

# **KAJIAN ATRIUM PADA BANGUNAN BERTINGKAT SEBAGAI PEREDUKSI KEBISINGAN**

**(Kompilasi Perbandingan Antara Observasi di Lapangan  
Dengan Simulasi Program Komputer)**



**Tesis  
Untuk memenuhi sebagian persyaratan  
Mencapai derajat Sarjana S-2**

**Magister Teknik Arsitektur**

**Santi Widiastuti  
L4B001230**

**PROGRAM PASCA SARJANA  
UNIVERSITAS DIPONEGORO  
SEMARANG  
2004**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**KAJIAN ATRIUM PADA BANGUNAN BERTINGKAT SEBAGAI  
PEREDUKSI KEBISINGAN**

**(Kompilasi Perbandingan Antara Observasi di Lapangan  
Dengan Simulasi Program Komputer)**

**Disusun oleh**

**Santi Widiastuti  
L4B001230**

**telah dipertahankan di depan Tim Penguji  
pada tanggal 17 Juni 2004  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima**

**Menyetujui,  
Komisi Pembimbing**

**Pembimbing Utama**



**(Dr. Ir. Eddy Prianto, CES, DEA)**

**Pembimbing Kedua**



**(Ir. Hernowo Danusaputro, MT)**



**Ketua Program Studi  
Magister Teknik Arsitektur**

**Totok Roesmanto, M Eng)**

<b>UPT-PUSTAK-UNDIP</b>	
No. Daft:	3149 A/MTA/er.
Tgl.	30/12/04

## ABSTRAKSI

Akustik bangunan merupakan faktor penting dalam perancangan arsitektural pada bangunan untuk mengendalikan kebisingan yang berlebihan dalam bangunan untuk memperoleh kondisi suara yang ideal didalam maupun diluar ruangan. Salah satu upaya pengendalian kebisingan dalam bangunan adalah dengan menerapkan disain atrium yang tepat sebagai pereduksi kebisingan.

Tujuan utama penelitian adalah untuk mengetahui fungsi atrium sebagai pereduksi kebisingan terutama pada bangunan bertingkat untuk memperoleh kenyamanan akustikal.

Pengambilan data dilakukan selama 48 jam meliputi koefisien serapan ruang, tingkat tekanan bunyi maupun faktor iklim mikro bangunan. Analisa data dilakukan berdasarkan selisih tingkat tekanan bunyi yang terjadi pada atrium antara siang hari dengan malam hari serta membandingkan kebenaran nilai reduksi melalui program simulasi komputer.

Hasil penelitian membuktikan bahwa atrium mereduksi tingkat tekanan bunyi  $\pm 8\%$  terhadap kebisingan pada Jl. Pawiyatan pada siang hari serta cenderung meningkat pada malam hari. Simulasi program komputer merupakan perangkat disain untuk merencanakan disain atrium terutama dalam bangunan bertingkat untuk memperoleh kondisi suara yang ideal dalam bangunan.

**(Kata kunci :** Perancangan arsitektural, Atrium, Pengendalian kebisingan, Penyerap kebisingan, Program simulasi)

## ABSTRACT

The building acoustic is critical factor in architectural design stage to the buiding to control the excessive indoor noise and obtaining ideal sound condition both indoor and outdoor. One effort to control noise inside the building sound building is to implement an appropriate design atrium as a noise reduction.

The main purposes of this study is to examine the function of atrium as noise reduction especially in high rise building to obtain the acoustical satisfaction.

The data was collected for 48 hours in field including room absorption coefficient, sound stress rate and building microclimate factors. The analisa base on the comparation of sound stress rate in atrium at day and night and the asreductive value by computer simulation program.

The result shows that atrium reduce  $\pm 8\%$  of the sound stress rate of the noise noise ini Jl. Pawiyatan at day but it tends to increase at night. The computer simulation program is sophisticated design tool to plan the design of atrium in high rise building to obtain ideal indoor sound condition.

(**Keywords** : *Architectural design, Atrium, Control noise, Noise reduction, Simulation program*)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur peneliti panjatkan kepada Tuhan YME karena atas rahmat, kehendak serta ijin-Nya, peneliti dapat menyelesaikan Tesis pada alur 'Teori dan Perancangan Teknologi Bangunan Tropis' Program Pasca Sarjana Magister Teknik Arsitektur Universitas Diponegoro tahun akademik 2004.

Tesis ini disusun dengan arahan dan masukan dari para pembimbing serta dari berbagai materi kepustakaan. Disamping itu juga karena masukan dan bantuan langsung maupun tidak langsung dari berbagai pihak. Untuk itu peneliti haturkan penghargaan dan terimakasih yang setinggi-tingginya kepada :

1. Dr. Ir. Eddy Prianto, CES, DEA selaku Dosen Pembimbing Utama
2. Ir. Hernowo Danusaputro, MT selaku Dosen Pembimbing Pendamping
3. Dr. Ing. Ir. Gagoek Hardiman, selaku Dosen penguji
4. Ir. Totok Roesmanto, M Eng selaku Ketua Program Pasca Sarjana MTA Undip
5. Ir. Eddy Darmawan, M Eng selaku Sekretaris Program Pasca Sarjana MTA Undip
6. Prof. Dr. dr. Soeharjo Hadisaputro selaku Direktur Program Pasca Sarjana yang telah berkenan memberikan Beasiswa melalui program BPPS selama peneliti menempuh masa studi di MTA Undip
7. Drs. Wirawan Sumbodo, MT selaku Direktur Politeknik Jawa Dwipa yang telah memberikan bantuan serta ijin untuk melanjutkan studi di MTA Undip
8. Seluruh dosen MTA Undip yang telah memberikan ilmu dan membuka wawasan peneliti
9. Ir. Hj. Mulyati, MT selaku Ketua Fakultas Teknik Jurusan Arsitektur UNS
10. Ir. B. Heru Santosa, M App. Sc selaku Ketua Lab Sains Bangunan UNS
11. Vincent Didiék , SE, MM selaku Dekan Fakultas Ekonomi Unika Soegijapranata Semarang

12. Ir. Fx. Sumarsono, Msa selaku Dosen Fisika Bangunan Unika Soegijapranata Semarang
13. Dr. Ir. Buntarto, Msc dan mahasiswa MIPA Undip atas bantuan referensinya
14. Yang tersayang Ibu, Eyang Kakung-Putri yang senantiasa memberikan cinta, kasih serta dukungannya
15. Stevanus Hindrio P, ST atas cinta, doa dan dukungannya pada saat-saat sulit
16. Kel. JM. Muhadi Sukatja, kel. Ir. Yani Desganria, kel. Dwianto Leksono, kakaku Jennie, kel. Suhardi, serta kel. Suratmi atas bantuan dan doanya
17. Rekan-rekan satu angkatan pada MTA Undip
18. Mbak Tutik, Mbak Etik dan mas Moko atas segala kemudahan dan kesabaran dalam memberikan bantuang kepada peneliti
19. Semua pihak yang telah memberikan bantuan kepada peneliti yang tidak dapat peneliti sebutkan satu persatu

Harapan peneliti, semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang memiliki perhatian khusus mengenai cabang ilmu yang peneliti pilih dalam penelitian ini dan juga bermanfaat bagi perkembangan bidang Arsitektur , khususnya mengenai 'Sistem dan Teknologi Bangunan' terutama yang berkaitan dengan masalah 'Akustik Lingkungan dan Akustik Bangunan'.

Semarang, Juli 2004

Peneliti

Santi

**DAFTAR ISI**

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>ABSTRAKSI</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR FOTO</b> .....	xii
<b>DAFTAR GRAFIK</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiv
<b>BAB I : PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Permasalahan .....	4
1.3. Tujuan Penelitian .....	
1.4. Manfaat Penelitian .....	5
1.5. Hipotesis .....	6
1.6. Alur Pikir Penelitian .....	6
<b>BAB II : KAJIAN PUSTAKA</b> .....	7
2.1. Aspek Kebisingan Lingkungan Dalam Perencanaan .....	9

2.1.1. Pengertian Fisik Kebisingan dan Reaksi Manusia.....	9
A. Pengertian Fisik Gelombang Suara / Bunyi dan Pengertian Kebisingan.....	9
B. Reaksi Manusia.....	15
2.1.2. Tingkat Kebisingan Latar Belakang Maksimum.....	17
2.1.3. Pengendalian Kebisingan Pada Media Rambatan .....	17
A. Outdoor Noise Control.....	17
B. Indor Noise Control.....	17
2.1.4. Prosedur rating.....	20
2.1.5. Tingkat Kebisingan Siang – Malam.....	28
2.2. Atrium dan Kebisingan Dalam Lingkungan Bangunan.....	30
2.2.1. Kebisingan Terhadap Mikroklimat Bangunan.....	30
2.2.2. Konsep Atrium Dalam Bangunan .....	31
A. Atrium (Ruang Terbuka) Dalam Bangunan.	31
B. Atrium Sebagai Konsep Bangunan Baru.....	32
C. Konstruksi Dasar Atrium.....	33
2.2.3. Pengendalian Kebisingan Dalam Atrium Bangunan Yustinus.....	33
<b>BAB III : METODE PENELITIAN.....</b>	<b>36</b>
3.1. Variabel Penelitian.....	36
3.1.1. Variabel Bebas.....	36
3.1.2. Variabel Terikat.....	36
3.1.3. Variabel Antara.....	37

3.2. Penentuan Obyek Penelitian.....	37
3.3. Jalannya Penelitian.....	39
3.3.1. Pengumpulan Data.....	39
A. Data Kepustakaan.....	39
B. Data Lapangan.....	39
3.3.2. Instrumen Penelitian.....	46
3.3.3. Analisis Data.....	46
<b>BAB IV :      GAMBARAN UMUM STUDI KASUS .....</b>	<b>47</b>
4.1. Lokasi.....	47
4.2. Tinjauan Bangunan.....	48
4.2.1. Bahan Bangunan.....	48
A. Atap.....	49
B. Dinding.....	49
C. Lantai.....	49
4.2.2. Atrium Bangunan.....	50
4.3. Tinjauan Atrium Dari Aspek Mikroklimat Bangunan.	52
4.3.1. Temperatur Udara .....	52
4.3.2. Kelembaban Udara dan Hujan.....	53
4.3.3. Pergerakan Udara.....	53
4.4. Tinjauan bangunan dari Aspek Akustik.....	54
<b>BAB V :      DATA DAN ANALISIS.....</b>	<b>55</b>
5.1. Tinjauan Atrium Dalam Bangunan	
Dari Aspek Akustik.....	55
5.2. Hasil Penelitian.....	56
5.2.1. Pengukuran Serapan Ruangan.....	56
5.2.3. Pengolahan Data.....	58

A. Pengolahan Data Observasi Lapangan.....	58
B. Pengolahan Data Dengan Simulasi Program Komputer .....	60
5.3. Analisis.....	64
5.3.1. Analisis Uji Hipotesis I.....	64
A. Analisis .....	65
B. Kesimpulan Uji Hipotesis I.....	66
5.3.2. Analisis Uji Hipotesis II.....	67
A. Analisis Pengaruh Temperatur, Kelembaban, Pergerakan Udara Terhadap Tingkat Tekanan Bunyi Pada Ruang.....	70
B. Kesimpulan Uji Hipotesis II.....	71
5.3.3. Perbandingan Data Observasi Lapangan dengan Simulasi Program Komputer.....	73
A. Analisis Observasi Lapangan.....	75
B. Analisis Simulasi Program Komputer.....	76
C. Kesimpulan Perbandingan Observasi dengan Simulasi Program Komputer.....	76
D. Simulasi Atrium.....	77
<b>BAB VI : KESIMPULAN DAN REKOMENDASI.....</b>	<b>81</b>
6.1. Kesimpulan.....	81
6.2. Saran dan Rekomendasi.....	84
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>85</b>
<b>LAMPIRAN-LAMPIRAN.....</b>	<b>xviii</b>

**DAFTAR GAMBAR**

No	halaman
1.1. Analogi Atrium Bangunan.....	4
2.1. Perambatan Suara.....	10
2.2. Telinga dan Bagian-bagiannya.....	16
2.3. Pembelokkan / Refraksi Gelombang Bunyi.....	20
2.4. Gelombang Suara yang Merambat Pada Penghalang.....	22
2.5. Resonansi Bunyi.....	24
2.6. Transmisi Bunyi.....	24
2.7. Contoh Hasil Prosedur Rating.....	28
2.8. King Plaza Shopping Centre dan Butterfly World, Africa USA, Vallejo, CA.....	32
2.9. Konstruksi Dasar Atrium.....	33
2.10. Kurva Penyerapan Bunyi Oleh Lapisan Udara.....	34
3.1. Salah Satu Bentuk Konstruksi Atrium.....	37
3.2. Peletakan Titik Pengukuran Dilapangan Pada Bangunan.....	43
4.1. Atrium Bangunan Yustinus.....	51
5.1. Serapan Di Luar Ruangan (Dinding Dianggap Sebagai Partisi).....	61

### DAFTAR FOTO

No		halaman
3.1.	Tampak Atrium Bangunan Yustinus.....	37
3.2.	Alat yang Dipergunakan Selama Observasi.....	46
4.1.	Tampak Depan Bangunan Yustinus .....	48
4.2.	Tampak Dalam Atrium.....	51
4.3.	Jendela Sebagai Pencahayaan Alami.....	51
4.4.	Pintu dan Jendela.....	51
4.5.	Keberadaan Atrium Dalam Bangunan.....	53

### DAFTAR GRAFIK

No		halaman
2.1.	Faktor Jarak Dan Ketinggin Bangunan Dalam Kebisingan.....	8
2.2.	Kriteria Kebisingan Latar Belakang Maksimum yang Direkomendasikan Di Luar Ruangan .....	17
5.1.	Hasil Simulasi Tingkat Tekanan Bunyi Pada lt.1.....	62
5.2.	Hasil Simulasi Tingkat Tekanan Bunyi Pada lt.3.....	63
5.3.	Hasil Simulasi Tingkat Tekanan Bunyi Pada lt.5.....	63
5.4.	Pengukuran Lek Siang Pada Bangunan/ Sabtu (Gangguan Jl.Pawiyatan).....	65
5.5.	Pengukuran Ls – Lm (Sabtu) - Gangguan Jl.Pawiyatan.....	69
5.6.	Perbandingan Hasil Pengukuran Lek (Observasi dengan Komputer ).....	72
5.7.	Pereduksian Tingkat Kebisingan Pada Atrium.....	78

## DAFTAR TABEL

No	halaman
2.1. Hubungan Antara Tekanan Suara Dengan Tingkat Tekanan Suara.....	13
2.2. Tingkat Kebisingan Ekuivalen (Rerata / Tahun) yang Diperbolehkan Terhadap Kesehatan.....	14
2.3. Baku Tingkat Kebisingan Kawasan.....	15
2.4. Absorpsi Suara Oleh Udara.....	18
2.5. Koefisien Serapan bahan Pada Berbagai Frekuensi.....	25
2.6. Kecepatan Bunyi di Udara Terhadap Fungsi Temperatur.....	31
3.1. Penentuan Sampel Penelitian .....	39
5.1. Ruang Obyek Penelitian Bangunan Yustinus.....	57
5.2. Koefisien Rata-rata Dalam Ruangan.....	57
5.3. Prosentase Reduksi Atrium Terhadap Kebisingan Dalam Bangunan.....	59
5.4. Hasil Simulasi Tingkat Tekanan Bunyi Pada It.1.....	62
5.5. Hasil Simulasi Tingkat Tekanan Bunyi Pada It.3.....	63
5.6. Hasil Simulasi Tingkat Tekanan Bunyi Pada It.5.....	63
5.7. Pengukuran Ls Pada Bangunan/ Sabtu (Gangguan Jl.Pawiyatan)..	65
5.8. Pengukuran Ls – Lm (Sabtu) - Gangguan Jl.Pawiyatan.....	68
5.9. Pengukuran Lek Siang Hari Pada Atrium.....	70
5.10. Pengukuran Lek Malam Hari Pada Atrium.....	71
5.11. Perbandingan Hasil Pengukuran Lek (Observasi dengan Komputer ).....	72
5.12. Pereduksian Tingkat Kebisingan Pada Atrium.....	78
5.13. Simulasi Posisi Atrium Terhadap Pereduksian Tingkat Kebisingan.....	79

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Diagram Alur Pikir Penelitian
- Lampiran 2. Diagram Uji Hipotesis I
- Lampiran 3. Diagram Uji Hipotesis II
- Lampiran 4. Tabel Pengukuran Lek Background Noise
- Lampiran 5. Tabel Pengukuran Lek Ruangan Bangunan Yustinus
- Lampiran 6. Tabel Perhitungan Koefisien Serapan Ruangan
- Lampiran 7. Tahapan Simulasi Program komputer
- Lampiran 8. Hasil Simulasi Progam Komputer Berdasarkan Intensitas Bunyi
- Lampiran 9. Hasil Simulasi Progam Komputer Berdasarkan Jarak
- Lampiran 10. Gambar Kerja Bangunan Yustinus
- Lampiran 11. Hasil Pengukuran Lsiang (Lek-s) Pada Bangunan
- Lampiran 12. Hasil Pengukuran Lmalam (Lek-m) Pada Bangunan

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. LATAR BELAKANG

Semakin berkembang pesat suatu teknologi dalam semua sektor pada kehidupan sehari-hari, begitu juga permasalahan kebisingan yang ditimbulkan karenanya. Dampak perkembangan teknologi yang berakibat timbulnya gangguan kebisingan pada akhirnya akan berpengaruh terhadap kenyamanan pemakai bangunan bahkan merusak pendengaran dan kondisi yang memburuk terhadap kesehatan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi akustik pada bangunan dikarenakan adanya kecenderungan penggantian konstruksi bangunan yang lazimnya berat dan tebal dengan bahan pengganti yang relatif lebih ringan, tipis dan bersifat '*prefabricated*', pemilihan lokasi yang kurang tepat, serta tidak memperhatikannya segi akustik pada disain bangunan akan memberikan efek negatif terhadap segi akustik bangunan. Padahal akustik menurut (Doelle, 1993) merupakan faktor penting dalam perancangan arsitektural yang berkaitan dengan metode pengendalian kebisingan yang berlebihan pada bangunan sehingga tercipta kondisi mendengarkan yang ideal diluar maupun didalam ruangan.

Fenomena Arsitektur yang terjadi di lapangan menunjukkan bahwa masalah kebisingan ini kurang mendapatkan perhatian yang serius, sehingga pada bangunan-bangunan yang sangat membutuhkan ketenangan maupun persyaratan kenyamanan bebas dari gangguan kebisingan dalam mendisain bangunan belum

mendapatkan perhatian yang lebih cermat. Gangguan kebisingan antara lain berasal dari : bising lalu lintas dan transportasi (mobil, truk, sepeda motor, kereta api, pesawat terbang); bising industri, maupun bising yang diakibatkan oleh aktifitas manusia (penggunaan peralatan modern).

Pengendalian bunyi secara arsitektural memiliki dua sasaran yaitu menyediakan media yang baik untuk produksi, perambatan dan penerimaan bunyi yang diinginkan (pembicaraan atau musik) didalam ruang yang digunakan untuk bermacam-macam tujuan mendengar atau diruang terbuka (akustik ruang) serta peniadaan atau pengurangan kebisingan (bunyi yang tidak diinginkan) dan getaran dalam jumlah yang cukup (pengendalian kebisingan).

Adapun obyek penelitian adalah bangunan Yustinus Unika Soegijapranata Semarang yang merupakan bangunan bertingkat dengan lokasi bangunan berada di Jl. Pawiyatan Luhur, Bendan Dhuwur ditepi jalan tol Jatingaleh-Krapyak dengan tingkat kebisingan relatif tinggi. Seperti yang dikemukakan oleh (Schaudinisky, 1976) bahwa apabila lokasi bangunan berada ditepi jalan besar yang sangat padat, bangunan sebaiknya diletakkan dengan sisi lebar menghadap jalan, sedangkan sisi yang tidak menghadap jalan didisain untuk bukaan jendela. Dalam disain bangunan, bangunan Yustinus sudah mempertimbangkan faktor iklim namun pada kenyataannya dari segi akustik kurang dipertimbangkan antara lain perletakan bangunan yang kurang sesuai maupun banyaknya bukaan-bukaan pada bangunan sehingga mengakibatkan kebisingan dari luar (lingkungan) masuk kedalam bangunan. Kondisi tanah yang menanjak landai serta sempit dirasakan masih kurang pengendalian tingkat kebisingan terhadap bangunan meskipun

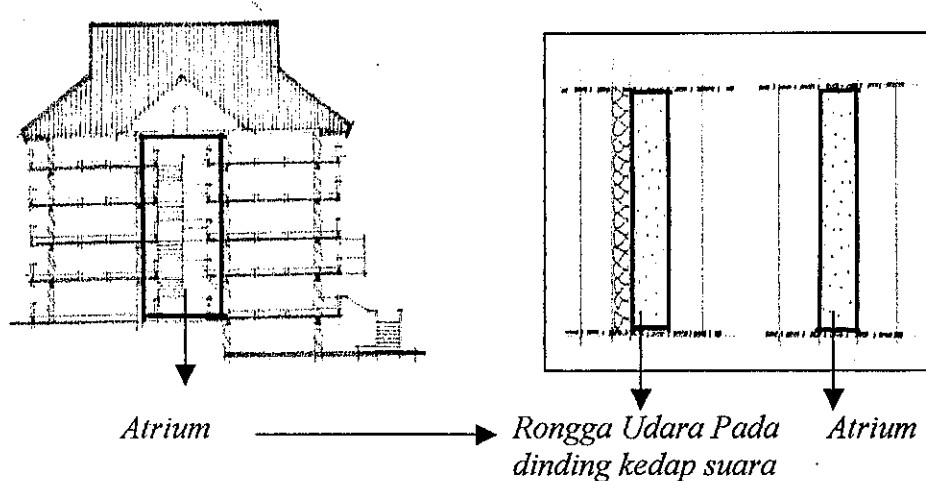
sudah ada faktor koreksi propagasi suara berupa bukit, vegetasi serta lokasi bangunan yang sebetulnya berada jauh diatas sumber bunyi.

Konsep disain bangunan menerapkan konsep "Mall" dimana terdapat peletakan atrium berada di tengah bangunan yang membagi massa bangunan sisi Barat Daya dan sisi Timur Laut. Bangunan Yustinus terdiri dari 6 lantai, dimana hanya 5 lantai saja yang efektif digunakan sebagai ruang perkuliahan mulai dari fakultas Ekonomi Jurusan Akuntansi dan Jurusan Management, Jurusan Elektronika dan D3 Perpajakan dengan jumlah ruang sebanyak 72 ruang. Pengukuran lapangan untuk mengetahui tingkat kebisingan yang terjadi dalam bangunan dilakukan di lantai 1, 3, dan 5 dan diambil 9 titik pengukuran sebagai sampel yang mewakili tipikal ruang bangunan berdasarkan dua sisi bangunan yaitu sisi Timur Laut dan Barat Daya.

Pada pembahasan penelitian akan mengarah pada salah satu alternatif disain bangunan yang menggunakan konsep atrium dalam bangunan sebagai upaya mengurangi intensitas kebisingan ke dalam bangunan. Fenomena atrium modern menurut (Saxon, 1993) adalah atrium merupakan ruang terbuka yang statis dengan bentuk vertikal pada bangunan. Untuk selanjutnya pembahasan akan difokuskan sebagai upaya pengendalian kebisingan yang terjadi pada bangunan Yustinus dengan menggunakan konsep atrium sebagai ruang terbuka dalam bangunan yang dianalogikan sebagai rongga udara sebagai upaya mengendalikan perambatan kebisingan terhadap ruang lain yaitu dengan harapan bahwa tingkat bising yang diterima setelah mengalami pereduksian dengan adanya ruang terbuka (atrium) akan berdampak adanya pengurangan tingkat

tekanan bunyi pada ruangan, hal tersebut terutama berkaitan dengan penurunan intensitas kebisingan (atenuasi) berdasarkan jarak.

### Definisi dan Asumsi



**Gambar 1.1. Analogi Atrium Bangunan.**

Rongga udara pada dinding kedap suara dianalogikan sebagai atrium pada bangunan Yustinus  
(Sumber : Sketsa Peneliti, 2003)

### 1.2. PERMASALAHAN

Disamping sumber kebisingan yang berasal dari trafik, faktor iklim turut mempengaruhi pertimbangan perencanaan bangunan didaerah tropis antara lain: kelembaban, panas dan sinar matahari, angin dan temperatur. Makin tinggi temperatur udara, maka makin tinggi frekuensi bunyi yang berakibat makin memperkuat tingkat tekanan bunyi di udara. Sehingga tingkat kebisingan yang diterima bangunan pada siang hari juga makin tinggi. Dari latar belakang pemikiran yang mendasari permasalahan diatas, maka timbul permasalahan-permasalahan sebagai berikut :

1. Seberapa besar peran atrium (ruang terbuka) dalam bangunan bertingkat dapat mereduksi tingkat kebisingan yang dipantulkan kedalam ruangan?
2. Seberapa besar perbedaan tingkat tekanan bunyi pada bangunan antara siang dengan malam hari ?

### **1.3. TUJUAN PENELITIAN**

Bertitik tolak dari permasalahan-permasalahan yang ada dalam penelitian ini maka tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui seberapa jauh peran atrium dapat mengurangi tingkat kebisingan lingkungan yang masuk kedalam bangunan.
2. Terdapat perbedaan tingkat tekanan bunyi pada bangunan antara siang hari dan malam hari.

### **1.4. MANFAAT PENELITIAN**

Seluruh hasil yang dapat didapat dari penelitian ini baik berupa rumusan-rumusan pembuktian teori maupun temuan-temuan tertentu diharapkan :

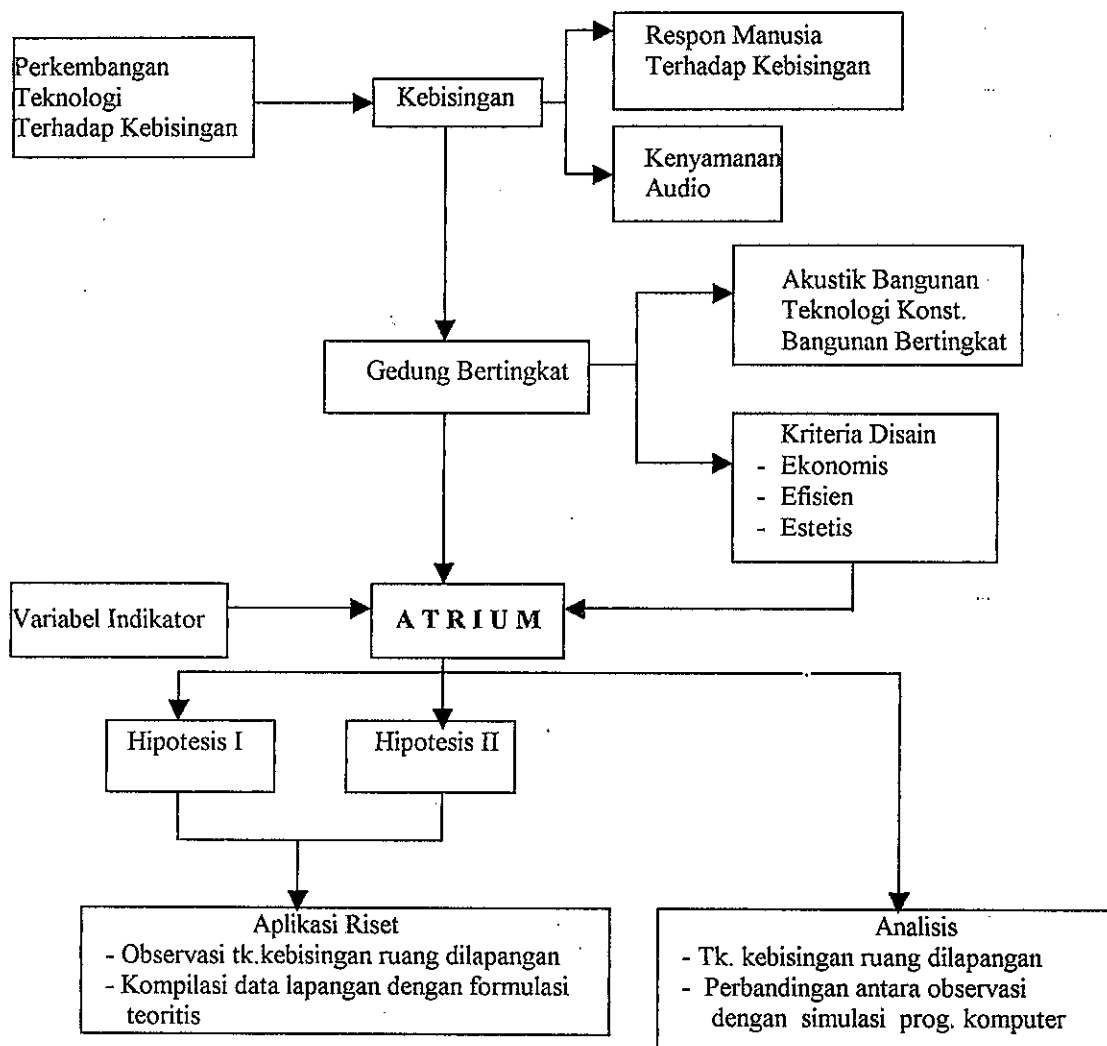
1. Dapat bermanfaat dalam kaitannya dengan teknologi bangunan sebagai alternatif bagi permasalahan akustik lingkungan dan akustik bangunan, terutama pada bangunan bertingkat.
2. Disain atrium (ruang terbuka) sebagai pereduksi kebisingan yang efektif pada bangunan bertingkat dapat diaplikasikan terhadap bangunan lain (mall, hotel, perkantoran, dan lain sebagainya).

### 1.5. HIPOTESIS

1. Disain atrium pada terbuka dalam bangunan bertingkat dapat mereduksi kebisingan lingkungan ke dalam ruang bangunan.
2. Adanya perbedaan tingkat tekanan bunyi pada bangunan antara siang hari dengan malam hari.

### 1.6. ALUR PIKIR PENELITIAN

Alur pikir penelitian adalah sebagai berikut :



## BAB II

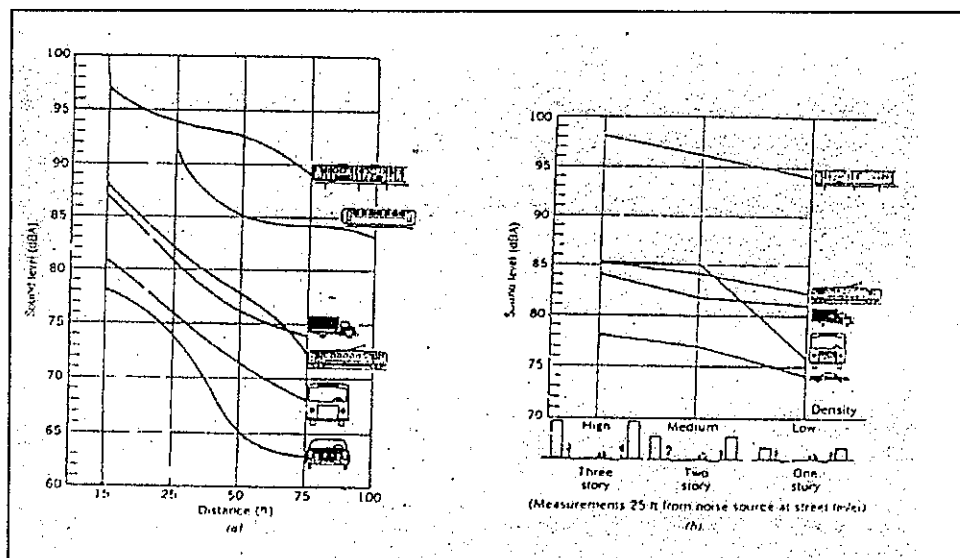
### KAJIAN PUSTAKA

Dalam proses disain terdapat beberapa tahapan keputusan yang tidak sederhana yang akhirnya dicapai suatu kesepakatan dan jalan keluar atau solusi yang optimal. Dalam hal ini keterbatasan lokasi dan biaya, selayaknya diimbangi dengan pemecahan disain yang bijaksana tanpa mengorbankan aspek lain yang terkadang sebenarnya sangat penting dan pada akhirnya akan menimbulkan dampak negatif bagi kepentingan pengguna bangunan. Pada saat seorang perencana memulai pekerjaannya dalam merencanakan bangunan, seyogyanya sejumlah pertanyaan dimunculkan mengenai ruang (*space*), pembatas (*enclosure*), organisasi geometris, pemecahan disain permukaan bangunan, dan pemilihan bahan dan material bangunan (Burden, 1995).

Suatu bangunan disamping harus memenuhi aspek estetis juga harus memiliki pertimbangan yang berkaitan dengan aspek sosial dan aspek teknologi agar bangunan lebih fungsional. Pada beberapa kasus memperlihatkan bahwa akustik bukan satu-satunya pertimbangan penting yang harus dipikirkan oleh perencana, namun ada pertimbangan lain yang mempunyai bobot yang kepentingan yang sama, yaitu iklim. Seperti yang dikemukakan (Schaudinisky, 1976) bahwa apabila lokasi bangunan berada ditepi jalan besar yang sangat padat, bangunan sebaiknya diletakkan dengan sisi lebar menghadap jalan, sedangkan sisi yang tidak menghadap jalan didisain untuk bukaan jendela. Namun pada kenyataannya,

perletakan bangunan didisain dengan pertimbangan iklim maupun pertimbangan lain, sedangkan pertimbangan dari segi akustik dikesampingkan. Menurut Stein (1986) menyatakan bahwa : “Bunyi dan udara harus dipertimbangkan secara bersama-sama karena keduanya sulit dipisahkan”.

Selama ini mungkin belum terpikirkan disain atrium pada bangunan terutama di daerah tropis sebagai salah satu respon bangunan mengatasi kebisingan dari luar bangunan. Karena atrium sebagai ruang terbuka pada bangunan yang dianalogikan sebagai rongga udara pada dinding kedap suara berperan sebagai bantalan udara yang fungsinya menyerap bunyi. Menurut (Richard dan Wayne, 1978) bahwa suara yang merambat melalui udara dalam hal ini pada atrium sebagian kecil suaranya akan diekstraksi oleh udara dan diubah menjadi panas. Demikian sama halnya dengan usaha pengendalian kebisingan dengan menghambat perambatan suara diluar bangunan masuk kedalam ruangan.



**Grafik 2.1.** Faktor Jarak dan Ketinggian Bangunan dalam Kebisingan  
 a. Jarak sebagai faktor dalam Tingkat Intensitas Kebisingan  
 b. Tinggi bangunan sebagai faktor dalam propagasi kebisingan  
 (sumber: Stein, 1986)

Dalam memprediksi kebisingan ruang luar bangunan, berlaku hukum ataupun ketentuan yang menghubungkan fungsi 'jarak' dan fungsi 'tinggi bangunan' terhadap tingkat kebisingan (Bragdon dalam Stein, 1986).

## **2.1. ASPEK KEBISINGAN LINGKUNGAN DALAM PERENCANAAN**

Pertimbangan disain bangunan meliputi aspek akustik lingkungan yang matang dalam hal : pengelompokan ruang, pemilihan site, *Lay out* bangunan, pemilihan massa bangunan, serta *finishing* bangunan ( Knuden dan Harris, 1979)

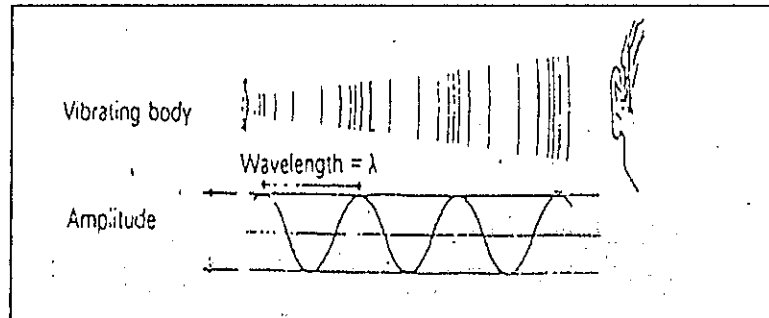
### **2.1.1. PENGERTIAN FISIK KEBISINGAN DAN REAKSI MANUSIA**

#### **A. Pengertian Fisik gelombang Suara / Bunyi dan Pengertian Kebisingan**

'Gelombang suara' adalah suatu gejala fisika dalam medium (gas, zat, cair atau padat) yang dapat dideteksi oleh telinga manusia. Medium dimana gelombang suara merambat haruslah memiliki 'masa' dan 'elastisitas'. Oleh Karena itu gelombang suara tidak akan dapat merambat melalui '*vacuum*' atau hampa udara. Gelombang bunyi di udara disebabkan oleh variasi tekanan diatas dan dibawah nilai statis tekanan atmosfer mempunyai nilai  $10^5$  pascal yang setara dengan  $10^6$  dyne/cm<sup>2</sup> dan setara dengan  $10^5$  Newton/cm<sup>2</sup>).

Kebisingan adalah bunyi yang tidak dikehendaki karena tidak sesuai dengan konteks ruang dan waktu sehingga menimbulkan gangguan kenyamanan dan kesehatan manusia (Harris, 1979).

## 1. Perambatan Gelombang Bunyi



**Gambar 2.1. Perambatan Suara**  
(Sumber: Szokolay, 1980)

Gerakan gelombang suara :  $v = f \times \lambda$

- $\lambda$  = panjang gelombang (m)
- $f$  = frekuensi (Hz-Hertz, jumlah getaran per detik)
- $v$  = kecepatan (m/detik)

Namun demikian apabila kepadatan udara berubah seiring dengan tekanan ataupun temperatur, maka kecepatan bunyi di udara juga berubah, Nilai 340 m/detik hanya valid pada keadaan suhu 14°C dan tekanan normal (103,3 kPa atau kN/m<sup>2</sup>) dan pada temperatur yang bervariasi, kecepatan bunyi bervariasi pula.

## 2. Terjadinya Kebisingan

Suara merupakan gangguan fisik dalam suatu medium udara berlangsung melalui pola mampatan dan renggangan molekul-molekul udara yang dilalui. Gelombang yang merambat dengan pola seperti ini disebut gelombang longitudinal. Banyaknya mampatan dan renggangan yang terjadi dalam suatu interval waktu tertentu disebut frekuensi suara. Satuan frekuensi suara ini dinyatakan dalam hertz (Hz) jika satuan interval waktu kejadian dinyatakan dalam detik.

Menurut (Harris, 1979) yaitu apabila ada desakan pada lapisan udara, selama tekanan dalam lapisan yang tertekan lebih tinggi daripada atmosfer disekelilingnya, partikel udara dalam lapisan yang bersangkutan akan bergerak keluar dan menekan lapisan kedua. Lapisan kedua berpindah, bergerak ke lapisan berikutnya dan seterusnya. Lapisan regangan menyusul lapisan rapatan dalam arah keluar dan merambat dalam tingkatan yang sama, disebut '*speed of sound*' (kecepatan bunyi). Bunyi merambat lebih cepat pada benda padat daripada di udara. Sebagai contoh bunyi di dalam pasangan batu bata adalah berkisar 11 kali lebih cepat daripada kecepatan bunyi di udara .

Gelombang suara di udara yang disebabkan oleh gangguan tekanan udara terhadap keseimbangan tekanan atmosfer menyebabkan tekanan udara bervariasi diatas dan di bawah keseimbangan static atmosferiknya. Variasi tekanan udara ini dapat terjadi melalui ditimbulkannya mekanisme oleh : arus udara, tumbukan arus udara dengan penghalang, gelombang kejut supersonik, vibrasi permukaan.

### 3. Intensitas Bunyi

Didefinisikan sebagai laju aliran energi (daya) bunyi yang melalui suatu permukaan tiap satuan waktu per satuan luas.

Dalam arah radial, intensitas suara dapat disajikan menurut persamaan :

$$I = Zv^2 = \frac{p^2}{\rho c} \text{ watt /m}^2 \dots\dots\dots (1)$$

dengan :  
 p : tekanan bunyi rms  
 v : kecepatan partikel rms  
 Z : satuan rayleigh / sekon

### Gelombang Sferis

Gelombang sferis adalah menyebar kesemua arah dengan intensitas bunyi yang sama. Daya bunyi pada jarak ( $r$ ) adalah :

$$W = I.S = \frac{p^2}{\rho c} \cdot 4\pi \cdot r^2 \dots\dots\dots (2)$$

#### 4. Tingkat Tekanan Bunyi (Sound Pressure Level = SPL)

Dalam KEP-48/MENLH/11/1996 disebutkan definisi tingkat tekanan bunyi (tingkat kebisingan) adalah ukuran energi bunyi yang dinyatakan dalam satuan *deciBell* (dB). Menurut (Finke, 1990) yang dimaksud dengan kuantitas dari besar kebisingan adalah tekanan suaranya. Amplitudo tekanan bunyi terkecil yang dapat didengar oleh telinga manusia (ambang pendengaran), adalah  $2 \times 10^{-5}$  N/M<sup>2</sup> pada frekuensi 1000 Hz sedangkan ambang rasa sakit  $2 \times 10$  N/M<sup>2</sup>. Karena tekanan bunyi yang dapat didengar memiliki range yang sangat lebar maka tekanan bunyi dinyatakan dalam skala logaritmis (dB) dengan definisi Tingkat Tekanan Bunyi (SPL=Lp) sebagai :

$$L_p = 20 \log p/p_0$$

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} \dots\dots\dots (3)$$

dengan :      Lp : tingkat tekanan bunyi  
                   p : tekanan suara terukur  
                   p<sub>0</sub> :  $2 \times 10^{-5}$  N/M<sup>2</sup>

**Tabel 2.1.** Hubungan antara Tekanan Suara dengan Tingkat Tekanan Suara untuk berbagai Jenis Sumber Kebisingan  
(Sumber: Sasongko dan Agus H, 2000)

Jenis Sumber Kebisingan	Tekanan Suara (Pa)	Tk. Tekanan Suara (dB)
Pesawat jet tinggal landas (jarak 100 feet)	20,00	120
Pesawat jet tinggal landas (jarak 400 feet)	6,32	110
Sepeda motor (jarak 25 feet)	0,632	90
Lalu lintas, jalan kota	0,0632	70
Pidato	0,020	60
Perkantoran, permukiman	0,00632	50
Kamar tamu (tanpa TV)	0,0020	40
Kamar tidur (malam)	0,000632	30

## 5. Pembobotan Tingkat Bunyi

Faktor kenyaringan suara (*loudness*) sangat penting dalam kaitannya dengan pengaruh bising terhadap manusia. Kenyaringan suara tidak hanya tergantung pada tekanan suara tetapi juga pada frekuensi. Respon telinga ternyata kurang baik untuk frekuensi rendah (kurang dari 500 Hz) dan frekuensi tinggi (lebih dari 8000 Hz) sehingga suara dengan frekuensi rendah dan tinggi kurang efektif diterima telinga manusia dibandingkan dengan frekuensi medium (antara 500 – 8000 Hz) dan untuk mendapatkan angka yang menunjukkan tingkat tekanan suara dengan frekuensi yang luas tetapi masih diterima secara efektif oleh telinga manusia maka dilakukan pembobotan (*weighing*).

## 6. Penentuan Standar dan Kriteria Kebisingan

Standar dan kriteria kebisingan biasanya ditentukan berdasarkan pertimbangan pangaruh kebisingan terhadap manusia. Untuk menentukan

pengaruh kebisingan terhadap manusia diperlukan kriteria yang berhubungan dengan tingkat kebisingan yang diperbolehkan terhadap kesehatan manusia.

**Tabel 2.2.** Tingkat kebisingan Ekuivalen (Rerata/tahun) yang Diperbolehkan Terhadap Kesehatan  
(Sumber : May D Handbook Of Noise Assesment, 1978)

No	Peruntukan Kawasan	Pernyataan Tingkat Kebisingan	Dalam Ruang		Perlindungan Pendengaran	Luar Ruang		Perlindungan Pendengaran
			Gangguan Kegiatan	Hilang Dengar		Gangguan Kegiatan	Hilang Dengar	
1	Permukiman berhalaman	Lsm Lek (24)	45	70	45	55	70	55
2	Permukiman Tanpa halaman	Lsm Lek (24)	45	70	45			
3	Rumah Sakit	Lsm Lek (24)	45	70	45	55	70	55
4	Industri	Lek (24)	d	70	70	d	70	70
5	Pendidikan	Lek (24)	45		45	55		55
6	Tempat rekreasi	Lek (24)	d	70	70	d	70	70

Untuk menjamin kelestarian lingkungan hidup agar dapat bermanfaat bagi kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya maka diperlukan upaya pengendalian pencemaran atau kerusakan lingkungan. Kebisingan merupakan salah satu dampak kegiatan yang dapat mengganggu kesehatan dan lingkungan sehingga untuk pengendalian kebisingan diperlukan Baku Tingkat Kebisingan Kawasan yang ditetapkan pemerintah Nomor : KEP-48/MENLH/11/1996 tanggal 25 September 1996. (lihat tabel 2.3)

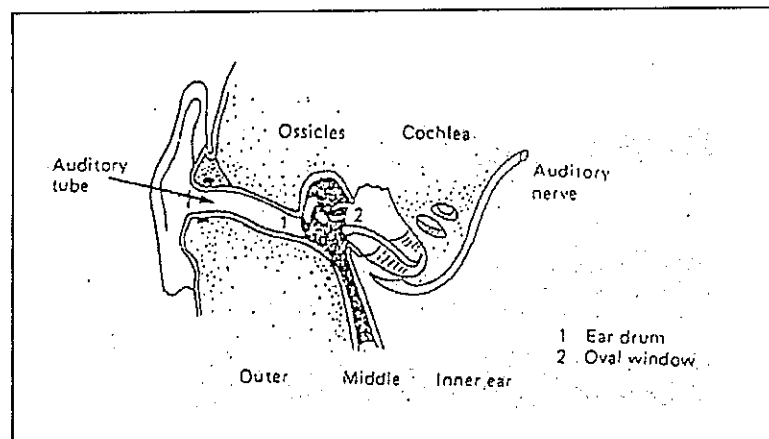
**Tabel 2.3. Baku Tingkat Kebisingan Kawasan**  
(sumber : Sasongko dan Agus H, 2000)

No	Peruntukan Kawasan / Lingkungan Kegiatan	Tk Kebisingan (dBA)	
A.	Peruntukan Kawasan		
1	Perumahan dan Permukiman	55	
2	Perdagangan dan jasa		70
3	Perkantoran dan perdagangan	65	
4	Ruang terbuka hijau		50
5	Industri		70
6	Pemerintah dan Fasilitas Umum		60
7	Rekreasi	70	
8	Khusus		
-	Bandar udara		
-	Stasiun kereta api		
-	Pelabuhan laut		70
-	Cagar Budaya		60
B	Lingkungan Kegiatan		
1	Rumah sakit dan sejenisnya	55	
2	Sekolah dan sejenisnya		55
3	Tempat ibadah dan sejenisnya		55

## B. Reaksi Manusia

### 1. Telinga Manusia

Persepsi pendengaran dimulai dari telinga (Szokolay, 1980) menyatakan bahwa bunyi merambat di udara mencapai gendang telinga melalui '*auditory tube*' dan menggetarkannya. Getaran, kemudian ditransmisikan oleh *Ossicels* (*Hammer, anvil dan stirrup*) menuju ke membran dalam *Oval window*, dan setelah melaluinya akan mencapai telinga dalam yaitu *Cochlea*. Sebanyak 25.000 serabut saraf pendengaran terdapat pada *Cochlea* yang dapat menyeleksi secara selektif berbagai frekuensi dan menggeraskan simpul saraf yang akhirnya ditransmisikan ke otak.



**Gambar 2.2.** Telinga dan Bagian-bagiannya  
(Sumber: SV. Szokolay, 1980)

Fungsi otak menanggapi impuls ini, namun tahap pertama seleksi bunyi adalah pada bagian dalam. Dengan demikian telinga bukan hanya microphone yang sangat efisien tetapi juga sebuah analisis yang hebat. Fungsi-fungsi persepsi bunyi terbaik melalui pola pemahaman, penyaringan dan interpretasi berdasarkan memori. Terdapat proses yang sederhana tapi penting pada persepsi pendengaran antara lain persepsi langsung serta persepsi jarak.

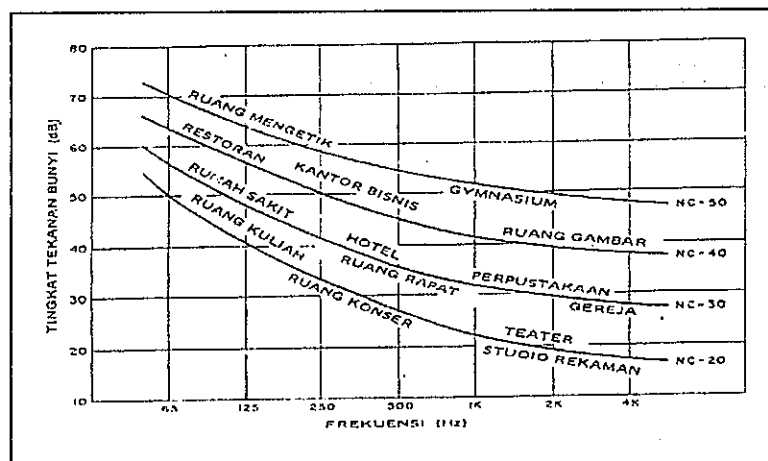
## 2. Gangguan Pada manusia

Kebisingan yang mengganggu lingkungan habitat manusia akan dapat memberikan dampak yang merugikan manusia itu sendiri, baik secara fisiologis maupun psikologis. (Sasongko dan Agus H, 2000) mengemukakan bahwa pengaruh kebisingan terhadap manusia tergantung pada karakteristik fisis, waktu berlangsung dan waktu kejadiannya. Bentuk gangguan yang diakibatkan kebisingan antara lain gangguan pendengaran dan gangguan percakapan.

### 2.1.2. TINGKAT BISING LATAR BELAKANG MAKSIMUM

(Doelle, 1993) mengemukakan bahwa tingkat bising latar belakang maksimum yang diperbolehkan yang direkomendasi dalam berbagai peruntukan bangunan, dapat dinyatakan dalam kurva *Noise Criterion* (NC). Kurva tersebut direkomendasikan untuk spesifikasi jumlah tingkat bising latar belakang yang diinginkan untuk berbagai peruntukan, dengan tiap sistem ventilasi atau pengkondisian udara beroperasi dan dengan kondisi lalu lintas normal, tingkatan ini dinyatakan dalam kurva NC (*Noise Criterion*).

**Grafik 2.2.** Kriteria Bising Latar Belakang yang Direkomendasikan Untuk Ruang-ruang Tertentu  
(Sumber : Doelle, 1993)



### 2.1.3. PENGENDALIAN KEBISINGAN PADA MEDIA RAMBATAN

#### A. Outdoor Noise Control

Pengendalian kebisingan diluar sumber menurut (Richard dan Warney, 1978) adalah mengusahakan menghambat rambatan suara diluar ruangan sedemikian rupa sehingga intensitas suaranya menjadi lemah.

### 1. Pengurangan oleh serapan udara

Suara yang merambat melalui udara menurut (Harris, 1979) sebagian kecil energi suaranya akan di ekstraksi oleh udara dan diubah menjadi panas. Banyaknya energi yang diserap tergantung pada frekuensi, temperatur dan kelembaban udara.

Udara bertindak sebagaimana penyerap bunyi (Lawrence, 1986). Pengaruh tersebut berlangsung pada jarak yang lebar dan penting dalam frekuensi yang tinggi.

**Tabel 2.4.** Absorpsi suara oleh udara  
(Sumber : Harris dalam Lawrence, 1986)

Frekuensi (Hz)	Kelembaban Relatif		
	30%	50%	70%
125	0,04	0,032	0,028
250	0,08	0,07	0,06
500	0,2	0,18	0,16
1000	0,52	0,42	0,37
2000	1,7	1,0	0,8
4000	4,2	2,6	2,3
8000	13,9	8,3	6,1

Temperatur udara 20°C (68°F)

### 2. Pengurangan oleh hujan, salju dan kabut

Adanya hujan, salju, kabut dan partikulat debu yang tersuspensi di atmosfer menurut (Richard dan Warney, 1978) hanya sedikit mengurangi tingkat kebisingan dibandingkan dengan serapan atmosfer sehingga pengurangan kebisingan bisa diabaikan.

### 3. Pengurangan oleh vegetasi

Pengurangan kebisingan oleh adanya vegetasi tergantung pada kondisi tanah, jenis dan struktur vegetasi, tinggi sumber dan penerima kebisingan dari

atas tanah. Menurut (Doelle, 1993) bahwa semak-semak dan deretan pepohonan pada dasarnya tidak mengurangi bising pada frekuensi-frekuensi rendah sedangkan pada frekuensi tinggi dapat mereduksi sekitar 1-2 dB. Demikian juga (Mangunwijaya, 1997) yang menyatakan bahwa tumbuhan, semak dan pepohonan dapat menghindarkan bangunan dari suara-suara bising berfrekuensi tinggi dan menyerapnya sebesar 0,1 fon.

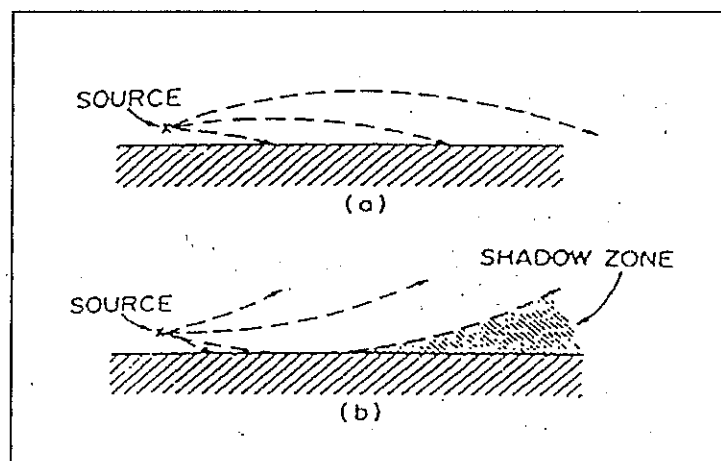
#### 4. Ketidakhomogenan Atmosfer

Rambatan gelombang suara di atmosfer akan dibiaskan oleh angin dan adanya gradien suhu atmosfer. Pengaruh angin dan gradien suhu ini bisa mempengaruhi intensitas bunyi yang didengar.

(Harris, 1979) mengatakan bahwa : kondisi atmosfer terutama angin dan temperatur, biasanya menjadi faktor terpenting di dalam mempengaruhi propagasi suara, dekat pada permukaan, untuk jarak horizontal yang lebih besar dari 50 m. Efek utama yang disebabkan oleh temperatur dan angin disebut sebagai '*refraction*' (Refraksi) yaitu perubahan arah gelombang bunyi / suara.

Pada waktu siang hari, semakin tinggi dari permukaan tanah, maka temperatur semakin kecil. Kondisi ini disebut '*temperature lapse*'. Pada malam hari, semakin rendah ketinggian, semakin turun temperatur, kondisi ini disebut '*temperature inversion*'. Dua kondisi ini diperlihatkan pada ketinggian sekitar beberapa ratus '*feet*'. Suara membelok (berefraksi) ke bawah, pada saat propagasi anginturun '*downward*' atau selama '*temperature inversion*'. Kondisi ini menguntungkan untuk propagasi karena : terjadi pengurangan tingkat intensitas

bunyi. Suara membelok (berefaksi) keatas, pada saat propagasi angin naik 'upwind' atau selama 'temperature lapse'. Kondisi ini menciptakan terjadinya ruang bayangan (*shadow - zone*) dekat dengan permukaan tanah. Pengurangan ini secara tipikal dapat mencapai 20 dB.



**Gambar 2.3.** a. Pembelokan/refraksi gelombang bunyi saat 'temperature inversion'  
 b. Pembelokan/refraksi gelombang bunyi saat 'temperatuer lapse'  
 (Sumber : Harris, 1979)

## B. Indoor Noise Control

Pengendalian di dalam ruang sumber suara adalah usaha menghambat rambatan suara kebisingan di dalam ruangan atau gedung sehingga intensitas suara menjadi lemah. Karena gelombang suara merambat ke segala arah maka apabila pada arah rambatan terdapat halangan, sebagian suara akan dipantulkan, sebagian lagi akan diserap dan sebagian lagi akan diteruskan. Upaya pengendalian dalam ruangan salah satunya dengan pengisolasian bunyi.

Ada dua jalan penjalaran bunyi yang harus diperhatikan dalam masalah isolasi. Yang pertama melalui hawa udara (bunyi udara) dan yang kedua datang

melalui benda-benda padat yang terkena pukulan, sentuhan, injakan, kegaduhan pada benda (dinding, lantai, dan lain-lain) tersebut (bunyi kontak, bunyi pukulan, bunyi injak).

### **1. Bunyi Dalam Ruang dan Isolasinya.**

Jenis isolasi pertama menghadapi bunyi yang datang selaku gelombang-gelombang molekul-molekul udara dan menyentuh dinding. Setiap kali bunyi menyentuh permukaan dinding atau benda-benda lain dalam ruangan sebagian ditelan oleh dinding dan benda itu dan sebagian lagi dipantulkan kembali.

Bunyi yang dipantulkan pada saatnya akan menyentuh lagi permukaan benda/dinding itu lagi dan demikian seterusnya, seiring dengan semakin berkurangnya energi bunyi setiap kali ia tersentuh sehingga akhirnya energi bunyi tersebut habis.

Berapa lama waktu yang diperlukan untuk menghabiskan energi bunyi tergantung dari dua faktor pokok yaitu :

1. Faktor pertama tergantung dari ukuran, bentuk dan volume ruangan sehingga mempengaruhi berkurangnya energi bunyi tiap kali bunyi menyentuh suatu permukaan.
2. Faktor kedua tergantung dari jenis dan sifat permukaan dinding / benda yang disentuhnya serta kemampuan pemantulan/penyerapan bunyi permukaan (koefisien serapan bahan ) sehingga mempengaruhi prosentase

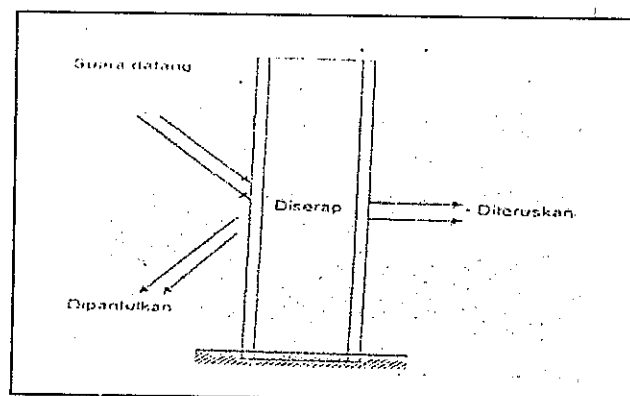
dari energi bunyi tersebut dipantulkan kembali (atau diserap oleh permukaan dinding / benda).

Penanggulangan gangguan bunyi dapat dibagi dalam tiga lokasi :

1. Pada sumber bunyi itu sendiri.
2. Pada jalan-jalan yang dilalui bunyi.
3. Pada benda atau ruang yang harus dilindungi terhadap gangguan bunyi.

Ketiganya menyangkut persoalan :

- Pencegahan atau pembatasan resonansi.
- Peningkatan penyerapan bunyi yang timbul atau datang.
- Penghalangan jalan-jalan bunyi oleh cara-cara berkonstruksi yang tepat .
- Pemilihan dan atau pengaturan daerah sekeliling secara betul.
- Perencanaan denah bangunan yang lebih baik.



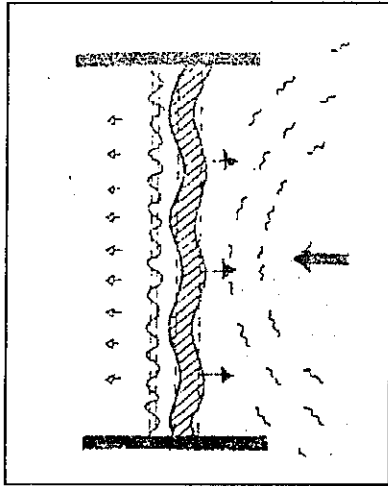
**Gambar 2.4.** Gelombang suara yang merambat pada penghalang  
(Sumber : Szokolay, 1989)

## **2. Serapan Energi Bunyi Karena Transmisi dan Resonansi**

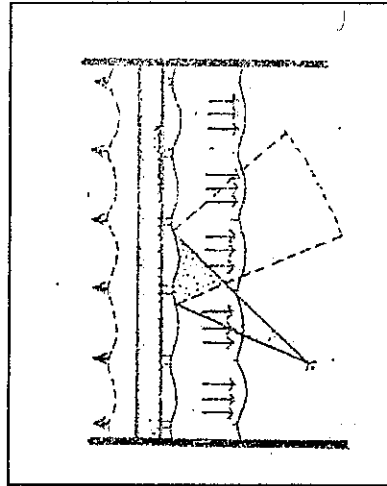
Menurut (Mangunwijaya, 1997) setiap penyerapan bunyi pada hakekatnya adalah gejala perubahan sebagian energi bunyi dari bentuk yang satu (energi mekanis) ke bentuk energi mekanis yang lain atau ke bentuk energi kalor, sehingga bentuk energi semula seolah-olah 'menghilang' atau 'ditelan'. Tetapi pada dasarnya hanya berubah kedalam bentuk energi lain .

Terdapat 3 (tiga) macam serapan :

- Dalam pengertian bukan serapan oleh bahan-bahan biasa, tetapi khusus, yakni bila bunyi menjumpai suatu lubang atau jendela terbuka, maka serapan adalah total 100%.
- Merupakan serapan sebagai akibat transmisi (penularan) oleh molekul udara dalam pori-pori yang mengakibatkan gesekan satu dengan yanglain dan energi bunyi diubah menjadi energi kalor.
- Serapan dalam gejala timbulnya resonansi. Disini energi bunyi yang semula merupakan getaran-getaran mekanis molekul-molekul udara diubah dalam energi mekanis lain dari molekul-molekul bahan dinding yang selanjutnya menjadi getaran sendiri dan yang menggetarkan molekul-molekul udara dipihak ruang penerima bunyi.



**Gambar 2.5. Resonansi Bunyi**  
(Sumber : Mangunwijaya, 1997)



**Gambar 2.6. Transmisi Bunyi**  
(Sumber : YB. Mangunwijaya, 1997)

### 3. Koefisien Serapan Bunyi

Energi bunyi yang masuk ke dalam dinding sebagian diserap oleh dinding dan menghilang (absorpsi) dan sebagian lagi dihantar oleh dinding dan merambat terus kemana-mana (hantaran) dan ada yang keluar lagi di hawa udara di pihak lain dari dinding. Yang keluar ini adalah sebagian karena bunyi menembus dinding melalui pori-pori bahan dinding (transmisi) dan sebagian keluar karena resonansi (transmisi resonansi). Proses bunyi yang masuk dipantulkan kembali, diserap dan dihantar terus menerus melalui molekul-molekul udara dalam pori-pori bahan maupun oleh bahan itu sendiri tergantung dari banyak faktor seperti sifat bahan dinding, tebal bahan, susunan lapisan-lapisan dinding, keadaan kelembaban dan sebagainya.

**Tabel 2.5. Koefisien Serapan Bahan Pada Berbagai Frekuensi**  
(Sumber : Sasongko dan Agus H, 2000)

No	Jenis Bahan	Frekuensi (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
1.	<i>Brick, unglazed</i>	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07
2.	<i>Brick, unglazed, painted</i>	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
3.	<i>Carpet, heavy, on concrete</i>	0,02	0,06	0,14	0,37	0,60	0,65
4.	<i>Concrete block, coarse</i>	0,36	0,44	0,31	0,29	0,39	0,25
5.	<i>Concrete block, painted</i>	0,10	0,05	0,06	0,07	0,09	0,08
6.	<i>Floors</i>						
	<i>Concrete</i>	0,01	0,01	0,015	0,02	0,02	0,02
	<i>Asphalt, rubber, or cork</i>	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
	<i>Wood</i>	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07
7.	<i>Glass</i>						
	<i>Large panes of heavy</i>						
	<i>Plate glass</i>	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
	<i>Ordinary window glass</i>	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
8.	<i>Gypsum board 1/2 inch</i>	0,29	0,10	0,05	0,04	0,07	0,09
9.	<i>Marble or Glazed Tile</i>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
10.	<i>Plawood paneling, 3/8 "</i>	0,28	0,22	0,17	0,09	0,10	0,11

Koefisien serapan bunyi tergantung pada karakteristik bahan dan luas permukaan dinding.  $\alpha$  adalah kemampuan benda-benda dalam menyerap bunyi. Suatu permukaan yang mempunyai luas ( $S$ ) dan mempunyai koefisien serap  $\alpha$  akan memiliki serapan (Vern O Knuden, 1978) :  $a = S \cdot \alpha$

Dalam suatu ruang tenaga bunyi akan diserap oleh berbagai macam permukaan, dimana koefisien serap rata-rata dari ruang tersebut adalah :

$$A = \frac{S_1 \cdot \alpha_1 + S_2 \cdot \alpha_2 + \dots + S_n \cdot \alpha_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n}$$

Dengan :  $S_n$  : luas permukaan koefisien serap  $\alpha_n$

Benda-benda seperti kursi, meja, bangku bahkan orang juga menyerap bunyi sehingga perlu diperhitungkan yang dinyatakan dalam serap  $S\alpha$ .

$$A = \frac{S_1 \cdot \alpha_1 + S_2 \cdot \alpha_2 + \dots + S_n \cdot \alpha_n \sum (\text{jumlah unit benda}) \times S\alpha}{S_1 + S_2 + \dots + S_n} \quad (4)$$

## 2. Rapat Tenaga Bunyi Total

(Doelle, 1993) mengatakan bahwa suara/bunyi didalam ruang sebenarnya terdiri dari medan bunyi (D) dan bunyi dengung (R). Dalam ruangan yang bersifat reflektif (permukaan sangat kuat memantulkan) suara tidak akan segera berhenti akan tetapi akan masih terus terdengar untuk beberapa saat. Kondisi ini disebut reverberasi (T) yang didefinisikan sebagai interval waktu antara berhentinya sumber suara dan waktu dimana *sound pressure level* berkurang 60 dB.

Rapat tenaga bunyi total merupakan rapat tenaga bunyi langsung pada jarak (r) dari sumber bunyi ke dalam ruangan yang telah mengalami serapan bunyi oleh udara, maupun bunyi dengung (daya bunyi yang diserap pada pemantulan-pemantulan berikutnya).

$$\text{Tekanan bunyi dengung : } D' = \frac{p^2 \text{ dengung}}{\rho_0 c^2} = \frac{4 \rho_0 c^2 W}{R}$$

dimana konstanta ruang (R) adalah :

$$R = \frac{S \bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}} \dots \dots \dots (5)$$

dengan :  
 D' : rapat tenaga bunyi dengung (joule/det)  
 W : daya total sumber bunyi (watts)  
 V : volume ruang (m<sup>3</sup>)  
 C : kecepatan bunyi (m/dtk)  
 S : luas permukaan total dalam ruang (m<sup>2</sup>)  
 $\bar{\alpha}$  : koefisien serapan bunyi rerata

Maka rumus persamaan tingkat tekanan bunyi pada ruangan adalah :

$$L_p = 10 \log W + 10 \log \rho_0 c^2 + 94 + 10 \log \left( \frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) \dots \dots \dots (6)$$

dengan :  $L_p$  : pada jarak  $r$  dari sumber  $2 \times 10^{-5} \text{ N/M}^2$  (dBA)  
 $W$  : daya yang dipancarkan dari sumber (watt)  
 $P_{oc}$  : impedansi karakteristik  
 $R$  : jarak dari pusat sumber bunyi (m)  
 $R = \frac{S \alpha}{1 - \alpha}$  : konstanta ruang ( $\text{m}^2$ )  
 $\alpha$  : koefisien serapan bunyi rerata  
 $S$  : luas permukaan ( $\text{m}^2$ )

#### 2.1.4. PROSEDUR RATING

Kebisingan dipengaruhi oleh waktu yang artinya tingkat bunyi sesaat tidak cukup untuk mendiskripsikan besarnya kebisingan itu sendiri sehingga perlunya dibuat rata-rata berdasarkan waktu tertentu (Finke, 1990). Tingkat kebisingan waktu tunggal (pesawat terbang atau mobil lewat) harus dirata-rata secara matematis untuk mendapatkan level kebisingan sebenarnya.

$$L_{AV} = \frac{1}{N} \sum L_i \text{ dB} \quad \text{Dimana : } N : \text{jumlah kejadian tingkat kebisingan}$$

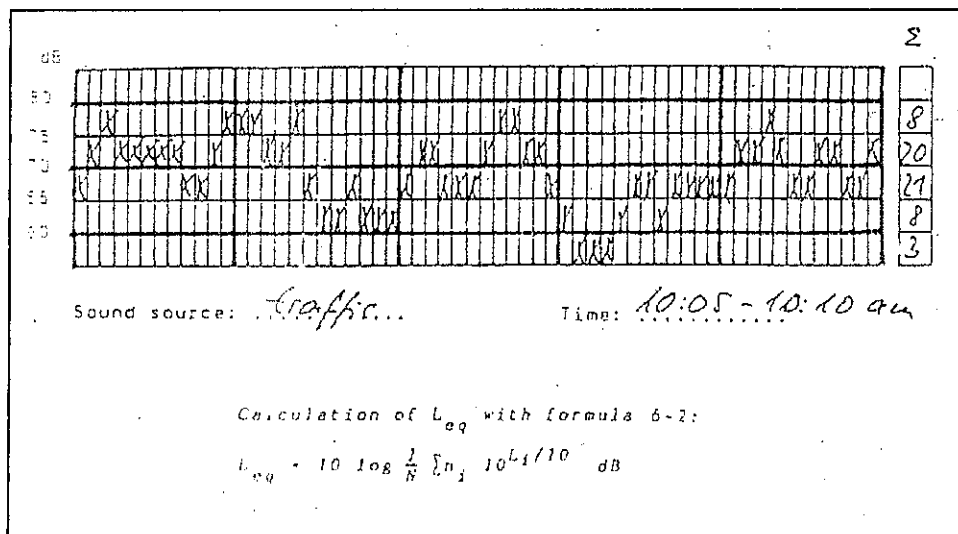
Dari rata-rata dari energi suara yang berlangsung selama kurun waktu tertentu (*time varying noise*) didapat level dari rata-rata energi kebisingan. Rumus berikut adalah merupakan matematis dari antilog level kebisingan (Level Kebisingan konstan Ekuivalen) :

$$L_{ek} = 10 \log_{10} \frac{1}{N} \sum n_i 10^{L_i/10} \quad (7)$$

Dimana :  $n_i$  : jumlah kejadian dengan level  $i$   
 $N$  : total jumlah kejadian  
 $T_i$  : durasi waktu level  $L_i$   
 $T$  : total rentang waktu

$L_{ek}$  adalah energi yang mengandung maksud level kebisingan rata-rata dari sejumlah pengukuran atau sejumlah kejadian atau dari pengukuran suatu

rentang waktu. Dapat dipertimbangkan sebagai level kebisingan berkelanjutan yang bersifat tetap. Level kebisingan ini memiliki total energi sama dengan relatif kebisingan nyata yang diukur pada waktu yang sama.



**Gambar 2.7.** Contoh Hasil Prosedur Rating  
(Sumber : Finke, 1990)

### 2.1.5. TINGKAT KEBISINGAN SIANG - MALAM

Metode Pengukuran Tingkat Kebisingan Sinambung Setara yang dipakai dalam penelitian ini menggunakan sebuah *Sound Level Meter* biasa diukur dengan tingkat tekanan bunyi dBA selama 5 (lima) menit untuk tiap pengukuran. Pembacaan dilakukan setiap 5 (lima) detik. Adapun perhitungan tingkat kebisingan pada bangunan akan dibahas meliputi tingkat kebisingan siang ( $L_s$ ) dan tingkat kebisingan malam ( $L_m$ ). Waktu pengukuran dilakukan selama aktifitas 24 jam, yang dibagi dalam interval waktu malam (22.00-06.00) dan interval waktu siang (06.00-22.00).

### 1. Perhitungan L siang (Ls)

*Lsiang* dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Ls = 10 \text{ Log } (1/6) \{ T1.10^{0.1L1} + \dots + T4.10^{0.1L4} \} \text{ dBA} \dots\dots\dots (8)$$

Dengan : Ls : Lequivalen yang terukur dilapangan  
T : Waktu pengukuran (5 menit)

*Lsiang* menyatakan tingkat overal tekanan bunyi yang terukur selama waktu tertentu pada jam sibuk (jam 06.00-22.00) dengan lama pengukuran 5 menit sekali selama jangka waktu 3 jam sekali selama 15 jam.

Tujuan menghitung *Lsiang* adalah untuk membuktikan bahwa pada siang hari bangunan menerima tingkat intensitas kebisingan yang tinggi akibat tingginya tingkat tekanan bunyi diudara dikarenakan pengaruh temperatur udara yang mempengaruhi makin tingginya frekuensi bunyi.

### 2. Perhitungan L malam (Lm)

*Lmalam* dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Lm = 10 \text{ Log } (1/8) \{ T5.10^{0.1L5} + \dots + T7.10^{0.1L7} \} \text{ dBA} \dots\dots\dots (9)$$

dengan : Lm : Lequivalen yang terukur dilapangan  
T : Waktu pengukuran (5 menit)

*Lmalam* menyatakan tingkat overall tekanan bunyi yang terukur pada waktu malam hari yaitu antara jam 22.00 sampai jam 06.00 dengan lama pengukuran 5 menit sekali selama jangka waktu 3 jam sekali selama 9 jam.

Tujuan menghitung *L<sub>malam</sub>* adalah untuk membuktikan bahwa pada malam hari terjadi penurunan tingkat tekanan bunyi sehingga bangunan menerima tingkat intensitas kebisingan yang relatif rendah.

## **2.2. ATRIUM DAN KEBISINGAN DALAM LINGKUNGAN BANGUNAN**

### **2.2.1. KEBISINGAN TERHADAP MIKROKLIMAT BANGUNAN**

Menurut (Szokolay, 1980) bahwa laju rambatan gelombang bunyi di udara tergantung pada temperatur udara di sekitar. Pada suhu 20°C laju rambat suara sekitar 344 m/detik. Setiap kenaikan temperatur udara 1°C maka laju rambat suara di udara bertambah sekitar 0,61 m/detik. Dalam pengendalian kebisingan selalu diasumsikan bahwa laju suara di udara tidak tergantung pada frekuensi dan kelembaban udara .

Temperatur udara sangat berperan dalam tingkat intensitas bunyi. (Knuden dan Harris, 1978) menyatakan bahwa ketergantungan bunyi pada temperatur udara merupakan penyebab utama pembengkokan energi bunyi yang akan mempengaruhi penerimaan bunyi pada pendengar. Demikian pula kecepatan bunyi akan bertambah 1,1 feet/sec setiap derajat Fahrenheit pertambahan temperatur. Berikut ini adalah perubahan kecepatan suara bunyi terhadap temperatur.

Sedangkan pergerakan udara menurut (Lippsmear, 1994) sangat dibutuhkan di daerah beriklim tropis lembab sebagai penghawaan alami dengan membuka lobang-lobang penghawaan yang besar yang diharapkan dapat menghasilkan *Cross ventilation* yang optimal. Aliran udara yang terjadi dalam

bangunan diharapkan dapat menghasilkan gerakan udara / angin yang berpindah dari daerah bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah yang sangat berpengaruh terhadap kelembaban udara sehingga tingkat intensitas bunyi relatif berkurang. Pergerakan udara terutama juga sebagai upaya mencapai kelembaban yang optimal untuk mendapatkan kenyamanan thermal dalam bangunan.

**Tabel 2.6.** Kecepatan Bunyi di Udara Terhadap Fungsi Temperatur  
(Sumber : Szokolay,1980)

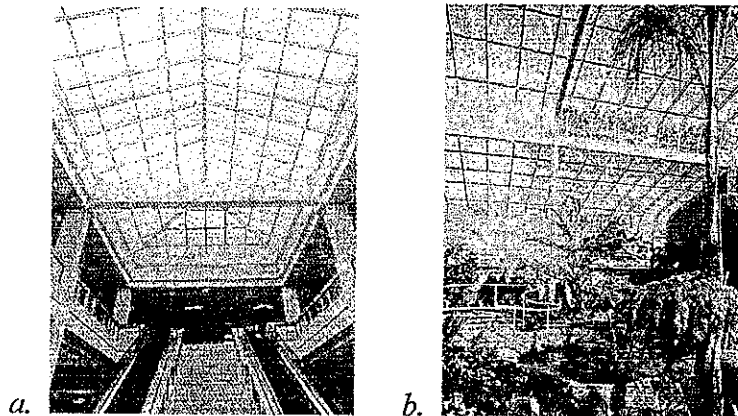
T°C	V(m/detik)	T°C	V(m/detik)
-20	319,3	20	343,8
-10	325,6	25	346,7
0	331,8	30	349,6
10	337,8	35	352,5
15	340,8	40	353,3
Pada air suhu 15C			1437
Pada air laur, di dekat permukaan			1440
Pada air laut, kedalaman 100 m			1541

## 2.2.2. KONSEP ATRIUM DALAM BANGUNAN

### A. Atrium (Ruang Terbuka) Dalam Bangunan

Fenomena bangunan atrium modern menurut (Saxon, 1993) adalah sama pengertiannya dengan bentuk galeri, *arcade* atau *wintergarden*. Atrium merupakan ruang terbuka yang statis dengan bentuk vertikal pada bangunan dimana ide atrium sebenarnya telah ada sejak 2000 tahun yang merupakan pintu/ruang masuk utama dengan konsep Mediteran dan Timur Tengah, halaman inti dan *shelter* bagi area semi publik. Namun seiring dengan perkembangan teknologi, konstruksi atrium kebanyakan menggunakan konstruksi kaca yang sekarang sudah banyak diaplikasikan ke bangunan bertingkat tinggi (*skycraper*).

Sedangkan pengertian atrium menurut (Ching, 1996) adalah aula utama atau aula tengah sebelah dalam bangunan, halaman depan.



**Gambar 2.8.** Atrium (a. King Plaza Shopping Centre;  
b. Butterfly World Africa USA, Vallejo )  
(Sumber: Sweet's Catalog File, International Construction, 2001)

### **B. Atrium sebagai konsep bangunan baru**

Keuntungan yang dapat diperoleh dengan adanya konsep atrium pada bangunan antara lain :

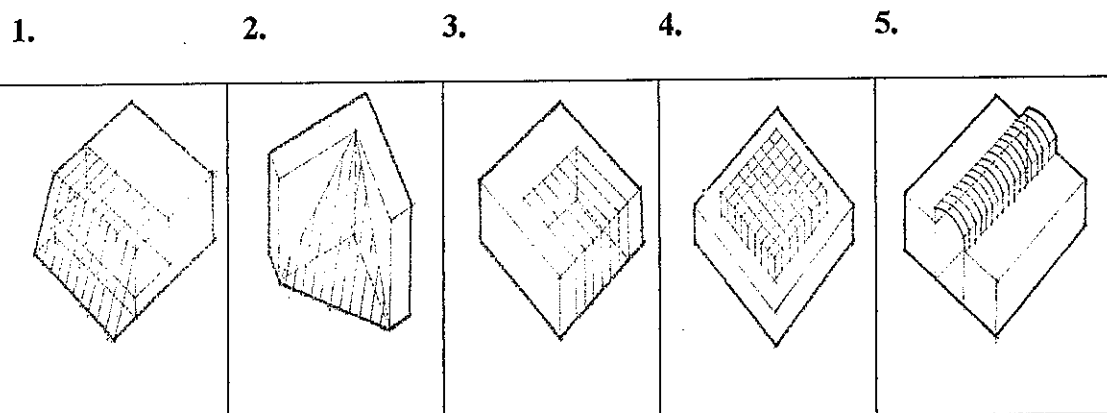
- *Fungsi perlindungan (shelter)*, kenyamanan thermal pada bangunan dengan adanya atrium sebagai buffer space (pengoptimalan pergerakan udara, pencahayaan, temperatur, dll) dalam bangunan.
- *Penggabungan antara atrium dan greenhouse*, yaitu memasukkan unsur vegetasi kedalam ruang terbuka dalam bangunan untuk kepentingan visual juga turut mendukung keberadaan visual atrium disertai dengan adanya tatanan/deretan vegetasi di dalam bangunan .
- *Atrium sebagai faktor perencanaan urban disain*

Fungsi atrium pada prinsip urban memberikan 'kelegaan' pada suatu kawasan kota antara lain : mengefisienkan penggunaan tanah, solusi

pemakaian bentuk lahan yang sulit, ruang terbuka publik, penyaring kebisingan antara bangunan komersial maupun bangunan penghasil kebisingan lainnya terhadap area permukiman dan sebagainya.

### C. Konstruksi Dasar Atrium

Berikut adalah bentuk-bentuk penerapan disain konstruksi atrium dalam bangunan antara lain :



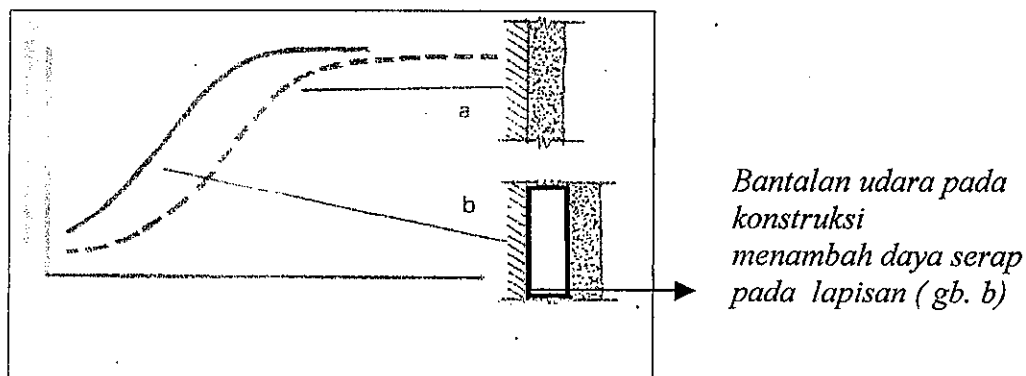
**Gambar 2.9 . Konstruksi Dasar Atrium**

1. Atrium dengan satu sisi
  2. Atrium dengan dua sisi
  3. Atrium dengan tiga sisi(dengan satu sisi yang terbuka)
  4. Atrium dengan empat sisi(tanpa bukaan)
  5. Atrium yang berbentuk linier (terbuka di kedua sisi)
- (sumber : Saxon, 1993)

#### 2.2.3. PENGENDALIAN KEBISINGAN DALAM ATRIUM YUSTINUS

(Szokolay, 1980) menyatakan bahwa gelombang bunyi yang merambat hingga didengar oleh manusia menimbulkan persepsi pendengaran yang antara lain disebabkan karena jarak rambatan gelombang bunyi tersebut mencapai pendengaran manusia yang berpengaruh terhadap intensitas kekerasan suara.

Gelombang bunyi selama dalam perjalanan sampai pendengar (perambatan) mengalami difraksi maupun absorpsi setelah menumbuk dinding-dinding ruangan akan semakin berkurang intensitasnya juga disebabkan karena diserap molekul-molekul penyerap bunyi di udara melalui jarak. Penempatan atrium dalam pengertian penyerapan gelombang bunyi oleh udara pada disain bangunan yang dianalogikan sebagai rongga udara pada lapisan dinding kedap bunyi.



**Gambar 2.10.** Kurva Penyerapan Bunyi Oleh Lapisan Udara  
(Sumber : Mangunwijaya, 1997)

Posisi atrium bangunan Yustinus dengan berada ditengah yaitu diantara massa bangunan sisi Barat Daya dan sisi Timur Laut, sumber bunyi yang merambat masuk kedalam bangunan terlebih dahulu mengalami absorpsi dalam ruangan sebelum mencapai atrium. Faktor-faktor yang mempengaruhi intensitas bunyi dalam serapan ruangan antara lain volume ruang, luasan pembatas ruang, propagasi suara maupun koefisien serapan bahan. fungsi pereduksian terhadap kebisingan pada bangunan yaitu tingkat kebisingan yang ada sebelumnya terutama setelah melewati atrium dapat diketahui antara lain berdasarkan atenuasi

tingkat kebisingan terhadap faktor jarak maupun faktor serapan ruangan sebelum gelombang bunyi mencapai atrium.

Peran Atrium mereduksi kebisingan dapat dikatakan juga merupakan pengendalian kebisingan (solusi permasalahan akustik) dengan mengusahakan menghambat rambatan suara diluar ruangan sedemikian rupa sehingga intensitas suaranya menjadi lemah (Richard dan Warney, 1978). Hal tersebut sama halnya dengan pereduksian kebisingan yang dilakukan oleh ruangan namun dalam hal ini disain atrium adalah merupakan ruang terbuka dalam bangunan sehingga penurunan atenuasi kebisingan dalam atrium adalah berdasarkan jarak.

Salah satu penelitian pengendalian kebisingan yang telah dilakukan sebelumnya adalah dengan memberikan elemen absorber pada kanopi bangunan oleh Erni Setyowati dimana cara tersebut memang sudah cukup efektif untuk mengurangi pantulan kebisingan lingkungan kedalam bangunan meskipun dalam kenyataannya membutuhkan biaya yang tidak sedikit.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

Latar belakang penelitian adalah penempatan atrium pada bangunan sebagai salah satu akustik bangunan yang menitikberatkan penelitian pada sejauh mana peranan atrium tersebut bisa mengurangi (mereduksi) tingkat kebisingan pada bangunan bertingkat. Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif yang menurut (Muhajir, 1992) merupakan jenis penelitian ilmiah dengan keterukuran yang jelas. Selanjutnya (Hadi, 1986) menyatakan pula bahwa penelitian (khususnya dalam ilmu-ilmu empiris) bertujuan untuk menemukan kebenaran suatu pengetahuan.

#### **3.1. VARIABEL PENELITIAN**

Pada penelitian ini digunakan tiga macam variabel sebagai indikasi gejala penelitian yaitu : variabel bebas, variabel terikat dan variabel antara.

##### **3.1.1. Variabel Bebas (variabel pengaruh)**

Variabel ini adalah himpunan dari gejala yang memiliki berbagai aspek dan berfungsi mempengaruhi atau menentukan munculnya variabel lain. Variabel pengaruh dalam penelitian ini adalah 'atrium pada bangunan'.

##### **3.1.2. Variabel Terikat (variabel terpengaruh)**

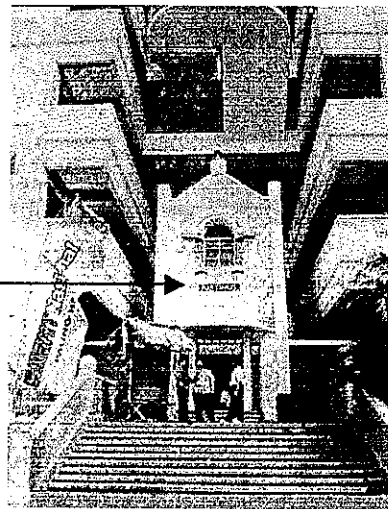
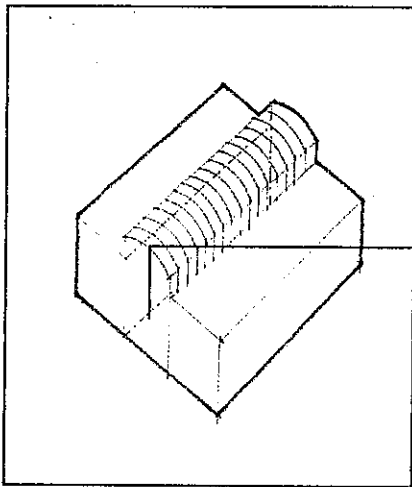
Variabel pengaruh pada penelitian ini adalah 'tingkat kebisingan ruang dalam bangunan'. Variabel terikat ini ditetapkan berdasarkan pertimbangan-

pertimbangan variabel indikator yang mempengaruhi tingkat intensitas bunyi dalam bangunan. Variabel-variabel indikator tersebut adalah : volume ruang, jarak dari sumber suara, luasan pembatas ruang (dimensi ruang), faktor propagasi suara, dan koefisien absorpsi bahan.

### 3.1.3. Variabel Antara

Variabel antara pada penelitian ini adalah kebisingan lingkungan yaitu kebisingan trafik. Dimana dalam pengukuran nantinya sumber bising yang digunakan adalah variasi antara sumber bising statis dan dinamis.

## 3.2. PENENTUAN OBYEK PENELITIAN



**Gambar 3.1.** Salah Satu Bentuk Konstruksi Atrium  
(Sumber : Saxon, 1993)

**Foto. 3.1.** Tampak Atrium Bangunan Yustinus  
(Sumber : Saxon, 1993)

Bangunan yang akan diteliti adalah gedung Yustinus yang merupakan gedung fakultas ekonomi yang terletak dibagian paling timur dari kawasan kampus Unika Soegijapranata dan berada pada lokasi tertinggi diantara gedung

lainnya yang berhadapan secara langsung terhadap jalan raya (jalan tol Jatingaleh-Krapyak dan Jalan Pawiyatan Luhur. Obyek bangunan Yustinus Unika Soegijapranata merupakan bangunan pendidikan Konsep disain bangunan adalah Post Modern serta merupakan bangunan yang menerapkan “Konsep Mall” sehingga terbentuk atrium yang merupakan penghubung antar massa bangunan di sisi Timur Laut dan massa bangunan disisi Barat Daya. Dalam hal ini atrium pada bangunan tersebut dianalogikan sebagai rongga udara pada bangunan.

Dalam Penelitian ini ditemukan populasi ruang bangunan yang muncul karena keberagaman sifat ruang bangunan, sebagai akibat dari bentuk massa bangunan. Ruang-ruang bangunan pada lantai dasar misalnya, perlakuan gelombang yang terjadi akan sangat berbeda dengan ruang-ruang pada lantai di atasnya. Hal ini disebabkan karena terjadi perbedaan tingkat reduksi kebisingan yang disebabkan karena perbedaan faktor propagasi suara, dan perbedaan kontur tanah asli dimana bangunan didirikan (Szokolay, 1980). Demikian juga “*structure Borne Noise*” pada elemen bangunan akan sangat signifikan dalam mempengaruhi tingkat kebisingan yang diterima pada ruang dalam bangunan

Total ruangan pada bangunan Yustinus (lantai 1-5) adalah sebanyak 72 ruangan :

- Kelompok massa bangunan sisi Timur Laut : 29 ruang
- Kelompok ruang antara (atrium) : 17 ruang
- Kelompok massa bangunan sisi Barat Daya : 25 ruang

Masing-masing ruang memiliki fungsi lain disamping sebagai ruang kelas (ruang administrasi, ruang dosen, dll) serta terbagi dalam 2 massa bangunan dengan sisi menghadap sisi Timur Laut dan sisi Barat Daya yang selanjutnya

disebut sebagai (RUANG A) dan (RUANG C). Berdasarkan pertimbangan diatas, maka dapat diasumsikan bahwa populasi ruang bangunan yang akan diambil sebagai sample penelitian adalah diwakili oleh 9 buah ruang pada bangunan Yustinus dimana ruangan berada lantai 1,3, dan 5 termasuk pula ruang atriumnya yang selanjutnya disebut (RUANG B), memiliki dimensi ruang yang relatif sama untuk mengetahui seberapa besar tingkat absorpsi total ruangan dimana selanjutnya akan digunakan sebagai acuan reduksi tingkat kebisingan terhadap bangunan dengan perincian sebagai berikut :

**Tabel 3.1. Penentuan Sampel Penelitian**  
(Sumber: Data lapangan, 2003)

Lantai	Massa Sisi Timur Laut (RUANG A)	Atrium (RUANG B)	Massa Sisi Barat Daya (RUANG C)	
5	Rg. 5.5.2	Atrium	Rg. 5.5.2	3
3	Rg. 5.3.4	Atrium	Rg. 5.3.3	3
1	Rg. 5.1.3	Atrium	Rg. 5.1.6	3
Jumlah	3	3	3	9

### 3.3. JALANNYA PENELITIAN

#### 3.3.1. PENGUMPULAN DATA

Terdapat 2 macam jenis data yang diperlukan dalam penelitian yaitu :

##### A. Data Kepustakaan

Yaitu data yang bersumber dari berbagai literatur ilmiah, jurnal maupun bahan laporan yang berhubungan dengan materi penelitian

##### B. Data Lapangan

##### 1. Data yang bersumber langsung dari obyek penelitian dilapangan

Data diperoleh melalui pengukuran Tingkat Kebisingan ruang bangunan

yang dilakukan bersamaan waktunya dengan pengukuran tingkat kebisingan ekivalen di jalan (jalan tol, jalan Pawiyatan Luhur), sesuai dengan metode pengukuran intensitas kebisingan yang distandarkan.

Serangkaian pengukuran dilakukan terhadap tingkat kebisingan ekivalen di Jl. Pawiyatan Luhur dan Jl.Tol terhadap dua ruangan yang berhadapan pada tiap lantai dengan dimensi ruang yang relatif sama, dimana setelah melalui ruang terbuka dalam bangunan (atrium) tingkat intensitas kebisingan diharapkan mengalami reduksi (penurunan) kaitannya dengan atenuasi bunyi terhadap jarak.

Adapun dalam pengambilan data di lapangan dilakukan perlakuan terhadap sumber bunyi yaitu sumber bunyi yang dibiarkan murni tanpa gangguan dan sumber bunyi yang mengalami gangguan dengan mesin diesel. Tujuan dari memberikan gangguan kebisingan terhadap sumber bunyi adalah untuk mengetahui dengan jelas tingkat perambatan bunyi kedalam ruang bangunan serta dapat diketahui perbedaan hasil pengukuran tingkat kebisingan pada bangunan terhadap sumber bunyi yang mengalami gangguan dengan sumber bunyi yang mengalami gangguan.

**Pengukuran dilakukan dengan 4 cara yaitu :**

**Pengukuran data 1**, dimana keadaan tingkat kebisingan lingkungan dibiarkan apa adanya sehingga didapat tingkat kebisingan dasar (*background noise* :  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ). Pengukuran tingkat kebisingan selanjutnya pada ruang-ruang dalam bangunan (titik a, b, c).

**Pengukuran data II**, dengan mengadakan sumber bising buatan pada Jl. Pawiyatan Luhur dengan tingkat intensitas menyerupai keadaan tingkat kebisingan sebenarnya ( $\pm 75$  dB) serta dengan anggapan bahwa sumber bising dari Jl. Tol ditiadakan. Pengukuran dimulai dengan mengukur tingkat kebisingan di Jl. Pawiyatan Luhur dilanjutkan dengan pengukuran tingkat kebisingan pada ruangan-ruangan dalam bangunan (titik a, b, c). Pengukuran tersebut untuk memperoleh seberapa besar reduksi kebisingan yang terjadi terutama pada setelah melewati ruang atrium.

**Pengukuran data III**, sama halnya dengan pengukuran II diatas yaitu dengan mengadakan sumber bising buatan pada Jl. Tol dengan tingkat intensitas menyerupai keadaan tingkat kebisingan sebenarnya ( $\pm 75$  dB) serta dengan anggapan bahwa sumber bising dari Jl. Pawiyatan Luhur ditiadakan. Pengukuran dimulai dengan mengukur tingkat kebisingan di Jl. Tol dilanjutkan dengan pengukuran pada ruangan-ruangan dalam bangunan (titik c, b, a). Pengukuran tersebut untuk memperoleh seberapa besar reduksi kebisingan yang terjadi terutama pada setelah melewati ruang atrium.

**Pengukuran data IV**, validasi data primer melalui pemodelan tingkat tekanan bunyi dengan simulasi program komputer.

## 2. Teknik Pengukuran

Pelaksanaan teknik pengukuran untuk memperoleh 1 (satu) data dilakukan teknik pengukuran sebanyak 3 langkah meliputi pengukuran data I, II dan III (pada titik a,b,c) terus menerus secara kontinyu mulai dari lantai 1,3 dan 5.

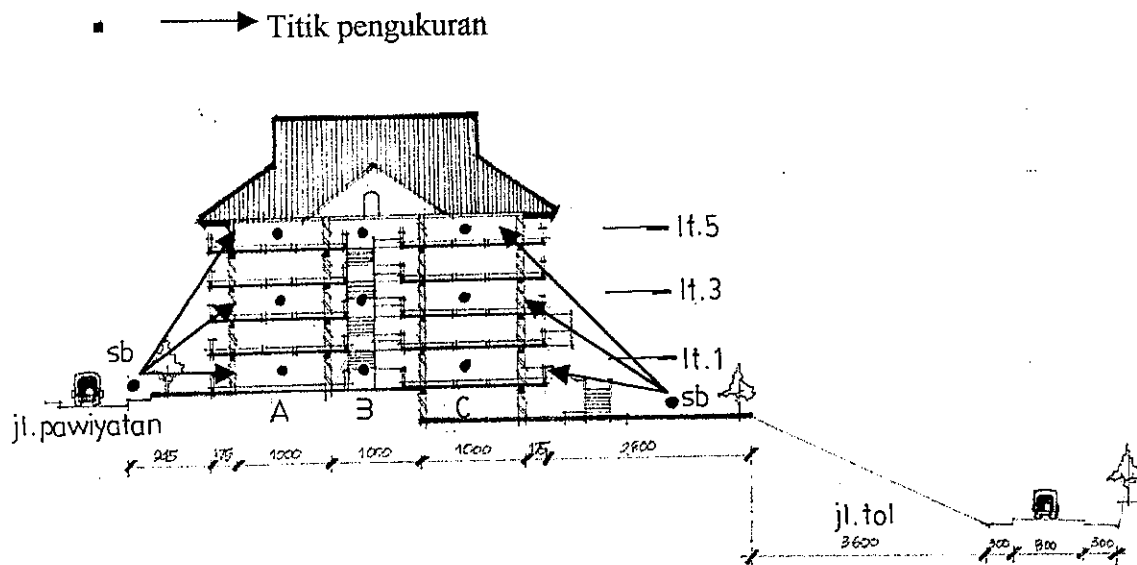
Pengukuran tingkat kebisingan dengan menggunakan *Sound Level Meter* dengan 3 titik lokasi pengukuran yang berbeda. Waktu yang dibutuhkan untuk sekali pengukuran adalah 5 (lima) menit dengan interval setiap 5 (lima) detik. Sehingga dalam 5 menit akan didapatkan 60 kali pengukuran tiap 5 detik. Dan dari 60 kali perhitungan tersebut melalui prosedur rating akan dicari tingkat kebisingan ekivalen (Lek) untuk mendapatkan besaran tingkat kebisingan rata-rata dari sejumlah pengukuran atau kejadian dari masing-masing ruang (ruang A, ruang B maupun ruang C) dengan sumber bunyi mengalami gangguan maupun sumber bunyi yang tidak mengalami gangguan di jalan Tol maupun dari jalan Pawiyatan Luhur.

Pengukuran tingkat kebisingan, baik di jalan maupun didalam ruang dilakukan secara berulang-ulang dalam waktu libur atau hari Minggu. Pengukuran dilapangan selama 48 jam (2 hari) dengan metode pengukuran siang-malam.pada jam 06.00 pagi sampai kembali jam 06.00 pagi.

Adapun pembagian tahapan waktu pengukuran yaitu :

- 06.00-09.00; 09.00-12.00; 12.00-15.00; 15.00-18.00; 18.00-21.00 (untuk mendapatkan data guna perhitungan  $L_{siang}$ )
- 21.00-24.00; 24.00-03.00; 03.00-06.00 (untuk mendapatkan data guna perhitungan  $L_{malam}$ ).

Dengan metode seperti ini diharapkan dapat dianalisa, seberapa besar penurunan tingkat kebisingan dalam bangunan terutama setelah melalui atrium pada bangunan dan dapat diketahui pula perbedaan tingkat tekanan bunyi ruang pada siang dan malam hari.



**Gambar 3.2.** Peletakan Titik Pengukuran Di Lapangan Pada Bangunan  
 (sumber : Data Lapangan, 2003)

### 3. Tahapan Kerja di Lapangan

#### a. *Persiapan dan Penyiapan Tenaga*

- Memilih dan menentukan tenaga/tugas kerja lapangan meliputi ketua grup operator mesin diesel serta pencatat tingkat kebisingan serta melakukan pengarahan meliputi pengarahan tata cara penggunaan dan perawatan peralatan selama pengukuran uji fisik.

#### b. *Tahap Kerja Lapangan*

Tahap kerja lapangan merupakan tahapan pokok dalam penelitian ini. Pekerjaan yang dilakukan dalam tahap ini meliputi Teknik Uji Fisik. Pada uji fisik I dan II, petugas melakukan Uji fisik melakukan pengukuran secara berulang-ulang baik di jalan maupun didalam bangunan sehingga dapat diketahui sejauh mana tingkat kebisingan dapat mengalami reduksi terutama setelah melalui atrium pada bangunan maupun faktor-faktor

internal bangunan yang mempengaruhi tingkat tekanan bunyi yang terjadi pada ruangan.

### c. Kompilasi dan Interpretasi Data

Survey yang dilakukan menghasilkan data Uji Fisik Bangunan. Kemudian data hasil tersebut dipelajari, termasuk mengkoreksi ketepatan dan kebenaran melalui simulasi program komputer. Data hasil Uji Fisik Bangunan, meliputi Tingkat Kebisingan Ekuivalen, baik pada tingkat kebisingan *background noise* maupun pada ruang-ruang bangunan

## 4. Pengumpulan Data Melalui Perhitungan

Selain data primer tersebut diatas, diadakan kompilasi data melalui perhitungan, berdasarkan data primer. Dengan menarik rumusan tertentu dari data primer yang kita hasilkan kita akan dapat menentukan rumus dari fungsi Lek Jl. Paiyatan maupun Lek Jl. tol terhadap Lek yang diterima pada ruang-ruang bangunan Yustinus Unika ini.

Rumus-rumus yang digunakan dalam kompilasi data primer adalah sebagai berikut :

### a. Intensitas Bunyi

$$I = Zv^2 = \rho c v^2 = \frac{p^2}{\rho c} \quad \text{watt /m}^2$$

### b. Daya Bunyi Pada Jarak (r)

$$W = I.S = \frac{p^2}{\rho c} \cdot 4\pi \cdot r^2 \quad (\text{dBA})$$

### c. Tingkat Tekanan bunyi

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_o^2} \quad (\text{dBA})$$

d. Koefisien Serap Rata-rata Ruang

$$A = \frac{S_1 \cdot \alpha_1 + S_2 \cdot \alpha_2 + \dots + S_n \cdot \alpha_n \sum (\text{jumlah unit benda}) \times S \alpha}{S_1 + S_2 + \dots + S_n}$$

e. Konstanta Ruang

$$R = \frac{S \alpha}{1 - \alpha}$$

f. L Ekuivalen :

$$L_{eq} = 10 \text{ Log } \frac{1}{N} \sum n_i 10^{L_i/10}$$

g. Lek- siang :

$$L_s = 10 \text{ Log } (1/16) \{ T110^{0.1L_i} + \dots + T4.10^{0.1L_4} \} \text{ dBA}$$

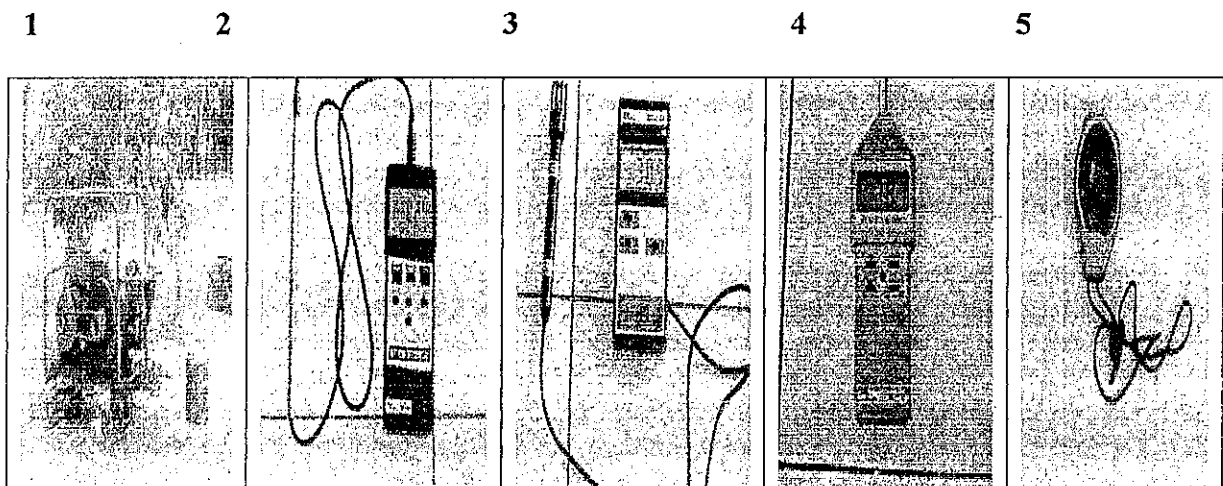
h. Lek- malam :

$$L_m = 10 \text{ Log } (1/8) \{ T5.10^{0.1L_5} + \dots + T7.10^{0.1L_7} \} \text{ dBA}$$

Langkah selanjutnya adalah mempersiapkan simulasi dengan program komputer yaitu dengan memasukkan data primer berikut rumus perhitungan yang digunakan dimana hasil dari simulasi program komputer tersebut merupakan upaya memvalidasi data pengukuran lapangan yang disertai dengan perhitungan teoritis. Dan dari simulasi program komputer pula, diharapkan dapat direncanakan disain atrium yang efektif sebagai pereduksi kebisingan terutama pada bangunan bertingkat. Persamaan yang digunakan dalam menghitung serapan di ruangan :

$$L_p = 10 \text{ Log } W + 10 \text{ Log } \rho_0 c + 94 + 10 \text{ Log } \left( \frac{1}{4\pi^2} + \frac{4}{R} \right)$$

### 3.3.2. INSTRUMENT PENELITIAN



**Foto 3.2.** Alat-alat yang dipergunakan selama observasi di lapangan :  
 1. Diesel, 2. Hotwire, 3. Humidity, 4. Soundlevel meter, 5. Stopwatch  
 (sumber : Data Lapangan, 2003)

### 3.3.3. ANALISIS DATA

Dalam Tahapan Analisis Data akan dibuktikan dua Hipotesis Penelitian, dan satu analisis pendukung yang bersifat kuantitatif Pada tahap analisa untuk menguji Hipotesis I, untuk mengetahui seberapa besar peran atrium dapat mereduksi tingkat kebisingan yang terjadi dalam bangunan dengan analisis secara deskriptif.

Untuk uji Hipotesis II digunakan analisis deskriptif disertai Metode Analisis Korelasi dengan menggunakan Program Statistik SPSS sebagai pembuktian bahwa adanya perbedaan tingkat tekanan bunyi pada bangunan antara siang hari dengan malam hari.

Pada analisis kuantitatif, yaitu melakukan perbandingan data hasil pengukuran lapangan dengan simulasi program komputer.

## BAB IV

### GAMBARAN UMUM STUDI.KASUS

#### 4.1. LOKASI

Kota Semarang memiliki koordinat geografi 7° Lintang Selatan dan 110° Bujur Timur. Kota Semarang juga terletak diantara garis Cancer dan Capricorn yang merupakan sabuk tropis. Semarang mempunyai temperatur terendah 27,5° C – 24,2° C dan temperatur tertinggi 31,8° C. Semarang merupakan daerah berpantai dan berbukit dengan kemiringan topografi 2% - 40% dengan ketinggian bervariasi antara 0 sampai dengan kurang lebih 100 m dari permukaan air laut. Curah hujan rata-rata pertahun dapat mencapai 1875 mm dengan kelembaban lebih dari 70%. Dengan ciri-ciri iklim yang demikian, maka Semarang termasuk dalam kategori daerah iklim tropis lembab.

Universitas Katolik Soegijapranata terletak dikawasan perguruan tinggi swasta, Bendan Dhuwur-Semarang Selatan. Gedung Yustinus yaitu gedung yang diperuntukkan bagi Fakultas Ekonomi terletak dibagian paling Timur dan berada pada lokasi tertinggi diantara gedung – gedung lain yang terletak pada satu garis linier dari kawasan kampus Unika. Adapun perbatasan gedung ini adalah :

- Sebelah Timur Laut, Jalan Tol Jatingaleh-Krapyak.
- Sebelah Tenggara, pemakaman umum dan area parkir kampus.
- Sebelah Barat Daya, Jalan Pawiyatan Luhur .
- Sebelah Barat Laut, gedung Albertus bangunan Fakultas Sastra dan Teknologi Pangan.

## 4.2. TINJAUAN BANGUNAN

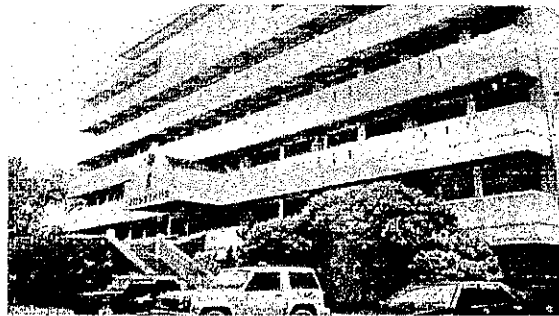


Foto 4.1. Tampak Depan Bangunan Yustinus  
(Sumber : Data Lapangan, 2003)

### 4.2.1. BAHAN BANGUNAN

#### A. ATAP

Atap gedung Yustinus terdiri dari 2 (dua) jenis bahan yaitu :

##### 1. Genteng beton

Genteng beton digunakan sebagai penutup atap pada bagian ruang aula dan atrium. Konstruksi yang dipergunakan adalah sistem konstruksi kuda-kuda baja dengan plafon yang digunakan adalah material kayu untuk aula dan atrium. Bahkan pada plafon untuk hall samping yang menghadap parkir Timur Laut dan jalan Tol menggunakan plafon '*lambresering*'. Dari segi akustik material beton ini merupakan material pemantul dengan koefisien sebesar 0,02 (Harris, 1979).

##### 2. Dak Beton

Penggunaan dak beton sebagai penutup atap pada bagian bangunan perkuliahan dan ruang-ruang antara (atrium tengah). Pada ruang-ruang ini tidak diberikan material bangunan tambahan untuk penutup plafon. Karena semua bagian yang menggunakan sistem struktur Grid ini merupakan ekspos beton.

Material beton sebagaimana telah disebutkan memiliki koefisien absorpsi sebesar 0,02.

## **B. DINDING**

Sebagai pembatas horisontal digunakan dinding batu bata pada seluruh bagian bangunan dengan kolom-kolom beton. Pembatas selasar adalah batu bata dengan pemberian lubang-lubang sebagai aksent dinding balkon. Menurut (Harris, 1979) pembatas ruang batu bata ini memiliki koefisien absorpsi sebesar 0,04.

## **C. LANTAI**

Lantai merupakan pembatas ruang yang bersifat horisontal. Material penutup lantai ini terdiri dari 2 jenis bahan yaitu :

### **1. Cone Block (Paving Block)**

Digunakan pada atrium lantai 1, sebelah Barat Laut dan Tenggara, pemberian bahan cone block ini menambah kesan '*unity*' antara ruang luar dan ruang dalam. Material cone block dari segi akustik memiliki koefisien absorpsi 0,02 pada frekuensi tengah (Harris, 1979).

### **2. Keramik**

Keramik digunakan sebagai bahan pelapis untuk lantai dasar, atrium tengah, tangga dan bordes, kamar mandi/WC serta hall luar. Keramik yang digunakan dapat dibagi lagi menjadi 2 buah yaitu yang bertekstur kasar dan yang

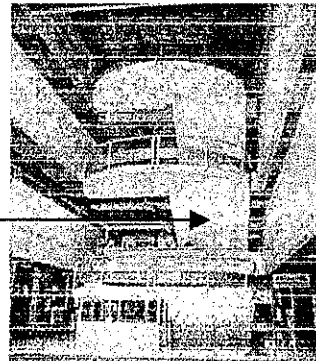
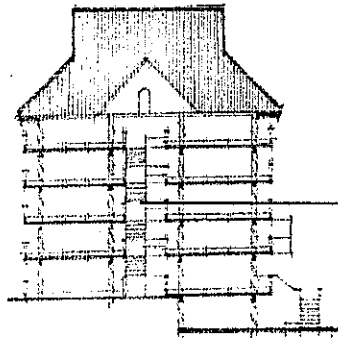
polos. Keramik bertekstur digunakan untuk ruang-ruang kamar mandi/WC, sedangkan keramik polos digunakan untuk ruang selasar dan ruang atrium.

### **3. Ubin Portland Cement (PC)**

Ubin PC ini digunakan untuk ruang-ruang kuliah atau balkon, baik pada sisi massa bangunan sebelah Timur Laut maupun sisi Barat Daya. Pemakaian ubin PC ini memberikan kesan dingin pada ruang yang menggunakannya. Ubin PC abu-abu ini memiliki koefisien serapan sebesar 0,03 (L Doelle, 1993).

#### **4.2.2. ATRIUM BANGUNAN**

Seperti yang telah dikemukakan di bagian bab II, mengenai Kajian Pustaka, Atrium Bangunan menurut (Saxon, 1993) adalah ruang terbuka yang statis dengan bentuk vertikal pada bangunan yang juga merupakan ruang transisi yang berperan sebagai penghubung antara ruang luar dan dalam. Atrium pula menurut (Ching, 1996) merupakan aula utama atau aula tengah sebelah dalam bangunan. Yang termasuk dalam atrium bangunan seperti pada yang terlihat dalam gedung Yustinus Unika Soegijapranata adalah terutama dibatasi oleh dinding ruang kelas disebelahnya berupa bukaan jendela, ventilasi pintu dan juga termasuk tangga yang menghubungkan fungsi antar lantai bangunan dengan dimensi atrium lebar 10 m, panjang 43 m serta ketinggian 20 m (5 lantai).



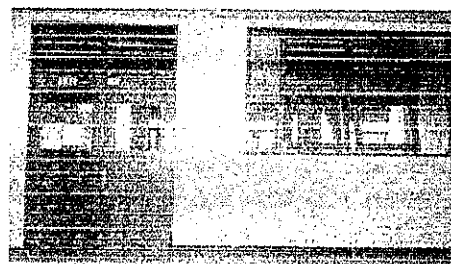
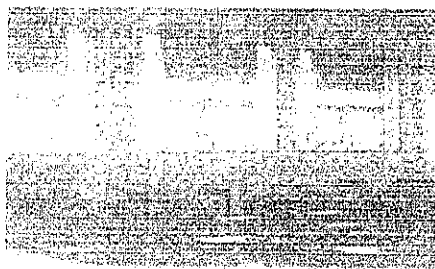
**Gambar 4.1.** Atrium Bangunan Yustinus  
(Sumber : Data Lapangan, 2003)

**Foto 4.2.** Tampak Dalam Atrium  
(Sumber : Data Lapangan, 2003)

## Bukaan-bukaan

### 1. JENDELA

Jendela memiliki fungsi sebagai masuknya pencahayaan alami berikut masuknya kebisingan akibat angin yang berasal dari luar bangunan. Bahkan kaca yang menjadi sebagian dari elemen jendela ini hanya memiliki koefisien absorpsi sebesar 0,03 (Harris, 1979).



**Foto 4.3.** Jendela sebagai pencahayaan alami  
(Sumber : Data Lapangan, 2003)

**Foto 4.4.** Pintu dan Jendela  
(Sumber : Data Lapangan, 2003)

### 2. PINTU

Bahan pintu dan kosen yang dipergunakan adalah kayu. Dan jenis pintu yang terdapat adalah dibagi 3 jenis yaitu pintu panil, pintu kaca dan kombinasi

pintu panil dan kaca. Pintu panil terbuat dari papan kayu memberikan nilai serapan sebesar 0,1 (L Doelle, 1993).

### **3. VENTILASI**

Ventilasi yang digunakan adalah krepyak miring. Lubang udara berupa krepyak ini memasukkan suara dari luar tanpa halangan, artinya 100% dari suara masuk kedalam ruangan tidak tersaring oleh material apapun.

#### **4.3. TINJAUAN ATRIUM DARI ASPEK MIKROKLIMAT BANGUNAN**

Tingkat kebisingan suatu bangunan ditentukan oleh besarnya sumber bunyi, serta jarak sumber bunyi terhadap bangunan namun pada kenyataannya aspek-aspek tropis tersebut turut pula dipertimbangkan antara lain :

##### **4.3.1. Temperatur Udara**

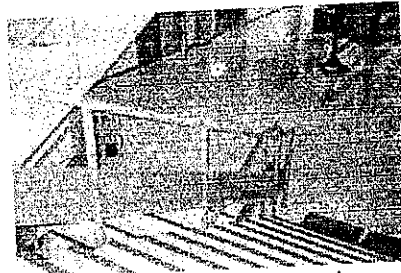
Pada gedung Yustinus, atrium bangunan berfungsi sebagai aula tengah dimana dalam disainnya merupakan ruang terbuka sehingga terdapat sirkulasi atau pergerakan udara didalamnya sehingga temperatur yang diakibatkan oleh akumulasi panas dapat diturunkan melalui keterbukaan ruang yaitu dengan adanya pembagian ruang yang secara sederhana dan seakan-akan satu ruangan besar dengan volume ruang yang mudah ditembus oleh aliran angin.

Atrium pada bangunan Yustinus mendapatkan temperatur yang lebih rendah dibanding ruang-ruang kuliah karena konsep bangunan yang memasukkan ruang luar kedalam bangunan. Hal demikian dipengaruhi juga dengan adanya pergerakan udara di ruang tengah yang merupakan penghubung antar bangunan

tersebut walaupun tidak terlalu tinggi namun cukup berperan mengurangi temperatur udara dalam bangunan terutama pada siang hari.



*Selasar bangunan*



*Tangga utama atrium*

**Foto. 4.5.** Keberadaan atrium dalam bangunan membuat temperatur ruangan bangunan menjadi lebih rendah  
(Sumber : Observasi Lapangan, 2003)

#### 4.3.2. Kelembaban Udara dan Hujan

Sehingga dalam rangka mencapai kelembaban yang optimal untuk mendapatkan kenyamanan thermal diperlukan prinsip perencanaan khusus dan untuk itu diperlukan adanya pergerakan udara guna menurunkan kadar air yang terkandung dalam komposisi udara. Disekitar lokasi bangunan Yustinus terdapat banyak pepohonan besar yang sengaja ditanam dengan tujuan selain sebagai barierantisipasi kebisingan yang berasal dari trafik jalan Pawiyatan Luhur maupun jalan Tol juga untuk menciptakan pengkondisian udara yang nyaman.

#### 4.3.3. Pergerakan Udara

Aliran udara pada gedung Yustinus dapat dihasilkan dengan memanfaatkan angin atau lubang udara pada gedung Yustinus, selain diwujudkan dalam disain jendela dan ventilasi juga dengan 'konsep mall' yang menyebabkan

terciptanya atrium bangunan. Atrium bangunan Yustinus terletak di sebelah Barat Laut dan Tenggara.

Dengan adanya atrium bangunan ini, maka ruang-ruang yang berada disekitar atrium akan mendapatkan pergerakan udara yang relatif besar daripada ruang-ruang lainnya sehingga temperatur udara lebih rendah yang mempengaruhi tingkat tekanan bunyi yang terjadi di atrium relatif berkurang . Sehingga peran atrium pada bangunan Yustinus diharapkan cukup efektif sebagai pereduksi kebisingan yang berasal dari luar bangunan.

#### **4.4. TINJAUAN BANGUNAN DARI ASPEK AKUSTIK**

Mengacu pada tujuan penelitian yang berjudul : “Kajian Atrium Bertingkat Pada Bangunan Bertingkat Sebagai Pereduksi Kebisingan “ maka hanya akan dibahas secara detail mengenai sumber kebisingan yang terdiri dari sumber kebisingan murni, sumber kebisingan yang mengalami gangguan maupun yang tidak mengalami gangguan pada jalan Tol dan jalan Pawiyatan serta pengaruh keberadaan atrium pada bangunan sebagai pereduksi kebisingan yang terjadi. Dan alasan mengenai waktu pelaksanaan eksperimen penelitian yang dilakukan pada hari Sabtu maupun hari Minggu adalah untuk menganulir atau menghilangkan sumber kebisingan lain selain sumber kebisingan yang berasal dari jalan Tol maupun jalan Pawiyatan.

Sedangkan deskripsi faktor propagasi kebisingan terhadap bangunan adalah jarak terhadap sumber kebisingan yang berasal dari Jl. Pawiyatan Luhur dan Jl. Tol Jatingaleh – Krapyak, gradien atau sudut propagasi, efek barrier.

## **BAB V**

### **DATA DAN ANALISIS**

#### **5.1. TINJAUAN ATRIUM DALAM BANGUNAN DARI ASPEK AKUSTIK**

Tujuan penelitian untuk mengetahui sejauh mana fungsi atrium bangunan dapat mereduksi kebisingan yang terjadi terhadap ruangan didalam bangunan serta faktor-faktor yang turut mempengaruhinya.

Gelombang bunyi yang merambat hingga didengar oleh manusia menimbulkan persepsi pendengaran yang antara lain disebabkan karena jarak rambatan gelombang bunyi tersebut mencapai pendengaran manusia yang berpengaruh terhadap intensitas kekerasan suara. Gelombang bunyi selama dalam perjalanan sampai pendengar (perambatan) mengalami difraksi maupun absorpsi setelah menumbuk dinding-dinding ruangan akan semakin berkurang intensitasnya juga disebabkan karena diserap molekul-molekul penyerap bunyi di udara melalui jarak. Dalam kajian ini dimana peran atrium dalam bangunan sebagai pereduksi kebisingan antara lain meliputi jarak ruangan terhadap sumber bunyi.

Dalam studi kasus pada bangunan Yustinus, fungsi pereduksian terhadap kebisingan pada bangunan yaitu terutama setelah melewati atrium dapat diketahui antara lain berdasarkan atenuasi tingkat kebisingan terhadap faktor jarak maupun faktor serapan ruangan sebelum gelombang bunyi mencapai atrium. Faktor-faktor yang mempengaruhi intensitas bunyi dalam serapan ruangan antara lain volume

ruang, luasan pembatas ruang, propagasi suara serta koefisien serapan bahan. Peran Atrium dalam kaitannya sebagai pereduksi kebisingan dapat dikatakan juga sama halnya dengan pereduksian kebisingan yang dilakukan oleh ruangan namun dalam hal ini disain atrium adalah merupakan ruang terbuka dalam bangunan yang menerus sampai ketinggian lantai bangunan teratas. Sehingga faktor yang terkait didalam pereduksian kebisingan oleh atrium adalah faktor jarak serta ketinggian lantai. Disamping faktor jarak, faktor-faktor iklim turut dipertimbangkan pula dalam pembahasan tingkat kebisingan. Faktor temperatur, kelembaban maupun pergerakan udara sangat mempengaruhi tingkat kebisingan yang terjadi pada bangunan.

Pengumpulan data-data primer yang nantinya digunakan dalam analisa data maupun yang digunakan sebagai Uji Hipotesis melalui pengukuran dilapangan diperoleh dengan 2 (dua) langkah yaitu :

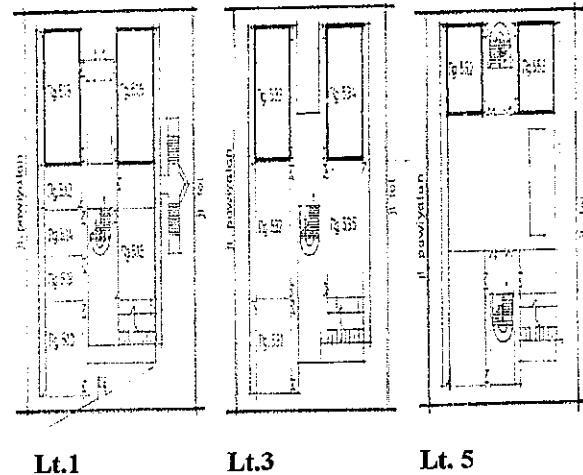
## **5.2. HASIL PENELITIAN**

### **5.2.1. PENGUKURAN SERAPAN RUANGAN**

Data pertama yang diperoleh merupakan data koefisien absorpsi ruangan pada bangunan Yustinus mulai dari lantai 1,3 sampai dengan 5. Keenam ruang yang terdapat pada sisi Barat Daya dan Timur Laut bangunan tersebut terpilih dengan pertimbangan karena ruangan memiliki variabel indikator yang sama, atau relatif mendekati, terhadap permasalahan pemantulan kebisingan ke dalam ruang bangunan.

**Tabel 5.1.** Ruang Obyek Penelitian Bangunan Yustinus  
(Sumber : Data Lapangan, 2003)

Lt. Bangunan	Barat Daya Ruang A	Ruang B	Timur laut Ruang C
Lt.1	rg. 5.1.3	Atrium	rg. 5.1.6
Lt.3	rg. 5.3.3	Atrium	rg. 5.3.4
Lt.5	rg. 5.5.2	Atrium	rg. 5.5.3



Dalam hal ini atrium pada bangunan dianggap sebagai ruang terbuka di dalam bangunan sehingga tidak diperhitungkan nilai serapan ruangnya, namun tetap diperhitungkan sebagai pereduksi kebisingan dikarenakan terdapat faktor jarak pada atrium tersebut.

Dengan rumus koefisien absorpsi rata-rata untuk ruangan adalah =

$$\alpha = \frac{S_{Dinding} \alpha_{Dinding} + S_{Plafon} \alpha_{Plafon} + S_{Lantai} \alpha_{Lantai} + S_{Kursi} \alpha_{Kursi} + S_{Meja} \alpha_{Meja} + \sum_{Mahasiswa} \alpha_{orang}}{S_{Dinding} + S_{Plafon} + S_{Lantai} + S_{Kursi} + S_{Meja} + \sum_{Mahasiswa}}$$

dimana: S = Luas Permukaan  
 $\alpha$  = Koefisien absorpsi

Dari perhitungan diatas didapatkan besarnya nilai koefisien absorpsi rata-rata ( $\alpha$ ) pada masing-masing ruangan :

**Tabel 5.2.** Koefisien Serapan Rata-rata Pada Ruangan  
(Sumber : Observasi Lapangan, 2003)

Ruang A	Nilai Koefisien ( $\alpha$ )	Ruang C	Nilai Koefisien ( $\alpha$ )
Rg. 5.5.2 (Lt.5)	0,17	Rg. 5.5.3 (Lt.5)	0,17
Rg. 5.3.3 (Lt.3)	0,09	Rg. 5.3.4 (Lt.3)	0,09
Rg. 5.1.3 (Lt.1)	0,09	Rg. 5.1.6 (Lt.1)	0,07

### 5.2.3. PENGOLAHAN DATA

Dari hasil pengukuran di lapangan maka data primer yang diperoleh kemudian dilakukan perhitungan dengan metode yang digunakan adalah perhitungan secara manual dan perhitungan yang dilakukan dengan simulasi program komputer yang tujuan akhir nantinya digunakan sebagai pembandingan selisih antara hasil pengukuran tingkat tekanan bunyi yang sebenarnya terjadi di lapangan dengan hasil pengukuran melalui program komputer.

#### A. Pengolahan Data Lapangan

Sesuai dengan pernyataan Hipotesa I dan II maka dalam kasus pengukuran tingkat kebisingan yang terjadi pada bangunan maka data yang akan diolah adalah meliputi data hasil pengukuran tingkat tekanan bunyi yang terjadi pada bangunan di waktu siang hari dan malam hari.

Setelah dilakukan pengukuran di lapangan maka untuk memvalidasi data dilakukan prosedur rating untuk menentukan rata-rata tingkat kebisingan berdasarkan waktu tertentu (*time varying noise*) sehingga akan didapatkan level rata-rata energi kebisingan serta dilakukan perhitungan nilai dari level kebisingan atau disebut 'Level Kebisingan Konstan Ekuivalen' (Lequivalen ). Kemudian dapat diketahui besarnya tingkat tekanan bunyi yang terjadi pada siang hari maupun malam hari.

Data hasil pengukuran di lapangan maupun perhitungan Lek siang maupun Lek malam disajikan dalam lampiran. Berikut ini adalah prosentase reduksi atrium terhadap kebisingan yang terjadi setelah melewati atrium :

**Tabel.5.3.** Prosentase Reduksi Atrium Terhadap Kebisingan Dalam Bangunan  
(Sumber : Perhitungan Peneliti, 2003)

	Siang			Malam		
	1	3	5	1	3	5
<b>SABTU</b>						
Tanpa Gangguan	4%	0	0	0	3%	8%
Gangguan di Jl. Pawiyatan	6%	5%	8%	8%	8%	10%
Gangguan di Jl. Tol	3%	5%	5%	5%	6%	9%
<b>MINGGU</b>						
Tanpa Gangguan	0	0	3%	3%	3%	5%
Gangguan di Jl. Pawiyatan	4%	5%	5%	6%	7%	8%
Gangguan di Jl. Tol	3%	3%	4%	5%	7%	7%

Dari tabel 5.3 terlihat adanya peran atrium dalam mereduksi kebisingan yang berasal dari luar masuk kedalam bangunan yaitu dengan adanya penurunan tingkat tekanan bunyi pada ruang C setelah sumber bunyi melewati atrium. Hal tersebut dapat teramati setelah dilakukan pengukuran tingkat tekanan bunyi pada ruangan terhadap kebisingan dengan sumber bunyi yang berasal di Jl. Pawiyatan maupun Jl. Tol setelah mendapat perlakuan/gangguan bunyi diesel. Nilai reduksi kebisingan terbanyak terdapat pada fungsi atrium pada saat observasi lapangan siang hari (Sabtu / 4 Oktober 2003) dengan sumber bunyi yang mendapat gangguan di Jl. Pawiyatan yaitu bahwa atrium berperan mereduksi kebisingan rata-rata pada siang hari sebesar 6% dan malam hari sebesar 9%.

## B. Pengolahan Data dengan Simulasi Program Komputer

Dalam perhitungan dengan program simulasi komputer, data primer hasil pengukuran dilapangan meliputi data hasil perhitungan nilai koefisien serapan rata-rata ruangan. Kemudian data diolah dengan menggunakan program komputer sehingga hasil akhir yang diharapkan nantinya dapat diperoleh program simulasi komputer yang dapat menunjukkan tingkat tekanan bunyi yang terjadi pada masing-masing ruang mulai dari lantai 1,3, sampai dengan lantai 5 secara otomatis setelah diberi sumber bunyi (asumsi).

Adapun dalam penyelesaian program simulasi komputer tersebut digunakan anggapan-anggapan sebagai berikut :

### 1. Serapan di luar ruangan (Dinding dianggap sebagai partisi)

Bunyi dapat diteruskan dari satu ruang keruang lain dapat melalui lubang seperti lubang pintu, jendela dan lubang angin, namun dapat juga melalui partisi seperti dinding penyekat antara kedua ruang. STL (*Sound transmission loss*) merupakan kemampuan suatu permukaan mengurangi tenaga akustik yang datang padanya, atau secara singkat dapat ditulis :

$$STL = SPL_0 - SPL_1 \qquad STL = 10 \text{ Log } \frac{W_1}{W_2} = \frac{1}{\tau}$$

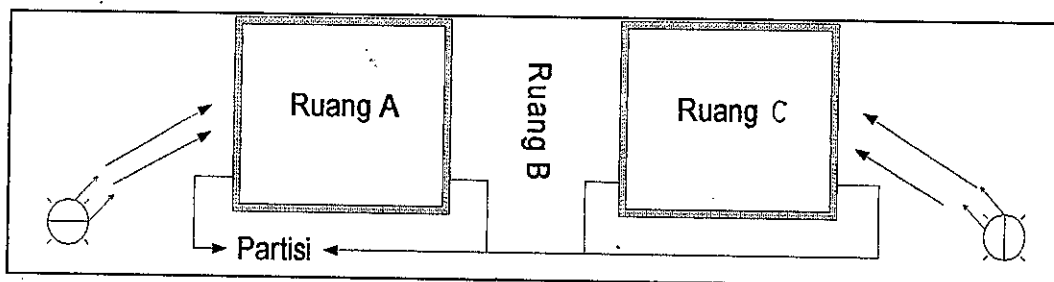
Dengan  $W_1$  = Daya bunyi yang datang (watt)

$W_2$  = Daya bunyi yang diradiasikan oleh partisi (watt)

$\tau$  = Koefisien transmisi

Digunakannya kedua rumus diatas berdasarkan pada 3 ruangan yang terdapat pada bangunan Yustinus tersebut dianggap sebagai ruang sumber dan ruang penerima yang memiliki karakteristik yang berbeda- beda yaitu :

- Ruang A dianggap sebagai ruang penerima dari sumber bunyi yang berasal dari luar sehingga dinding yang membatasi kedua ruangan tersebut akan dianggap sebagai partisi.
- Ruang B (Atrium) dianggap sebagai ruang penerima dari sumber yang berasal dari ruang A sehingga dinding yang membatasi kedua ruangan tersebut dianggap sebagai partisi.
- Ruang C dianggap sebagai ruang penerima dari sumber yang berasal dari ruang B (atrium) sehingga dinding yang membatasi kedua gedung tersebut dianggap sebagai partisi.



**Gambar 5.1.** Serapan diluar ruangan (Dinding dianggap sebagai partisi)  
(Sumber : Sketsa peneliti, 2003)

Rumus persamaan serapan ruangan yang digunakan dalam program adalah :

$$L_p = 10 \log W + 10 \log \rho_0 c + 94 + 10 \log \left( \frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right)$$

$L_p$  : Tingkat tekanan bunyi dalam ruang

$W$  : Daya yang dipancarkan dari sumber, dicari dengan :

$$Lw = 20 \log \frac{P}{P_0} \quad P_0 = \text{Tekanan Bunyi Referensi (N/m}^2\text{)}$$

$$I = \frac{P^2}{\rho_0 c} \quad \rho_0 c = Z = \text{Impedansi}$$

$$= 407 \text{ ray/s}$$

$$W = IS \quad S = \text{Luas Permukaan Ruangan (m}^2\text{)}$$

$$I = \text{Intensitas bunyi}$$

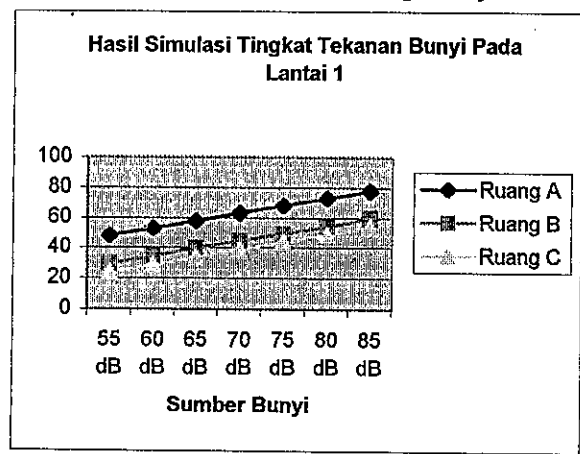
## 2. Hasil Simulasi Program Komputer

Berikut disajikan hasil simulasi program komputer dimana intensitas sumber bunyi dapat diubah sesuai asumsi intensitas sumber (55dB, 60dB, 65dB, 70dB, 75 dB, 80dB serta 85dB) yang mengacu pada ketentuan Baku Tingkat Kebisingan Kawasan untuk bangunan pendidikan sebesar 55dB. Pada hasil simulasi tersebut akan diperlihatkan tingkat tekanan bunyi pada tiap ruang serta pereduksian tingkat kebisingan dalam bangunan terutama setelah melewati atrium

**Tabel 5.4.** Hasil Simulasi Tingkat Tekanan Bunyi Pada Lt.1 Bangunan Yustinus

Sb Bunyi	Ruang A	Ruang B	Ruang C
55 dB	48,02	29,51	23,73
60 dB	53,02	34,51	28,73
65 dB	58,02	39,51	33,73
70 dB	63,02	44,51	38,73
75 dB	68,02	49,51	43,73
80 dB	73,02	54,51	48,73
85 dB	78,02	59,51	53,73
Penurunan :	7dB	19dB	6dB

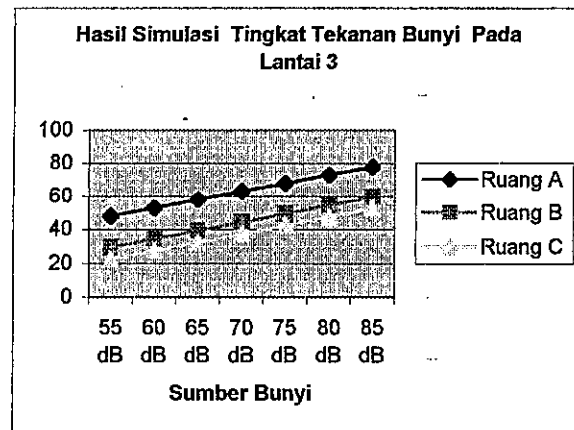
**Grafik 5.1.** Hasil Simulasi Tingkat Tekanan Bunyi Pada Lt.1 Bangunan yustinus



**Tabel 5.5.** Hasil Simulasi Tingkat Tekanan Bunyi Pada Lt.3 Bangunan Yustinus

Sb Bunyi	Ruang A	Ruang B	Ruang C
55 dB	48,01	29,49	22,52
60 dB	53,01	34,49	27,52
65 dB	58,01	39,49	32,52
70 dB	63,01	44,49	37,52
75 dB	68,01	49,49	42,52
80 dB	73,01	54,49	47,52
85 dB	78,01	59,49	52,52
Penurunan :	7dB	19dB	7dB

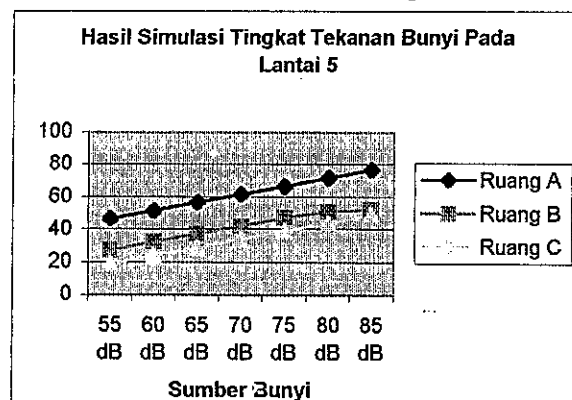
**Grafik 5.2.** Hasil Simulasi Tingkat Tekanan Bunyi Pada Lt.3 Bangunan Yustinus



**Tabel 5.6.** Hasil Simulasi Tingkat Tekanan Bunyi Pada Lt.5 Bangunan Yustinus

Sb Bunyi	Ruang A	Ruang B	Ruang C
55 dB	46,54	27,17	18,77
60 dB	51,54	32,17	23,77
65 dB	56,54	37,17	28,77
70 dB	61,54	42,17	33,77
75 dB	66,54	47,17	38,77
80 dB	71,54	51,17	43,77
85 dB	76,54	52,17	48,77
Penurunan :	9dB	24dB	9dB

**Grafik 5.3.** Hasil Simulasi Tingkat Tekanan Bunyi Pada Lt.5 Bangunan Yustinus



### Analisis Program :

Secara keseluruhan tampak pada tabel adanya penurunan tingkat tekanan bunyi yang terjadi pada ruangan tiap lantai bangunan adalah secara linier meskipun besarnya intensitas sumber bunyi mengalami perubahan. Dimana besarnya penurunan tingkat tekanan bunyi ruangan yang terjadi berikut berlaku pada semua perhitungan simulasi.

Pada lantai 1 terdapat reduksi tingkat kebisingan oleh atrium yang berasal dari ruang A sebesar 25dB, dan menunjukkan peningkatan pereduksian yang

terjadi pada lantai 3 sebesar 26dB serta reduksi 28dB pada lantai 5. Dari data diketahui bahwa tingkat reduksi kebisingan oleh atrium terbanyak terjadi pada lantai 5 sehingga mempengaruhi tingkat tekanan bunyi yang terjadi pada ruang C disamping faktor ketinggian bangunan serta serapan ruang pada lantai 5 yang relatif besar ( $\alpha=0,17$ ).

### **5.3. ANALISIS**

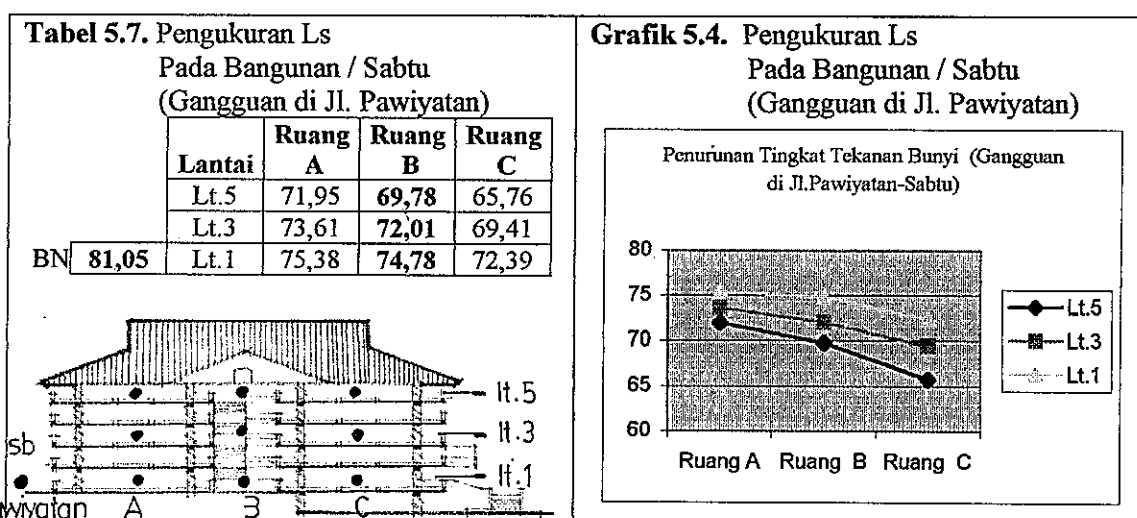
#### **5.3.1. Analisis Uji Hipotesis I**

Tujuan dari Uji hipotesis I adalah untuk mengetahui seberapa besar pereduksian atrium terhadap tingkat kebisingan yang terjadi pada ruang bangunan pada siang hari maupun malam hari. Pertimbangan pemberian gangguan terhadap sumber bunyi diharapkan dapat menganulir faktor internal bangunan sehingga seberapa besar peningkatan maupun pengurangan intensitas kebisingan yang terjadi pada bangunan dapat terukur dengan jelas (mempengaruhi perambatan suara kedalam bangunan). Ruangan pada bangunan Yustinus yang digunakan sebagai sampel penelitian dipilih antara lain karena ruang memiliki variabel indikator yang sama atau relatif mendekati terhadap permasalahan pemantulan kebisingan ke dalam ruangan bangunan. Jarak antar ruang dalam bangunan yang membagi massa bangunan sisi Barat Daya dan Timur Laut maupun atrium masing-masing adalah 10 m, dengan ketinggian antar lantai bangunan 4 m. Sedangkan jarak sumber bunyi terhadap bangunan sejauh 10 m sehingga penerimaan intensitas kebisingan pada ruangan dalam bangunan relatif sama.

Adapun data yang akan diambil sebagai analisis adalah data pengukuran Ls dan Lm dengan observasi lapangan yang dilakukan pada siang hari (Sabtu/4 Oktober 2003) dengan sumber bunyi mendapat gangguan bunyi diesel di Jl. Pawiyatan. Bunyi diesel tersebut mempengaruhi *background noise* Jl. Pawiyatan (71dB) meningkat menjadi 81dB. Berikut ini disajikan analisis uji Hipotesis I :

### A. Analisis

#### Pengukuran Lek Siang Pada Bangunan (Sabtu / 4 Oktober 2003) - Gangguan terhadap Sumber di Jl. Pawiyatan - (Sumber : Data Lapangan, 2003)



#### Analisis :

- *Lantai 1* : Penambahan bunyi diesel di Jl. Pawiyatan menyebabkan *background noise* meningkat 14% (81dB) namun cenderung menurun setelah sumber bunyi melewati atrium yang menghasilkan reduksi yang sebesar 4% sehingga terjadi penurunan tingkat tekanan bunyi pada ruang C (72dB).

- *Lantai 3* : Tingkat tekanan bunyi pada ruang C berkurang menjadi 65dB meskipun terdapat pergerakan udara (0,1m/dtk) setelah mendapat reduksi kebisingan sebesar 5% dari atrium .
- *Lantai 5* : Tingkat kebisingan yang berasal dari *background noise* (81dB) semakin berkurang 12% pada ruang A (71dB) yang antara lain dipengaruhi oleh ketinggian bangunan. Gejala tersebut tampak setelah sumber bunyi melewati atrium dan tereduksi sebesar 8% terhadap ruang C (65dB) meskipun temperatur pada saat itu mencapai 29,8° C.
- Secara vertikal peran atrium sebagai pereduksi kebisingan dari luar bangunan (81dB) menghasilkan penurunan tingkat tekanan bunyi pada ruang C sebesar 11% di lantai 1, 14% di lantai 3 dan 19% di lantai 5 meskipun terdapat pergerakan udara yang relatif tinggi..

### **B. Kesimpulan Uji Hipotesis I:**

Secara deskriptif pada tabel terlihat bahwa peran atrium pada bangunan bertingkat Yustinus mampu mereduksi kebisingan yang terjadi pada ruang C dengan pereduksian tingkat kebisingan mencapai 8%(6dB) pada lantai 5. Uji fisik bangunan pada hari Sabtu/4 Oktober 2003 terhadap penerimaan tingkat kebisingan bangunan dengan sumber bunyi dengan gangguan di Jl.Pawiyatan pada siang hari cenderung mengalami penurunan terutama setelah sumber bunyi yang berasal dari ruang A melewati atrium karena atrium memberikan nilai reduksi sebesar  $\pm 3\%$ (2dB) pada setiap ketinggian lantai bangunan. Dalam hal ini mempengaruhi tingkat tekanan bunyi pada ruang C relatif rendah.

Hal tersebut antara lain dipengaruhi faktor ketinggian bangunan (propagasi suara) 20 m serta jarak antar massa bangunan yang membagi ruang bangunan Yustinus (ruang A,B, dan C) adalah masing-masing 10 m. Maka sehubungan dengan pernyataan Hipotesis I tentang peran atrium sebagai pereduksi kebisingan pada bangunan bertingkat, maka hal tersebut diatas dapat dijadikan suatu pernyataan bahwa atrium dengan dimensi luas (termasuk didalamnya volume/isi ruang, faktor serapan ruang) mempengaruhi nilai pereduksian terhadap tingkat kebisingan yang terjadi disamping antara lain dipengaruhi oleh faktor iklim dalam bangunan (temperatur, kelembaban, pergerakan udara) pada saat observasi lapangan. Semakin tinggi bangunan bertingkat disertai dengan atrium yang juga semakin tinggi yang berarti pula semakin besar jarak dari sumber bunyi maka kebisingan dari luar dapat direduksi semaksimal mungkin.

### **5.3.2. Analisis uji Hipotesis II**

Uji Hipotesis II bertujuan untuk membuktikan adanya perbedaan tingkat tekanan bunyi yang terjadi pada bangunan terutama pereduksian kebisingan oleh atrium antara siang hari dengan malam hari. Dalam melakukan uji Hipotesis II data yang dianalisis merupakan data pengukuran Tingkat Tekanan bunyi Ekuivalen (Lekuivalen) yang merupakan data awal pengukuran dilapangan dimana data tersebut memperlihatkan pengukuran temperatur, kelembaban dan pergerakan udara sehingga mempengaruhi tingkat tekanan bunyi pada satu rentang waktu tertentu.

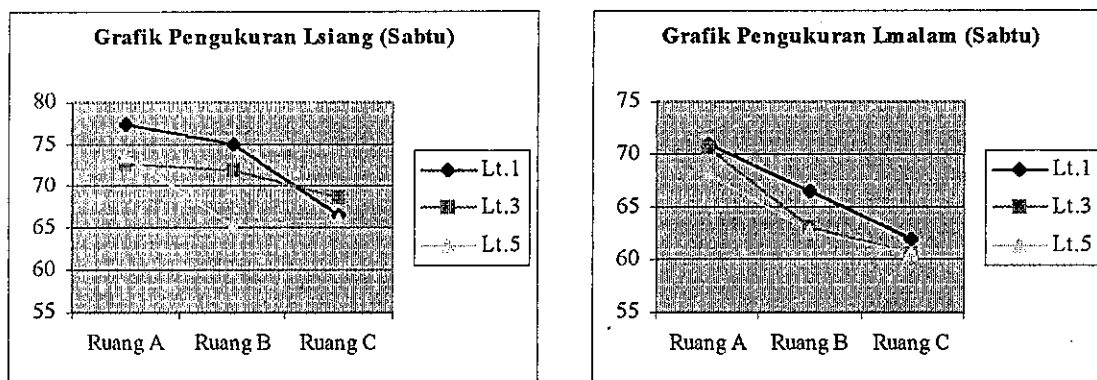
Adapun data yang dianalisis adalah sama dengan data yang digunakan pada uji Hipotesis I yaitu data hasil pengukuran pada hari Sabtu/4Oktober 2003 dengan sumber bunyi mengalami gangguan di Jl. Pawiyatan. Data hasil pengukuran dibedakan antara data pengukuran tingkat tekanan bunyi ada siang hari dengan malam hari sebagai berikut :

- Data pengukuran Lek siang hari (Ls) diambil data observasi lapangan pada jam pengukuran 09.00-12.00 dengan anggapan bahwa pada jam pengukuran tersebut data yang diperoleh sudah mewakili kondisi tingkat kebisingan serta data-data mikroklimat bangunan selama siang hari tersebut.
- Data pengukuran malam hari (Lm) diambil data observasi jam 21.00-24.00 dengan anggapan bahwa pada jam pengukuran tersebut data yang diperoleh sudah mewakili kondisi tingkat kebisingan serta data-data mikroklimat bangunan sepanjang malam hari tersebut.

**Tabel. 5.8.** Hasil Pengukuran Ls-Lm Pada Ruang (Sabtu)  
Gangguan Terhadap Sumber Bunyi di Jl. Pawiyatan  
(Sumber : Data Lapangan, 2003)

Ruang	SIANG				MALAM			
	Temperatur (C°)	Kelembaban (%)	Pergkr udara (m/dtk)	Leq (dB)	Temperatur (C°)	Kelembaban (%)	Pergkr udara (m/dtk)	Leq (dB)
<b>Sabtu</b>								
Rg.5.1.3	29,1	74,5	0	77,26	27,4	80,2	0	71,05
Atrium	28,4	75,2	0,1	75,03	26,5	81,2	0,3	66,35
Rg.5.1.6	29,1	73,8	0	73,50	27,1	83,3	0	62,80
Rg.5.3.3	29,3	74,3	0,1	72,54	27,8	81,4	0,1	70,62
Atrium	29,6	74,3	0,1	70,83	25,8	87,7	0,2	63,02
Rg.5.3.4	29,7	74,1	0,1	68,55	26,1	83,5	0,4	62,60
Rg.5.5.2	29,6	73,8	0,1	71,52	26,5	84,2	0,3	68,14
Atrium	29,4	75,2	0,1	68,21	26,8	85,7	0,2	62,66
Rg.5.5.3	29,8	74,1	0	66,90	26,4	84,3	0,2	60,60

**Grafik. 5.5. Pengukuran Lek siang – Lek malam (Sabtu)**  
 Gangguan Terhadap Sumber Bunyi di Jl. Pawiyatan  
 (Sumber : Data Lapangan, 2003)



**Analisis :**

- **Pengukuran Ls Sabtu.** Pada grafik memperlihatkan adanya penurunan tingkat tekanan bunyi siang hari pada ruang C bangunan Yustinus terutama setelah sumber bunyi mengalami reduksi oleh atrium meskipun temperatur saat itu 29°C. Atrium pada lantai 1 mereduksi tingkat kebisingan yang terjadi pada ruang C sebesar 5% yang selanjutnya mengalami penambahan reduksi sebesar 5% pada lantai 3 serta cenderung mengalami perubahan penurunan lagi pada lantai 5 sebesar 7%.
- **Pengukuran Lm Sabtu.** Dibanding siang hari temperatur udara pada malam hari relatif rendah  $\pm 3^\circ\text{C}$  dibanding siang hari sehingga mempengaruhi tingkat tekanan bunyi yang terjadi pada tiap lantai bangunan cukup signifikan seperti pada grafik. Fungsi atrium sebagai pereduksi kebisingan yang berasal dari ruang A terutama pada lantai 1 sebesar 12% (9dB). Atrium pada lantai 3 dan 5 mereduksi tingkat kebisingan dengan nilai reduksi relatif sama yaitu sebesar 11% (8dB).

## A. Analisa Pengaruh Temperatur, Kelembaban dan Pergerakan Udara Terhadap Tingkat Tekanan Bunyi Pada Ruang

Penurunan tingkat tekanan bunyi yang terjadi pada atrium pada siang hari dan malam hari dapat terlihat dengan jelas pada saat pengukuran hari Sabtu/4 Oktober 2003 dengan sumber bunyi mengalami gangguan di Jl. Pawiyatan. Data pengukuran tersebut menunjukkan penurunan tingkat tekanan bunyi setelah mengalami reduksi oleh atrium antara siang hari dengan malam hari yang mempengaruhi tingkat tekanan bunyi pada ruang C pada lantai 5. Tingkat reduksi atrium lantai 5 terhadap tingkat kebisingan siang hari sebesar 7% dan pada malam harinya serapan oleh atrium mengalami peningkatan  $\pm 4$ dB sebesar 11%.

Untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh temperatur, kelembaban maupun pergerakan udara terhadap tingkat tekanan bunyi pada ruangan digunakan analisa Regresi Korelasi dengan menampilkan empat variabel bebas yang saling mempengaruhi sama lain. Analisis korelasi menjelaskan hubungan (korelasi) dan signifikansi yang erat (nilai hubungan yang sempurna adalah 1) antara tingkat tekanan bunyi dengan temperatur, kelembaban, pergerakan udara yang terjadi pada ruang atrium. Berikut disajikan tabel analisa Regresi Korelasi :

**Tabel 5.9.** Pengukuran Lek Siang Hari Pada Atrium  
(Sumber : Data Lapangan, 2003)

Atrium Lantai 5		Correlations			
		LEO	SUHU	KELEMB	PERG
LEO	Pearson Correlation	1	.409	.283	.863
	Sig. (2-tailed)	.	.495	.845	.066
	N	5	5	5	5
SUHU	Pearson Correlation	.409	1	-.015	.058
	Sig. (2-tailed)	.495	.	.981	.926
	N	5	5	5	5
KELEMB	Pearson Correlation	.283	-.015	1	.389
	Sig. (2-tailed)	.845	.981	.	.517
	N	5	5	5	5
PERG	Pearson Correlation	.863	.058	.389	1
	Sig. (2-tailed)	.066	.926	.517	.
	N	5	5	5	5

**Analisis :**

- Nilai korelasi pada tabel positif (+) menunjukkan bahwa pada siang hari terjadi peningkatan tingkat tekanan bunyi pada atrium sebesar 65dB yang dipengaruhi oleh pergerakan udara 0,1m/dtk (0,853) yang membawa kebisingan dari luar masuk kedalam bangunan sebagai akibat temperatur udara yang relatif tinggi 29,4°C (0,409) serta kelembaban udara siang hari pada atrium relatif rendah 75,2% (0,283).

**Tabel 5.10. Pengukuran Lek Malam Hari Pada Atrium**  
(Sumber : Data Lapangan, 2003)

Atrium  Lantai 5		Correlations			
		LEQ	SUHU	KELEMB	PERG
LEQ	Pearson Correlation	1	-.353	.934	-.203
	Sig. (2-tailed)	.	.770	.233	.870
	N	3	3	3	3
SUHU	Pearson Correlation	-.353	1	.005	.988
	Sig. (2-tailed)	.770	.	.997	.099
	N	3	3	3	3
KELEMB	Pearson Correlation	.934	.005	1	.161
	Sig. (2-tailed)	.233	.997	.	.897
	N	3	3	3	3
PERG	Pearson Correlation	-.203	.988	.161	1
	Sig. (2-tailed)	.870	.099	.897	.
	N	3	3	3	3

**Analisis :**

- Temperatur udara malam hari pada atrium mengalami penurunan sebesar 26,8°C yang ditunjukkan pada nilai korelasi negatif (-) (-0,353) sehingga mempengaruhi tingkat tekanan bunyi malam hari yang terjadi mengalami penurunan 11% (62dB) dari siang hari . Terjadi peningkatan kelembaban udara 85,7% (0,934) yang dipengaruhi oleh menurunnya pergerakan udara 0,2m/dtk (-0,203).

**B. Kesimpulan Uji Hipotesis II :**

Hipotesis II yang menyatakan adanya perbedaan tingkat tekanan bunyi pada ruang bangunan antara siang hari dengan malam hari setelah dianalisis secara deskriptif berdasarkan data hasil pengukuran dilapangan dan statistik maka

dapat diambil kesimpulan bahwa perbedaan tingkat tekanan bunyi yang terjadi antara lain dipengaruhi oleh faktor temperatur, kelembaban maupun pergerakan udara yang terjadi saat itu dimana satu dengan lainnya memiliki hubungan yang erat dan saling mempengaruhi (disamping faktor serapan ruangan dan atenuasi kebisingan berdasarkan jarak).

Pada data pengukuran terlihat adanya penurunan temperatur siang hari ( $28^{\circ}\text{C}$ - $29^{\circ}\text{C}$ ) sebesar  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  pada malam harinya ( $\pm 26^{\circ}\text{C}$ ). Faktor pergerakan udara yang terjadi secara signifikan antara siang hari dengan malam hari turut mempengaruhi tingkat tekanan bunyi yang terjadi pada ruangan. Pergerakan udara pada siang hari relatif sedikit ( $0,0\text{m/dtk}$ - $0,1\text{m/dtk}$ ) antara lain disebabkan temperatur udara yang relatif tinggi pada bangunan tersebut serta pergerakan udara pada malam hari relatif banyak ( $0,2\text{m/dtk}$ - $0,4\text{m/dtk}$ ). Sedangkan besarnya faktor kelembaban udara menyesuaikan dari kondisi besarnya temperatur dan pergerakan udara yang terjadi.

Atrium sebagai ruang terbuka dalam bangunan memiliki temperatur udara yang lebih rendah dibanding ruangan lain serta karena disain atrium yang menerus sampai lantai atas bangunan maka terjadi tingkat pergerakan udara yang cukup tinggi karena udara lebih leluasa bergerak yang mempengaruhi tingkat kelembaban udara ruang tersebut. Dengan kondisi seperti maka nilai reduksi / peran atrium dalam menurunkan tingkat kebisingan pada bangunan mencapai baik siang hari sebesar  $\pm 8\%$  serta cenderung memiliki nilai reduksi lebih tinggi  $2\text{dB}$  pada saat malam hari atau mencapai  $\pm 11\%$ .

### 5.3.3. Perbandingan Data Observasi Lapangan Dengan Simulasi Program Komputer

Tujuan dari perbandingan data pengukuran lapangan (perhitungan manual) dengan simulasi program komputer yaitu untuk mengetahui seberapa besar selisih tingkat tekanan bunyi pada bangunan antara kenyataan di lapangan dengan hasil komputerisasi. Data hasil simulasi program komputer adalah untuk memvalidasi data pengukuran tekanan bunyi pada bangunan di lapangan (*cross ceck*).

Adapun yang membedakan data hasil pengukuran tingkat tekanan bunyi pada bangunan dilapangan dengan komputerisasi antara lain pada observasi lapangan terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kondisi tingkat tekanan bunyi antara lain : faktor serapan ruang, propagasi suara, jarak dari sumber suara, volume ruang, luasan bidang pembatas ruang disamping faktor mikroklimat bangunan. Sedangkan pada data hasil simulasi program komputer faktor mikroklimat bangunan diabaikan.

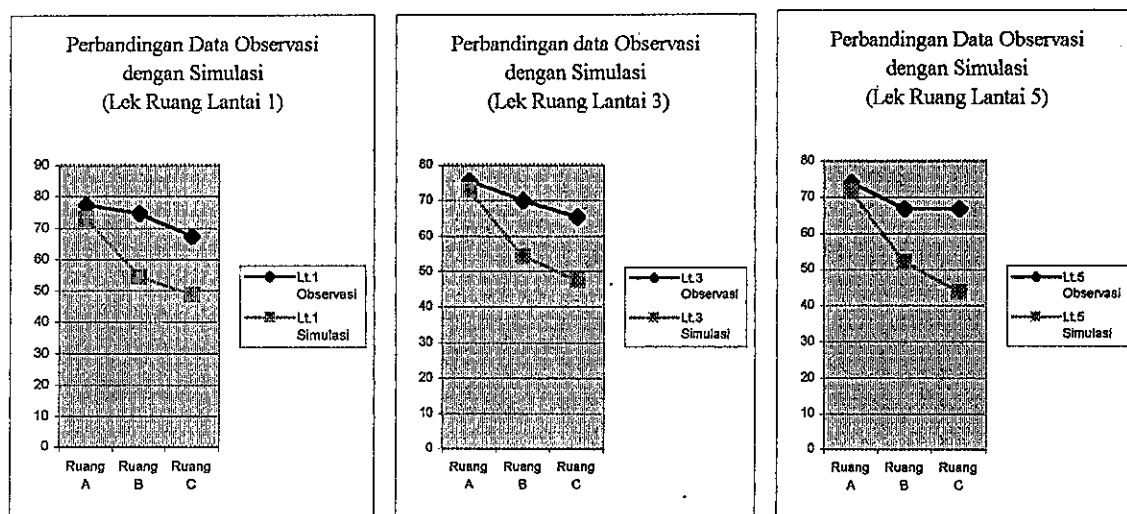
Data yang akan dibandingkan terlebih dahulu disamakan / relatif mendekati besarnya tingkat intensitas sumber bunyinya besarnya intensitas sumber bunyi (80dB) meliputi data pengukuran di lapangan yang dilakukan pada hari Sabtu / 4 Oktober 2003 dimana sumber bunyi mendapatkan gangguan di Jl. Pawiyatan serta data hasil pemrograman komputer yang sebelumnya telah diberi intensitas sumber suara sebesar 80dB.

Berikut tabel 5.11 yang merupakan perbandingan Tingkat Tekanan Bunyi hasil observasi lapangan maupun secara simulasi komputer.

**Tabel 5.11.** Perbandingan Hasil Pengukuran Lek :  
Observasi Lapangan dengan Simulasi Program Komputer

	Ruang A		Ruang B		Ruang C	
	Observasi	Simulasi	Observasi	Simulasi	Observasi	Simulasi
Lt.5	71,95	71,54	69,78	52,17	65,76	43,77
Lt.3	73,61	73,01	72,01	54,49	69,41	47,52
Lt.1	75,38	73,02	74,78	54,51	72,39	48,73

**Grafik 5.6.** Perbandingan Hasil Pengukuran Lek :  
Observasi Lapangan dengan Simulasi Program Komputer



Pada grafik 5.6 memperlihatkan adanya penurunan tingkat tekanan bunyi pada tiap ruang (A,B dan C) baik dengan observasi dilapangan maupun simulasi program komputer. Kecenderungan penurunan tingkat tekanan bunyi pada ruangan yang tersebut terutama setelah sumber bunyi melewati ruang B (Atrium). Terdapat penurunan / selisih tingkat tekanan bunyi pada ruangan lantai 3 dan 5 yang cukup signifikan terjadi terutama pada ruang B mencapai 27% dan ruang C sebesar 33%. Hal tersebut antara lain pada saat observasi di lapangan tingkat tekanan bunyi yang terjadi terutama dipengaruhi oleh faktor mikroklimat

bangunan (temperatur, kelembaban dan pergerakan udara) sedangkan simulasi komputer hanya oleh faktor serapan ruang dan jarak.

#### A. Analisis Observasi Lapangan :

##### Analisis :

- *Lantai 1* : Penambahan bunyi diesel di Jl.Pawiyatan menyebabkan *background noise* meningkat 14% (81dB) namun cenderung menurun setelah sumber bunyi melewati atrium yang menghasilkan reduksi yang sebesar 4% sehingga terjadi penurunan tingkat tekanan bunyi pada ruang C (72dB).
- *Lantai 3* : Tingkat tekanan bunyi pada ruang C berkurang menjadi 65dB meskipun terdapat pergerakan udara (0,1m/dtk) setelah mendapat reduksi kebisingan sebesar 5% dari atrium .
- *Lantai 5* : Tingkat kebisingan yang berasal dari *background noise* (81dB) semakin berkurang 12% pada ruang A (71dB) yang antara lain dipengaruhi oleh ketinggian bangunan dan semakin menurun setelah melewati atrium sebesar 8% terhadap ruang C sehingga menjadi 65dB meskipun temperatur pada saat itu mencapai 29,8° C.
- Secara vertikal peran atrium sebagai pereduksi kebisingan dari luar bangunan (81dB) menghasilkan penurunan tingkat tekanan bunyi pada ruang C sebesar 11% di lantai 1, 14% di lantai 3 dan 19% di lantai 5 meskipun terdapat pergerakan udara yang relatif tinggi..

**B. Analisis Simulasi Program Komputer :**

- **Lantai 1.** Ruang A memiliki serapan ruang ( $\alpha=0,09$ ) yang turut mengurangi kebisingan dari luar bangunan memberikan sebesar reduksi 26% (19dB) terhadap ruang B. Setelah sumber bunyi melewati atrium maka terdapat reduksi 11% (6dB) terhadap ruang C. Dalam hal ini atrium memiliki nilai reduksi terhadap kebisingan sebesar 34 % (25dB)
- **Lantai 3.** Di dibandingkan dengan atrium pada lantai 1, atrium pada lantai 3 memiliki serapan terhadap kebisingan sebesar 35% (26dB).
- **Lantai 5.** Faktor serapan ruang A dan C pada lantai 5 ( $\alpha=0,17$ ) mempengaruhi besarnya reduksi yang terjadi oleh atrium 39% (28dB).

**C. Kesimpulan Perbandingan Observasi dengan Simulasi :**

- Besarnya pereduksian terhadap tingkat kebisingan yang terjadi di setiap ruang bangunan pada pengukuran simulasi program komputer relatif besar antara lain dipengaruhi oleh perhitungan data faktor serapan ruang, propagasi suara, jarak dari sumber suara, volume ruang, luasan bidang pembatas ruang namun tidak memasukkan faktor mikroklimat yang terdapat pada bangunan. Peran atrium mereduksi kebisingan dalam bangunan mencapai 39% (pada lantai 5) dengan penurunan tingkat tekanan bunyi pada ruangan bangunan adalah linier/konstan ( $\alpha$  ruang tidak mengalami perubahan), dimana besarnya tingkat tekanan bunyi pada ruangan akan berubah apabila sumber bunyi mengalami peningkatan atau

penurunan dan jarak ruang terhadap sumber bunyi diperbesar atau diperkecil.

- Dibanding dengan hasil pengukuran simulasi program komputer, pada observasi lapangan yang dilakukan secara manual, perubahan tingkat tekanan bunyi yang terjadi sangat dipengaruhi faktor iklim mikro bangunan. Dengan adanya faktor temperatur, kelembaban maupun pergerakan udara pada bangunan, tingkat tekanan bunyi pada tiap ruang berbeda terutama mempengaruhi besarnya reduksi tingkat kebisingan yang dihasilkan oleh atrium dibanding dengan hasil pengukuran simulasi komputer (hanya 8%). Reduksi kebisingan oleh atrium lebih optimal apabila diadakan penambahan pada faktor jarak (atenuasi kebisingan berdasarkan jarak).

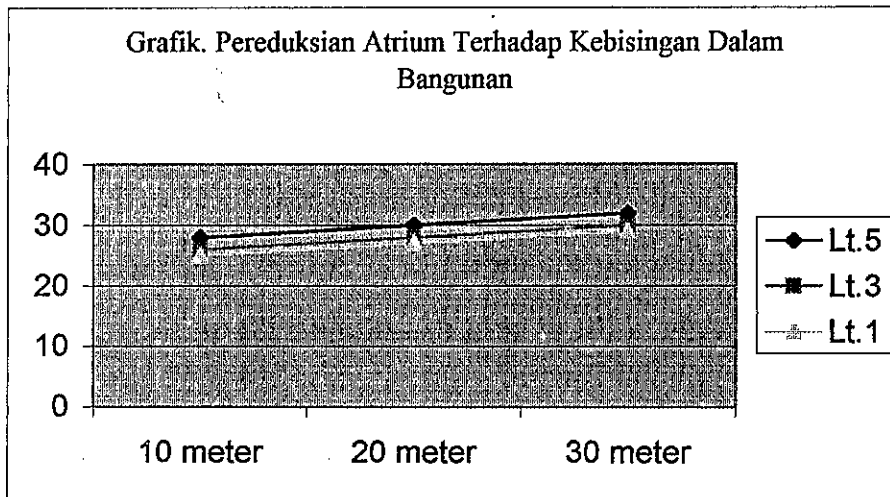
#### **D. Simulasi Atrium**

Untuk dapat melihat lebih jelas peran atrium sebagai pereduksi kebisingan dalam bangunan Yustinus maka berikut disajikan simulasi pereduksian tingkat kebisingan oleh atrium dengan sumber bunyi berasal dari Jl. Pawiyatan yang diasumsikan sebesar 80dB.

- Simulasi I dilakukan dengan memberikan penambahan jarak pada ruang B (atrium) sebesar 10m, 20m, 30m dan seterusnya.

**Tabel 5.12.** Pereduksian Tingkat Kebisingan Pada Atrium

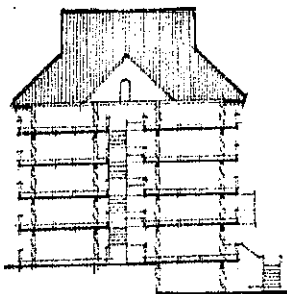
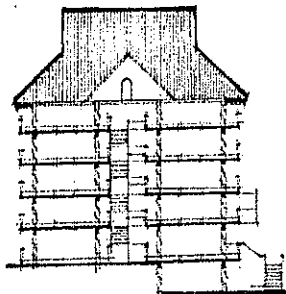
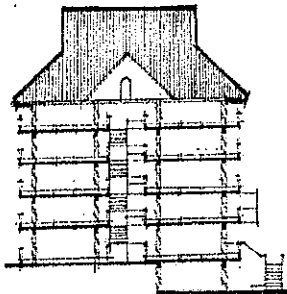
	10 meter			20 meter			30 meter		
	Rg.A	Rg.B	Rg.C	Rg.A	Rg.B	Rg.C	Rg.A	Rg.B	Rg.C
Lt.5	71,54	52,17	43,77	71,54	49,78	41,38	71,54	48,17	39,87
Lt.3	73,01	54,49	47,52	73,01	52,11	45,13	73,01	50,58	43,61
Lt.1	73,02	54,49	48,73	73,02	52,12	46,33	73,02	50,61	44,82

**Grafik 5.7.** Pereduksian Atrium Terhadap Kebisingan Dalam Bangunan

Pada grafik 5.7. terlihat peningkatan nilai reduksi tingkat kebisingan dalam bangunan oleh atrium dengan adanya penambahan jarak pada atrium yaitu sebesar 36% pada atrium berjarak 10m , 38% pada atrium berjarak 20m, 41% pada atrium berjarak 30m. Dari hasil simulasi dapat diketahui bahwa disain atrium pada bangunan dapat lebih mereduksi kebisingan terutama dengan jarak atrium yang semakin lebar.

- Simulasi II berikut posisi atrium terhadap tingkat kebisingan dalam bangunan dengan lebar atrium 10 m dengan sumber bunyi mendapat gangguan di Jl. Pawiyatan.

**Tabel 5.13. Simulasi Posisi Atrium Terhadap Pereduksian Tingkat Kebisingan**  
(Sumber : Perhitungan Peneliti, 2003)

Reduksi Atrium Terhadap Kebisingan (Posisi Atrium di tepi A)				Reduksi Atrium Terhadap Kebisingan (Posisi Atrium di tengah)				Reduksi Atrium Terhadap kebisingan (Posisi Atrium di tepi C)			
											
<b>10</b>				<b>10 10</b>				<b>10 10 10</b>			
<b>Sb. Bunyi</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>Sb. Bunyi</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>Sb. Bunyi</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
55	47dB	28 dB	21 dB	55	47dB	28 dB	21 dB	55	47dB	28 dB	21 dB
60	54 dB	33 dB	26 dB	60	54 dB	33 dB	26 dB	60	54 dB	33 dB	26 dB
65	57 dB	38 dB	31 dB	65	57 dB	38 dB	31 dB	65	57 dB	38 dB	31 dB
70	62 dB	43 dB	36 dB	70	62 dB	43 dB	36 dB	70	62 dB	43 dB	36 dB
75	67 dB	48 dB	41 dB	75	67 dB	48 dB	41 dB	75	67 dB	48 dB	41 dB
80	72 dB	53 dB	46 dB	80	72 dB	53 dB	46 dB	80	72 dB	53 dB	46 dB
85	77 dB	56 dB	51 dB	85	77 dB	56 dB	51 dB	85	77 dB	56 dB	51 dB
	62 dB				42 dB					36 dB	
Terjadi penurunan 10%				Terjadi penurunan 39%				Terjadi penurunan 49%			

Pada tabel 5.13 dapat diketahui :

- a. Terjadi pereduksian tingkat kebisingan oleh atrium berdasarkan jarak atrium terhadap sumber bunyi maupun peletakan / posisi atrium dalam bangunan terhadap sumber bunyi yaitu sebesar 10% pada posisi ditepi A, 39% pada posisi ditengah, serta 49% pada posisi di tepi C.
- b. Berdasarkan perletakan / posisi atrium dalam bangunan terhadap sumber bunyi rata-rata sebesar 70dB, maka dengan posisi atrium

berada di tepi A terdapat penurunan tingkat tekanan bunyi pada ruang disebelah atrium (ruang B) sebesar 40% (42dB), posisi atrium ditengah (tepi B) terhadap tingkat tekanan bunyi yang terjadi di ruang C sebesar 48% (36dB) dan selanjutnya menunjukkan kecenderungan penurunan tingkat tekanan bunyi (dalam hal ini pada ruang D) dengan posisi atrium berada di tepi C.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

#### 6.1. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis pada bab sebelumnya maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Uji Hipotesis Satu
  - c. Berdasarkan hasil analisis Uji Hipotesis Satu, membuktikan dan mempertegas bahwa peran atrium dalam bangunan turut mengurangi tingkat kebisingan yang terjadi terhadap bangunan. Hal ini terutama teramati melalui adanya penurunan tingkat tekanan bunyi setelah sumber bunyi melalui ruang terbuka dalam bangunan (atrium). Hal ini didapat dengan diketahuinya nilai reduksi rata-rata pada atrium sebesar 6%.
  - d. Pada Uji Hipotesis Satu ini dapat disimpulkan pula bahwa penempatan atrium pada bangunan Yustinus mampu mereduksi tingkat kebisingan yang terjadi dalam bangunan terutama pada siang hari pada ruang C sebesar 8% dengan sumber bunyi pada Jl. Pawiyatan dan mereduksi tingkat kebisingan malam hari sebesar 10%.
  - e. Faktor jarak ruang terhadap sumber bunyi maupun ketinggian bangunan mempunyai peran besar dalam mereduksi intensitas bunyi dalam ruangan disamping faktor dimensi ruangan maupun koefisien serapan ruangan yang ada. Semakin jauh jarak ruang dari sumber bunyi maka tingkat kebisingan

yang terjadi akan semakin berkurang karena tingkat kebisingan akan mengalami penurunan berdasarkan jarak.

2. Uji Hipotesis Dua menunjukkan bahwa terjadi penurunan tingkat tekanan bunyi tersebut antara lain dipengaruhi oleh temperatur, kelembaban maupun pergerakan udara yang terjadi pada saat itu. Penurunan tingkat temperatur udara antara siang hari dengan malam hari sebesar 3°C, serta terjadinya pergerakan udara yang semakin meningkat pada malam hari dibanding siang hari yang mempengaruhi tingkat kelembaban udara.
3. Perbandingan hasil observasi lapangan maupun dengan simulasi program komputer masih menunjukkan perbedaan yang mencolok. Pada observasi lapangan didapat reduksi kebisingan oleh atrium pada siang hari sebesar 8% dan malam hari meningkat mencapai 10% sedangkan pada simulasi komputer reduksi kebisingan oleh atrium mencapai 39%. Tingkat tekanan bunyi dengan perhitungan komputerisasi mengalami penurunan secara linier dan bersifat tetap, meskipun intensitas sumber bunyi diperbesar. Berbeda dengan observasi dilapangan dimana kenaikan maupun penurunan tingkat tekanan bunyi yang terjadi pada tiap ruang dipengaruhi pula oleh faktor iklimat bangunan (temperatur, kelembaban maupun pergerakan udara).
4. Peletakan atrium pada bangunan sangat mempengaruhi besarnya reduksi terhadap tingkat kebisingan yang terjadi. Dalam hal ini dapat disimpulkan dengan peletakan atrium di depan (tepi A) atau berhadapan langsung dengan sumber bunyi mampu mereduksi tingkat kebisingan yang terjadi

sebesar 40% (42dB). Sedangkan berdasarkan faktor jarak maka peletakan / posisi atrium pada tepi C dengan jarak atrium terhadap sumber bunyi sebesar 30 m, maka tingkat kebisingan mengalami penurunan mencapai 49% (36dB). Dengan demikian terbukti bahwa terjadi atenuasi tingkat tekanan bunyi dalam bangunan terhadap sumber bunyi (kebisingan) berdasarkan jarak seperti pada statement (Bragdon dalam Stein, 1986) di halaman 9.

5. Pada hasil penelitian ini membuktikan pula statement yang dikemukakan (Harris, 1979) yaitu adanya penurunan / perbedaan tingkat tekanan bunyi antara siang hari dengan malam hari. Atrium yang dianalogikan sebagai rongga udara / bantalan udara pada konstruksi dinding kedap suara menurut statement (Mangunwijaya, 1997) membuktikan bahwa adanya pereduksian terhadap tingkat kebisingan oleh atrium. Hal itu dapat diketahui dengan adanya penurunan tingkat kebisingan setelah gelombang bunyi melewati atrium yaitu bunyi berkurang akibat diserap oleh molekul-molekul udara yang bertindak sebagai penyerap bunyi.

## **6.2. SARAN DAN REKOMENDASI**

1. Perlunya disain atrium dalam bangunan untuk mengatasi permasalahan akustik bangunan.
2. Dalam disain atrium peneliti merekomendasikan peletakan atrium dalam bangunan berada didepan (berhadapan langsung dengan sumber bunyi)

karena peran atrium dapat mereduksi secara langsung tingkat kebisingan rata-rata yang terjadi di luar bangunan sebesar 40% (42dB).

3. Perlunya kajian lebih lanjut untuk mengetahui sejauh mana perbedaan data hasil observasi lapangan dengan simulasi komputer.
4. Dengan adanya penurunan tingkat kebisingan yang terjadi dalam bangunan setelah adanya atrium pada siang hari dan terutama malam hari, maka kemungkinan diselenggarakannya aktifitas pengguna dalam bangunan pada malam hari sehingga dapat lebih efektif .
5. Penelitian pada bangunan Yustinus masih dapat diperdalam antara lain dengan menerapkan disain atrium sebagai pereduksi kebisingan pada bangunan bertingkat bangunan publik lainnya (Mall, perkantoran, Hotel, dan sebagainya) dengan berbagai letak atrium terhadap bangunan .

## DAFTAR PUSTAKA

- Burden, Ernest, 1995 : *Elements of Architectural Design, A Visual Resource*, Van Nostrand Reinhold, New York
- Chind, DK, Francis, 1979 : *Form, Space and Order*, Van Nostrand Reinhold Company
- Finke, Hans O; 1990 : *Measurement and Rating of Environment Noise*, Physikalisch – Technische Bundesanstalt Braunschweig und Berlin
- Lippsmeier, G, 1994 : *Bangunan Tropis*, Alih bahasa ir. Syahmir Nasution, Editor Ir. Purnomo Wahyu Indarto, Jakarta Erlangga
- Kinsler LE, Frey AR, Coppens AB, Sanderss JV, 1982 : *Fundamental of Accoustic 3*, Edition John Wiley and sons (A Widely used textbook in accoustic)
- Knuden, Vern O; Harris, Cyril M, 1978 : *Accoustical Designing in Architecture* ; American Institute of Physics Accoustical Society of America, Columbia, Univercity
- Kustituantu, Bambang, 1984 : *Statistik 'Analisa Runtut Waktu Regresi Korelasi'*, Kerjasama BPFE Jogjakarta dan LPM2M.AMP-YKPN, Edisi Pertama, BPFE Jogja
- Mangunwijaya. YB, 2000 : *Pengantar Fisika Bangunan*, Djambatan
- May,D, 1978 : *Handbook of Noise Assesment*, Van Nostrand Company, New York
- Prasetio, Lea, 1993 : *Akustik Lingkungan*, Judul asli Environmental Accoustic oleh Leslie L. Doelle, Penerbit Erlangga, Jakarta
- Richard, KM, Wayne VM,1978 : *Handbook of Accoustical Enclosures and Barriers*, The Fairmont Press, Inc
- Sasongko, Dwi.P, Hadiyarto, Agus : *Kebisingan Lingkungan*, Cetakan I, Semarang : Badan Penerbit Universitas Diponegoro

Saxon, 1993 : *Atria*

Schaudinis, LH, 1976 : *Sound, Man and Building*, Applied Science Publisher Ltd, London

Snyder, James C, Catenese, Anthony J, 1997 : *Pengantar Arsitektur*, Penerbit Erlangga, Jakarta

Stein, Benjamin, Reynold, John. S, Mc Guinness, William . J : *Mechanical and Electrical Equipment For buildings*, Sevent Edition, John Wiley and sons, Singapore

Szokolay, SV,1980 : *Environment Science Handbook*, Construction Press Logman, London

Wiranto, 1997 : *Pelangi Arsitektur*, Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang