akustika yang terjadi antara sumber suara dengan respon akustika dari ruangan hingga 80ms. Selanjutnya di atas 80ms merupakan presence yang tergolong ke dalam room presence (Haapainiemi & Lokki, 2014).

2.4.3 Clarity

Kejernihan merupakan kebalikan dari keintiman atau presence. Kejernihan dapat dicapai dengan pengontrolan reverberasi yang tidak begitu panjang. Ketika berbicara mengenai percakapan, sebagaimana telah sebelumnya disebutkan di atas bahwa reverberasi sebaiknya instan. Tolok ukur yang dijadikan sebagai salah acuan dalam menentukan baik atau tidaknya sebuah kualitas percakapan yang terjadi dalam sebuah auditorium adalah

dengan menggunakan C50 atau speech clarity di mana keberadaan pemisah antara refleksi yang baik dan merugikan adalah berada pada 50ms.

2.4.4 Kontrol Echo

Echo merupakan fenomena ketika sebuah bunyi yang terjadi melebihi dari 1/20s dari bunyi asli atau ketika sebuah gelombang bunyi memiliki jarak antara sumber-pantulan-pendengar melebihi 20,7m (Mediastika, 2005). Pengontrolan echo berdasarkan variable formula waktu dengung menjadi penting terhadap kesesuaian fungsi auditorium.

2.5 Beberapa Kecacatan Dalam Akustika Arsitektur

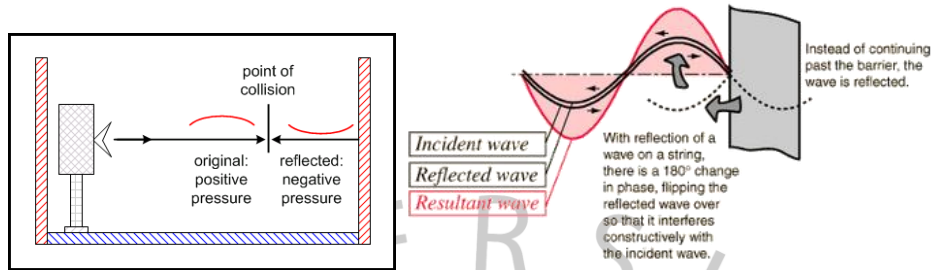
2.5.1 Echo

- Sebagaimana telah disebutkan sebelumnya echo merupakan fenomena ketika sebuah bunyi pantulan terjadi melebihi 0,05 detik setelah direct sound. Jika sebuah bunyi pantulan terjadi kurang dari 0,05 detik maka secara persepsi kita tidak akan merasakan ada keterlambatan, namun hal yang terjadi adalah bunyi yang terjadi di bawah 0,05 detik mampu menguatkan kekuatan bunyi asli (direct sound) (Ginn, 1978). Lebih lanjut echo juga dapat terbentuk apabila jarak yang ditempuh oleh sebuah gelombang bunyi pantul adalah melebihi 20,7m (Mediastika, 2005).

2.5.2 Flutter

Fenomena flutter adalah fenomena osilasi gelombang bunyi akibat terjadinya pemantulan akibat gelombang bunyi memantul pada bidang batas parallel yang keras dan non-absorben . Fenomena flutter dapat menimbulkan gelombang statis yang dikenal sebagai *standing wave (room modes)*. Fenomena osilasi ini akan terus terjadi seiring dengan lamanya decay dari gelombang bunyi tersebut. Salah satu fenomena yang dapat dijadikan contoh adalah ketika seorang bernyanyi di dalam sebuah ruang yang kecil dan memantul seperti kamar mandi, maka pada suatu titik akan terasa seisi ruangan

beresonansi. Flutter dapat diatasi dengan pengaplikasian permukaan difus atau permukaan yang absorben.



Gambar 15. Flutter (Leduc, 2009)

2.5.3 Deadspot

Deadspot (titik mati) merupakan fenomena dimana ketika terjadi interferensi destruktif antara direct sound dan reflected sound. Akibat dari fenomena, hal yang terjadi adalah frekuensi yang terdengar dari sumber suara tidak akan terdengar secara tepat.

2.6 Strategi Arsitektur Dalam Penciptaan Akustik Yang Baik

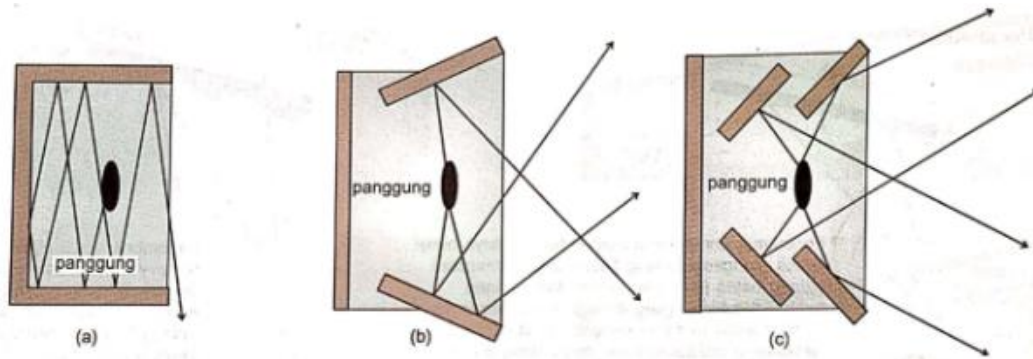
2.6.1 Penyelesaian Akustik Panggung

Pada area panggung yang ditujukan untuk mengakomodir perhelatan music kolosal dengan peletakan sound system sebaiknya pelantai dilapisi dengan pelantai bersifat absorben. Namun apabila pertunjukan musik seperti orkestra, pelantai dapat berupa material reflektan agar kiranya dapat menguatkan bunyi asli. Hal ini karena pada umumnya pertunjukan orkestral merupakan pertunjukan musik tanpa *sound reinforcement*.

2.6.2 Area Dinding Panggung

Pada jenis panggung pada auditorium selain jenis arena semua jenis panggung memiliki bidang batas di belakangnya. Dalam menyiasati ini hal yang perlu disiasati adalah jangan sampai terjadi flutter pada area dinding

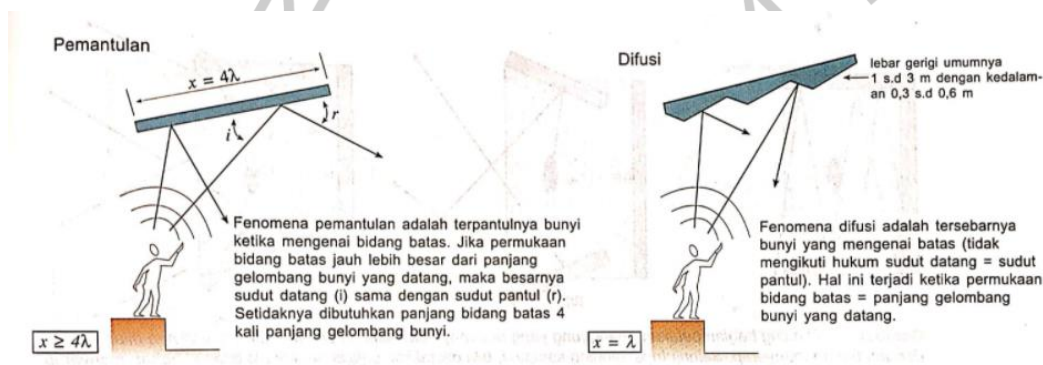
panggung dengan melapisi material absorben. Selanjutnya bidang batas dari area dinding panggung dapat dimanfaatkan sebagai reflektor yang dapat menguatkan bunyi asli mengarah ke arah penonton



Gambar 16. Siasat refleksi panggung (Mediastika, 2005)

2.6.3 Penyelesaian Akustik Plafon Panggung dan Penonton

Plafon merupakan elemen yang sangat krusial bagi sebuah auditorium. Hal ini dikarenakan plafon merupakan elemen yang memungkinkan bebas dari koefisien serap akibat adanya penonton dalam sebuah auditorium. Berdasarkan hal tersebut, sebaiknya elem plafon merupakan elemen yang memantulkan, dengan demikian dapat memperluas daerah jangkauan suara (*sound coverage*). Namun yang perlu diperhatikan adalah elemen pemantul yang harus dihindarkan adalah pemantulan yang mengarah kepada sumber. Hal ini dikarenakan apabila suara mengarah kembali kepada sumber akan terdapat fenomena howling. Fenomena howling merupakan fenomena suara pantulan bias menuju ke arah mikrofon yang digunakan untuk memperkuat bunyi asli.



Gambar 17. Strategi reflector plafon (Mediastika, 2005)

2.6.4 Lantai Area Penonton

Dikarenakan banyaknya mobilitas dari penonton maka dari itu hal yang perlu diperhatikan adalah *impact sound* yang timbul akibat fenomena ini. Berdasarkan hal tersebut sebaiknya lantai pada area penonton memboyong material absorben dengan demikian dapat meminimalisir *impact sound*. Insulasi dari sebuah *impact sound* dapat dikalkulasikan dengan formula di bawah:

$$L_n = L_i - 10 \log_{10}(A_0/A)$$

Di mana L_n = *impact sound* yang di normalized; L_i = SPL *Impact Sound* (dB) A_0 = 10m² referensi permukaan absorben; A = Perhitungan ekuivalen luas permukaan absorpsi dari ruangan

2.6.5 Dinding Area Penonton

Sebaiknya bidang batas pendinding penonton memiliki dinding ganda, Dengan demikian dapat mengurangi *noise* yang datang dari luar ruangan. Selanjutnya dinding bagian dalam seyogyanya memantulkan suara dari sumber ke arah penonton dengan catatan bahwa bunyi yang dipantulkan tidak mengarah kembali ke sumber.

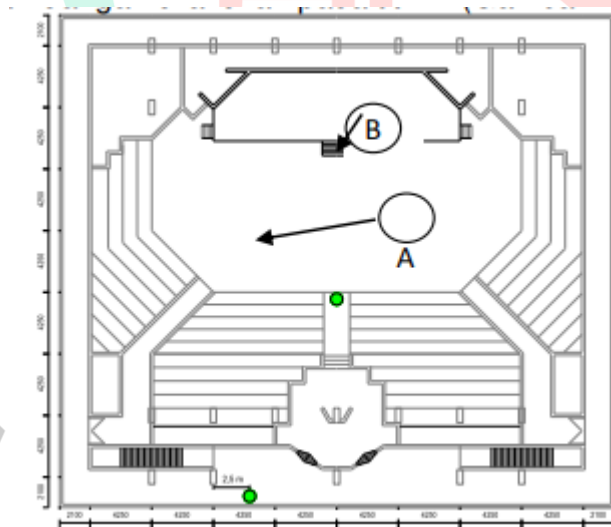
2.7 Penelitian Terdahulu

2.7.1 Kajian Penerapan Prinsip Akustik Studi Kasus: Ruang Auditorium Multifungsi Gedung P1 dan P2 Universitas Kristen Petra

Pada pengkajian yang dilakukan Andy Sutanto mencoba untuk mengkaji kualitas akustika pada auditorium multifungsi Universitas Kristen Petra.

Dinamika kualitas yang diangkat pada pembahasan ini adalah kualitas akustik ruang auditorium dikaji berdasarkan parameter waktu dengung (*reverberation time*), pengukuran tingkat bising latar atau *background noise*, dan jangkauan dari bunyi atau *sound coverage*.

Pembahasan dibuka dengan melakukan pengukuran *background noise*. Pengukuran *noise* latar belakang dilakukan pada dua titik. Kedua titik dimaksudkan adalah untuk mengamati median yang terjadi antara *noise* latar belakang pada interior ruangan (titik B) dan juga luar ruangan (titik A) pada gambar 18. Data yang dihimpun berdasarkan pengukuran *noise* kemudian dibandingkan dengan standarisasi *noise* latar belakang yang dapat diterapkan pada auditorium yang sesuai dengan fungsi tertentu. Dalam hal ini auditorium Universitas Kristen Petra tergolong ke dalam auditorium yang berfungsi sebagai auditorium percakapan atau *speech auditorium*.



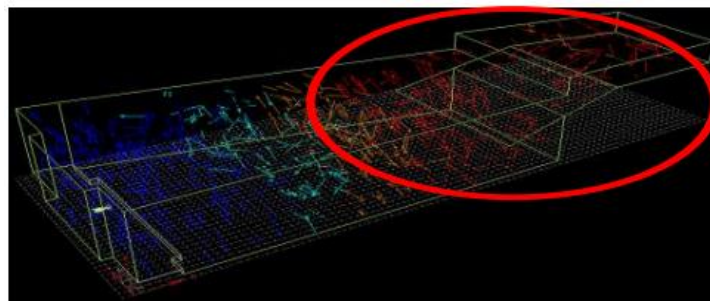
Gambar 18. Titik pengukuran (Sutanto & al, n.d.)

Dari hasil penelitian yang dihimpun oleh Mediastika dapat disimpulkan bahwasanya dibutuhkan material yang mampu menahan propagasi suara dari luar ruangan di atas 32,01dBA jika diacu dengan standarisasi kebisingan *noise* dalam ruangan pada 35dBA. Hal ini bertujuan untuk meminimalisir pengaruh *nois* luar ruangan terhadap *noise* yang berada di dalam ruangan.

Pengkajian selanjutnya adalah pengkajian yang ditempuh dengan permodelan perangkat lunak Autodesk Ecotec. Pengkajian dengan permodelan pada perangkat lunak ini adalah dimaksudkan untuk mencari waktu peluruhan (*reverberation time*) serta jangkauan persebaran suara pada objek yang menjadi studi kasus. Dalam studi kasus penelitian ini, zonasi terbagi atas dua area yang mencakup area panggung dan juga balkon. Dengan demikian baik perhitungan waktu peluruhan serta jangkauan suara didasarkan pada dua zonasi tersebut.

Pengkajian waktu dengung dilakukan dengan metode permodelan auditorium eksisting dengan mengaplikasikan profil serap akustik pada Ecotec. Sebagaimana yang telah disebutkan sebelumnya bahwasanya terdapat dua zonasi maka perhitungan dilakukan pada dua area. Berdasarkan data yang dihimpun dari kedua zonasi dapat disimpulkan bahwasanya area panggung memiliki waktu peluruhan yang berada dibawah batas yang disarankan. Berbeda dengan area panggung, waktu peluruhan yang terjadi pada area balkon cenderung berada di atas ambang batas yang disarankan.

Penelitian dengan perangkat lunak dilanjutkan dengan permodelan visualisasi persebaran bunyi. Permodelan ini juga dilaksanakan berdasarkan dua zonasi seperti di atas. Permodelan ini dimaksudkan untuk memetakan apakah kemampuan refleksi bunyi yang dihasilkan apakah menghasilkan echo yang dapat mempengaruhi kualitas akustik.

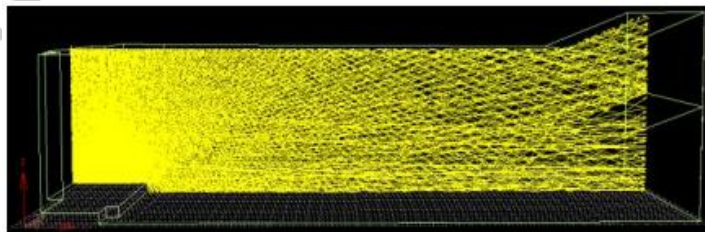


Gambar 19. Titik pengukuran (Sutanto & al, n.d.)

Berdasarkan pemetaan dan juga data yang dihimpun echo terjadi pada area balkon. Hal ini juga turut didukung oleh data yang terhimpun melalui kalkulasi

acoustic response yang digunakan untuk mengkalkulasikan waktu peluruhan dari data sebelumnya.

Berdasarkan temuan data ini Mediastika dkk. Melakukan optimalisasi auditorium. Optimalisasi desain ditempuh dengan pengaplikasian material yang menjadi catatan mampu mengatasi *noise* luar. Selanjutnya optimalisasi juga turut dilakukan dengan pengaplikasian material yang sesuai untuk menciptakan akustik ruangan yang tidak menimbulkan echo. Dengan demikian waktu dengung dalam kasus auditorium Universitas Petra dapat terkontrol dan juga mampu menghasilkan persebaran bunyi yang optimum.



Gambar 20. linked acoustic ray (Sutanto & al, n.d.)

Thermal Analysis		Solar Exposure		Material Costs		Resource Consumption		Reverberation Times		Acoustic Response	
Selected Zone				Calculation		FREQ.		TOTAL		EMPTY	
Zone 1				Select Display Type:				ABSPT.		RT (60)	
Volume (m³): 14343.01 Recalc.				Occupancy Range		63Hz:		2.18		2.06	
Auditorium Seating				Reverb. Time Algorithm:		125Hz:		2.18		2.08	
				Sabine		250Hz:		2.12		1.82	
1771		Hard-Backed		Calculate ?		500Hz:		0.95		0.89	
Percentage Occupied (%) 50						1kHz:		2.09		1.85	
						2kHz:		2.12		1.84	
						4kHz:		2.14		1.97	
						8kHz:		2.16		2.04	
						16kHz:		2.38		2.27	

Gambar 21. Waktu dengung setelah perbaikan(Sutanto & al, n.d.)

2.7.2 Skripsi Desain Akustik Ruang Pada *Home Theater* Multifungsi Perpustakaan ITS

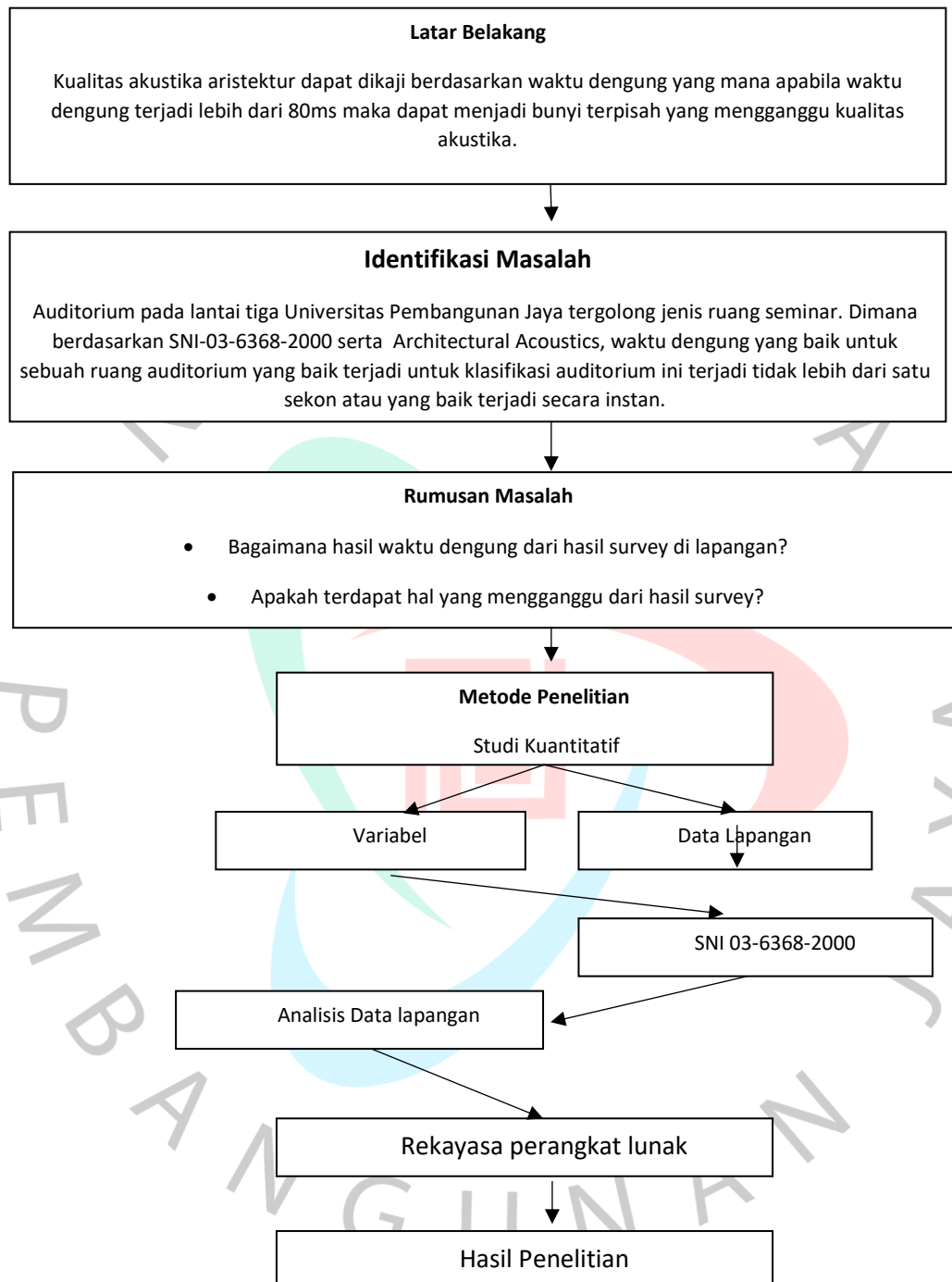
Penelitian skripsi yang dilaksanakan Muhammad Iqbal Baikhaqi dari ITS berupaya untuk mencari kualitas akustika melalui pendekatan yang lebih berorientasi kepada MIPA (Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam). Skripsi ini membedah pengkajian akustika melalui pembahasan pengukuran waktu dengung, pengukuran *nois* latar belakang, kejelasan pembicaraan serta pengaplikasian solusi untuk pengontrolan waktu dengung dan juga *nois* latar belakang.

Salah satu poin yang disorot adalah pengukuran kejelasan yang dikaji berdasarkan %Alcons serta STI. %ALcons merupakan articulation loss of consonant sementara STI adalah speech transmission index. Jika sebuah ruangan tidak memiliki kekondusifan akustika terutama dalam sebuah percakapan, perbedaan antara vocal dan konsonan juga dapat disebut sebagai rugi konsonan. %ALcons merupakan metode yang digunakan untuk mengukur rugi konsonan dengan besaran%. Dalam praktiknya, perhitungan %Alcons dipengaruhi oleh waktu dengung. Dengan demikian waktu dengung yang juga memiliki taraf yang berbeda untuk tiap frekuensi tertentu juga dapat mempengaruhi %Alcons untuk setiap frekuensi yang berbeda. Adapun formula dalam menentukan %ALcons adalah sebagai berikut:

$$\%AL_{\text{cons}} = \frac{200 \cdot D_2^2 RT_{60}^2 (1+n)}{VQM}$$

Di mana D_2 = Jarak terdekat terhadap sumber suara ; RT_{60} = Waktu dengung; v = volume ruangan ; Q = Directivity factor ; M = modifier kekuatan reverberasi akustik yang diasumsikan =1; dan n = banyaknya system pengeras suara penghasil bunyi asli. Untuk sebuah nilai yang dapat dikatakan sebagai %Alcons yang baik memiliki rentang di bawah 10% sementara cukup baik berada pada rentang 10%-15% dan buruk berada di rentang di atas 15% (Baikhaqi, 2015).

2.8 Kerangka Pemikiran



2.9 Sintesis

Setelah dilaksanakannya pengkajian teori serta penelitian terdahulu sebagaimana yang tertera di atas, Penulis akan melaksanakan penelitian dari apa yang telah didapati dari pengkajian teori dengan variable yang mencakup

Setelah dilaksanakannya pengkajian teori serta penelitian terdahulu sebagaimana yang tertera di atas, Penulis akan melaksanakan penelitian yang mana akan mencakup beberapa variabel yang telah didapati dari proses sintesis dari kajian teori dan penelitian terdahulu

Variabel pertama adalah waktu dengung (RT60). Pengkajian variable ini akan dikaji berdasarkan dua metode. Metode pertama merupakan metode kalkulasi berdasarkan formula RT60 oleh Norris-eyring. Untuk metode kedua dalam pengkajian RT60 didasarkan kepada penggunaan perangkat lunak Autodesk Ecotec.

Variabel selanjutnya adalah %Alcons atau articulation loss of consonant. Variabel ini akan dikaji berdasarkan garis pemetaan fungsi aula atau auditorium ini merupakan auditorium yang berfungsi sebagai ruangan perhelatan yang berorientasi kepada dialog

Variabel terakhir dalam penelitian ini adalah pola persebaran suara beserta pemantulannya. Pengkajian variable ini dilaksanakan guna mencari karakteristik persebaran gelombang bunyi yang terjadi dalam lingkup eksisting aula atau auditorium Universitas Pembangunan Jaya.



Halaman Sengaja Dikosongkan