



TESIS - DA185401

PENGARUH DESAIN BALKON TIPE LOGGIA DALAM MEREDUKSI KEBISINGAN LALU LINTAS DI APARTEMEN

AFIF FAJAR ZAKARIYA
08111750040004

Dosen Pembimbing
DR. Ima Defiana, ST. MT.
FX. Teddy Badai Samodra, ST. MT. Ph.D

Departemen Arsitektur
Fakultas Arsitektur, Desain, dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2019



TESIS - DA185401

**PENGARUH DESAIN BALKON TIPE LOGGIA
DALAM MEREDUKSI KEBISINGAN LALU LINTAS
DI APARTEMEN**

**AFIF FAJAR ZAKARIYA
08111750040004**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ima Defiana, ST. MT.
FX. Teddy Badai Samodra, ST. MT. Ph.D**

**Departemen Arsitektur
Fakultas Arsitektur, Desain, dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2019**



THESIS - DA185401

IMPACT OF LOGGIA BALCONY DESIGN ON REDUCING ROAD TRAFFIC NOISE IN APARTMENT

**AFIF FAJAR ZAKARIYA
08111750040004**

**Supervisor
Dr. Ima Defiana, ST. MT.
FX. Teddy Badai Samodra, ST. MT. Ph.D**

**Architecture Department
Faculty of Architecture, Design and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2019**

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Arsitektur (M.Ars)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

AFIF FAJAR ZAKARIYA

NRP: 08111750040004

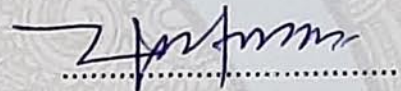
Tanggal Ujian: 24 Juni 2019

Periode Wisuda: September 2019

Disetujui oleh:

Pembimbing:

1. Dr. Ima Defiana, ST, MT
NIP: 197005191997032001

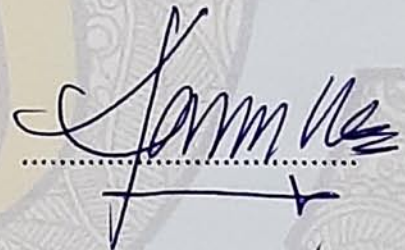


2. FX. Teddy Badai Samodra, ST, MT, Ph.D
NIP: 198004062008011008



Penguji:

1. Ir. I Gusti Ngurah Antaryama, Ph.D
NIP: 196804251992101001



2. Dr. Ir. Murni Rachmawati, MT
NIP: 196206081987012001



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Afif Fajar Zakariya
NRP : 08111750040004
Program Studi : Magister (S2)
Departemen : Arsitektur

Dengan ini saya menyatakan, bahwa isi sebagian maupun keseluruhan proposal tesis saya dengan judul

**Pengaruh Desain Balkon Tipe Loggia dalam Mereduksi
Kebisingan Lalu Lintas di Apartemen**

adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku

Surabaya, 21 Juli 2019
yang membuat pernyataan;



Afif Fajar Zakariya
NRP. 08111750040004

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT atas rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis dengan judul **”Pengaruh Desain Balkon Tipe Loggia dalam Mereduksi Kebisingan Lalu Lintas di Apartemen”**. Selama penyusunannya penulis banyak mendapatkan bantuan, bimbingan serta dukungan dari beberapa pihak. Pada kesempatan kali ini menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Ima Defiana ST, MT dan Bapak FX. Teddy Badai Samodra ST, MT, Ph.D selaku pembimbing atas bimbingan dan sokongan ilmu pengetahuan yang diberikan kepada penulis.
2. Bapak Ir. I Gusti Ngurah Antaryama, Ph.D dan Ibu Dr. Ir. Murni Rachmawati, MT selaku dosen penguji, sekaligus Ibu Ir. Rika Kisnarini, M.Sc.
3. Ibu, ayah dan kedua adik yang selalu menyertai perjalanan dengan doa dan dukungan.
4. Teman-teman laboratorium Sains Arsitektur dan Teknologi atas bantuan dan dukungan yang diberikan.
5. Bapak dan Ibu Dosen Departemen Arsitektur ITS Surabaya.
6. Serta sahabat dan teman-teman yang senantiasa memberi dukungan dan suntikan semangat.

Tiada gading yang tak retak. Kesempurnaan milik Allah semata. Laporan tesis ini masih jauh dari kata sempurna. Kritik serta saran yang membangun sangat diharapkan, guna pengembangan tesis ini.

Surabaya, 21 Juli 2019

Penulis.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

PENGARUH DESAIN BALKON TIPE LOGGIA DALAM MEREDUKSI KEBISINGAN LALU LINTAS DI APARTEMEN

Nama Mahasiswa : Afif Fajar Zakariya
NRP : 08111750040004
Pembimbing : Dr. Ima Defiana, ST. MT.
Co-Pembimbing : FX. Teddy Badai Samodra, ST. MT. Ph.D

ABSTRAK

Kebisingan erat kaitannya dengan kelas jalan. Banyak hunian yang berada di kelas jalan dengan kebisingan yang tinggi termasuk pada apartemen. Kebisingan tersebut seringkali diabaikan padahal akan memberikan dampak pada kesehatan penghuni. Desain balkon pada apartemen memiliki potensi untuk menangkap bahkan mengurangi kebisingan sehingga hal ini perlu diteliti lebih lanjut. Balkon yang paling banyak digunakan pada apartemen adalah balkon tipe loggia, yang lantainya masuk ke dalam bangunan.

Penelitian ini bertujuan untuk menjawab permasalahan diawali dengan melihat pengaruh kebisingan pada kondisi eksisting dan mendapatkan konsep desain balkon untuk mengurangi tingkat kebisingan. Elemen desain yang dimaksud adalah rasio luas bukaan balkon terhadap luasan dinding (WWR), kedalaman balkon dan material fasad apartemen. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh angin terhadap meningkatnya ataupun berkurangnya tingkat kebisingan di balkon apartemen.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen dan simulasi dengan menetapkan hubungan sebab akibat yang terjadi pada kondisi akustik berdasarkan variasi WWR, kedalaman balkon dan karakteristik material fasad.. Hal ini bisa dicapai dengan melakukan simulasi akustik menggunakan program I-Simpa dengan memodifikasi variabel bebas tersebut dan melihat pengaruhnya pada variabel terikat.

Hasil yang didapatkan adalah kondisi eksisting tidak memenuhi standar WHO baik pada saat siang dengan karakteristik kebisingan lalu lintas bersifat *steady* dan malam hari dengan karakteristik kebisingan kombinasi bising lalu lintas bersifat *impulsive* dan bunyi AC yang *steady*. Model rancangan eksperimen balkon yang mereduksi kebisingan secara signifikan ditunjukkan oleh model dengan WWR 30%, kedalaman 1.5 m dengan penerapan fasad kayu lapis. Pada bunyi frekuensi 125 Hz dapat direduksi sebesar 5.5-8.4 dB, untuk di frekuensi 250 Hz sebesar 4,6-7,2 dB dan di frekuensi 500 Hz sebesar 3,3-5,5 dB, dengan peranan koefisien absorpsi material yang cukup besar terhadap perbedaan nilai reduksi kebisingan. Faktor paling penting dalam kaitannya angin mempengaruhi tingkat kebisingan selain kecepatan angin adalah sudut datangnya angin dan sumber kebisingan terhadap titik penerima atau balkon.

Kata kunci : angin, I-Simpa , kedalaman balkon, material fasad, WWR

Halaman ini sengaja dikosongkan.

IMPACT OF LOGGIA BALCONY DESIGN ON REDUCING ROAD TRAFFIC NOISE IN APARTMENT

By : Afif Fajar Zakariya
Student Identity Number : 08111750040004
Supervisor : Dr. Ima Defiana, ST. MT.
Co-Supervisor : FX. Teddy Badai Samodra, ST. MT. Ph.D

ABSTRACT

Road traffic noise is related to hierarchy of roads. Many residential buildings including the apartment houses are in noisy road area. Noise is often overlooked even though it has negative impact on health. Balcony design in apartment has the potential to reduce noise and need to be investigated further. The most used balcony in apartment is loggia type have potential to reduce noise. The time difference between day and night will affect the standard of acoustic comfort and also wind speed can affect noise.

This study aims to resolve the noise problem by getting a balcony design to reduce noise levels in apartment building due to noise from road traffic. The design element that is considered are balcony opening/window-to-wall ratio (WWR), depth of balcony and facade material. Furthermore, this study aims to determine the effect of wind on increasing or decreasing the noise levels in apartment balcony.

This study uses the experimental simulation method by establishing a causal relationship that occurs based on variations of WWR, facade material, and distance. This can be achieved by conducting an acoustic simulation using I-Simpa software by modifying the independent variable (design elements) and seeing its effect on the dependent variable (noise levels).

The results shows that the existing conditions didn't meet WHO standards, both during day and night with different noise characteristic. The balcony experimental design with WWR 30%, 1.5 m balcony depth, plywood facade model can reduce noise significantly. The sound frequency of 125 Hz can be reduced by 5.5-8.4 dB, for a frequency of 250 Hz at 4.6-7.2 dB and at a frequency of 500 Hz at 3.3-5.5 dB. The most important factor in relation to wind are wind speed, the angle of arrival of the wind and the source of noise to the receiving point or balcony.

Key words: balcony depth, facade material, I-Simpa , wind, WWR

Halaman ini sengaja dikosongkan.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	v
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	vii
KATA PENGANTAR	ix
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR TABEL	iv
KATA PENGANTAR	iv
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	6
1.4 Manfaat Penelitian	6
1.5 Batasan Penelitian	7
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	
2.1 Lingkungan Akustik	9
2.1.1 Bunyi	9
2.1.2 Frekuensi Bunyi	10
2.1.3 Sifat Bunyi	12
2.1.4 Propagasi Bunyi pada Bangunan	15
2.2 Kebisingan	16
2.2.1 Jenis Kebisingan	16
2.2.2 Tingkat Kebisingan	17
2.2.3 Penumpukan Tingkat Kebisingan	20
2.2.4 Sumber Kebisingan Lalu Lintas	22
2.2.5 Faktor yang Mempengaruhi Propagasi Bising Lalu Lintas	24
2.3 Pengendalian Bising Lingkungan	26
2.3.1 Penekanan Bising di Sumbernya	26
2.3.1 Penataan Layout Tapak	27
2.3.2 Rancangan Arsitektur	28
2.4 Bangunan Apartemen	34
2.3.1 Definisi Apartemen	34
2.3.2 Jenis Apartemen	34
2.3.3 Balkon Apartemen	36

2.3.4 Desain Balkon Loggia	36
2.3.5 Kinerja Balkon Apartemen Mereduksi Kebisingan.....	38
2.5 Sintesis Kajian Pustaka.....	39
2.6 <i>State of the Art</i>	41

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Paradigma Penelitian	45
3.2 Metode Penelitian	46
3.3 Identifikasi Variabel Penelitian	48
3.4 Objek Penelitian.....	50
3.4.1 Populasi.....	51
3.4.2 Sampel Penelitian	55
3.5 Teknik Pengumpulan Data.....	59
3.6 Desain Penelitian	61
3.6.1 Pengukuran Tingkat Kebisingan.....	61
3.6.2 Pengukuran Sumber Bunyi di Jalan Raya	62
3.6.3 Rancangan Eksperimen	63
3.7 Metode Analisis Data.....	68
3.7.1 Analisis Kebisingan Lalu lintas (Siang dan Malam)	68
3.7.2 Analisis Desain Balkon.....	68
3.7.3 Analisis WWR dan Kedalaman Balkon	72
3.7.4 Analisis Analisis Pengaruh Jarak/Ketinggian terhadap Kebisingan.....	73
3.7.5 Analisis Angin Mereduksi Kebisingan	74

BAB 4 HASIL PENGAMATAN LAPANGAN

4.1 Lokasi Objek Penelitian.....	77
4.1.1 Deskripsi Kondisi Eksisting Objek Penelitian.....	78
4.1.2 Pola Aktivitas Penghuni Tiap Jam.....	81
4.2 Analisis Hasil Pengukuran Lapangan	82
4.3 Analisis Regresi Tingkat Kebisingan Tiap Jam.....	83
4.4 Analisis Tingkat Kebisingan Rata-rata 24 jam	84
4.5 Analisis Karakteristik Kebisingan	86
4.5.1 Analisis Kebisingan dari Sumber Bergerak.....	88
4.5.2 Analisis Kebisingan dari Balkon	89
4.6 Hasil Diskusi Pengamatan dan Pengukuran Lapangan.....	91

BAB 5 HASIL EKSPERIMEN DAN PEMBAHASAN

5.1 Verifikasi Pengukuran Lapangan dan Simulasi.....	95
5.2 Kinerja <i>Base Case</i>	97

5.2.1 Simulasi <i>base case</i> siang hari.....	98
5.2.2 Simulasi <i>base case</i> malam hari	103
5.3 Analisis Pengaruh Desain Balkon Tipe Loggia	107
5.3.1 Pengaruh Perubahan WWR 44% dan 66%	108
5.3.2 Pengaruh Kedalaman Balkon	112
5.3.3 Pengaruh Material Fasad Balkon	118
5.4 Pengaruh Angin.....	133
5.5 Rangkuman Hasil Eksperimen.....	140
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1 Kesimpulan.....	141
6.1.1 Tingkat Kebisingan Eksisting Terkait Kepadatan Lalu Lintas	141
6.1.2 Pengaruh Desain Balkon	142
6.1.3 Pengaruh Angin.....	144
6.2 Saran.....	144
DAFTAR PUSTAKA	147
LAMPIRAN.....	151

Halaman ini sengaja dikosongkan.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Kerangka Indikasi Permasalahan	5
Gambar 2.1.	Proses mendengar: sumber bunyi, media, dan penerima bunyi	10
Gambar 2.2.	Jangkauan frekuensi sumber bunyi	11
Gambar 2.3.	Penyebaran sumber bunyi tunggal berwujud titik dan sumber bunyi majemuk berwujud garis	12
Gambar 2.4.	Pemantulan aksial, tangensial dan obliq.....	13
Gambar 2.5	Defraksi gelombang bunyi	14
Gambar 2.6	Ilustrasi airborne sound	15
Gambar 2.7	Sound Level Meter (SLM)	19
Gambar 2.8	Perbedaan perhitungan penumpukan bunyi.....	21
Gambar 2.9	Pengaruh kekasaran elemen tanah terhadap peningkatan kecepatan angin	25
Gambar 2.10	Reduksi kebisingan oleh karpet di semua frekuensi dari sumber bising di lantai	26
Gambar 2.11	Reduksi bising oleh penghalang yang ditempatkan di antara sumber bising dan penerima.....	27
Gambar 2.12	Nilai reduksi kebisingan yang berbeda pada penambahan jumlah lantai	29
Gambar 2.13	Jenis lis, tipe datar, tipe miring, dan bersirip.....	30
Gambar 2.14	Sisi bawah balkon yang menghadap lalu lintas yang bising memantulkan bising tersebut ke dalam ruang-ruang di bawahnya	30
Gambar 2.15	Perbedaan tipe balkon.....	31
Gambar 2.16	Insertion Loss (dB) rentang 0 hingga 3 dB	33
Gambar 2.17	Beton Pracetak.....	33
Gambar 2.18	Penamaan tipe unit apartemen sesuai dengan luasan lantai dan jumlah kamar tidur	35
Gambar 2.19	Jenis-jenis balkon	36
Gambar 2.20	Perbedaan posisi peletakan balkon	37
Gambar 2.21	Proporsi balkon.....	37
Gambar 2.22	Pengendalian kebisingan pada apartemen	38
Gambar 2.23	Perbedaan konfigurasi balkon	39
Gambar 3.1	Diagram taktik tahapan penelitian.....	47
Gambar 3.2	Persentase balkon loggia di apartemen Surabaya paling besar	54
Gambar 3.3.	Apartemen Gunawangsa Manyar di Jalan Menur Pumpungan	57
Gambar 3.4.	Fasad Apartemen Gunawangsa Manyar Menghadap Jalan Raya.....	57

Gambar 3.5	Jarak jalan raya dan bangunan apartemen Gunawangsa Manyar	58
Gambar 3.6	Suasana Eksisting Kamar Tipe Studio&Lokasi Titik Pengukuran	62
Gambar 3.7	Titik pengukuran di jalan raya sebagai input sumber bunyi untuk digunakan dalam simulasi.....	63
Gambar 3.8	Grafik Pengukuran Kebisingan.....	68
Gambar 3.9	Titik sumber dan penerima bunyi	70
Gambar 3.10	Potongan balkon yang menunjukkan hasil simulasi perambatan bunyi	72
Gambar 3.11	Grafik reduksi tingkat tekanan bunyi pada perbedaan lantai.....	73
Gambar 3.12	Vector wind.....	73
Gambar 3.13	Grafik Perbandingan Vector Wind	74
Gambar 3.14	Grafik reduksi kebisingan karena pengaruh angin pada rancangan eksperimen	75
Gambar 4.1	Peta Persil Lingkungan Apartemen Gunawangsa Manyar	77
Gambar 4.2	Kondisi kamar apartemen	78
Gambar 4.3.	Peletakan SLM di balkon dan di dalam ruang apartemen, pengukuran dilakukan dalam kondisi pintu terbuka dan AC mati.....	83
Gambar 4.4	Grafik regresi berganda L_{eq} 10.00 <i>weekday</i> (a), dan <i>weekend</i> (b)	84
Gambar 4.5	Perbandingan L_{eq} <i>weekday</i> dan <i>weekend</i> balkon&kamar apartemen.	91
Gambar 4.6	Hasil pengukuran lapangan dijadikan dasar untuk mensimulasikan rancangan eksperimen.....	94
Gambar 5.1	Verifikasi hasil simulasi dan pengukuran lapangan.....	96
Gambar 5.2	Grafik tingkat kebisingan (TTB) di setiap lantai pada frekuensi rendah di jam terbising (10.00 <i>weekday</i>).....	99
Gambar 5.3	Propagasi bunyi <i>base case</i> frekuensi 125 Hz pada potongan lantai 15 saat bunyi datang di balkon.....	100
Gambar 5.4	Propagasi bunyi <i>base case</i> frekuensi 250 Hz pada potongan lantai 15 saat bunyi datang di balkon.....	101
Gambar 5.5	Propagasi bunyi <i>base case</i> frekuensi 500 Hz pada potongan lantai 15 saat bunyi datang di balkon.....	102
Gambar 5.6	Perbandingan hasil simulasi malam hari (pukul 02.00) antara <i>input</i> simulasi menggunakan TTB AC dan tanpa TTB AC	104
Gambar 5.7	Selisih nilai tingkat kebisingan siang dan malam jika sumber bunyi dianggap sama dengan kondisi suhu dan kelembaban berbeda.....	104
Gambar 5.8	Ilustrasi temperatur mempengaruhi perambatan bunyi.....	105
Gambar 5.9	Grafik reduksi kebisingan pada model W44K075H (WWR 44%) dan W66K075H (WWR 66%).....	108

Gambar 5.10	Perbandingan reduksi kebisingan eksperimen Lee pada beberapa perubahan perlakuan elemen balkon tiap lantai dan hasil simulasi....	110
Gambar 5.11	Grafik reduksi kebisingan pada model W30K150H (WWR 30%, kedalaman balkon 1,5 m)	112
Gambar 5.12	Perubahan kedalaman balkon 0.75 m ke 1.5 m, dengan kondisi pintu apartemen terbuka	112
Gambar 5.13	Perbandingan reduksi kebisingan eksperimen Eldien karena perubahan jarak dari tepian balkon ke dinding sebesar 1-2 m dengan hasil simulasi W30K150H	114
Gambar 5.14	Grafik reduksi kebisingan pada model W44K150H (WWR 44% kedalaman 1,5m) dan W66K150H	115
Gambar 5.15	Propagasi bunyi W44K150H frekuensi 250 Hz pada potongan lantai 15 saat bunyi datang di balkon	117
Gambar 5.16	Grafik reduksi kebisingan pada model W44K075K	119
Gambar 5.17	Grafik reduksi kebisingan pada model W66K150K	121
Gambar 5.18	Grafik reduksi kebisingan pada model W30K150Lh	122
Gambar 5.19	Penerapan kayu lapis pada dinding beton di balkon pada model W30K150Lh	123
Gambar 5.20	Grafik reduksi kebisingan pada model W30K150L	125
Gambar 5.21	Propagasi bunyi W30K150L frekuensi 125 Hz pada potongan lantai 19 saat bunyi datang di balkon	128
Gambar 5.22	Propagasi bunyi W30K150L frekuensi 125 Hz pada potongan lantai 25 saat bunyi datang di balkon	129
Gambar 5.23	Propagasi bunyi W30K150L frekuensi 125 Hz pada potongan lantai 20 saat bunyi datang di balkon	130
Gambar 5.24	Perbandingan reduksi kebisingan pada penerapan material fasad yang memiliki koefisien absorpsi yang tinggi	131
Gambar 5.25	Grafik perhitungan pengaruh angin terhadap penambahan dan pengurangan kebisingan selama 24 jam	134
Gambar 5.26	Sudut datang angin 320.1° (NW) pada pukul 22.00	135
Gambar 5.27	Grafik perhitungan pengaruh angin dari arah datang 320.1° (NW) pada pukul 22.00 yang menambah kebisingan	135
Gambar 5.28	Sudut datang angin 132° (SE) pada pukul 16.00	135
Gambar 5.29	Grafik perhitungan pengaruh angin dari arah datang 132° (SE) pada pukul 16.00 yang mengurangi kebisingan	135

Halaman ini sengaja dikosongkan.

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Batasan Kebisingan yang disarankan.....	18
Tabel 2.2	Pedoman menghitung penumpukan bunyi.....	21
Tabel 2.3	Kelas jalan di Indonesia menurut fungsi.....	22
Tabel 2.4	Kelas jalan menurut PP no.43/1993.....	23
Tabel 2.5	Pembagian kelas jalan dan potensi kebisingannya	23
Tabel 2.6	Koefisiensi serap bunyi pada material	32
Tabel 2.7	Posisi penelitian pada road map Lab. Sains Arsitektur dan Teknologi ...	42
Tabel 2.8	Perbandingan studi terdahulu dalam penanganan kebisingan apartemen	43
Tabel 3.1	Variabel bebas pada penelitian ini	48
Tabel 3.2	Variabel terikat pada penelitian ini	50
Tabel 3.3	Pengamatan Balkon pada Fasad Apartemen.....	51
Tabel 3.4	Panjang jalan dalam kondisi baik Kota Surabaya.....	56
Tabel 3.5	Keberadaan apartemen high-rise tiap kecamatan di Surabaya Timur.....	57
Tabel 3.6	Kelas Jalan di Apartemen dengan balkon loggia di Surabaya Timur.....	57
Tabel 3.7	Pengumpulan Data Primer dan Sekunder	60
Tabel 3.8	Waktu pengukuran	61
Tabel 3.9	Desain bangunan	64
Tabel 3.10	WWR dan Kedalaman Balkon yang Diuji.....	65
Tabel 3.11	Koefisien absorpsi material.....	66
Tabel 3.12	Penamaan kode eksperimen	66
Tabel 3.13	Rancangan eksperimen	67
Tabel 3.14	Fitur yang dimiliki I-Simpa.....	70
Tabel 3.15	Klasifikasi nilai regresi	72
Tabel 4.1	Spesifikasi dimensi furnitur, elemen ruang dan material.....	80
Tabel 4.2	Asumsi pola aktivitas penghuni apartemen Gunawangsa Manyar	81
Tabel 4.3	Pengamatan Balkon pada Fasad Apartemen.....	82
Tabel 4.4	Perhitungan tingkat kebisingan rata-rata 24 jam.....	85
Tabel 4.5	Kuisisioner pengamatan data rekaman selama 10 menit.....	86
Tabel 4.6	Kuisisioner pada pukul 10.00 weekday	87
Tabel 4.7	Kuisisioner pada pukul 02.00 weekday	87
Tabel 4.8	Tingkat kebisingan rata-rata pada pukul 02.00 weekday.....	90
Tabel 4.9	Batas kebisingan dalam kondisi lingkungan tempat tinggal.....	90
Tabel 4.10	Lama paparan kebisingan yang diperbolehkan.....	92
Tabel 4.11	Nilai NR yang harus terpenuhi untuk memenuhi standar	93

Tabel 5.1	Verifikasi hasil simulasi dan pengukuran lapangan	95
Tabel 5.2	Klasifikasi nilai regresi.....	97
Tabel 5.3	Input simulasi siang hari.....	97
Tabel 5.4	Input simulasi malam hari	98
Tabel 5.5	Tingkat kebisingan di frekuensi rendah sesuai perbedaan lantai n	99
Tabel 5.6	Perbandingan tingkat kebisingan di balkon saat kondisi jalan tanpa kendaraan dan saat terdapat kendaraan lewat pada pukul 02.00	106
Tabel 5.7	Reduksi kebisingan tiap frekuensi pada model W44K075H (WWR 44%) dan W66K075H (WWR 66%)	109
Tabel 5.8	Grafik reduksi kebisingan pada model W30K150H (WWR 30%, kedalaman balkon 1,5 m).....	113
Tabel 5.9	Grafik reduksi kebisingan pada model W44K150H (WWR 44% kedalaman 1,5m) dan W66K150H	116
Tabel 5.10	Reduksi kebisingan pada model W44K075K (WWR 44%, kedalaman 0.75 m, material beton kasar)	120
Tabel 5.11	Reduksi kebisingan pada model W66K150K (WWR 66%, kedalaman 1.5 m, material beton kasar)	120
Tabel 5.12	Reduksi kebisingan dengan kombinasi beton dan kayu lapis tiap lantai	123
Tabel 5.13	Reduksi kebisingan pada model W30K150Lh (WWR 30%, kedalaman 1,5 m, kombinasi material kayu lapis dan beton halus).....	124
Tabel 5.14	Reduksi kebisingan pada model W30K150L (WWR 30%, kedalaman 1,5 m, material kayu lapis)	126
Tabel 5.15	Reduksi kebisingan dengan material kayu lapis tiap lantai.....	127
Tabel 5.16	Kompilasi perbandingan hasil reduksi kebisingan tiap lantai terhadap arah sudut datangnya dan jarak diagonal dari sumber bunyi ke penerima (balkon).....	132
Tabel 5.17	Reduksi kebisingan pada model W30K150L yang dipengaruhi pula oleh kondisi angin dari arah datang 302.1° (NW)	136
Tabel 5.18	Reduksi kebisingan pada model W30K150L yang dipengaruhi pula oleh kondisi angin dari arah datang 132° (SE)	139
Tabel 6.1	Rekomendasi desain balkon berdasarkan bukaan balkon yang dikehendaki.....	143

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebisingan lalu lintas di Indonesia erat kaitannya dengan kelas jalan. Pemerintah menetapkan aturan menangani pembagian kelas jalan yang secara tidak langsung membatasi kebisingan pada jalan raya karena terdapat batasan kendaraan dan kecepatan tiap kelas jalan. Semakin cepat laju kendaraan maka semakin tinggi tingkat kebisingan pada kendaraan tersebut (Sakamoto, 2013). Semakin padatnya kendaraan juga menyebabkan tingginya kebisingan pada ruas jalan raya, seperti yang terdapat pada kelas jalan III B yang padat kendaraan dibandingkan kelas jalan lainnya.

Kebisingan seringkali diabaikan padahal punya dampak dalam jangka panjang. Padahal saat ini kebisingan menjadi salah satu faktor penting dalam konsep desain *biophilic* karena kualitas akustik yang baik dapat membantu menghilangkan stress sebesar 37% daripada di lingkungan yang bising (Browning, 2014). Selain itu menurut Satalaksana (1979), kebisingan atau bunyi dengan intensitas yang tinggi dapat menimbulkan bermacam-macam permasalahan. Kebisingan dapat mengganggu ketenangan kerja, merusak pendengaran dan menimbulkan kesalahan komunikasi. Permasalahan lain dari kebisingan adalah pada kesehatan. Seperti pada hasil penelitian Zijlema (2016) yang menyatakan bahwa semakin tinggi tingkat kebisingan lalu lintas meningkatkan detak jantung yang mana jantung dapat bekerja lebih berat dan dapat meningkatkan resiko serangan jantung.

Kebisingan tersebut seharusnya tidak mengganggu kenyamanan hunian. Tidak hanya hunian bertingkat rendah namun juga bertingkat tinggi seperti pada bangunan apartemen. Akibat keterbatasan lahan saat ini menyebabkan ada banyak bangunan *high-rise* yang dibangun dan tentunya selalu terpapar oleh kebisingan salah satunya bersumber dari lalu lintas jalan raya. Dari pengamatan pada fasad, terlihat bahwa bangunan apartemen yang menjadi tren adalah apartemen dengan menggunakan balkon yang masuk ke dalam bangunan. Hal tersebut

mengakibatkan kemungkinan besar mendapatkan kebisingan yang tinggi karena balkon tersebut seakan menciptakan lubang yang dapat menangkap bunyi bising dan kurangnya *barrier* kebisingan. Puncak kebisingan dapat terjadi saat penghuni apartemen menginginkan penghawaan alami dengan membuka jendela, namun bukan udara saja yang masuk namun juga bunyi yang tidak diinginkan seperti kebisingan lalu lintas.

Penelitian tentang akustik dalam kaitannya dengan pengendalian kebisingan terutama kebisingan lalu lintas telah banyak dilakukan. Namun tidak banyak yang mengkaji tentang balkon dalam kaitannya mereduksi tingkat kebisingan bangunan tinggi. Tipologi fasad apartemen di Surabaya pada umumnya terdapat balkon. Penelitian tentang konfigurasi balkon yang dilakukan Naish (2014) dan Lee (2007) terkait konfigurasi perbedaan balkon, menunjukkan bahwa balkon memiliki kemampuan untuk merefleksikan dan mereduksi kebisingan dengan baik yang masih bisa dikaji lebih dalam.

Desain balkon memberi pengaruh dalam mereduksi kebisingan. Elemen balkon yang belum banyak diteliti seperti rasio luasan lubang balkon (WWR) serta kedalaman balkon masih dapat dikembangkan lebih lanjut. Jika membicarakan desain balkon, itu berarti juga perlu dibahas pula tentang material yang digunakan pada balkon dan ketinggian bangunan seperti yang dilakukan oleh Jang (2015) dengan dugaan bahwa semakin tinggi lantai, maka semakin berkurang untuk tingkat kebisingannya. Hal ini sesuai dengan yang diutarakan Sakamoto (2013) bahwa aspek ketinggian lantai termasuk sebagai *acoustical obstacles* atau penghalang akustik dengan kata lain menghalangi perambatan kebisingan.

Kecepatan angin yang juga semakin bertambah seiring bertambahnya ketinggian lantai berpotensi mempengaruhi kebisingan (Katsaprakakis, 2012). Angin, temperatur, kelembapan udara, dan tekanan udara dapat mempengaruhi propagasi bunyi (Sakamoto, 2015). Hal tersebut sesuai dengan Satwiko (2007) yang menyatakan bahwa kecepatan dan arah angin dapat mempengaruhi bunyi. Kondisi angin tersebut tentu berhubungan dengan tingkat kebisingan yang terjadi pada balkon di setiap ketinggian lantai yang berbeda, sehingga perlunya pembahasan lebih lanjut mengenai aspek angin pada balkon karena angin tidak

hanya berpotensi mengurangi kebisingan namun juga dapat menambah kebisingan.

Kebisingan pada apartemen tidak terbatas pada lalu lintas saja, namun kebisingan juga ditimbulkan dari tetangga unit apartemen (*community noise*). Seperti pada penelitian yang dilakukan Park (2017) terdapat beberapa jenis sumber kebisingan di apartemen yang diamati yaitu *airborne* (bising yang timbul di udara) dan *structureborne* (bising dari struktur bangunan). Selain itu Park (2017) menyatakan bahwa pada pukul 23:00 hingga 07:00 kebisingan apartemen melebihi ambang batas maksimum yang disyaratkan WHO. Kebisingan lalu lintas bisa mencapai 90 dB (Doelle, 1986). Padahal menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup no. 48 Tahun 1996 tentang batas kebisingan maksimum, untuk hunian adalah 55 dB. Ketentuan batas kebisingan maksimum berbeda sesuai waktunya. Untuk batas maksimum kebisingan yang disyaratkan oleh WHO (Berglund, 2000) di siang hari yaitu 35 dB, sedangkan untuk malam hari 30 dB. WHO juga menyatakan bahwa kebisingan yang mengganggu untuk beristirahat terutama di malam hari berasal dari bunyi berfrekuensi rendah.

Kebisingan ruangan tersebut dapat terdengar salah satunya bersumber dari lalu lintas yang kemudian melewati area balkon. Ini berarti perlu penanganan khusus dari elemen balkon sebagai *barrier* kebisingan untuk dapat mereduksi kebisingan yang bersumber dari luar apartemen agar tercipta kenyamanan akustik dalam ruang, dengan tetap memperhatikan perbedaan waktu siang dan malam karena memiliki sumber dan nilai kebisingan yang bisa jadi berbeda, tidak hanya bising lalu lintas saja namun terdapat bising lain yang berasal dari bunyi AC, suara manusia ataupun bunyi lainnya yang dapat masuk ke dalam ruangan apartemen melalui balkon.

Tren balkon apartemen saat ini adalah penggunaan balkon yang masuk ke dalam bangunan (*loggia*). Desain balkon *loggia* berhubungan dengan rasio luasan lubang balkon (*WWR*) dan dimensi balkon seperti kedalaman balkon. Selain itu balkon *loggia* erat kaitannya dengan material fasad dalam kemampuannya mengurangi kebisingan. Simulasi mengenai kinerja desain balkon pernah dilakukan oleh Lee (2007) masih sebatas mengkaji perbedaan konfigurasi elemen balkon yaitu penerapan parapet dan elemen *absorber* dengan tipe balkon yang

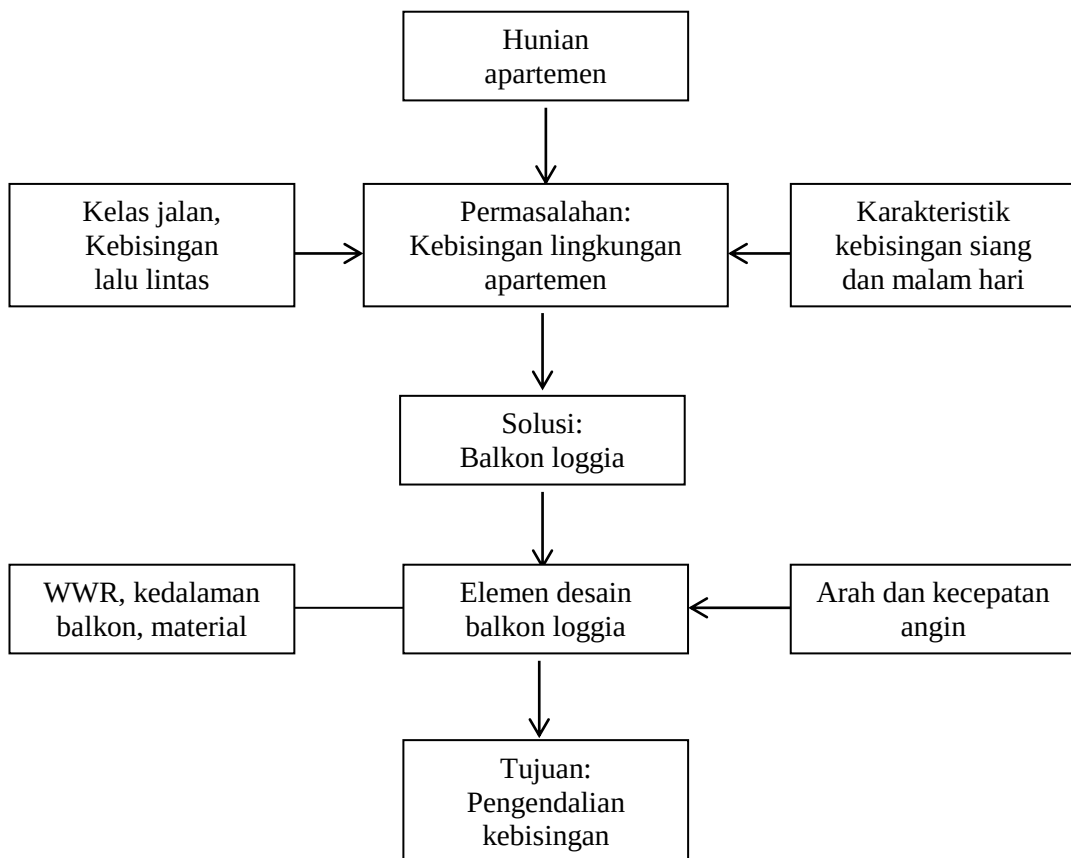
berada di luar fasad unit apartemen atau non-loggia tanpa melibatkan perbedaan unsur material pada fasadnya. Untuk pengaruh angin terhadap kebisingan lalu lintas, pernah dilakukan Samodra (2018) namun masih belum banyak diuji pada bangunan tingkat tinggi seperti apartemen yang tidak hanya tergantung pada jarak horizontal melainkan juga jarak vertikal atau antar ketinggian lantai, sehingga, penelitian ini dapat menambah pengetahuan mengenai sumber kebisingan yang berasal dari lalu lintas yang dapat ditangani oleh desain balkon tipe loggia dengan melihat pengaruh perbedaan ketinggian lantai apartemen karena jarak, baik secara horizontal maupun vertikal yang memberikan pengaruh besar terhadap kebisingan.

1.2 Rumusan Masalah

Hunian apartemen saat ini masih mengesampingkan permasalahan kebisingan yang memiliki dampak serius bagi kesehatan psikologis maupun fisik. Secara teoritis, terdapat batas kebisingan maksimum untuk fungsi apartemen yang harus dipenuhi. Apartemen memiliki tingkat kebisingan yang tinggi karena sumber kebisingan dari jalan raya sesuai dengan kelas jalan terkait dapat langsung merambat melalui udara tanpa penghalang atau *barrier* yang membuat ketidaknyamanan dalam beristirahat oleh para penghuninya, terutama yang berasal dari sumber bunyi berfrekuensi rendah. Kebisingan tersebut memiliki perbedaan karakteristik di siang dan malam hari.

Bukaan bangunan pada fasad menjadi *receiver* atau tempat masuknya bising. Pada kasus apartemen saat ini, balkon loggia merupakan area yang menjadi penerima kebisingan dari lingkungan luar. Namun menurut Sakamoto (2013) bahwa elemen pada fasad bangunan termasuk balkon dapat berfungsi sebagai *acoustical obstacles* atau penghalang akustik dengan kata lain menghalangi perambatan kebisingan, sehingga seharusnya elemen balkon tidak hanya menerima kebisingan tapi juga bisa menjadi *barrier* atau penghalang kebisingan untuk dapat meningkatkan kualitas akustik ruangan dan memenuhi standar kebisingan yang telah ditentukan. Elemen desain balkon dapat diuji untuk mengetahui pengaruhnya terhadap pengendalian kebisingan.

Propagasi sumber kebisingan yang menuju penerima atau balkon, loggia, tidak terlepas dari faktor-faktor lain yang mempengaruhi antara lain seperti angin, temperatur, kelembapan udara dan tekanan udara. Angin berpotensi menyebabkan kondisi balkon lebih bising ataupun sebaliknya pada arah dan kecepatan angin tertentu. Fokus penelitian ini terletak pada strategi desain balkon loggia, diawali dengan mengetahui karakteristik kebisingan yang terjadi pada apartemen di waktu siang dan malam hari, yang dikaji pula hubungan tingkat kebisingan pada balkon loggia dengan kondisi angin. Kerangka indikasi permasalahan dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Kerangka Indikasi Permasalahan

Berdasarkan pernyataan permasalahan di atas maka rumusan masalah dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Bagaimanakah pengaruh kondisi lalu lintas terhadap tingkat kebisingan di lingkungan apartemen pada perbedaan waktu siang dan malam hari?

2. Bagaimanakah pengaruh desain balkon tipe loggia dalam mereduksi tingkat kebisingan pada perbedaan ketinggian lantai apartemen?
3. Bagaimanakah kinerja balkon tipe loggia terhadap kebisingan yang dipengaruhi oleh angin?

1.3 Tujuan

Berdasarkan pertanyaan penelitian, adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis pengaruh kondisi lalu lintas di lingkungan apartemen pada perbedaan waktu siang dan malam hari.
2. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan konsep desain balkon tipe loggia dalam mereduksi tingkat kebisingan pada ketinggian lantai apartemen yang berbeda.
3. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja balkon tipe loggia dalam mereduksi kebisingan yang dipengaruhi oleh angin.

1.4 Manfaat Penelitian

Secara teoretis penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dalam bidang keilmuan dengan mengaplikasikan teori pengendalian kebisingan. Pengendalian kebisingan untuk mereduksi tingkat kebisingan dapat dicapai dengan memperhatikan aspek desain balkon. Selain itu, penelitian ini diharapkan memberi pengetahuan lebih lanjut mengenai bangunan yang tanggap terhadap sumber kebisingan dengan dicapai dari penggunaan material yang dipengaruhi oleh perbedaan jarak, yaitu ketinggian lantai.

Secara praktis, penelitian ini dapat dimanfaatkan bagi praktisi yang terlibat dalam perencanaan, perancangan, dan pembangunan apartemen ataupun bangunan tinggi. Hasil penelitian ini bisa digunakan sebagai acuan, pertimbangan, bahkan rekomendasi desain demi menciptakan kualitas akustik ruang yang baik dengan tren balkon saat ini yang masuk ke dalam bangunan.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian diperlukan agar objek yang dikaji tidak meluas dan sifatnya spesifik. Penelitian ini berfokus pada Batasan-batasan tersebut antara lain sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian ditetapkan pada apartemen yang berada di kelas jalan IIB atau memiliki kebisingan yang tinggi. Apartemen yang dijadikan sampel penelitian yaitu apartemen *high rise building*, dengan ketinggian lebih dari 12 lantai yang menghadap langsung ke arah jalan raya untuk dapat melihat pengaruhnya terhadap jarak/ketinggian tiap lantainya.
2. Sumber kebisingan yang digunakan pada simulasi yaitu sumber bunyi yang berasal dari lalu lintas saja. Frekuensi bunyi yang diamati adalah yang mengganggu kenyamanan beristirahat yaitu frekuensi rendah.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

Kajian pustaka menjelaskan tentang apa saja yang telah ditemukan oleh peneliti terdahulu yang terkait dengan permasalahan pada penelitian ini. Hal-hal yang dikaji meliputi pembahasan tentang akustik, kebisingan, bangunan apartemen dan diakhiri dengan sintesis kajian pustaka. Hal-hal yang berada pada kajian pustaka ini digunakan untuk melakukan analisis dengan membahasnya dengan mengkomparasi hasil penelitian ini dengan penelitian sebelumnya.

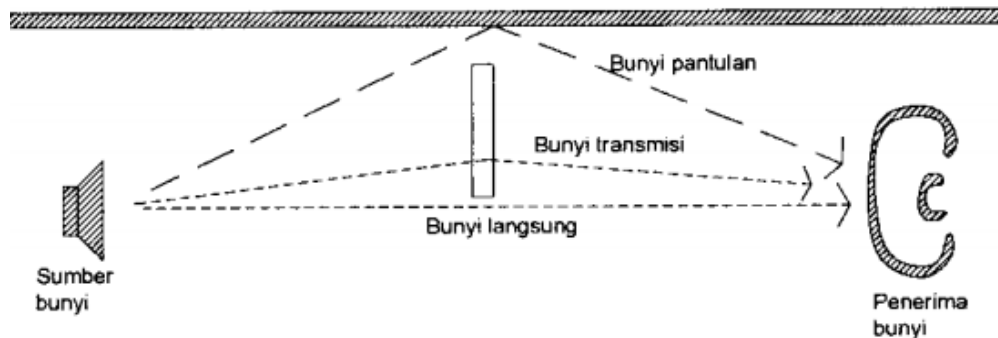
2.1 Lingkungan Akustik

Akustik lingkungan, atau pengendalian bunyi secara arsitektural, merupakan suatu cabang pengendalian lingkungan pada ruang-ruang arsitektural. Akustik lingkungan berperan menciptakan lingkungan dimana kondisi mendengar didapatkan secara ideal (Doelle, 1986). Pengendalian bunyi secara arsitektural mempunyai dua sasaran, (1) menyediakan kondisi ideal untuk produksi, perambatan, dan penerimaan bunyi sesuai dengan yang diinginkan, dan (2) peniadaan dan pengurangan bising.

2.1.1 Bunyi

Bunyi terjadi karena adanya getaran yang menimbulkan gesekan dengan zat di sekitarnya. Bunyi yang terjadi di sekitar kita berasal dari objek yang bergetar, misalnya bunyi kendaraan bermotor ataupun suara manusia. Sumber getaran dapat berupa sebuah objek yang bergerak dan dapat juga berasal dari udara yang bergerak. Getaran atau objek atau udara tersebut kemudian menyentuh partikel zat yang ada di dekatnya bisa berupa gas, cairan atau padatan, tergantung letak objek yang bergetar. Partikel zat yang pertama tersentuh (yang paling dekat dengan objek) akan meneruskan energi yang diterimanya ke partikel sebelah lainnya (Mediastika, 2005). Satwiko (2009) menambahkan bahwa bunyi memiliki kecepatan tertentu dalam merambat pada suatu medium.

Mendengar bunyi, dibutuhkan sumber bunyi yang bergetar, medium perambatan, serta indera pendengar. Medium perambatan harus ada pada proses ini. Pada ruang hampa, tidak ada partikel yang bergetar dan bersentuhan satu sama lain sehingga bunyi tidak akan terdengar (Mediastika, 2005). Untuk ilustrasi proses mendengar dapat dilihat pada Gambar 2.1.



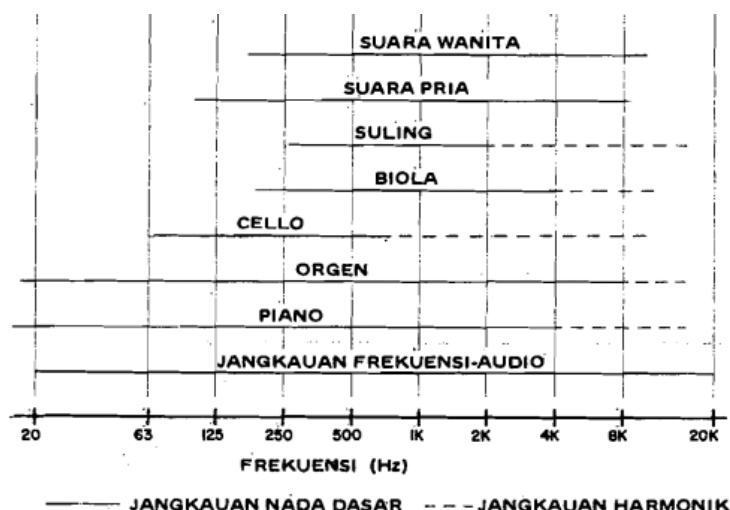
Gambar 2.1 Proses Mendengar: Sumber Bunyi, Media, dan Penerima Bunyi yaitu Telinga (Satwiko, 2009)

Telinga manusia normal dapat merasakan perbedaan bunyi dengan selisih 1 dB. Namun perbedaan baru dapat dirasakan secara normal ketika ada selisih 3 dB. Apabila ada dua bunyi berbeda 10 dB, maka telinga manusia akan mendengarkan bunyi kedua yang sesungguhnya dua kali lebih keras atau setengah kali lebih pelan dari bunyi pertama. Manusia dapat mendengarkan bunyi dengan frekuensi antara 16-20.000 Hz, dan intensitas dengan nilai ambang batas 85 dB secara terus menerus. Intensitas lebih dari 85 dB dapat menimbulkan gangguan dan batas ini disebut *critical level of intensity*. Tingginya bunyi tidak hanya akan menimbulkan gangguan pada pendengaran, namun juga berpengaruh pada tingginya kinerja jantung yang menimbulkan resiko terkena serangan jantung (Ziljema, 2016) sehingga perlunya penanganan bunyi dengan baik.

2.1.2 Frekuensi Bunyi

Frekuensi bunyi adalah jumlah getaran per detik dalam satuan Hertz (Hz) yang menentukan tinggi rendah bunyi (Satwiko, 2009). Semakin tinggi frekuensi maka bunyi juga semakin tinggi. Jumlah getaran yang terjadi setiap detik tersebut sangat tergantung pada jenis objek yang bergetar. Secara singkat, hal ini dapat

diartikan sebagai bahan pembentuk objek tersebut. Oleh karena itu setiap benda akan memiliki frekuensi tersendiri yang berbeda dari benda lainnya. Dalam bahasa umum dapat diartikan bahwa benda memiliki kekhasan bunyi yang membedakannya dengan bunyi benda lain. Jangkauan frekuensi sumber-sumber bunyi dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Jangkauan Frekuensi Sumber Bunyi (Doelle, 1986)

Menurut Doelle (1986) kebanyakan bunyi (pembicaraan, musik, bising) terdiri dari banyak frekuensi, yaitu komponen-komponen frekuensi rendah tengah dan medium. Karena itu pentingnya memeriksa masalah-masalah akustik meliputi spektrum frekuensi yang dapat didengar. Frekuensi standar yang dipilih secara bebas sebagai wakil yang penting dalam akustik lingkungan yaitu 125, 250, 500 1000, 2000 dan 4000 Hz.

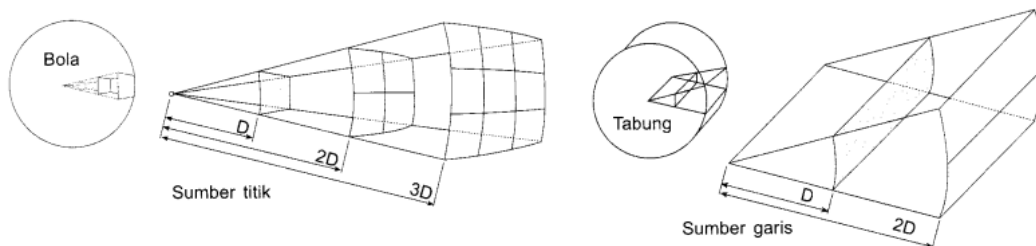
Hal tersebut sesuai dengan 3 kategori pita frekuensi menurut WHO, yaitu *low-*, *medium-*, dan *high-frequency* (Berglund, 2000). Frekuensi rendah berada pada rentang 125-500 Hz, frekuensi medium pada rentang 500-2000 Hz dan frekuensi tinggi di atas 2000 Hz. Menurut Berglund, sumber kebisingan pada frekuensi tinggi mengakibatkan berkurangnya kejelasan percakapan (*speech integibility*). Siulan, suara mesin pesawat terbang, atau suara anak kecil merupakan contoh sumber bunyi di frekuensi tinggi. Kebisingan pada frekuensi rendah mengakibatkan gangguan untuk beristirahat. Bunyi drum, petir, kendaraan

bermotor seperti truk, atau suara laki-laki dewasa merupakan contoh sumber bunyi di frekuensi rendah.

2.1.3 Sifat Bunyi

Karakter bunyi pada hakekatnya sama seperti sifat-sifat cahaya sehingga dalil-dalil atau hukum yang berlaku pada cahaya juga berlaku pada karakter bunyi karena cahaya dan bunyi sama-sama dalam bentuk gelombang. Namun ternyata ada beberapa sifat yang tidak sama, yakni sebagai gelombang, cahaya dan suara (bunyi) mempunyai sifat yang berbeda, seperti cahaya matahari yang sampai ke bumi merambat tanpa melalui perantara, sedangkan suara memerlukan medium untuk merambat.

Penurunan intensitas bunyi bergantung pada banyak faktor baik di luar/di dalam ruangan. Secara umum, penurunan ini dikarenakan suatu sumber suara meradiasikan suara seperti bola (*subwoofer*) dari sumber titik atau tabung silinder dari sumber garis yang dapat dilihat pada Gambar 2.3. Semakin jauh jarak kita dari sumber suara tersebut, luas daerah radiasi suara tersebut semakin membesar/menyebar dan intensitas suara makin berkurang. Masalah utama yang perlu dipelajari dalam bidang akustik meliputi pemahaman perilaku atau karakter suara, karena sifat bunyi tersebut sukar terkendali dan tidak beraturan.



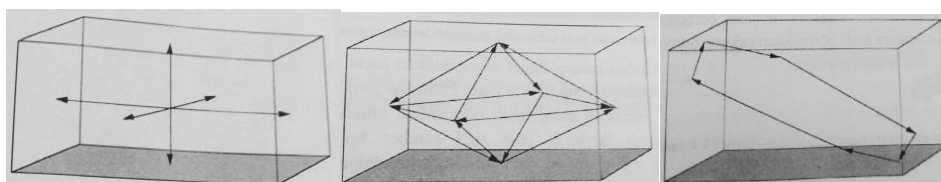
Gambar 2.3 Penyebaran Sumber Bunyi Tunggal Berwujud Titik dan Sumber Bunyi Majemuk Berwujud Garis (Mediastika, 2005)

Bunyi yang menumbuk suatu permukaan akan mengalami berbagai kondisi seperti pemantulan, penyerapan, difusi, defraksi, refraksi, dan trasmisi.

1. Refleksi

Refleksi adalah pemantulan bunyi oleh penghalang atau bidang batas disebabkan oleh karakter penghalang yang memungkinkan terjadinya

pemantulan (Mediastika, 2005). Pemantulan bunyi sama halnya dengan pemantulan cahaya, dibutuhkan objek pemantul yang lebih besar daripada panjang gelombang bunyi (McMullan, 2007). Pemantulan oleh bidang-bidang batas yang membentuk ruangan dapat dibedakan menjadi 3, yaitu bersifat aksial, tangensial dan obliq (Mediastika, 2009). Pemantulan Aksial adalah jenis pemantulan yang sebaiknya dihindari karena pantulan bolak-balik yang mengganggu. Gelombang bunyi mengenai permukaan dan segera dipantulkan kembali dengan kuat ke permukaan yang tepat sejajar berada di depannya. Sementara pada pemantulan tangential dan obliq, pantulan tidak dikembalikan ke arah yang berlawanan 180°, namun ke permukaan yang bersisian.



Gambar 2.4 Pemantulan Aksial, Tangensial dan Obliq (Mediastika, 2009).

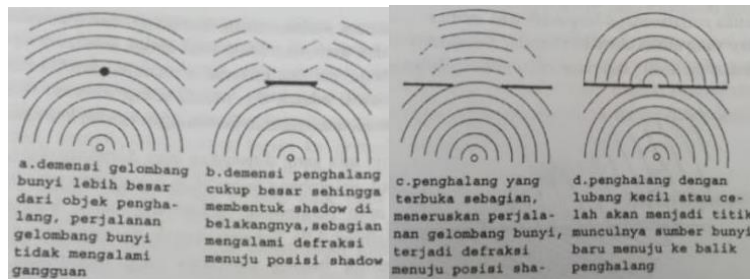
2. Absorpsi

Absorpsi adalah penyerapan energi bunyi oleh lapisan permukaan tertentu memiliki koefisien penyerapan yang juga tertentu. Koefisien absorpsi (α) dihitung dengan membandingkan jumlah suara yang diserap dengan total energy suara yang datang. Nilai maksimum (α) adalah 1 untuk absorpsi sempurna dan minimum 0 yang berarti suara terpantul/refleksi sempurna. Terdapat beberapa jenis penyerap suara yaitu:

- Material berpori, berfungsi mengubah energi bunyi menjadi energi panas melalui gesekan dengan molekul udara. Pada frekuensi tinggi semakin tebal lapisan bahan penyerap akan semakin efisien. Contohnya serat kacang (*rock wall*), serat kayu, papan serat (*fiber sound*) dan lain-lain.
- Panel penyerap berfungsi sebagai pengubah energi bunyi menjadi energi getaran. Bekerja baik di frekuensi rendah seperti kaca, pintu, panel kayu.
- Rongga penyerap, berfungsi untuk mengurangi energi melalui gesekan dan interrefleksi pada lubang dalam yang bekerja pada frekuensi rendah contohnya *sound block*, resonator panel berlubang dan resonator celah.

3. Difraksi

Difraksi adalah peristiwa menerusnya atau membeloknya perambatan gelombang bunyi akibat ketidakmampuan penghalang berdimensi kecil untuk menahannya (Mediastika, 2009). Difraksi juga mungkin terjadi akibat adanya rongga, celah, ataupun lubang pada penghalang.



Gambar 2.5 Difraksi Gelombang Bunyi (Mediastika, 2009).

4. Refraksi

Refraksi adalah berbeloknya gelombang bunyi karena melewati atau masuk pada medium perambatan yang kerapatan molekulnya berbeda, hal ini berbeda dengan difraksi. Refraksi akan mengurangi kekuatan dari gelombang suara, walaupun nilainya kecil.

5. Difusi

Difusi adalah pemantulan suara yang sifatnya menyebar karena bidang pantulnya yang tidak rata. Gejala ini biasa digunakan untuk menghilangkan *flutter echoes* atau pemantulan berulang-ulang.

6. Transmisi Bunyi

Pada kondisi tertentu, suara dapat melewati elemen pembatas ruang, sehingga suara dari satu ruang dapat menembus ruangan lainnya. Hal ini mungkin karena adanya celah, rongga, cacat pada material, ataupun karena material yang dipakai terlalu tipis dan ringan. Bidang batas yang dibutuhkan agar tidak terjadi transmisi adalah elemen bangunan yang berat dan tebal.

Penelitian tentang salah satu sifat bunyi yang dapat diserap oleh sebuah material dilakukan oleh Baruch (2018) yang menguji material penutup lantai. Hasil yang didapatkan adalah karpet dengan ketebalan 10 mm, dapat menyerap bunyi dengan baik. Penelitian lain tentang difraksi dilakukan oleh El Dien

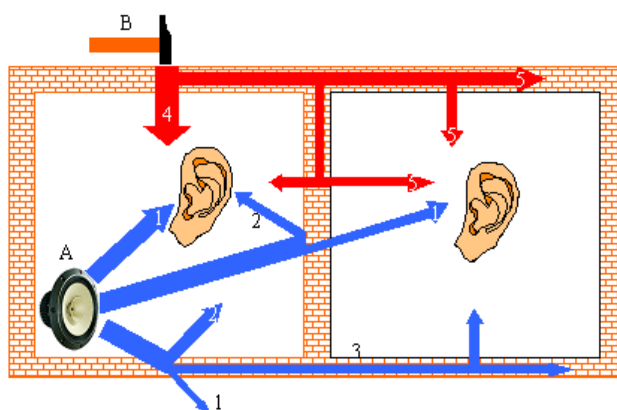
(2003) yang melakukan simulasi untuk melihat bagaimana pengaruh dan nilai bunyi yang terjadi bila dihalangi oleh suatu objek. Penelitian-penelitian tersebut mendasari perlunya mengetahui bagaimanakah sifat dari sumber bunyi yang terjadi.

2.1.4 Propagasi Bunyi pada Bangunan

Propagasi bunyi atau bisa disebut perambatan gelombang bunyi pada bangunan dibagi menjadi dua cara, yaitu;

a) *Airborne Sound*

Airborne Sound adalah perambatan gelombang bunyi melalui medium udara. Perambatan ini masuk ke dalam bangunan melalui bukaan, lubang, celah, atau retak pada elemen bangunan. *Airborne Sound* dapat dihambat dengan cara memasang elemen pembatas/penghalang yang mampu menghalangi/menyerap perambatan tersebut.



Gambar 2.6 Ilustrasi *airborne sound* (www.hope.epfl.ch)

b) *Structureborne Sound*

Structureborne sound adalah perambatan gelombang bunyi melalui benda padat, dalam hal ini adalah elemen bangunan itu sendiri. Perambatan ini terjadi ketika sumber kebisingan menempel atau sangat berdekatan dengan elemen bangunan seperti pada elemen lantai atau dinding. *Structureborne sound* dapat dihambat dengan material yang tidak mudah bergetar atau tahan getaran (material yang berat, tebal, rigid tetapi elastis).

Penelitian Park (2017) mengidentifikasi jenis-jenis bunyi yang merambat secara *airborne* dan *structureborne* dalam sebuah apartemen. Untuk *airborne*

bunyi ditimbulkan dari sistem penghawaan, peralatan domestik, dan suara manusia. Sedangkan *structureborne* diantaranya orang berjalan/berlari, memindahkan barang, sistem pemipaan, dan sebagainya. Dari hal tersebut, perlunya mengetahui sumber dan bagaimana bunyi yang merambat untuk dapat dengan tepat ditindaklanjuti.

2.2 Kebisingan

Kebisingan yang dirasakan manusia bukan hanya karena frekuensinya tinggi, tetapi juga karena respon dari manusia itu sendiri, seperti kondisi, kebiasaan, kebutuhan dan pendapatnya terhadap suara. Pada bukunya, Doelle (1986) membagi sumber kebisingan menjadi dua bagian, yaitu;

1. Bising dalam ruang (*Interior*), berasal dari manusia, alat-alat rumah tangga, atau mesin-mesin bangunan. Dinding-dinding pemisah, lantai, pintu dan jendela harus memiliki perlindungan yang cukup terhadap bising dalam bangunan.
2. Bising luar (*Outdoor*), berasal dari lalu lintas, transportasi, industri, alat-alat mekanis yang terlihat di dalam gedung, tempat pembangunan gedung-gedung, perbaikan jalan, kegiatan olahraga dan lain-lain diluar bangunan.

2.2.1 Jenis Kebisingan

Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan No. 718 tahun 1987 tentang kebisingan yang berhubungan dengan kesehatan menyatakan pembagian wilayah dalam empat zona, yaitu:

- a. Zona A : adalah zona untuk tempat penelitian, rumah sakit, tempat perawatan kesehatan atau sosial. Tingkat kebisingannya berkisar 35 - 45 dB.
- b. Zona B : adalah zona untuk perumahan, tempat pendidikan, dan rekreasi. Angka kebisingannya 45 - 55 dB.
- c. Zona C : adalah zona untuk perkantoran, pertokoan, perdagangan, pasar, dengan tingkat kebisingan sekitar 50 - 60 dB.
- d. Zona D : adalah zona untuk lingkungan industri, pabrik, stasiun kereta api, dan terminal bus. Tingkat kebisingan 60 - 70 dB.

Berdasarkan frekuensi, tingkat tekanan, tingkat bunyi dan tenaga bunyi, maka bising dibagi dalam 3 kategori, yaitu:

- a. *Audible noise* (bising pendengaran). Bising ini disebabkan oleh frekuensi bunyi antara 31.5 – 8.000 Hz
- b. *Occupational noise* (bising pekerjaan). Bising ini disebabkan oleh bunyi mesin di tempat kerja, bising dari mesin ketik.
- c. *Impuls noise* (bising impulsif). Bising yang terjadi akibat adanya bunyi yang menyentak, misalnya pukulan palu, ledakan meriam, tembakan, dll.

Berdasarkan spektrum waktu terjadinya, maka bising dibagi menjadi:

- Bising kontinyu dengan spektrum luas, misalnya karena mesin, kipas angin.
- Bising kontinyu dengan spektrum sempit, misalnya bunyi gergaji.
- Bising terputus – putus, misalnya lalu lintas, bunyi kapal terbang di udara.

Berdasar intensitas waktu terjadinya, maka bising dibagi dalam dua jenis :

- a. Bising sehari penuh (*full noise time*)
- b. Bising setengah hari (*part time noise*)

Berdasarkan impuls terjadinya, maka bising dapat dibagi dalam dua jenis:

- a. Bising terus – menerus (*steady noise*)
- b. Bising impulsif (*impulsive noise*) ataupun bising sesaat (letupan)

Berdasarkan skala intensitas maka tingkat kebisingan dapat dibagi menjadi: sangat tenang – tenang – sedang – kuat - sangat hiruk pikuk – menulikan.

Sesuai dengan penelitian ini, hunian apartemen berada pada Zona B. Kebisingan lalu lintas yang terjadi bersifat *steady* atau terus-menerus, dengan intensitas yang tidak sepanjang hari/*part time*. Karakteristik kebisingan tersebut berbeda dengan penelitian Park (2017), yang menyatakan bahwa kebisingan yang terjadi adalah sesaat dan tidak terus-menerus atau *impulsive*. Hal ini menandakan bahwa perlunya identifikasi lebih lanjut tentang karakteristik kebisingan yang terjadi karena tiap lokasi seperti rumah ataupun apartemen bertingkat tinggi juga akan berbeda jenis kebisingannya.

2.2.2 Tingkat Kebisingan

Tingkat kebisingan yang dimaksud adalah Tingkat Tekanan Bunyi (TTB) atau Tingkat Bising Latar Belakang (*Background Noise Level*). Dalam setiap

ruangan, dirasakan atau tidak, akan selalu ada suara. Hal ini menjadi dasar pengertian tentang adanya bising latar belakang (*background noise*). Bising latar belakang dapat didefinisikan sebagai suara yang berasal bukan dari sumber suara utama atau suara yang tidak diinginkan. Bising latar belakang tidak dapat sepenuhnya dihilangkan, akan tetapi dapat dikurangi atau di-turunkan melalui serangkaian perlakuan akustik terhadap ruangan.

a. Standar Batas Kebisingan (*Noise Criteria*)

Tingkat kebisingan atau *background noise* yang dapat di terima dapat dinyatakan dengan standar batas kebisingan atau bisa disebut Noise Criteria (NC). Tingkat NC dapat digunakan untuk menunjukkan nilai minimum yang di inginkan dengan nilai maksimum *background noise* yang di inginkan. Tingkat kebisingan tersebut ditetapkan besarnya sesuai dengan fungsi dan kegiatan di dalamnya.

Besaran bising latar belakang ruang dapat diketahui melalui pengukuran Tingkat Tekanan Bunyi (TTB) di dalam ruangan pada rentang frekuensi tengah pita oktaf antara 63 Hz sampai dengan 8 kHz. Hasil pengukuran digunakan untuk menentukan kriteria kebisingan ruang dengan cara memetakannya pada kurva kriteria kebisingan (*Noise Criteria* – NC) dan batas tingkat kebisingan.

Tabel 2.1 Batas Kebisingan yang Disarankan

Lingkungan/area	Batas Kebisingan yang Disarankan (dB)		
	Kep. Menteri Lingkungan Hidup no. 48 th.1996	Egan (1976)	WHO <i>guidliness</i> (Berglund, 2000)
Ruang luar / ruang hijau terbuka	50	-	55 (siang) 50 (malam)
Rumah, ruang tidur, ruang istirahat	55	30 – 40	35 (siang) 30 (malam)
Ruang kelas dan asrama sekolah	55	40 - 45	35 (siang) 30 (malam)
Rumah sakit, kamar pasien	55	30 - 40	30 (siang) 30 (malam)
Kawasan industri dan pertokoan	70	55- 65	70

Jika batas kebisingan menurut Egan (1976) pada lingkungan hunian apartemen berada pada rentang 30-40 dB, yang jauh perbandingannya dengan batas kebisingan yang ditetapkan oleh pemerintah cukup tinggi sebesar 55 dBA.

Sedangkan batas kebisingan yang disyaratkan oleh WHO, untuk batas maksimum kebisingan siang hari yaitu 35 dB dan malam hari yaitu 30 dB (Berglund, 2000). Pada penelitian ini yang akan digunakan adalah yang berlaku saat ini dalam kondisi dua waktu yang berbeda menurut WHO, yaitu siang hari 35 dB dan 30 dB untuk malam hari. Dalam penelitian Park (2017), 26 apartemen yang diteliti memenuhi persyaratan dari WHO di siang hari, namun pada malam hari hanya 4 apartemen yang memenuhi persyaratan.

b. Pengukuran Tingkat Kebisingan

Alat utama dalam pengukuran kebisingan adalah Sound Level Meter (SLM). Alat ini mengukur kebisingan antara 30-130 dB dengan frekuensi antara 20- 20.000 Hz. Suatu sistem kalibrasi terdapat dalam alat itu sendiri, kecuali untuk kalibrasi mikrofon diperlukan pengecekan dengan kalibrasi tersendiri. Sebagai kalibrasi dapat dipakai pengeras suara yang kekuatan suaranya diatur amplifier. Atau suatu *piston phone* dibuat untuk maksud kalibrasi ini, yang tergantung dari tekanan udara, sehingga perlu koreksi tergantung dari barometer. Kalibrator dengan intensitas tinggi (125 dB) lebih sesuai, karena dapat mengukur intensitas tinggi.



Gambar 2.7. Sound Level Meter (SLM)

Salah satu contoh metoda pengukuran tingkat kebisingan dilakukan oleh Rusjadi (2011) dalam mengkaji Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 48 Tahun 1996. Pengukuran secara sederhana dapat dilakukan oleh 2 orang. Satu orang untuk melihat waktu dan memberikan aba-aba pembacaan tingkat kebisingan sesaat per lima detik dalam waktu 10 menit dan orang kedua mencatat pembacaan tingkat kebisingan sesaat dari sound level meter (SLM). Dengan sebuah sound level meter biasa diukur tingkat tekanan bunyi sesaat dB(A) selama

10 (sepuluh) menit yang mewakili interval waktu tertentu sehingga didapat 120 data, kemudian dihitung dengan rumus 2.1.

$$L_{Aeq,T}(10 \text{ menit}) = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{120} \sum_{i=1}^{120} 10^{L_{pAi}/10} \right] \quad (2.1)$$

dimana:

$L_{aeq,T}$ adalah tingkat tekanan bunyi sinambung setara dalam waktu 10 menit
 L_{pAi} adalah tingkat tekanan bunyi sesaat rata-rata dalam interval 5 detik

c. Toleransi Alat Ukur Tingkat Kebisingan

Alat ukur yang digunakan untuk mengukur tingkat kebisingan seringkali tidak menunjukkan nilai yang persis sama. Terdapat toleransi perbedaan nilai tingkat kebisingan yang diperbolehkan. Dapat dilihat pada Tabel 2.2 batas toleransi nilai tingkat kebisingan antar sesama Sound Level Meter (SLM) yang dibagi menjadi SLM Kelas 1 yang lebih akurat dan SLM Kelas 2. Namun menurut Rusjadi (2011), toleransi perbedaan nilai pengukuran tingkat kebisingan antara alat dua alat ukur yang berbeda yang umumnya digunakan dalam mengukur tingkat kebisingan adalah sebesar 3 dB.

Tabel 2.2 Batas Toleransi Tingkat Kebisingan pada Pita Frekuensi Tertentu

Frekuensi (Hz)	SLM Kelas 1	SLM Kelas 2
16	+2.5dB, -4.5dB	+5.5dB, -∞dB
20	+/- 2.5dB	+/- 3.5dB
1000	+/- 1.1dB	+/- 1.4dB
10000	+2.6dB, -3.6dB	+5.6dB, -∞dB
16000	+3.5dB, -17dB	+6.0dB, -∞dB

Sumber: Committee AV-002, 2004

2.2.3 Penumpukan Tingkat Kebisingan

Dalam kehidupan sehari-hari, sangat jarang kita hanya mendengar satu bunyi saja. Sesungguhnya pada umumnya sumber bunyi berbentuk garis (gemaris, linier) dan berasal dari sumber majemuk. Jadi, kita sebenarnya mendengarkan tumpukan beberapa bunyi dengan tingkat kebisingan yang berbeda-beda. Dalam Mediastika (2005) terdapat cara sederhana yang dapat digunakan untuk menghitung berapa tumpukan kebisingan yang terjadi dengan melakukan pengelompokan berdasarkan frekuensinya, misalnya: rendah, sedang, dan tinggi.

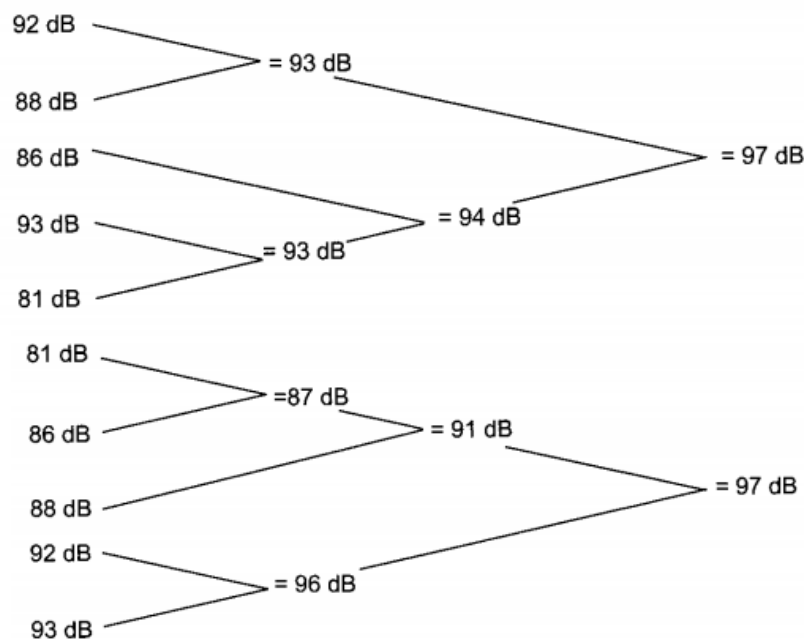
Untuk bunyi semacam ini, terdapat pedoman yang dijadikan acuan untuk menghitung tumpukan bunyi yang terjadi, sebagaimana disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Pedoman Menghitung Penumpukan Bunyi

Perbedaan tingkat kekerasan bunyi (dalam dB)	Tambahkan pada bunyi yang lebih tinggi (dalam dB)
0 – 1	3
2 - 3	2
4 – 8	1
≥ 9	0

Sumber: Egan, 1976

Kebisingan lalu lintas berasal dari lebih dari dua bunyi, maka kita dapat menghitungnya dua demi dua, menurut urutan yang dapat ditetapkan sendiri. Penghitungan dengan urutan yang berbeda umumnya memberikan hasil akhir yang sama yang dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Perbedaan Perhitungan Penumpukan Bunyi (Mediastika, 2005)

Penumpukan tingkat kebisingan yang dihasilkan oleh bunyi dalam frekuensi yang sama persis (dengan tingkat kekerasan yang juga sama) dapat dihitung secara sederhana dengan persamaan 2.2.

$$TB_{\text{tumpukan}} = TB_{\text{tunggal}} + 10 \log n \quad (2.2)$$

dimana:

TB_{tumpukan} = tingkat kebisingan tumpukan
 TB_{tunggal} = tingkat kebisingan tunggal
 n = jumlah sumber bunyi

Terdapat sedikit perbedaan nilai pada perhitungan sederhana dan dengan perhitungan rumus. Kesalahan penghitungan di bawah 1 dB dianggap tidak penting karena selisih bunyi di antara 0 hingga 1 dB tidak memberikan perbedaan yang berarti pada indera dengar manusia.

2.2.4 Sumber Kebisingan Lalu Lintas

Sumber kebisingan lalu lintas, berasal dari kendaraan yang melaju pada suatu jalan. Pemerintah telah menetapkan beberapa aturan mengenai pembagian kelas jalan yang secara tidak langsung dapat dijadikan acuan untuk membatasi tingkat kebisingan pada suatu kelas jalan tertentu beserta kecepatan kendaraan sesuai dengan kelas jalan tersebut, yang dapat dilihat pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4.

Tabel 2.3. Kelas Jalan di Indonesia Menurut Fungsi

No.	Kelas Jalan	Spesifikasi
1.	Jalan Arteri	Melayani angkutan umum dengan ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan tinggi, dan jalan masuk dibatasi secara efisien.
2.	Jalan Kolektor	Melayani angkutan pengumpul dengan ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rendah, dan jumlah jalan masuk dibatasi.
3.	Jalan Lokal	Melayani angkutan umum dengan ciri perjalanan dekat, kecepatan rendah, dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi.

Sumber: UU no.13/1980 dan PP No.26/1985

Tabel 2.4. Kelas Jalan Sesuai dengan Lebar Jalan dan Panjang Kendaraan

No.	Kelas Jalan	Spesifikasi jalan dan Kendaraan
1.	I	Jalan arteri dilalui kendaraan bermotor termasuk muatannya dengan lebar maksimal 2.5 m, panjang maksimal 18m dan muatan dengan sumbu terberat > 10 ton.
2.	II	Jalan arteri dilalui kendaraan bermotor termasuk muatannya dengan lebar maksimal 2.5 m, panjang maksimal 18m dan muatan dengan sumbu terberat maksimum 10 ton.
3.	IIIA	Jalan arteri atau kolektor yang dapat dilalui kendaraan bermotor termasuk muatannya dengan lebar maksimal 2.5 m, panjang maks. 18m dan muatan dengan sumbu terberat maksimal 8 ton.
4.	IIIB	Jalan kolektor yang dapat dilalui kendaraan bermotor termasuk muatannya dengan lebar maksimal 2.5 m panjang maksimal 12m dan muatan sumbu terberat maksimal 8 ton.
5.	IIIC	Jalan lokal yang dapat dilalui kendaraan bermotor termasuk muatannya dengan lebar maksimal 2.1 m panjang maksimal 9 m dan muatan sumbu terberat maksimal 8 ton.

Sumber: PP no.43/1993

Dari tabel-tabel di atas dapat disimpulkan dalam Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Pembagian Kelas Jalan dan Potensi Kebisingannya

Dimensi	Kelas I	Kelas II	Kelas III A	Kelas III B	Kelas III C
Fungsi	Arteri	Arteri	Arteri / Kolektor	Kolektor	Lokal
Lebar	< 2,5 m	< 2,5 m	< 2,5 m	< 2,5 m	< 2,1 m
Panjang	< 18 m	< 18 m	< 18 m	< 12 m	< 9
Bobot	> 10 ton	< 10 ton	< 8 ton	< 8 ton	< 8 ton
Jenis Kendaraan	Jalan yang masih belum banyak digunakan di Indonesia	Lebih banyak diisi oleh kendaraan besar seperti truk gandeng, atau angkutan peti kemas (untuk Kelas II) dengan kecepatan yang tidak terlalu tinggi, selain dengan kendaraan bermotor lainnya		Diisi mobil, motor, bus, truk, dan kendaraan berukuran sedang dengan kecepatan tinggi	Diisi kendaraan berukuran sedang dengan kecepatan relatif rendah
Potensi Kebisingan	-	Sedang		Tinggi	Sedang

Sumber: Analisis Berdasarkan Kelas Jalan

Dari kesimpulan kelas jalan pada Tabel 2.6, dapat diperoleh bahwa kelas jalan III B berpotensi memiliki tingkat kebisingan yang tinggi dari jenis dan kecepatan kendaraan serta banyaknya kendaraan tersebut. Kelas jalan berkaitan dengan kebisingan karena semakin cepat laju kendaraan, semakin tinggilah tingkat kebisingan pada kendaraan tersebut. Semakin tinggi rasio kendaraan roda

dua bermesin 2 langkah dibandingkan roda dua 4 langkah pada suatu ruas jalan, maka semakin tinggilah kebisingan. Sumber kebisingan lalu lintas cukup mengganggu dengan tingkat kebisingan sebesar 59,8 hingga 72,8 dB (Kim, 2005). Dalam penelitian Sakamoto (2015), kebisingan lalu lintas di area urban mencapai 99.7 dB.

2.2.5 Faktor yang Mempengaruhi Propagasi Bising Lalu Lintas

Sakamoto (2015) menyatakan terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi propagasi kebisingan lalu lintas (sumber bunyi) ke suatu bangunan (penerima) yang dirumuskan pada persamaan 2.3.

$$L_{A,i} = L_{WA,i} - 8 - 20 \lg r_i + \Delta L_{cor,i}, \quad (2.3)$$

dimana:

- $L_{A,i}$ = Nilai tingkat kebisingan yang terjadi di titik penerima (dB)
- $L_{WA,i}$ = Nilai tingkat kebisingan yang ditimbulkan dari kendaraan yang bergerak dari titik sumber bunyi (dB)
- $\Delta L_{cor,i}$ = nilai koreksi dari berbagai faktor (dB)

Penjelasan nilai koreksi dari berbagai faktor yang dimaksud adalah sebagai berikut:

a. Difraksi

Difraksi yang dimaksud dalam hal ini adalah berbagai jenis penghalang atau *barrier* yang berada di jalur perambatan bunyi dari sumber bunyi lalu lintas ke penerima. Difraksi tersebut diantaranya disebabkan oleh *barrier* simpel, *barrier* panjang, *barrier* tebal, *barrier* lebih dari satu, *barrier* dengan *overhang*, *barrier* bersudut dan *barrier* rendah.

b. Kondisi permukaan tanah

Propagasi bunyi dari sumber bising lalu lintas ke penerima, dapat dilemahkan karena pengaruh dari permukaan yang melapisi tanah, diantaranya kondisi permukaan jalan, sudut kemiringan jalan dan permukaan tanah yang melapisi area tepi jalan tersebut.

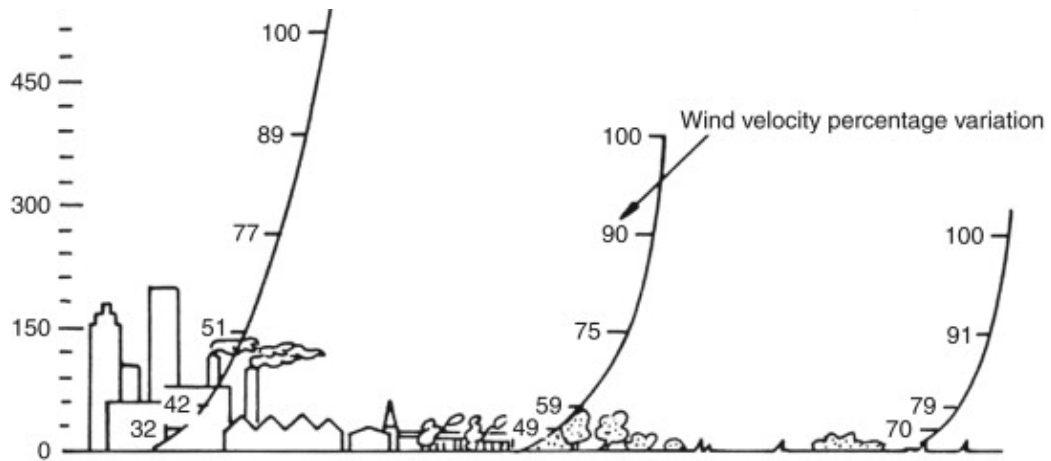
c. Penyerapan bunyi karena atmosfer

Atmosfer di udara mampu menyerap bunyi. Udara semakin besar mempengaruhi kebisingan jika jarak sumber bunyi dengan titik penerima juga

besar. Selain itu komponen yang berada di udara seperti temperatur, kelembapan dan tekanan udara juga berperan dalam penyerapan bunyi tersebut.

d. Angin

Angin memberikan pengaruh pada kebisingan pengaruh dari kondisi permukaan tanah atau objek yang menutupi kawasan lebih padat sehingga kecepatan angin berkurang di ketinggian yang rendah dan meningkat di ketinggian yang lebih tinggi karena berkurangnya hambatan angin (Katsaprakakis, 2012). Itu berarti semakin tinggi lantai pada bangunan maka kebisingan yang terbawa oleh angin juga meningkat karena tidak adanya penghalang yang mempengaruhi kondisi angin.



Gambar 2.9 Pengaruh Kekasaran Elemen Tanah terhadap Peningkatan Kecepatan Angin (Katsaprakakis, 2012)

Sakamoto (2015) menyatakan bahwa propagasi bunyi yang terpengaruh oleh kondisi angin ($\Delta L_{m,line}$) dapat dihitung dengan persamaan (2.3)

$$\Delta L_{m,line} = \begin{cases} 0.88 \lg\left(\frac{l}{15}\right) \cdot U_{vec} & l > 15 \\ 0 & l \leq 15 \end{cases} \quad (2.3)$$

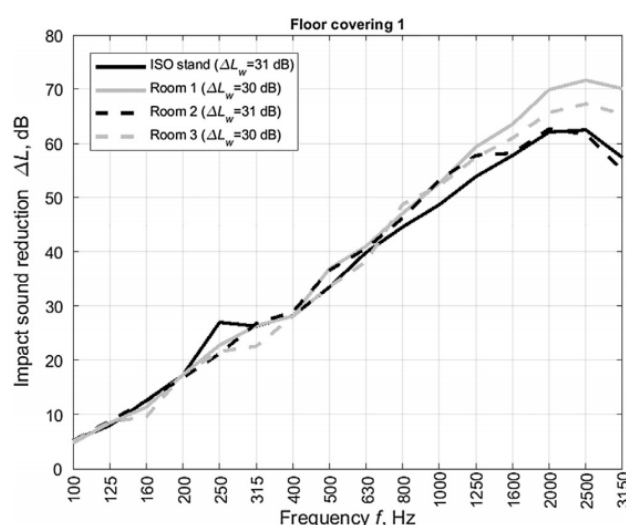
dimana l adalah jarak horizontal dari jalan (sumber bunyi) ke titik penerima (m) dan $U_{vec} = U \cos \theta$ adalah komponen vektor dari kecepatan angin rata-rata (m/s) untuk sudut θ yang terjadi antara arah angin dan garis tegak lurus terhadap titik penerima.

2.3 Pengendalian Bising Lingkungan

Kebisingan yang merambat secara *airborne* maupun *structureborne* yang terjadi di dalam bangunan maupun luar bangunan perlu direduksi dengan beberapa strategi pengendalian kebisingan dengan tepat. Menurut Doelle (1986), sasaran utama dalam pengendalian kebisingan adalah menyediakan lingkungan yang dapat diterima di dalam maupun di luar bangunan, sehingga tingkat tekanan bunyi dan sifat semua bunyi sesuai dengan kebutuhan penggunaan ruang tersebut. Berbagai macam cara dapat dilakukan untuk mereduksi kebisingan secara efektif di dalam maupun di luar bangunan.

2.3.1 Penekanan Bising di Sumbernya

Mengatasi kebisingan dengan cara meniadakan sumber kebisingan adalah cara paling efektif namun tidak mudah diterapkan (Mediastika, 2005). Menurut Doelle (1986), tindakan pengendalian bising yang paling ekonomis adalah menekan bising tepat di sumbernya. Bising dari bunyi mesin dapat direduksi dengan perawatan dan pemilihan mesin yang baik serta penerapan bahan penyerap bunyi. Bising langkah kaki dengan mudah direduksi dengan memasang lapisan lantai yang lembut seperti karpet seperti yang dilakukan oleh Baruch (2018) yang menyatakan bahwa karpet memiliki kemampuan mereduksi kebisingan sebesar 1.5 – 11.5 dB, cukup tinggi dibandingkan penutup lantai lainnya seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.10.

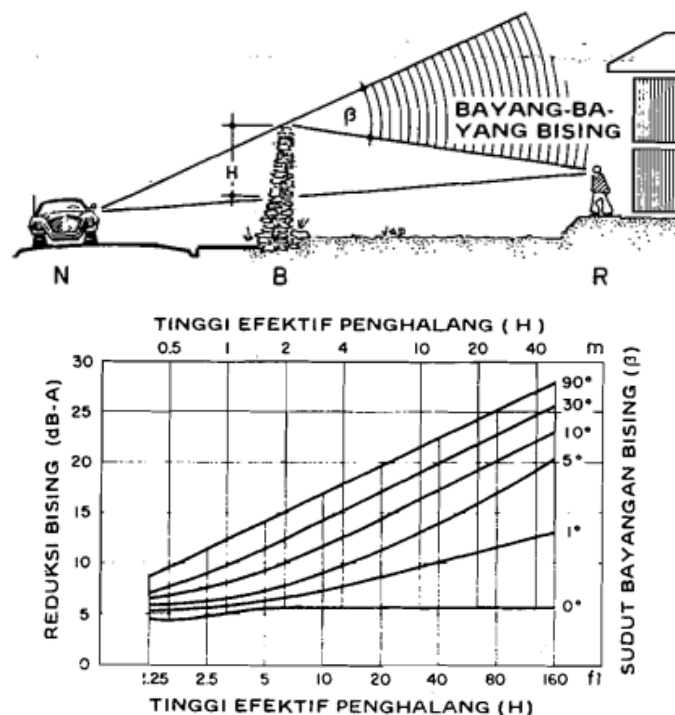


Gambar 2.10 Reduksi Kebisingan oleh Karpet di Semua Frekuensi dari Sumber Bising di Lantai (Baruch, 2018)

2.3.2 Penataan Layout Tapak

Pertumbuhan kota dan transportasi yang cepat, menyebabkan bising menjadi penting dalam lingkungan kota, perlunya peran serta dari masyarakat dan pemerintah setempat untuk mengatasi kebisingan dengan tata kota yang baik secara umum (Doelle, 1986). Penataan kota akan menyelesaikan permasalahan kebisingan skala luas (kota) dan penataan pada bangunan merupakan skala kecil. Menurut Satwiko (2009), terdapat beberapa strategi untuk menciptakan kualitas akustik yang baik dengan penanganan kebisingan dari luar bangunan dengan cara penataan layout dalam tapak.

- Memanfaatkan jarak karena tingkat bunyi akan semakin berkurang bila jarak semakin besar.
- Pengelompokan kegiatan atau *zoning* ruangan yang berpotensi bising maupun yang memerlukan ketenangan.
- Memberi tabir atau penghalang bunyi di dekat sumber bising, bisa dengan dinding atau tanaman. Penghalang akan efektif jika dekat dengan sumber bising seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Reduksi Bising oleh Penghalang yang Ditempatkan di Antara Sumber Bising dan Penerima (Doelle, 1986)

d. Menjauhkan bukaan (pintu dan jendela) dari sumber kebisingan.

2.3.3 Rancangan Arsitektur

Rancangan arsitektur atau desain yang baik dengan memperhatikan kebutuhan akan pengendalian bunyi adalah pendekatan yang baik dalam mengendalikan bising pada bangunan (Doelle, 1986). Kondisi tingkat tekanan bunyi yang terjadi pada apartemen tidak lepas dari bagaimana pengaruh desain dan elemen bangunan. Berikut beberapa faktor yang mempengaruhi performa akustik pada apartemen.

a. Dinding

Dinding adalah elemen tegak dalam bangunan. Elemen ini dapat berfungsi sebagai peredam ataupun pemantul bunyi, dan untuk mencegah suara merambat ke ruang sampingnya. Pada akustika ruang, kualitas akustik dinding dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti perletakan, berat dan kerapatan, material, juga permukaan dinding.

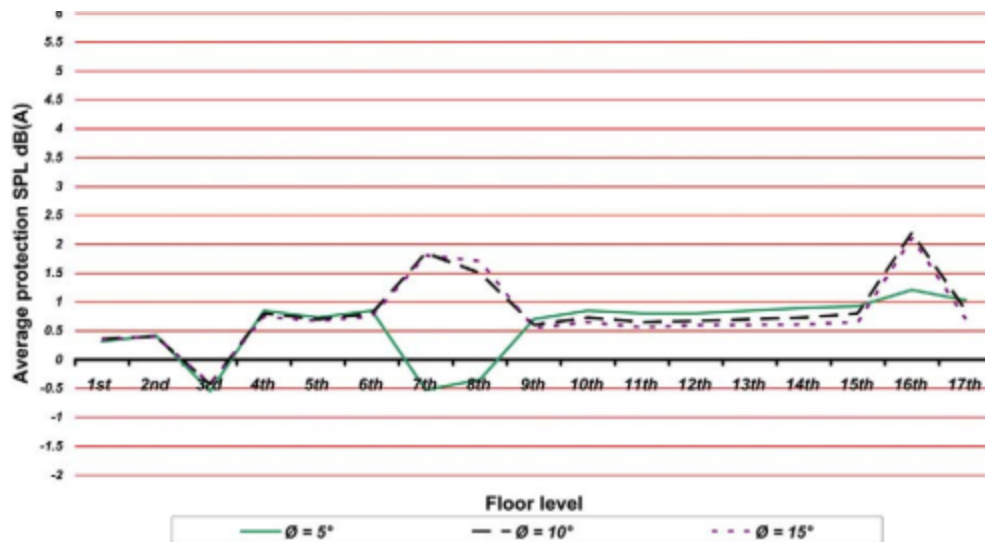
b. Penutup plafon dan lantai

Plafon dapat berfungsi sebagai peredam dan pemantul bunyi. Plafon yang berfungsi sebagai peredam biasanya dibuat tidak menempel pada struktur bangunan, atau biasa disebut plafon gantung. Sedangkan sebagai pemantul bunyi, plafon dapat diubah secara geometri seperti yang sering terlihat pada bangunan auditorium. Selain plafon, penutup lantai juga berperan besar pada perambatan bunyi untuk bangunan berlantai banyak. Untuk mengatasi perambatan bunyi yang berlebihan seperti dampak suara redaman, dapat digunakan insulasi seperti penggunaan penutup lantai vinyl ataupun karpet seperti pada penelitian Baruch (2018).

c. Ketinggian lantai

Perbedaan ketinggian lantai yang cukup signifikan dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan kebisingan (Mediastika, 2015). Menurut Doelle (1986), ketinggian lantai yang berbeda akan mempengaruhi perambatan bunyi sehingga berdampak pula pada perbedaan nilai tingkat tekanan bunyi dan *reverberation time* (RT) pada suatu bangunan. Dapat dilihat pada Gambar 2.12. hasil penelitian

El Dien (2014) tentang reduksi kebisingan menunjukkan nilai yang bervariasi pada setiap lantai yang berbeda.



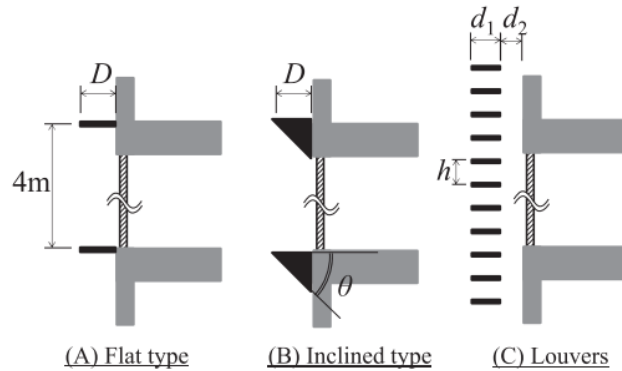
Gambar 2.12. Nilai Reduksi Kebisingan yang Berbeda pada Penambahan Jumlah Lantai (El Dien, 2004)

d. Jendela

Bukaan seperti jendela dapat mempermudah kebisingan masuk ke dalam ruangan secara *airborne transmission*. Diperlukan penanganan khusus seperti perletakaannya dan pemilihan material yang baik untuk mencegah hal tersebut. Penelitian tentang bukaan yaitu jendela pada apartemen dalam kaitannya mereduksi kebisingan pernah dilakukan oleh Kim (2005). Penelitian ini didasari atas permasalahan kebisingan pada hunian apartemen yang dekat dengan jalan raya dengan tingkat kebisingan 59.8 dB hingga 72.8 dB, yang seharusnya dapat diantisipasi dengan jendela balkon karena merupakan proporsi terbesar pada fasad. Hasil temuannya adalah keberadaan jendela pada balkon menciptakan *double window* yang dapat mengurangi tingkat kebisingan sebesar 27.7 dB hingga 36.2 dB dengan rata-rata keseluruhan 30 dB.

Penelitian lain dilakukan oleh Sakamoto (2015) tentang efek reduksi kebisingan dari 3 ragam lis yang dipasang pada fasad bangunan di sekitar jendela pada tingkat kebisingan area urban di Jepang yang mencapai 99.7 dB. Hasil penelitian menunjukkan lis tipe kedua yang dapat dilihat pada Gambar 2.13

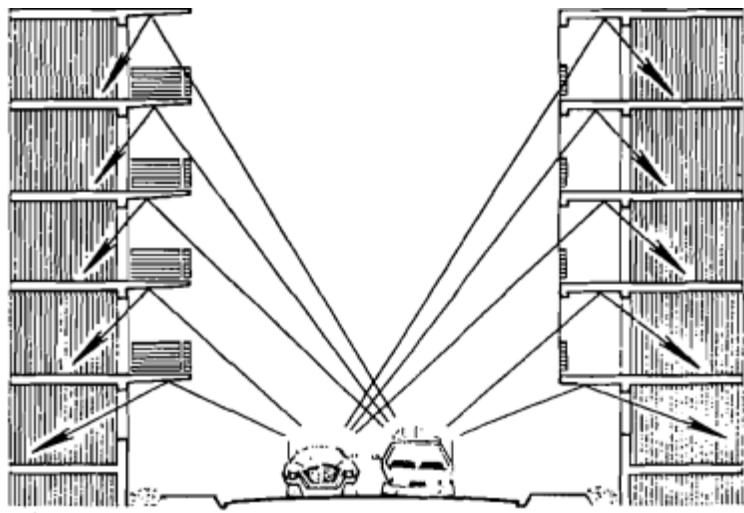
mampu mengurangi bising dari 10-15 dB. Kemiringan yang disarankan adalah antara 15° hingga 45° . Penerapan lis tipe flat/datar memang cukup baik sebagai shading namun kemampuan untuk mereduksi kebisingan sangat kecil, sedangkan lis tipe louvers/bersirip hanya efektif pada lantai yang tertinggi.



Gambar 2.13 Jenis Lis, Tipe Datar, Tipe Miring, dan Bersirip (Sakamoto, 2015)

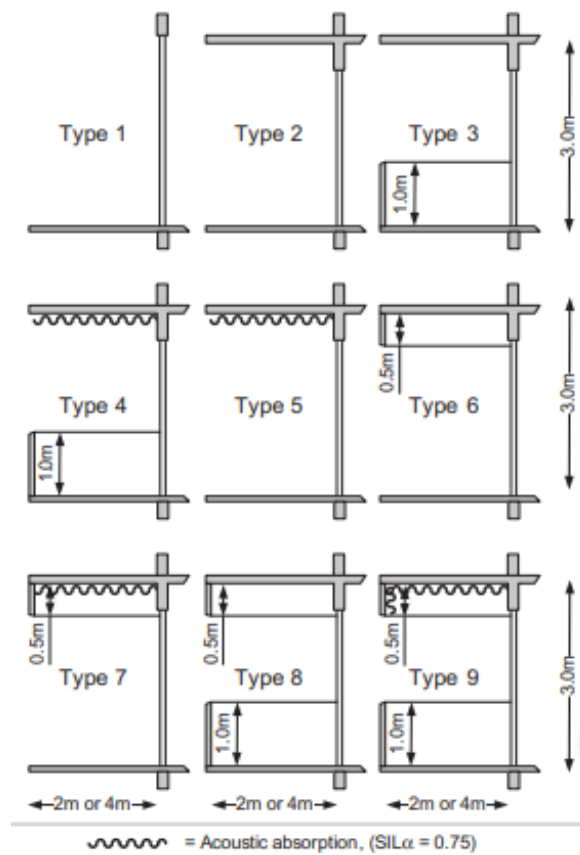
e. Balkon

Celah pada kontinuitas permukaan-permukaan gedung tidak akan banyak mempengaruhi tingkat bising yang ada di jalan. Balkon atau teras (pada bangunan) yang menghadap lalu-lintas yang bising dapat memantulkan bising jalan ke dalam ruang-ruang di bawahnya lewat pintu-pintu dan jendela terbuka (Doelle, 1986), seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Sisi Bawah Balkon yang Menghadap Lalu Lintas yang Bising Memantulkan Bising Tersebut ke Dalam Ruang di Bawahnya (Doelle, 1986)

Reduksi kebisingan lalu lintas dengan balkon juga dilakukan Lee (2007). Penelitian serupa tentang balkon menunjukkan hasil yang relatif sama, namun yang diukur bukan tingkat kebisingannya namun memprediksi *speech interference level* (SIL). Penelitian tersebut dilakukan Naish (2014) yang melakukan eksperimen 9 variasi desain balkon seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.15. SIL adalah besarnya sumber suara yang harus manusia tingkatkan agar terdengar jelas oleh penerima suara/manusia lainnya pada suatu background noise (dB) dalam jarak tertentu (m). Didapatkan hasil bahwa desain balkon dapat mengurangi SIL dan *sound pressure level*. Tipe yang paling efektif adalah 9. Namun pada simulasi keseluruhan tipe balkon, SIL dapat dikurangi rata-rata pada rentang 0 dB hingga 15 dB.



Gambar 2.15 Perbedaan Tipe Balkon (Naish, 2014)

g. Material

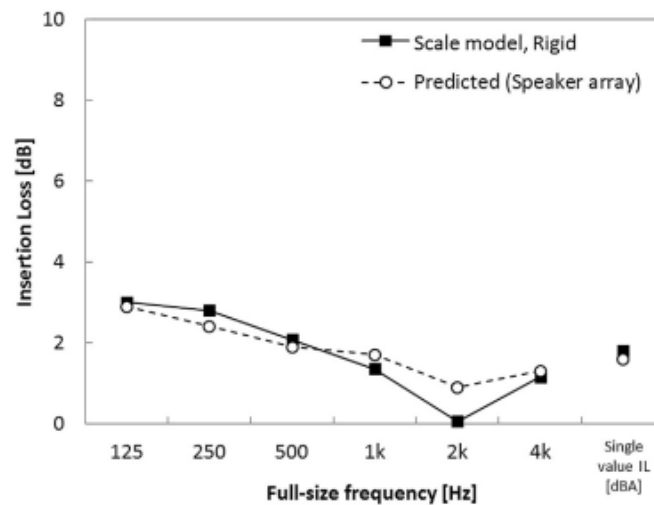
Material akustik adalah material teknik yang fungsi utamanya adalah untuk menyerap suara/bising. Material akustik adalah suatu bahan yang dapat

menyerap energi suara yang datang dari sumber suara. Pada dasarnya semua bahan dapat menyerap energi suara, namun besarnya energi yang diserap berbeda-beda untuk tiap bahan yang biasa disebut koefisien absorpsi. Setiap material juga memiliki kemampuan serap yang berbeda pada pita frekuensi tertentu. Contoh koefisien absorpsi pada material beton dapat dilihat pada Tabel 2.6. Material yang dimaksud pada koefisien absorpsi merupakan kondisi permukaannya, bukan elemen yang membentuk material tersebut. Peredam suara merupakan suatu hal penting didalam desain akustik, dan dapat diklasifikasikan menjadi 3 bagian, yaitu : (a) Material berpori (*porous materials*), (b) Membran penyerap (*panel absorbers*), c) Rongga penyerap (*cavity resonators*).

Tabel 2.6 Koefisiensi Serap Bunyi pada Material Beton (www.akustik.ua)

MATERIAL	THICKNESS	FREQUENCY Hz					
		125	250	500	1000	2000	4000
MASONRY WALLS							
Rough concrete		0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07
Smooth unpainted concrete		0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05
Smooth concrete, painted or glazed		0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Porous concrete blocks (no surface finish)		0,05	0,05	0,05	0,08	0,14	0,2
Clinker concrete (no surface finish)		0,10	0,20	0,40	0,60	0,50	0,60
Smooth brickwork with flush pointing		0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07
Smooth brickwork with flush pointing, painted		0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Standard brickwork		0,05	0,04	0,02	0,04	0,05	0,05
Brickwork, 10mm flush pointing		0,08	0,09	0,12	0,16	0,22	0,24
Lime cement plaster on masonry wall		0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Glaze plaster on masonry wall		0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Painted plaster surface on masonry wall		0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Plaster on masonry wall with wall paper on backing paper		0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08
Ceramic tiles with smooth surface		0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Breeze block		0,20	0,45	0,60	0,40	0,45	0,40
Plaster on solid wall		0,04	0,05	0,06	0,08	0,04	0,06
Plaster, lime or gypsum on solid backing		0,03	0,03	0,02	0,03	0,04	0,05

Namun, material absorpsi kurang begitu efektif jika hanya diaplikasikan begitu saja pada fasad bangunan. Seperti penelitian yang dilakukan Jang (2015) untuk mengetahui kemampuan berbagai material yang diaplikasikan pada fasad untuk mereduksi kebisingan apartemen. Perbedaan material fasad terletak pada perbedaan koefisien absorpsi yaitu menggunakan material aspal, kaca, batu bata dan fasad vegetasi.



Gambar 2.16. *Insertion Loss* atau reduksi kebisingan (dB) rentang 0 hingga 3 dB (Jang, 2015)



Gambar 2.17. Beton Pracetak (www.cpci.ca)

Pada penelitian tersebut belum melakukan kajian pada perbedaan ketebalan material. Material yang umum digunakan pada apartemen saat ini adalah beton precetak. Beton pracetak atau juga disebut beton fabrikasi dihasilkan dari proses produksi dimana lokasi pembuatannya berbeda dengan lokasi elemen yang akan digunakan. Penggunaan beton pracetak lebih efisien dan dapat mengurangi biaya konstruksi karena material ini cukup penting dalam menentukan besarnya biaya suatu proyek (Nugraha, 1985). Terdapat dua beton pracetak yang biasa digunakan yaitu beton dengan *finishing* cat/halus, dan tanpa *finishing*/kasar. Terdapat pula bangunan dengan beton yang finishingnya dilapisi dengan kayu lapis. Dari pembahasan sebelumnya telah diketahui bahwa penyerapan bunyi dipengaruhi oleh material permukaannya. Pada penelitian ini perlu dilihat bagaimana pengaruh material permukaan dinding dengan beton

pracetak yang halus, kasar, dan beton yang dilapisi oleh material lain seperti kayu lapis.

h. Fitur lainnya

Fitur lain yang dimaksud adalah perabot. Perabotan di dalam bangunan dapat menjadi penyerap atau pemantul bunyi dalam ruang. Hal ini dapat terjadi karena material yang berbeda tentu koefisien serapnya juga akan menyesuaikan. Selain material, luasan permukaan perabot tersebut juga mempengaruhi perambatan bunyi yang terjadi di dalam ruangan.

2.4 Bangunan Apartemen

2.4.1 Definisi Apartemen

Definisi apartemen menurut Neufert (1980) adalah bangunan hunian yang dipisahkan secara horisontal dan vertikal agar tersedia hunian yang berdiri sendiri dan mencakup bangunan bertingkat rendah atau bangunan tinggi, dilengkapi berbagai fasilitas yang sesuai dengan standar yang ditentukan.

2.4.2 Jenis Apartemen

Berdasarkan kategori jenisnya apartemen dibagi menjadi 4 (Akmal, 2007) yaitu:

a. High-rise Apartment

High-rise apartment, yaitu bangunan apartemen yang terdiri lebih dari sepuluh lantai. Dilengkapi area parkir bawah tanah, sistem keamanan dan servis penuh. Struktur apartemen lebih kompleks sehingga desain apartemen cenderung standard. Jenis ini banyak dibangun di pusat kota.

b. Mid-rise Apartment

Mid-Rise apartment, yaitu bangunan apartemen yang terdiri dari enam sampai dengan sepuluh lantai. Jenis apartemen ini lebih sering dibangun di kota satelit.

c. Walked-up Apartment

Walked-up apartment, yaitu apartemen yang terdiri atas tiga sampai dengan lima lantai. Apartemen ini kadang-kadang memiliki lift, tetapi bisa juga tidak. Jenis apartemen ini disukai oleh keluarga yang lebih besar (keluarga inti

ditambah orang tua). Gedung apartemen hanya terdiri atas 2 (dua) atau 3 (tiga) unit apartemen..

d. *Garden Apartment*

Garden Apartment yaitu bangunan apartemen 2 (dua) sampai 4 (empat) lantai. Apartemen memiliki halaman dan taman disekitar bangunan. Apartmen ini sangat cocok untuk keluarga inti yang memiliki anak kecil karena anak-anak dapat mudah mencapai ke taman.

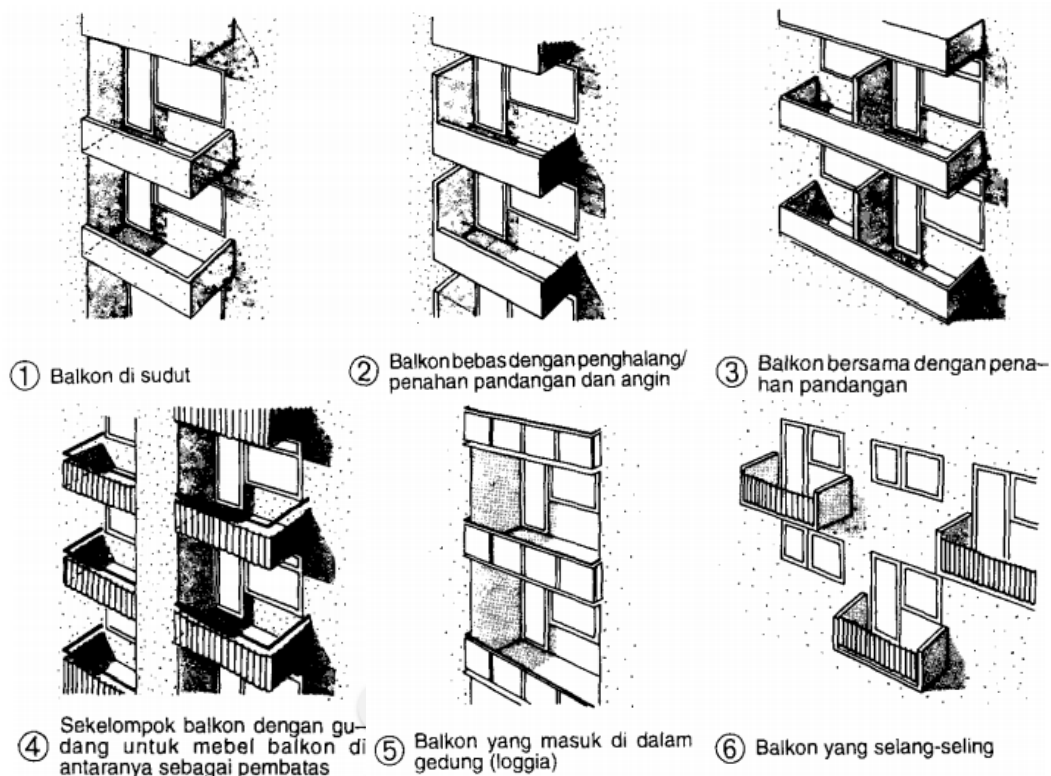
Berdasarkan tingkatannya, apartemen digolongkan menjadi empat (Savitri, 2007) yaitu: apartemen sederhana, apartemen menengah, apartemen mewah dan apartemen super mewah. Hal yang membedakan keempat tipe tersebut adalah fasilitas yang terdapat dalam apartemen tersebut. Semakin lengkap fasilitas dalam sebuah apartemen, maka semakin mewah apartemen tersebut. Pemilihan bahan bangunan dan system apartemen juga berpengaruh. Semakin baik kualitas material dan semakin banyak pelayanannya, semakin mewah apartemen tersebut. Seperti contohnya, keberadaan balkon yang hanya ada pada golongan apartemen menengah ke atas. Selain itu, apartemen yang digunakan sebagai objek pada penelitian ini merupakan apartemen *high-rise* untuk dapat diamati pengaruh ketinggiannya terhadap kebisingan lalu lintas yang ada. Kebanyakan apartemen saat ini menggunakan penamaan jumlah kamar tidur seperti 1 BR atau 2 BR, seperti yang terlihat pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18 Penamaan Tipe Unit Apartemen Sesuai dengan Luasan Lantai dan Jumlah Kamar Tidur (www.gunawangsa.co.id)

2.4.3 Balkon Apartemen

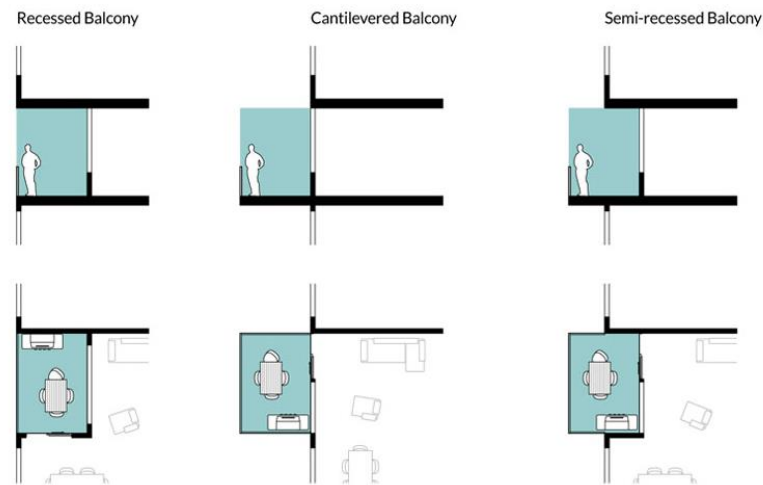
Penambahan nilai apartemen dicapai melalui penambahan balkon dan ruang terbuka. Balkon ditemui pada apartemen untuk tempat bersantai, berjemur, tidur-tiduran, membaca, dan makan supaya keleluasaan, ruangan terbuka mudah dicapai (Ernst, 1996). Jenis-jenis balkon yang umumnya terdapat pada bangunan dapat dilihat pada Gambar 2.19.



Gambar 2.19. Jenis-jenis Balkon (Ernst, 1996)

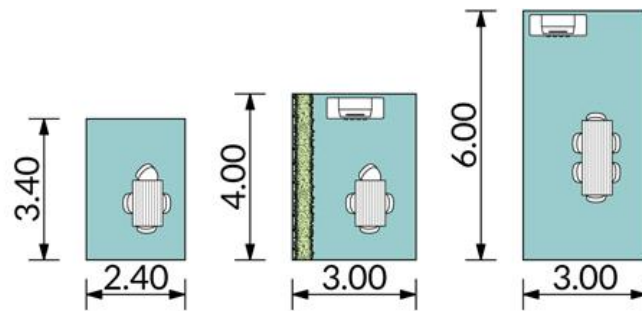
2.4.4 Desain Balkon Loggia

Loggia adalah salah satu jenis balkon yang juga biasa disebut *recessed balcony* atau balkon yang tersembunyi karena masuk ke dalam bagian bangunan. Pada balkon loggia, hanya ada satu sisi saja yang terbuka (Curl, 2006). Dapat dilihat perbedaan peletakannya dengan balkon lain di bangunan apartemen pada Gambar 2.20.



Gambar 2.20 Perbedaan Posisi Peletakan Balkon (aucklanddesignmanual.co.nz, 2018)

Pada umumnya untuk perbandingan proporsi lebar dan panjang balkon bisa bervariasi, dari 1:3, 3:4 atau 1:2 yang bisa dilihat pada Gambar 2.21. Namun pada kenyataannya di bangunan apartemen Indonesia lebih bervariasi dan tidak mengikuti proporsi ini. Tidak hanya dimensi, namun material pada setiap sisi ruang balkon menjadi hal yang penting dalam mendesain balkon.

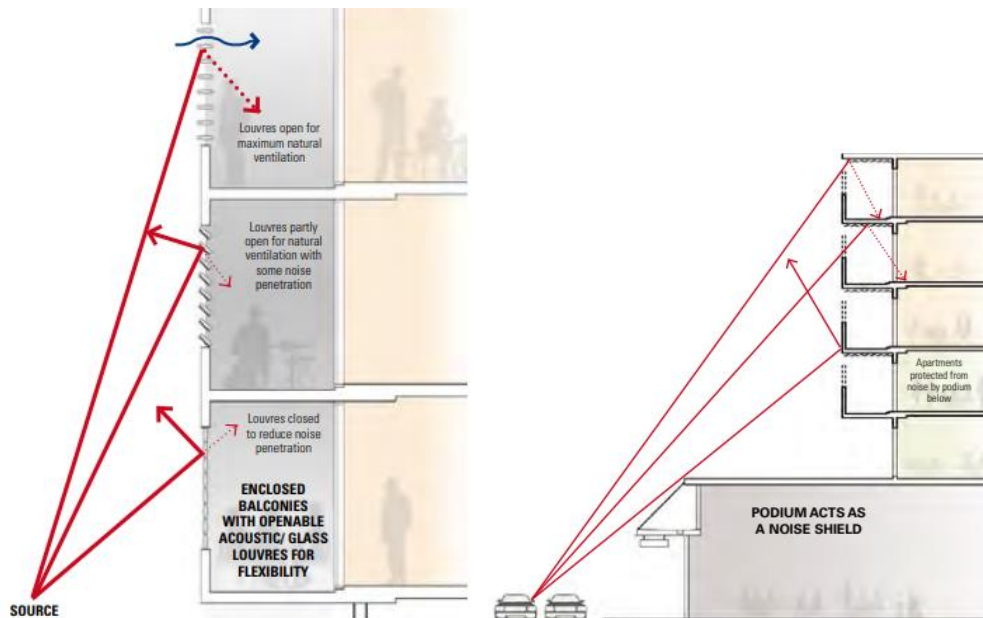


Gambar 2.21. Proporsi Balkon (aucklanddesignmanual.co.nz, 2018)

Berdasarkan hal tersebut, maka terdapat beberapa hal yang menjadi pertimbangan dalam mendesain balkon loggia. Pada penelitian ini, elemen desain yang akan diperhatikan adalah dimensi balkon, ketinggian balkon dari lantai ke plafon, serta material yang digunakan pada dinding, lantai, plafon, dan parapet pada balkon.

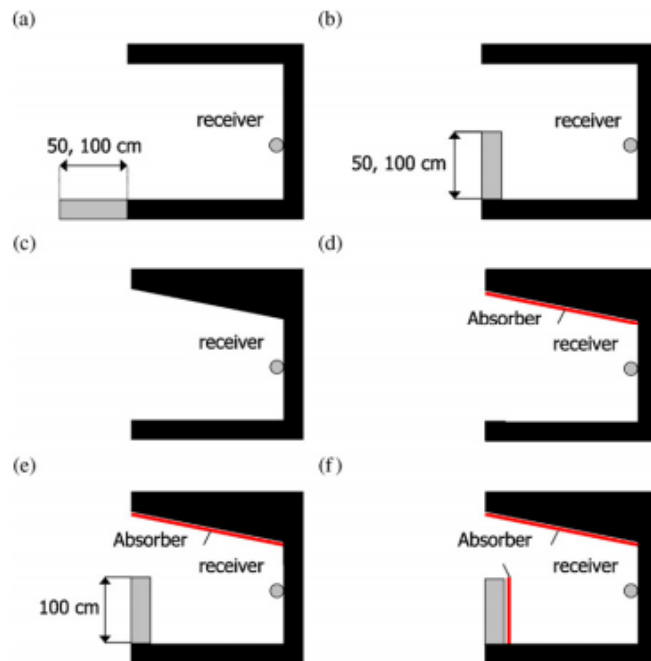
2.4.5 Kinerja Balkon Apartemen dalam Mereduksi Kebisingan

Pengendalian bising di apartemen secara umum dapat dilakukan dengan dua cara. Cara yang dilakukan The Department of Planning & Environment, New South Wales yaitu dengan memodifikasi elemen balkon dan akan lebih efektif jika memberi penghalang berupa podium. Kebisingan dari lalu lintas dapat direduksi dari elemen fasad bangunan, dengan elemen balkon paling banyak diteliti tentang pengaruhnya untuk mereduksi kebisingan. karena sumber bising yang masuk ke dalam ruangan apartemen tentu saja melewati bukaan yang salah satunya berada pada balkon, yang dapat dilihat pada Gambar 2.22.



Gambar 2.22. Pengendalian Kebisingan pada Apartemen (The Department of Planning & Environment, 2018)

Beberapa strategi dilakukan misalnya pada penelitian Kim (2005) yang mengukur pengaruh *double window* yang mampu mereduksi kebisingan rata-rata 30 dB. Penelitian lain dari Naish (2014) dan Lee (2007) tentang konfigurasi perbedaan balkon menunjukkan bahwa balkon memiliki kemampuan untuk merefleksikan dan mereduksi kebisingan dengan baik.



Gambar 2.23. Perbedaan Konfigurasi Balkon (Lee, 2007)

Dapat dilihat pada Gambar 2.23, kebisingan di apartemen mencapai 65 dB yang tidak begitu berbeda pada tiap lantai (Lee, 2017). Dengan konfigurasi balkon yang menggunakan parapet dan absorber seperti pada konfigurasi (f), kebisingan dapat direduksi paling optimal sebesar 23 dB, dan dapat diaplikasikan di eksterior walaupun tidak adanya *barrier* tinggi yang dibangun di luar bangunan.

2.5 Sintesis Kajian Pustaka

Penelitian ini berfokus pada teori pengendalian kebisingan melalui balkon apartemen. Hasil telaah kajian pustaka diperoleh bahwa teori pengendalian kebisingan dalam suatu lingkungan akustik dilakukan dengan menjauhkan kebisingan yang bisa dilakukan dengan cara memperpanjang jarak antara sumber dengan penerima. Ini berarti sumber akan dijauhkan dari penerima, dengan kata lain gelombang bunyi yang tidak diinginkan, yaitu kebisingan harus lebih diperpanjang perambatannya. Penanganan kebisingan dengan memperpanjang perambatan gelombang bunyi dapat dilakukan dengan beberapa cara, diantaranya optimasi penanganan bising di luar bangunan dan di bagian elemen bangunan

apartemen itu sendiri baik secara *airborne* maupun *structureborne* sesuai dengan karakteristik kebisingan yang terjadi di siang dan malam.

Untuk penanganan bising dari luar bangunan dapat dilakukan dengan meredam kebisingan atau menerapkan *barrier* seperti dinding dan elemen vegetasi yang diletakkan pada sisi jalan yang menjadi sumber kebisingan. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Samodra (2017) tentang penerapan *site barrier* sebagai pengontrol perambatan bunyi yang mampu mereduksi kebisingan hingga 25 dB.

Pemerintah menetapkan aturan mengenai pembagian kelas jalan yang secara tidak langsung membatasi kebisingan pada jalan raya. Dari beberapa penjelasan tentang kelas jalan dapat disimpulkan bahwa semakin cepat laju kendaraan maka semakin tinggi tingkat kebisingan pada kendaraan tersebut. Semakin tinggi rasio kendaraan roda 2 dibanding 4 juga akan menyebabkan tingginya kebisingan pada ruas jalan raya, seperti pada Kelas Jalan III B dibandingkan kelas jalan yang lain.

Seperti yang diutarakan Sakamoto (2015) pada penelitian tentang kebisingan jalan raya, bahwa karakteristik kebisingan jalan raya sebenarnya kompleks, tidak hanya mencakup rasio ruas jalan dan jenis kendaraan, tapi bagaimana perilaku bising kendaraan tersebut yang berbeda-beda, seperti pada kondisi lalu lintas *steady* maupun *non-steady*, kendaraan melambatkan atau mempercepat lajunya di jalan yang lurus ataupun belokan. Bahkan kebisingan lalu lintas dapat dipengaruhi juga pada kondisi iklim setempat seperti suhu dan kecepatan angin.

Dari hal-hal tersebut dapat kita asumsikan bahwa, belum tentu konfigurasi bentuk dan lantai balkon yang diaplikasikan saat ini baik untuk mereduksi kebisingan. Tren apartemen terutama di Surabaya saat ini lebih banyak menerapkan balkon yang masuk ke dalam bangunan yaitu balkon *loggia* sehingga seakan tercipta lubang-lubang balkon pada fasad bangunan. Terdapat penelitian oleh Samodra (2018) tentang pengaruh rasio jendela dan dinding (WWR) untuk mencegah masuknya bunyi yang tidak dikehendaki dalam bangunan yang menghasilkan nilai batas 3.24%, dan kriteria ini untuk kondisi jarak rata-rata 8

meter. Namun belum banyak penelitian tentang bagaimana pengaruh rasio luasan lubang balkon dan dimensi lantai balkon dalam kaitannya mereduksi kebisingan.

Dengan modifikasi rasio luasan bukaan balkon dan dinding, tentu saja akan memperpanjang perambatan gelombang bunyi yang diharapkan dapat mereduksi kebisingan dari jalan raya di lingkungan apartemen. Dari penelitian terbaru sebelumnya tentang balkon terkait kemampuannya mereduksi kebisingan, belum ada yang membahas tentang pengaruh luasan bukaan balkon loggia, dengan karakteristik kebisingan yang akumulatif pada waktu yang berbeda. Hal ini akan dibandingkan juga dengan standar tingkat kebisingan. Untuk batas maksimum kebisingan siang hari yaitu 35 dB dan malam 30 dB yang disyaratkan oleh WHO (Berglund, 2000).

Penelitian ini bertujuan menemukan konfigurasi desain balkon loggia yang mampu mengendalikan kebisingan dari luar bangunan khususnya lalu lintas. Kinerja balkon tersebut dievaluasi berdasarkan desain balkon yang terdiri WWR, dimensi balkon, material fasad, dan jarak/ketinggian apartemen. Perubahan yang akan terjadi pada aspek desain tersebut akan mempengaruhi tingkat tekanan bunyi yang berada pada balkon dan unit apartemen. Perbedaan waktu siang dan malam perlu diperhatikan juga karena *noise criteria* akan berbeda. Angin juga berpengaruh, namun hanya dilihat angin pada waktu tertentu selama 24 jam. Hal-hal yang tersebut menjadi variabel penelitian yang diharapkan dapat menjawab tujuan penelitian untuk mengevaluasi kinerja balkon loggia dalam mereduksi kebisingan.

2.6 State of the Art

Penelitian ini berada dalam lingkup penelitian arsitektur lingkungan dengan fokus akustik. Penelitian ini menawarkan konsep pengendalian kebisingan pada apartemen dengan desain balkon loggia. Penelitian ini berkonsentrasi pada arsitektur kontemporer di kawasan padat Surabaya. Tabel 2.7 menunjukkan aspek lingkungan yang diteliti adalah bidang akustik dengan cakupan bangunan apartemen dengan sistem penanganan kebisingan secara pasif dari balkon dan material fasad.

Tabel 2.7. Posisi penelitian pada *road map* Lab. Sains Arsitektur dan Teknologi

No.	Spesifikasi	Lingkup								
		A		B			C	D	E	F
		Permuki- man/urban	Bangunan			Interior	Material& teknologi	Sistem/meto de/standar	Integrasi/ optimasi	
l	m	h								
1	Termal	p								
		a								
2	Penghawaan	p								
		a								
3	Pencahayaan	p								
		a								
4	Akustik	p			X		X			
		a								
5	Energi	p								
		a								
6	Ekologi									

Keterangan:

p = *passive system*; a = *active system*

l = *low-rise building*; m = *middle-rise building*; h = *high-rise building*

Studi terdahulu mengenai penanganan kebisingan dari luar apartemen, telah dirangkum pada Tabel 2.8. Beberapa peneliti seperti Kim (2005) dan Sakamoto (2015) berkonsentrasi pada bukaan, yaitu jendela, sedangkan Jang (2015) berkonsentrasi pada material fasad. peneliti lainnya mempelajari strategi penanganan kebisingan dari luar apartemen melalui balkon. Pada penelitian Lee (2007), dengan konfigurasi balkon yang menggunakan parapet dan material *absorber*, kebisingan dapat direduksi sebesar 23 dB, dan dapat diaplikasikan di eksterior walaupun tidak adanya *barrier* tinggi yang dibangun di luar bangunan.

Jika peneliti lainnya membahas seberapa besar reduksi kebisingan saja, Naish (2014) melakukan eksperimen 9 variasi desain balkon. Hasil yang didapatkan adalah desain balkon dapat mengurangi SIL dan *sound pressure level*, namun pada simulasi keseluruhan tipe balkon, SIL dapat dikurangi rata-rata pada rentang 0 dB hingga 15 dB. Studi-studi sebelumnya tersebut memiliki objek penelitian dan konteks lokasi yang berbeda dengan penelitian ini. Penelitian ini juga berfokus tidak hanya pada perbedaan konfigurasi balkon, namun lebih pada elemen desain seperti WWR, kedalaman balkon, material fasad dan jarak/ketinggian apartemen.

Tabel 2.8. Perbandingan studi terdahulu dalam penanganan kebisingan apartemen

Sumber	Objek Penelitian	Aspek yang diteliti		Reduksi Kebisingan	Aspek Utama yang Berpengaruh
		Variabel Bebas	Variabel Terikat		
Kim (2005)	Jendela	Luasan jendela di 9 apartemen	Tingkat tekanan bunyi, <i>sound insulation</i>	27.7 – 36.2 dB Rata-rata 30 dB	Luas jendela dan material frame jendela sebagai insulasi
Lee (2007)	Balkon	6 konfigurasi balkon	Tingkat tekanan bunyi	23 dB	Elemen absorber dan parapet
Naish (2014)	Balkon	9 perbedaan tipe balkon	Speech Interference level (SIL)	Hanya disebutkan SIL dapat dikurangi dari 0 – 15 dB	Absorber dan konfigurasi elemen balkon
Sakamoto (2015)	Lis Jendela	3 tipe lis jendela	Tingkat tekanan bunyi, <i>insertion loss</i>	10 – 15 dB	Kemiringan lis jendela
Jang (2015)	Material fasad	4 material fasad	Tingkat tekanan bunyi, frekuensi	0 – 3 dB	Karakteristik / jenis vegetasi
Penelitian ini	Balkon loggia	Elemen desain (WWR, kedalaman balkon, material fasad, ketinggian)	Tingkat tekanan bunyi	-	-

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Paradigma Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan konsep desain balkon loggia sebagai *barrier* untuk mengurangi tingkat kebisingan pada ruangan apartemen akibat kebisingan dari lalu lintas jalan raya. Desain balkon loggia, yaitu elemen-elemen desain yang membentuk ruang balkon loggia dan berpengaruh pada akustik. Elemen desain yang dilihat pengaruhnya adalah rasio luas bukaan balkon terhadap luasan dinding (WWR), kedalaman balkon, material fasad apartemen, jarak/ketinggian apartemen. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh angin terhadap meningkatnya ataupun berkurangnya tingkat kebisingan jalan raya di balkon apartemen yang bersifat akumulatif. Hal lain yang dianalisis yaitu pengaruh angin terhadap kebisingan pada rancangan eksperimen yang diteliti.

Pada penelitian ini pencapaian kenyamanan akustik sangat penting demi terpenuhinya fungsi apartemen sebagai sebuah hunian. Aktivitas beristirahat dan berkumpul memerlukan kenyamanan akustik yang cukup, maka dari itu diperlukan solusi yang tepat pada elemen yang terkait dalam mengatasi kebisingan yang diakibatkan oleh lalu lintas jalan raya.

Berdasarkan tujuan penelitian, paradigma *positivism* digunakan pada penelitian ini dimana paradigma ini membahas mengenai hubungan di antara dua hal yang saling berkaitan berdasarkan dari fakta yang ada. Groat dan Wang (2002) menyatakan bahwa pada paradigma ini terdapat validasi internal dan validasi eksternal yang memiliki sifat objektif. Pengujian validitas internal dilakukan dengan cara memodifikasi nilai-nilai pada variabel. Validitas eksternal dilakukan dengan generalisasi terhadap proses dan hasil penelitian sehingga potensi yang terdapat pada penelitian ini dapat mudah untuk dipahami dan diaplikasikan. Penelitian ini memiliki karakteristik realitas tunggal yang diketahui secara jelas atau pasti di mana faktor subjektivitas peneliti tidak terlibat pada proses eksperimen.

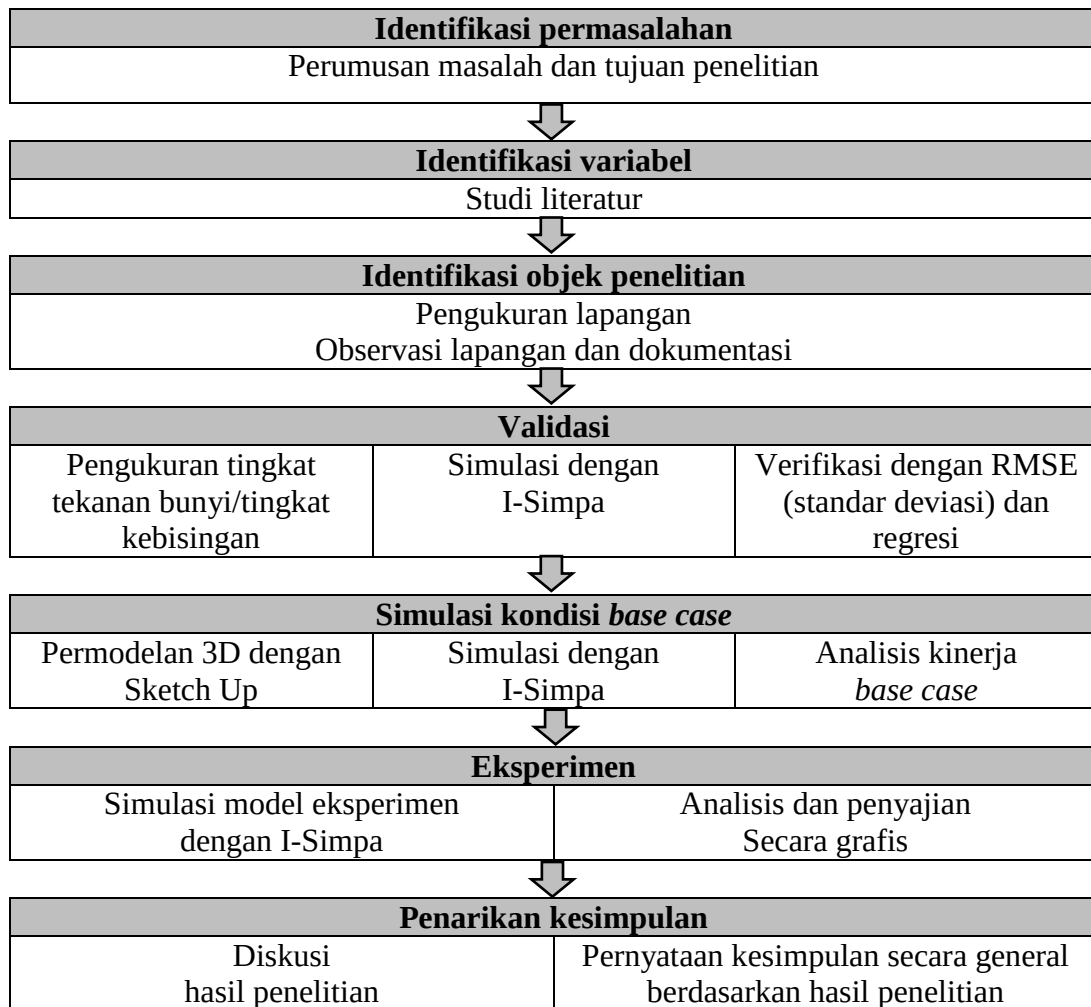
Hubungan sebab akibat dilakukan dengan proses deduksi untuk mencapai objektivitas penelitian. Selain itu, dalam penelitian ini terdapat parameter sebagai tolak ukur terhadap variabel terikat, berupa realitas tingkat tekanan bunyi (SPL) atau tingkat kebisingan pada balkon apartemen sebagai penerima dan sumber bunyi yaitu jalan raya dalam satuan *decibel* (dB) yang dilihat juga pengaruh angin terhadap tingkat kebisingan yang terjadi. Penelitian ini bersifat kuantitatif dimana hasil penelitian mengacu pada modifikasi angka nilai dari hasil pengukuran dan hasil simulasi.

3.2 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen dengan bantuan simulasi. Secara umum metode ini bertujuan untuk menjelaskan hubungan sebab akibat, serta melihat pengaruh dari variabel-variabel yang diteliti dan melakukan kontrol terhadap variabel tersebut (Groat dan Wang, 2002). Pada penelitian ini metode eksperimen penting karena elemen desain balkon loggia menetapkan hubungan sebab akibat yang terjadi pada kondisi akustik berdasarkan variasi WWR, kedalaman balkon, karakteristik material fasad, serta jarak/ketinggian terhadap tingkat tekanan bunyi dan reduksi kebisingan. Taktik penelitian ini dibagi sesuai tahapan penelitian seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.1. Tahapan penelitian meliputi proses identifikasi, validasi, simulasi, eksperimen dan penarikan kesimpulan.

Tahapan identifikasi dibagi menjadi tiga bagian. Identifikasi permasalahan dilakukan dengan memperhatikan fenomena dan fakta yang terjadi. Identifikasi variabel penelitian dilakukan dengan studi literatur. Identifikasi sampel penelitian untuk mengumpulkan data terkait objek penelitian, dilakukan dengan observasi lapangan dan dipilih sampel yang memenuhi kriteria penelitian. Data yang didapatkan digunakan untuk *input* simulasi. Menurut Groat dan Wang (2002), kelebihan metode simulasi adalah dapat menjadi taktik untuk strategi penelitian lainnya, dalam hal ini taktik untuk melakukan eksperimen. Kelemahannya, model mengalami simplifikasi yang tidak sama persis dengan objek aslinya, sehingga perlunya melakukan validasi terhadap hasil simulasi untuk menentukan simulasi dapat digunakan atau tidak.

Tahap validasi dilakukan untuk membandingkan kesesuaian hasil simulasi dengan keadaan sesungguhnya. Metode untuk mengetahui kesesuaian hasil simulasi dan pengukuran lapangan dapat dilakukan dengan analisis regresi dan mencari nilai standar deviasi. Nilai standar deviasi didapatkan dengan menggunakan Root Mean Square Error (RMSE) dengan uji selang kepercayaan 95%. Metode validasi ini pernah dilakukan juga oleh Yu (2018). Tahap selanjutnya adalah simulasi konsisi *base case* untuk menjadi parameter yang kemudian dilakukan eksperimen dengan program simulasi. Hasil yang didapatkan kemudian didiskusikan kembali dengan teori dan studi dari penelitian sebelumnya untuk mendapatkan kesimpulan akhir.



Gambar 3.1. Diagram Taktik Tahapan Penelitian

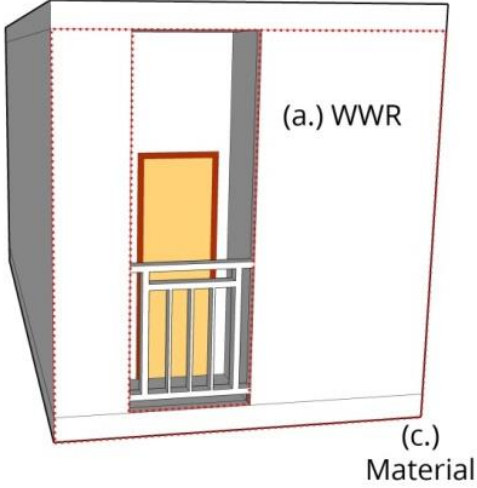
3.3 Identifikasi Variabel Penelitian

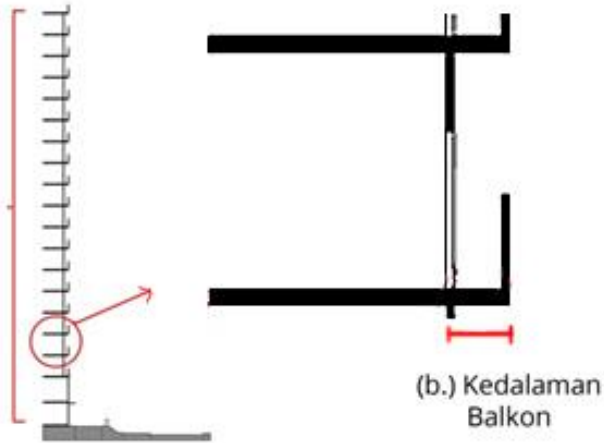
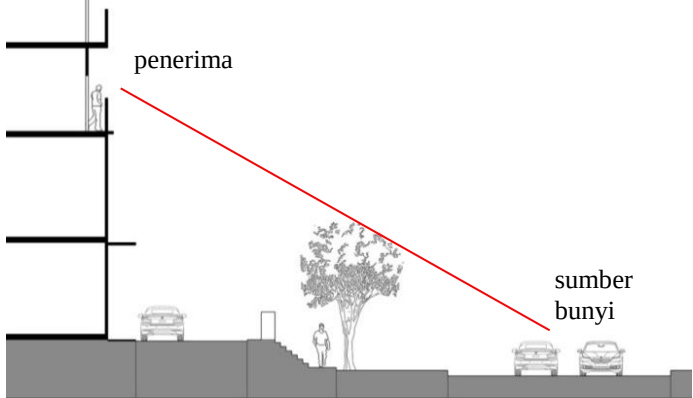
Penentuan variabel penelitian didasarkan dan disesuaikan dengan pertanyaan dan tujuan penelitian. Secara garis besar, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi pengaruh desain balkon loggia terhadap kondisi akustik yang terjadi. Pada penelitian ini terdapat beberapa variabel yang dikelompokkan menjadi tiga, di antaranya yaitu variabel bebas, variabel terikat dan variabel kontrol. Penjelasan ketiga variabel penelitian tersebut dijelaskan sebagai berikut:

a. Variabel bebas

Variabel bebas adalah kondisi ataupun karakteristik yang dimanipulasi/diubah-ubah dalam penelitian ini. Variabel ini yang menentukan hasil dari variabel terikat. Pada penelitian ini, variabel bebas yang dimaksud adalah elemen-elemen desain pada balkon loggia di apartemen yang terdiri. Variabel bebas penelitian dan definisi operasional dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Variabel bebas pada penelitian ini

Variabel bebas	Definisi Operasional	Satuan
a. Ukuran bukaan (lubang) fasad	Luas bukaan adalah panjang x lebar bukaan (lubang) fasad pada balkon. Ukuran tersebut digunakan untuk menentukan nilai aspek rasio bukaan balkon/WWR (%) dari perbandingan ukuran luas bukaan (lubang) pada fasad balkon (m^2) dan luas keseluruhan dinding pada tiap unit perlantainya (m^2).  The diagram illustrates a 3D perspective of a balcony facade. A yellow rectangular area represents the window opening, labeled '(a.) WWR'. The surrounding grey area represents the wall material, labeled '(c.) Material'. Dashed red lines indicate the dimensions of the window opening.	m^2

Variabel bebas	Definisi Operasional	Satuan
b. Kedalaman balkon loggia	Jarak antara tepi terluar balkon ke dinding luar unit kamar apartemen. 	meter
c. Material fasad	Lapisan terluar yang diterapkan pada dinding balkon, yang memiliki koefisiensi absorpsi yang berbeda-beda sesuai dengan pita frekuensi.	-
d. Jarak	Jarak diagonal dari titik sumber (kebisingan lalu lintas) di jalan raya ke sejumlah titik penerima (balkon) di bangunan apartemen. Nilai jarak dari jalan raya ke balkon juga akan bertambah sesuai dengan penambahan ketinggian di setiap lantai yang berbeda. 	meter
e. Nilai TTB terhadap Waktu	Tingkat kebisingan (TTB) yang berbeda pada siang (L_s) dan malam (L_m), sebagai sumber bunyi yang mempengaruhi variabel terikat.	dB
f. Angin	Kecepatan dan arah angin yang terjadi di lingkungan apartemen pada waktu tertentu. Pada penelitian ini digunakan data angin di <i>rooftop</i> pada 17-18 November 2018 dari hasil pengukuran yang dilakukan oleh Arsitektur ITS.	m/s

b. Variabel terikat

Merupakan hasil eksperimen yang dipengaruhi variabel bebas. Variabel bebas pada penelitian ini berupa parameter kualitas akustik yang dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Variabel terikat pada penelitian ini

Variabel terikat	Definisi Operasional	Satuan
Tingkat kebisingan atau tingkat tekanan bunyi (TTB)	Nilai tingkat tekanan bunyi pada suatu titik pengukuran, yang dipengaruhi oleh sumber kebisingan pada tiap pita frekuensi (Hz) yang berbeda.	dB
Reduksi Kebisingan	Nilai yang diperoleh dari selisih tingkat kebisingan pada <i>base case</i> dengan hasil simulasi rancangan eksperimen. Reduksi kebisingan menunjukkan adanya perbedaan propagasi bunyi yang dipengaruhi oleh elemen desain dan angin.	dB

c. Variabel kontrol:

Variabel kontrol merupakan variabel yang menjadi kendali. Variabel inilah yang menyebabkan hubungan di antara variabel bebas dan juga variabel terikat bisa tetap konstan yang terdiri dari:

- elemen desain yang tetap yaitu tinggi tiap balkon dari lantai ke plafon dan bentuk pagar balkon.
- pintu kaca yang menghubungkan ruang apartemen dan balkon dalam keadaan terbuka saat pengukuran dan simulasi tetap sama, termasuk keberadaan material pagar balkon yaitu besi *hollow* dimensi 1x1 cm.
- pohon eksisting tidak tinggi sehingga tidak menjadi barrier bunyi.
- faktor lain yang mempengaruhi propagasi bunyi seperti suhu, kelembapan dan kepadatan lingkungan.

3.4 Objek Penelitian

Pada penelitian ini, dicari objek apartemen yang memiliki balkon yang dianggap sebagai *trend* atau yang paling banyak digunakan di Surabaya,

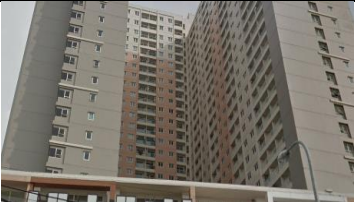
kemudian dipilih kembali berdasarkan tipe dan kelas jalan karena menyangkut juga dengan tingkat kebisingan.

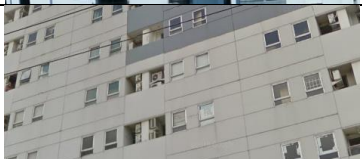
3.4.1 Populasi

Populasi pada penelitian ini yaitu bangunan apartemen *high rise building* dengan ketinggian di atas 12 lantai. Pemilihan objek apartemen bangunan tinggi memudahkan untuk melihat pengaruh kebisingan terhadap perbedaan jarak tiap lantai. Berikut merupakan daftar apartemen bertingkat tinggi di Surabaya, yang diurutkan berdasarkan keseluruhan jumlah lantai, dengan jenis balkon yang digunakan berdasarkan pengamatan pada fasad apartemen, yang dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Pengamatan Balkon pada Fasad Apartemen

No	Nama Apartemen	Jml. Lantai	Foto Fasad	Jenis Balkon					
				1	2	3	4	5	6
1	Apartemen Adhiwangsa	42						X	
2	Apartemen Ciputra World	40						X	
3	Apartemen Waterplace Ascot	38			X	X			
4	Marvell City Office Apartment	36		Tanpa balkon					

No	Nama Apartemen	Jml. Lantai	Foto Fasad	Jenis Balkon					
				1	2	3	4	5	6
5	Tamansari Papilio Apartment	33						X	
6	Pakuwon City CBD Apartment	33						X	
7	Apartemen Beverly Park	32		Tanpa balkon					
8	Apartemen The Trillium	32						X	
9	Puri Matahari Apartment	30		Tanpa balkon					
10	Apartemen Puncak Bukit Golf I-II	30						X	
11	Bale Hinggil Apartment	30						X	
12	Apartemen UC Berkeley	26						X	X
13	Dian Regency Apartement	23		Tanpa balkon					

No	Nama Apartemen	Jml. Lantai	Foto Fasad	Jenis Balkon					
				1	2	3	4	5	6
14	Apartemen Puncak Kertajaya	20						X	
15	Apartemen Gunawangsa Manyar	20						X	
16	Metropolis Apartment Tower	20		X					
17	Graha Family Apartment	18			X				
18	Puncak Permai Apartment	18						X	
19	Apartment The Square	17		Tanpa balkon					
20	Apartemen Purimas	15						X	
21	Apartemen High Point	15		X					
22	Apartemen Menara Rungkut	15		Tanpa balkon					

No	Nama Apartemen	Jml. Lantai	Foto Fasad	Jenis Balkon					
				1	2	3	4	5	6
23	Sumatra 36 Apartment	12				X			
24	Sejahtera Family Apartment	12						X	

Keterangan:

1 = balkon di sudut

2 = balkon dengan penghalang

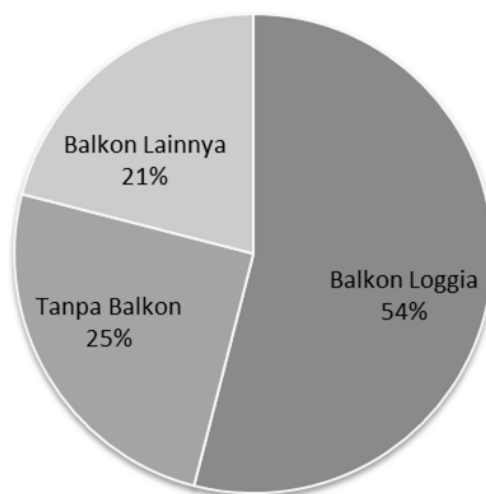
3 = balkon bersama

4 = balkon dengan gudang

5 = balkon loggia

6 = balkon selang-seling

Dari pengamatan fasad 24 apartemen *high-rise* atau apartemen dengan lebih dari 12 lantai, didapatkan kesimpulan bahwa apartemen *high-rise* di Surabaya terdapat balkon dengan jenis nomor 5 sebanyak 13 apartemen (54%), dan terbesar kedua adalah apartemen tanpa balkon dengan jumlah 6 apartemen (25%), dan sisanya (21%) berupa balkon dengan konfigurasi yang berbeda-beda, yang persentasenya dapat dilihat pada Gambar 3.2. Itu berarti, balkon yang masuk ke dalam bangunan apartemen (loggia) masih merupakan *trend* balkon di Surabaya untuk bangunan tinggi saat ini.



Gambar 3.2. Persentase balkon loggia di apartemen *high-rise* Surabaya paling besar

Apartemen yang memiliki balkon menjadi *trend* karena lebih memberikan keuntungan investasi yang lebih daripada apartemen tanpa balkon (Gunawan, 2017). Loggia banyak diaplikasikan atas pertimbangan iklim karena lebih sedikit terkena paparan matahari maupun hujan daripada balkon yang berada di luar bangunan. Selain itu, dari segi konstruksi tentu lebih mudah diaplikasikan dan lebih ekonomis.

3.4.2 Sampel Penelitian

Pada penelitian ini untuk menemukan subjek penelitian dan penetapan model menggunakan cara pengambilan sampel. Sampel dilakukan dengan cara mengambil subjek bukan didasarkan strata, secara acak ataupun daerah melainkan didasarkan adanya tujuan tertentu. Pengambilan sampel harus didasarkan kepada sifat-sifat atau karakteristik tertentu, yang merupakan ciri pokok populasi Subjek yang diambil sebagai sampel merupakan subjek yang paling banyak mengandung ciri-ciri yang terdapat pada populasi. Berikut syarat-syarat yang harus dipenuhi untuk menentukan sampel penelitian:

- a. Pada penelitian ini bangunan yang dipilih merupakan bangunan apartemen bertingkat tinggi di atas 12 lantai yang memiliki balkon tipe loggia, untuk melihat pengaruh ketinggian terhadap tekanan bunyi.
- b. Pada penelitian ini subjek yang dipilih harus terletak pada kelas jalan yang paling ramai, misalnya saja kelas jalan III B. Subjek yang berada pada kelas jalan III C yang relatif tidak bising sebaiknya tidak dipilih karena kurang sesuai dengan tujuan penelitian.
- c. Balkon pada apartemen sebaiknya berada pada unit apartemen yang tidak memiliki bukaan lain di dinding atau seperti pada unit tipe studio yang bukaanya hanya ada satu di area balkon saja, tanpa tambahan jendela di dinding lainnya. Hal ini untuk memperlihatkan pengaruh balkon, tanpa melibatkan bukaan lain yang berpengaruh pada hasil eksperimen.
- d. Letak balkon pada penelitian ini dipilih yang menghadap langsung ke arah jalan raya yang merupakan sumber kebisingan.

Tabel 3.4. Panjang Jalan dalam Kondisi Baik Kota Surabaya

Kecamatan	2015		2016	
	Panjang jalan dalam kondisi baik (m')	Panjang seluruh jalan (m')	Panjang jalan dalam kondisi baik (m')	Panjang seluruh jalan (m')
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Gubeng	79,432.81	80,337.00	79,432.81	80,337.00
Gununganyar	47,694.22	48,416.00	47,694.22	48,416.00
Mulyorejo	99,922.92	101,350.52	99,922.92	101,350.52
Rungkut	190,520.79	193,712.63	190,520.79	193,712.63
Sukolilo	109,331.34	110,793.70	109,331.34	110,793.70
Tambaksari	59,016.00	59,796.00	59,016.00	59,796.00
Tenggilis				
Mejoyo	97,535.69	98,943.00	97,535.69	98,943.00

Sumber: surabaya.go.id

Pengambilan sampel daerah atau wilayah yang dijadikan subyek penelitian maka dipilih wilayah yang paling padat penduduk yaitu di Surabaya Timur. Wilayah tersebut lebih berpotensi untuk menciptakan kepadatan lalu lintas dibandingkan dengan wilayah yang tidak padat penduduk. Dari ke tujuh kecamatan yang ada di Surabaya Timur dipilih daerah yang memiliki jalan raya teramai. Menurut www.surabaya.go.id di Surabaya ada sekitar 120 jalan tipe kolektor, disusul dengan jalan tipe arteri berjumlah 77 jalan. Berdasarkan data tersebutm dipilih 7 kecamatan Surabaya timur yang memiliki kelas jalan Kolektor. Karakteristik dari kelas jalan kolektor tersebut adalah jalan yang melayani angkutan pengumpulan atau pembagian dengan ciri-ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang, lebar jalan tidak kurang dari 7 m. Sehingga jalan raya ini memiliki potensi menjadi sumber kebisingan akibat aktivitas lalu lintas setiap harinya.

Dapat dilihat pada Tabel 3.4, di Surabaya Timur terdapat beberapa kecamatan yang memiliki panjang jalan tertinggi untuk dipilih objek sampelnya. Tabel 3.5 menunjukkan keberadaan apartemen dengan lantai lebih dari 12 di Surabaya timur yang berpotensi sebagai sampel penelitian.

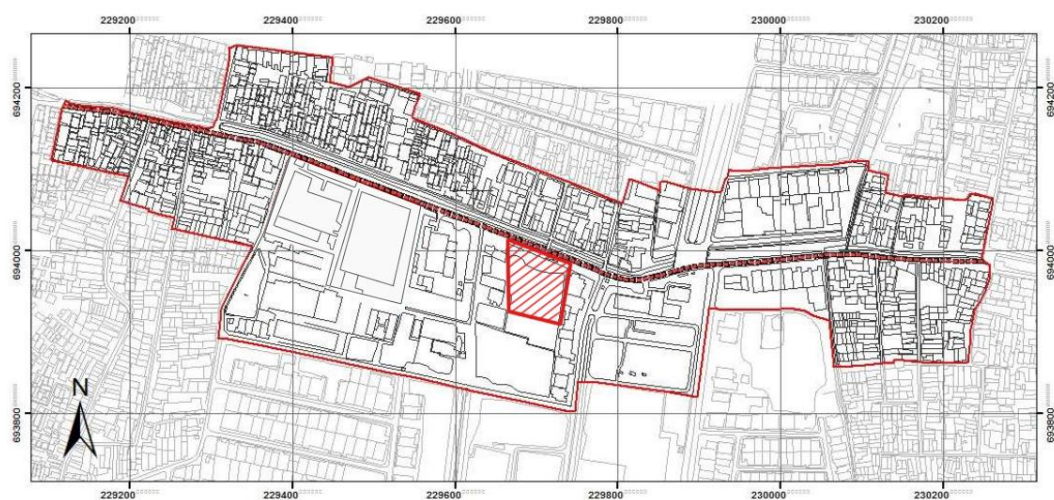
Tabel 3.5. Keberadaan Apartemen *High-rise* tiap Kecamatan di Surabaya Timur

Kecamatan	Apartemen	Jumlah Lantai	Jenis Balkon
Gubeng	Apartment Sumatra 36	12	Loggia
Gununganyar	Apartemen Purimas	15	Loggia
Mulyorejo	East Coast Residence	16	Loggia
Rungkut	Apartemen Gunawangsa MERR	30	Loggia
Sukolilo	- Apartemen Gunawangsa Manyar	25	Loggia
	- Apartemen Puncak Kertajaya	20	Loggia
Tenggilis Mejoyo	Metropolis Apartemen	20	Tanpa balkon

Terdapat 6 apartemen yang sesuai dengan kriteria balkon yaitu tipe loggia. Namun perlu diperhatikan kembali Kelas Jalan yang sesuai dengan kriteria pada penelitian ini yaitu kelas Jalan III B. Dapat dilihat pada Tabel 3.6 apartemen *high rise* yang terletak pada kelas jalan tertentu di Surabaya Timur.

Tabel 3.6. Kelas Jalan di Apartemen dengan Balkon Loggia di Surabaya Timur

Nama Apartemen	Nama Jalan	Kelas Jalan
Apartment Sumatra 36	Jl. Sumatera	III C
Apartemen Purimas	Jl. I Gusti Ngurah Rai	III C
East Coast Residence	Jl. Kalisari	III C
Apartemen Gunawangsa MERR	Jl. Raya Kedung Baruk	III C
Apartemen Gunawangsa Manyar	Jl. Menur Pumpungan	III B
Apartemen Puncak Kertajaya	Kompleks Kertajaya Indah Regency	III C



Gambar 3.3. Apartemen Gunawangsa Manyar yang Berada di Jalan Menur Pumpungan

Berdasarkan hasil klasifikasi kelas jalan sesuai dengan Keputusan Walikota Surabaya No. 46 Tahun 2000 tentang Kelas Jalan di Kota Surabaya, sampel yang bisa diambil adalah Apartemen Gunawangsa Manyar. Apartemen Gunawangsa Manyar terletak di Jalan Menur Pumpungan Surabaya yang berada di Kelas Jalan III B. Apartemen tersebut terletak di lingkungan padat penduduk yang sehari-harinya banyak dilalui kendaraan. Dapat dilihat pada Gambar 3.5, bahwa apartemen ini tidak memiliki penghalang seperti pohon maupun bentukan arsitektural untuk menanggulangi dampak kebisingan lalu lintas yang terjadi.



Gambar 3.4. Fasad Apartemen Gunawangsa Manyar yang Menghadap Jalan Raya



Gambar 3.5. Jarak jalan raya dan bangunan apartemen Gunawangsa Manyar

Jarak dari sumber kebisingan jalan raya ke bangunan apartemen Gunawangsa Manyar sepanjang 11.2 meter yang dapat dilihat pada Gambar 3.4. Kondisi pohon yang berada di tepi apartemen tidak begitu lebat, dan jarak antar pohon sangat renggang yang dapat dilihat pada Gambar 3.4, atau dengan kata lain, apartemen Gunawangsa Manyar tidak memiliki *barrier* untuk kebisingan. Selain itu pemilihan ruangan yang diuji tidak tegak lurus dengan pohon sehingga tidak akan berpengaruh besar terhadap tingkat tekanan bunyi yang terjadi karena kebisingan lalu lintas.

3.5. Teknik Pengumpulan Data

Data yang di perlukan untuk penelitian ini di tentukan berdasarkan variabel dan sampel yang digunakan. Jenis data diklasifikasi menjadi 2, yaitu :

1. Data Primer. Data yang didapatkan peneliti guna sebagai data awal berlangsungnya proses penelitian. Data didapat dengan observasi objek-objek yang dianalisis. Berikut adalah data primer dalam penelitian ini :
 - a. Data ukuran beberapa sampel balkon apartemen
 - b. Data jenis kelas jalan raya di Surabaya
 - c. Data kondisi fisik berupa gambar fasad apartemen
 - d. Data parameter akustik yang diukur:
 - Data *Sound Pressure Level* di dalam ruang.
 - Data *Sound Pressure Level* di balkon
 - Data *Sound Pressure Level* di jalan raya
2. Data Sekunder. Data penunjang primer diperoleh dari sumber-sumber yang relevan dan tanpa proses pengukuran langsung. Berikut beberapa bentuk data sekunder yang diambil:
 - a. Data persyaratan parameter akustik kebisingan yakni Tingkat Kebisingan/Tingkat Tekanan Bunyi (TTB) yang menunjukkan nilai *noise reduction* yang diperlukan pada balkon apartemen tersebut.
 - b. Studi literatur material yang diterapkan pada penelitian terutama data koefisien absorpsi.

Berdasarkan Tabel 3.7 dapat diketahui bahwa teknik pengambilan data dibagi menjadi 2 kelompok yaitu :

a. Pengumpulan Data Primer

Pengumpulan data primer merupakan pengambilan ukuran data lapangan. Pengambilan data dimulai dari penentuan subjek penelitian dengan mengumpulkan beberapa sampel balkon apartemen. Selanjutnya setelah memilih objek penelitian dilanjutkan pada pengambilan data berupa luasan bangunan, luasan, volume jalan dan *Sound Pressure Level*.

b. Pengumpulan Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder lebih kepada pengambilan standar ideal akustik dan studi material akustik. Data standar NC dikaji untuk menemukan tingkat kebisingan pada ruang huni.

Tabel 3.7. Pengumpulan Data Primer dan Sekunder

DATA PRIMER	SUB DATA PRIMER	TEKNIK PENGUMPULAN	ALAT
Ukuran Bangunan	Panjang bangunan	Pengukuran, Wawancara	Pita ukur
	Lebar bangunan		
Ukuran Balkon	Dimensi balkon	Pengukuran, Wawancara	Pita ukur
	Dimensi ruang apartemen		
Kondisi Fisik	Foto fasad	Pengamatan	Kamera
	Rasio bukaan	Pengukuran	Alat ukur
	Gambar 2D fasad	Gambar digital	AutoCAD
Data Akustik	Nilai Tekanan Bunyi (SPL) ruang dalam	Pengukuran Perhitungan	Sound Level Meter (SLM)
	Nilai Tekanan Bunyi (SPL) ruang luar		
	Nilai frekuensi		
Hasil Simulasi	Nilai Tingkat Kebisingan (SPL) di frekuensi 125, 250 dan 500 Hz pada balkon setiap lantai (lt. 3-25)	Simulasi	Program I-Simpa
Data Akustik	Kebisingan jalan raya	Studi Literatur	Sumber literatur
	Standar bising ruang huni		
Kelas Jalan Raya	Tipe Jalan	Studi Literatur	Sumber literatur
	Karakteristik Jalan		
Data iklim	Data suhu dan kelembapan	Studi Literatur	Data BMKG
Data angin	Data Kecepatan dan arah angin	Hasil pengukuran 17-18 November 2018 oleh Lab. Arsitektur Lingkungan ITS	Kanomax Wind Transduscence

3.6 Desain Penelitian

Desain penelitian ini dibagi menjadi dua, yaitu pengukuran dan eksperimen. Terdapat 2 macam pengukuran lapangan, yaitu pengukuran fisik dan pengukuran akustik. Pengukuran fisik adalah pengukuran elemen bangunan, yaitu panjang lebar dan tinggi apartemen serta balkon. Sedangkan pengukuran yang dilakukan yaitu pengukuran *background noise*/kebisingan.

3.6.1 Pengukuran Tingkat Kebisingan

a. Pengukuran Lapangan Langsung

Pengukuran kebisingan lingkungan paling umum digunakan adalah dengan tingkat tekanan bunyi sinambung setara (L_{eq}) dengan referensi waktu 24 jam ($T = 24$) atau disebut L_{eq} (24 jam). Dengan sebuah SLM yang mempunyai fasilitas perekaman L_{TM5} , yaitu L_{eq} dengan waktu ukur setiap 5 detik, dilakukan pengukuran selama 10 (sepuluh) menit. Terdapat 120 data untuk diolah dengan Microsoft Excel dengan rumus logaritma. Cara ini dilakukan juga oleh Rusjadi (2011).

Tabel 3.8. Waktu Pengukuran

L	Waktu Awal	Waktu Akhir	L	Waktu Awal	Waktu Akhir
L ₁	22.00	23.00	L ₁₃	10.00	11.00
L ₂	23.00	24.00	L ₁₄	11.00	12.00
L ₃	00.00	01.00	L ₁₅	12.00	13.00
L ₄	01.00	02.00	L ₁₆	13.00	14.00
L ₅	02.00	03.00	L ₁₇	14.00	15.00
L ₆	03.00	04.00	L ₁₈	15.00	16.00
L ₇	04.00	05.00	L ₁₉	16.00	17.00
L ₈	05.00	06.00	L ₂₀	17.00	18.00
L ₉	06.00	07.00	L ₂₁	18.00	19.00
L ₁₀	07.00	08.00	L ₂₂	19.00	20.00
L ₁₁	08.00	09.00	L ₂₃	20.00	21.00
L ₁₂	09.00	10.00	L ₂₄	21.00	22.00

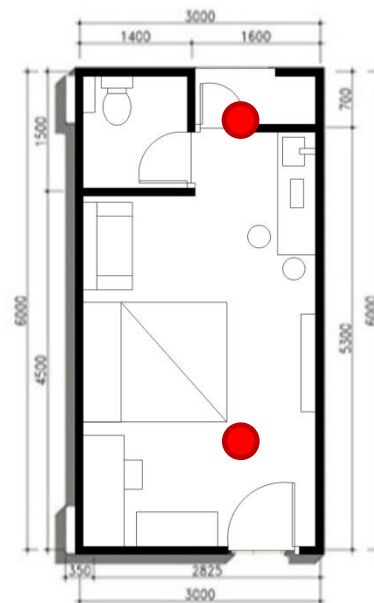
b. Jadwal Pengukuran

Seperti yang dicontohkan oleh Kepmen LH Nomor 48 tahun 1996 waktu pengukuran bisa dilakukan selama aktifitas 24 jam (LSM) dengan cara pada siang hari tingkat aktifitas yang paling tinggi selama 16 jam (LS) pada selang waktu 06.00 – 22.00 dan aktifitas malam hari selama 8 jam (LM) pada selang 22.00 –

06.00. Setiap pengukuran harus dapat mewakili selang waktu tertentu dengan menetapkan paling sedikit 4 waktu pengukuran pada siang hari dan pada malam hari paling sedikit 3 waktu pengukuran yang dibagi menjadi *weekday* dan *weekend* yang dapat dilihat pada Tabel 3.8.

c. Lokasi Pengukuran Tingkat Kebisingan Balkon

Pengukuran dilakukan dengan kondisi pintu terbuka untuk mengetahui secara langsung pengaruh balkon terhadap tingkat kebisingan. Terdapat dua titik pengukuran yang dilakukan yaitu pertama di antara balkon dan pintu dan kedua di dalam unit apartemen. Ruang apartemen yang dipilih adalah apartemen Tipe Studio atau Apartemen 1 BR (satu bed room) di Apartemen Gunawangsa Manyar yang dapat dilihat pada Gambar 3.6. Ruangan ini sesuai dengan kriteria karena tidak ada jendela lain karena bukaan utama hanya berasal dari balkon, sehingga penelitian ini dapat lebih fokus pada kebisingan lalu-lintas yang dapat merambat ke area balkon .



Gambar 3.6. Suasana Eksisting Kamar Tipe Studio dan Lokasi Titik Pengukuran

3.6.2 Pengukuran Sumber Bunyi di Jalan Raya

Setelah mengetahui nilai tingkat kebisingan yang terjadi di balkon dan di dalam ruang apartemen, dilakukan pengukuran sumber kebisingan yaitu lalu lintas kendaraan di Jalan Menur Pumpungan. Pengukuran ini bertujuan untuk melakukan verifikasi dan *input* simulasi. Metode pengukuran sama dengan

kombinasi *treatment* yang memenuhi standar akustik. Dari nilai yang diperoleh ini kemudian dilanjutkan dengan analisa dari data literatur.

Eksperimen diawali dengan menentukan model eksperimen yang diuji pengaruh elemen-elemen desainnya. Elemen desain yang dimaksud terdiri dari perbedaan WWR, kedalaman balkon, ketebalan material fasad yang berbeda dan perbedaan jarak. Hasil yang didapatkan kemudian dibandingkan satu sama lain termasuk dengan kondisi eksisting yang dapat dilihat pada Tabel 3.9.

Tabel 3.9. Desain Bangunan

Bangunan Objek Eksperimen	
Bentuk	Persegi panjang
Orientasi	Utara-selatan
Jumlah Lantai Apartemen & Keseluruhan	23 lantai dari total 25 lantai
Jarak antar lantai	3 m
Unit Studio Apartemen	
Luas ruangan unit studio	3 m x 6 m = 18 m ²
Tinggi ruangan	2,7 m
Luas balkon eksisting	75 cm x 100 cm = 0.75 m ²
WWR Eksisting (bukaan:luasan fasad unit)	(3000:9600)*100% = 30%
Material pada Balkon Unit Apartemen (eksisting)	
Plafon, dinding	Beton pracetak, dinding beton 100 mm
Lantai	Beton dengan lapisan atas keramik
Pintu	Pintu kaca dengan kusen aluminium
Pagar/teralis	Besi

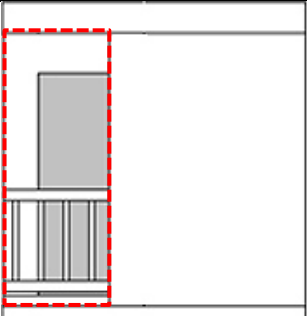
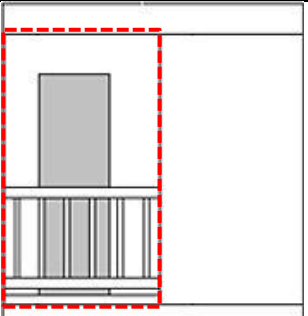
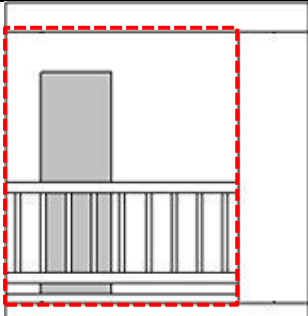
a. WWR dan Kedalaman Balkon

WWR yang dimaksud adalah perbandingan luas bukaan balkon dan luas keseluruhan dinding tiap unit perlantai. Untuk menentukan WWR yang digunakan sebagai rancangan penelitian, digunakan perbandingan rasio luas lantai balkon yang digunakan adalah 3:4, 1:2 dan 1:3 (aucklanddesignmanual.co.nz, 2018). Dimensi lantai balkon eksisting adalah 75 x 100 cm yaitu perbandingan 3:4 dengan WWR 30%. Jika mengikuti standar rasio luas lantai 3:4, 1:2 dan 1:3 dari ukuran balkon eksisting maka WWR yang bisa diuji adalah 30%, 44% dan 66%, untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 3.10. Pada kondisi lapangan saat ini, WWR pada apartemen juga bisa mencapai 100%, yang biasa ditemukan pada apartemen dengan luasan unit yang cukup besar seperti tipe 2BR. Namun pada penelitian ini ruang apartemen yang digunakan adalah unit studio, maka jika

WWR 100% diterapkan dapat berdampak pada semakin menyempitnya ruangan dan tidak adanya ruang untuk kamar mandi sehingga pengujian WWR 100% pada penelitian ini tidak dilakukan.

Kedalaman balkon eksisting adalah 75 cm. Pada penelitian El Dien (2005) yang membahas tentang kedalaman balkon yang menggantung (*cantilevered balcony*) digunakan kedalaman 1, 2 dan 3 m. Namun pada penelitian ini kedalaman hingga 3 m untuk tipe balkon loggia mengakibatkan berkurangnya luasan ruangan unit apartemen. Berdasarkan hal tersebut, kedalaman balkon yang diuji tidak terlalu panjang dan umum digunakan untuk balkon loggia saat ini yaitu 0.75 dan 1.5 m. Kedua panjang balkon tersebut dipilih karena apartemen tipe studio merupakan unit apartemen yang paling kecil sehingga jika panjang balkon melebihi 2 m maka luas ruangan apartemen juga akan semakin berkurang dan bisa menyebabkan berkurangnya nilai investasi pada unit apartemen tipe studio tersebut.

Tabel 3.10. WWR dan Kedalaman Balkon yang Diuji

WWR 30% Luas bukaan: 2.73 m ² (1 x 2.7) m / (3 x 3) m	WWR 44% Luas bukaan: 4 m ² (1.5 x 2.7) m / (3 x 3) m	WWR 66% Luas bukaan: 5.98 m ² (2.25 x 2.7) m / (3 x 3) m
Rasio luasan lantai balkon: 3:4	Rasio luasan lantai balkon: 1:2	Rasio luasan lantai balkon: 1:3
		

b. Material Dinding

Material eksisting untuk bagian fasad pada balkon menggunakan beton pracetak dengan tebal 150 mm. Hal yang paling berpengaruh pada kualitas akustik adalah elemen permukaan pada suatu bidang karena berhubungan dengan koefisien absorpsi material. Pada penelitian ini diuji juga bagaimana pengaruh material lainnya yang umum diterapkan pada balkon apartemen. Terdapat tiga

material dinding yang umum digunakan pada apartemen saat ini untuk kemudian diuji yaitu dinding beton pracetak dengan permukaan yang dilapisi cat, dinding kayu lapis. Penerapan kayu lapis pada penelitian ini adalah pada dinding balkon, plafon dan lantai. Material-material tersebut memiliki koefisien absorpsi berbeda-beda yang dapat mempengaruhi akustik suatu ruang dalam kemampuannya menyerap hingga memantulkan suara pada pita frekuensi tertentu. Untuk koefisien absorpsi material yang diuji sesuai dengan material yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.11.

Tabel 3.11. Koefisien absorpsi material

Material	Frekuensi (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Beton (di-cat)/halus	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
Beton bertekstur/kasar	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.07
Kayu lapis (<i>plywood</i>) pada dinding dan lantai balkon	0,40	0.35	0.20	0.15	0.05	0.05

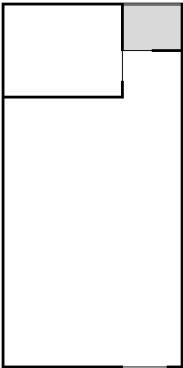
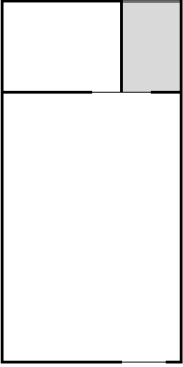
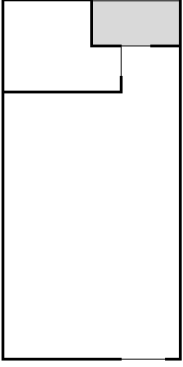
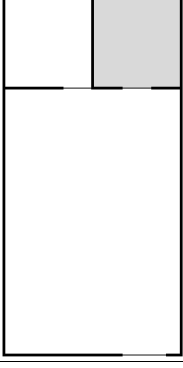
Sumber: www.akustik.ua

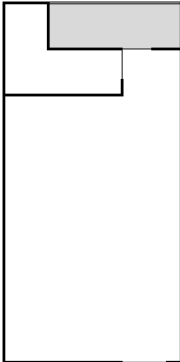
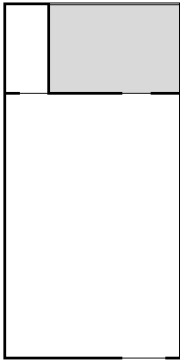
Penamaan kode eksperimen dapat dilihat pada Tabel 3.12. Kode WWR diawali dengan huruf W dan diikuti oleh % besaran WWR yang digunakan. Kode kedalaman balkon menggunakan huruf K diikuti oleh panjang kedalaman balkon 75 atau 150 cm. Material fasad menggunakan kode huruf H (beton halus), K (beton kasar), Lh (kombinasi material beton halus pada fasad yang dilapisi kayu lapis di area balkon saja), dan L (kayu lapis diterapkan di balkon dan keseluruhan fasad). Rancangan eksperimen yang akan dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.13.

Tabel 3.12 Penamaan kode eksperimen

WWR	Kode	Kedalaman Balkon (m)	Kode	Material Fasad	Kode
30%	W30	0.75	K075	Beton halus	H
44%	W44	1.5	K150	Beton kasar	K
66%	W66			Kayu lapis dan beton	Lh
				Kayu lapis saja	L

Tabel 3.13 Rancangan eksperimen

Kode	WWR (%)	Kedalaman Balkon (m)	Material Fasad	Denah
W30K075H W30K075K W30K075Lh W30K075L	30	0.75	Beton halus Beton kasar Kayu lapis dan beton Kayu lapis	
W30K150H W30K150K W30K150Lh W30K150L	30	1.5	Beton halus Beton kasar Kayu lapis dan beton Kayu lapis	
W44K075H W44K075K W44K075Lh W44K075L	44	0.75	Beton halus Beton kasar Kayu lapis dan beton Kayu lapis	
W44K150H W44K150K W44K150Lh W44K150L	44	1.5	Beton halus Beton kasar Kayu lapis dan beton Kayu lapis	

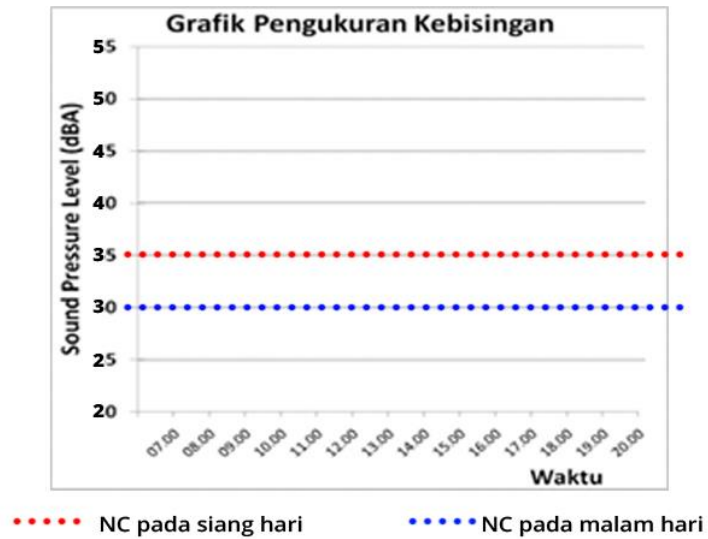
Kode	WWR (%)	Kedalaman Balkon (m)	Material Fasad	Denah
W66K075H W66K075K W66K075Lh W66K075L	66	0.75	Beton halus Beton kasar Kayu lapis dan beton Kayu lapis	
W66K150H W66K150K W66K150Lh W66K150L	66	1.5	Beton halus Beton kasar Kayu lapis dan beton Kayu lapis	

Perlu menjadi catatan bahwa rancangan eksperimen desain balkon dengan WWR 66% mengakibatkan perubahan denah yang cukup besar pengaruhnya pada kondisi kamar mandi. Pada penelitian ini hal tersebut diabaikan karena perlu diketahui seberapa besar pengaruh WWR sekaligus kedalaman balkon yang semakin besar terhadap tingkat kebisingan yang terjadi.

3.7 Metode Analisis dan Presentasi Data

3.7.1 Metode Analisis Kebisingan Lalu Lintas (Siang dan Malam)

Data hasil pengukuran kebisingan L_{Aeq} (10 menit) dimasukkan ke dalam grafik pengukuran kebisingan untuk melihat tingkat tekanan bunyi selama 24 jam pada waktu siang dan malam. Kemudian hasil tersebut dibandingkan dengan standar WHO dimana kebisingan maksimum siang hari 35 dB dan malam hari 30 dB untuk menunjukkan kondisi kebisingan pada eksisting. Data disajikan seperti pada Gambar 3.8. Grafik tersebut digunakan untuk pengukuran 2 titik, yaitu pada area balkon dan area ruangan unit apartemen.



Gambar 3.8. Grafik Pengukuran Kebisingan

3.7.2 Metode Analisis Desain Balkon

Analisis desain balkon pada penelitian ini dilakukan dengan cara simulasi. Berikut beberapa hal yang perlu ditentukan terlebih dahulu.

a. Program Simulasi I-Simpa

Simulasi pada penelitian ini menggunakan program I-Simpa. Program simulasi yang diciptakan oleh Nicolas Fortin ini digunakan untuk mengetahui perambatan suara yang terjadi di bagian luar bangunan dan dapat digunakan untuk mengetahui pada balkon maupun di dalam ruangan, dengan melakukan permodelan 3D. Tabel 3.14 menunjukkan kelebihan dan kelemahan fitur yang dimiliki I-Simpa.

Simulasi I-Simpa pernah digunakan Picaud (2012) dan Pilch (2016) dalam melakukan simulasi untuk memprediksi propagasi bunyi. Pilch (2016) mengatakan bahwa untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dalam penggunaan I-Simpa, tidak cukup dengan menerapkan material *default* yang sudah disediakan dalam program. Simulasi harus diawali dengan melakukan perubahan koefisiensi absorpsi material secara manual sesuai dengan material eksisting. Sedangkan Picaud (2012) mengatakan bahwa untuk mengetahui propagasi bunyi dapat dilakukan dengan program ini karena didasarkan dari model perhitungan.

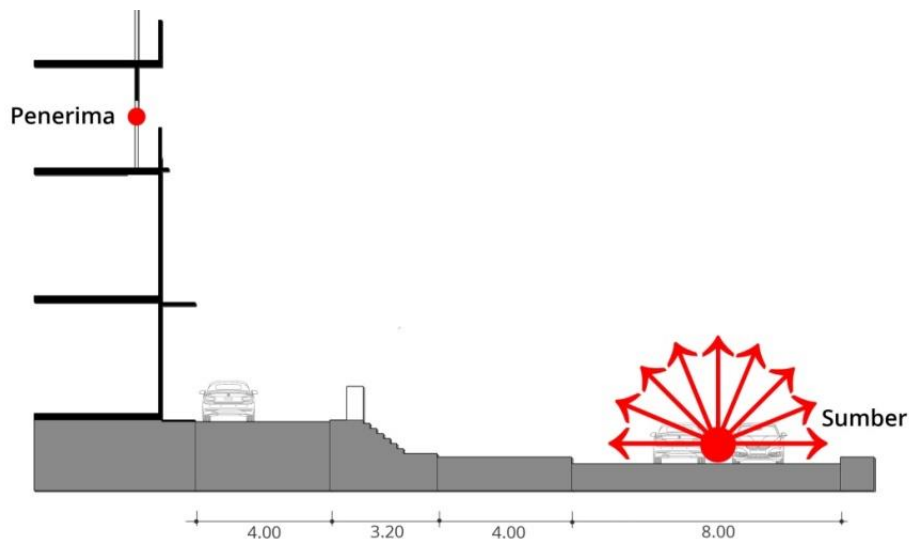
Tabel 3.14. Fitur yang Dimiliki I-Simpa

I-simpa	
Kelebihan	a. Mengetahui propagasi bunyi dari model 3D dengan menentukan titik sumber bunyi dan titik penerima yang akan diukur. b. Mampu melakukan analisis berbagai parameter akustik seperti: <i>Sound Pressure Level</i> (SPL) dengan berbagai pembebanan dB atau dBA, kejelasan suara/clarity (C), Reverberation Time (RT), <i>Early Decay Time</i> (EDT), dan <i>stage support</i> (ST). c. Output yang dihasilkan berupa angka dB maupun dBA, sekaligus spektrum yang terjadi d. Mampu menganalisis ruangan dengan bentukan massa yang kompleks, baik <i>indoor</i> maupun <i>outdoor</i>
Kelemahan	Objek yang detail seperti perabot akan menyebabkan simulasi tidak dapat berjalan, sehingga harus menyederhanakan model atau menghilangkan bentukan objek yang terlalu kecil

Sumber: I-Simpa Documentation, 2017

b. Permodelan

Permodelan 3D dilakukan menggunakan program Sketch Up daalm file .3ds kemudian dipindahkan ke dalam program simulasi I-Simpa. Permodelan dibuat sesuai dengan jumlah varian geometri sesuai dengan rancangan eksperimen yang telah ditentukan sebelumnya.



Gambar 3.8. Titik Sumber dan Penerima bunyi

c. Sumber Bunyi dan Penerima

Sumber suara bising berada pada jalan raya. Arah sumber bunyi disesuaikan dengan sifat bunyi yaitu mengarah sepanjang setengah lingkaran. Intensitas kebisingan yang digunakan kemudian disesuaikan pada hasil pengukuran lapangan. Sedangkan frekuensi yang digunakan berada pada rentang 63 Hz hingga 16KHz. Titik-titik penerima bunyi diletakkan setiap lantai pada area yang sama dengan peletakan SLM saat pengukuran di balkon apartemen.

d. Verifikasi

Sebelum menggunakan program simulasi lebih lanjut untuk menguji semua model rancangan penelitian, perlu dilakukan verifikasi terlebih dahulu untuk mengetahui seberapa besar kesesuaian hasil pengukuran lapangan dan hasil simulasi. verifikasi diawali dengan pengukuran lapangan pada sampel penelitian untuk mendapatkan nilai tingkat kebisingan. Kemudian dengan melakukan *input* data yang setara dengan eksisting, dilakukan simulasi dengan program I-Simpa. Hasil pengukuran lapangan dan hasil simulasi program I-Simpa kemudian dibandingkan.

Verifikasi dari perbandingan hasil pengukuran lapangan dan simulasi dapat dilakukan dengan beberapa indeks untuk mengukur ketidakpastian seperti Root Mean Square Error (RSME) & standar deviasi dan regresi linear (R^2). RMSE atau akar kesalahan kuadrat rata-rata merupakan ukuran kesalahan yang didasarkan pada selisih antara dua buah nilai yang bersesuaian (Suryani, 2017), yang dapat didefinisikan pada rumus 3.1.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{d(r_i) - y(r_i)}{y(r_i)} \right)^2} \times 100\% \quad (3.1)$$

dimana $d(r_i)$ adalah hasil pengukuran, $y(r_i)$ adalah hasil simulasi atau perhitungan, dan n adalah jumlah data. Metode RSME untuk mengetahui standar deviasi ini juga dilakukan oleh Yu (2018) untuk melakukan validasi terhadap simulasi perhitungan untuk mengetahui pengaruh material *paving*/aspal terhadap kondisi kebisingan.

Model simulasi dianggap valid bila $RMSE \leq 5\%$ (Suryani, 2006). Persyaratan nilai perbandingan tersebut sama dengan yang diutarakan Sumantri (2006), uji selang kepercayaan yang digunakan adalah 95%, sehingga nilai yang diperhatikan adalah nilai *p-value* (*probability value*) yang harus lebih besar dari nilai tingkat kesalahan sebesar 0,05 atau 5%. Selain RMSE, analisis regresi linear (R^2) juga sekaligus digunakan untuk mengindikasikan seberapa dekat hasil simulasi terhadap nilai pengukuran. Klasifikasi nilai regresi linear menurut Moore (2013) dapat dilihat pada Tabel 3.15. Setelah hasil RMSE dan nilai regresi tersebut didapatkan dan memenuhi batas minimum nilai yang ditentukan, maka program I-Simpa tersebut dikatakan valid untuk digunakan sebagai alat bantu pada penelitian ini.

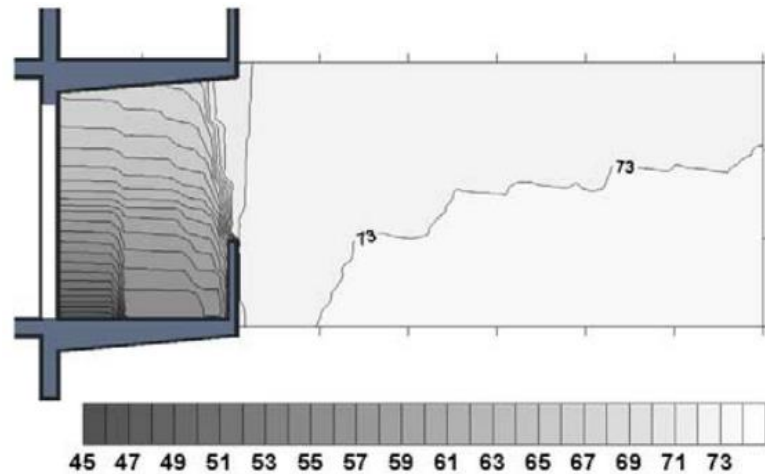
Tabel 3.15 Klasifikasi Nilai Regresi

Nilai regresi	Hubungan antar variabel
$R^2 < 0.3$	Hubungan atau pengaruh antar variabel sangat lemah
$0.3 < R^2 < 0.5$	Hubungan atau pengaruh antar variabel lemah
$0.5 < R^2 < 0.7$	Hubungan atau pengaruh antar variabel cukup
$R^2 > 0.7$	Hubungan atau pengaruh antar variabel sangat kuat

Sumber: Moore (2013)

3.7.3. Metode Analisis Pengaruh WWR, Kedalaman Balkon dan Material

Dari permodelan balkon apartemen dengan perbedaan WWR (30%, 44% dan 66%), perbedaan kedalaman balkon (75 cm dan 150 cm), dan perbedaan penerapan material, diperoleh hasil simulasi yaitu grafik perambatan bunyi dan nilai tingkat tekanan bunyi pada tiap balkon. Contoh penyajian hasil simulasinya dapat dilihat pada Gambar 3.10. Dari gambar tersebut dapat diketahui bagaimana propagasi bunyi yang terjadi. Hasil simulasi antar rancangan eksperimen juga saling dibandingkan dengan teori utama dan hasil penelitian sebelumnya terkait variabel desain yang berpengaruh.



Gambar 3.10. Potongan Balkon Yang Menunjukkan Hasil Simulasi Perambatan Bunyi (Eldien, 2004)

3.7.4. Metode Analisis Pengaruh Jarak/Ketinggian terhadap Kebisingan

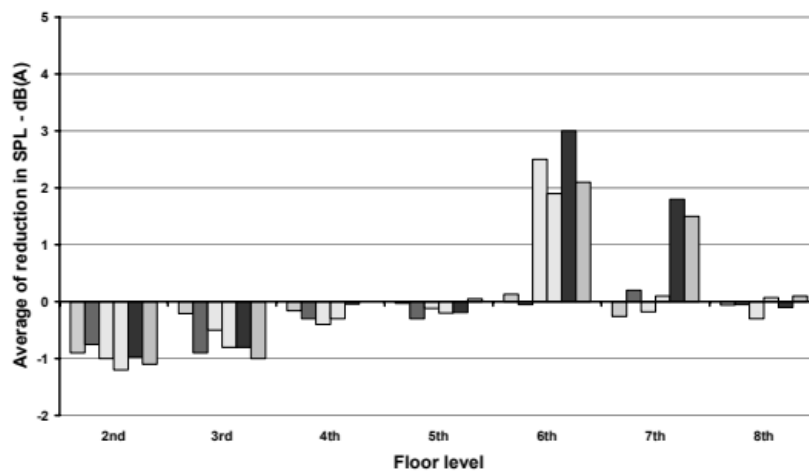
Dari hasil analisis Pengaruh WWR dan Kedalaman Balkon sebelumnya kemudian dapat dilakukan untuk menganalisis pengaruh jarak/ketinggian lantai yang berbeda dalam pengaruhnya dalam mereduksi kebisingan/tingkat tekanan bunyi dan dapat disajikan seperti pada Gambar 3.10. Untuk perhitungannya menggunakan persamaan 3.2.

$$L_p = SPL_{ref} - SPL_0 \quad \text{dB} \quad (3.2)$$

di mana:

SPL_{ref} = tingkat tekanan bunyi eksisting

SPL_0 = tingkat tekanan bunyi modifikasi



Gambar 3.11. Grafik reduksi tingkat tekanan bunyi pada perbedaan lantai (El Dien, 2004)

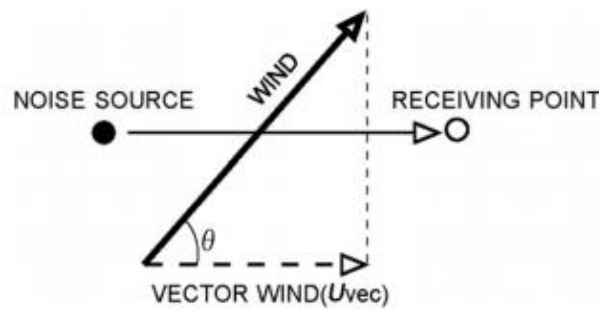
Nilai reduksi kebisingan yang didapatkan kemudian dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya yang terkait dengan hasil perhitungan dari simulasi tersebut. Hasil diskusi yang didapatkan akan merujuk kembali pada teori utama tentang pengendalian kebisingan.

3.7.5 Metode Analisis Angin terhadap Kinerja Balkon Mereduksi Kebisingan

Pada bagian ini dibahas mengenai *vector wind* dan hubungannya dengan kebisingan. *Vector wind* yang dimaksud adalah kecepatan angin rata-rata V untuk sudut θ antara arah angin dan garis yang tegak lurus terhadap jalan melalui titik sumber suara ke titik penerima yang dapat dilihat pada persamaan 3.3.

$$U_{vec} = U \cos \theta \quad (3.3)$$

di mana $U_{vec} = U \cos \theta$ adalah komponen vektor dari kecepatan angin rata-rata U (m/s) pada sudut θ antara arah angin dan garis tegak lurus antara jalan raya dan titik penerima di balkon. U_{vec} bernilai positif bila berlawanan arah dan bernilai negatif bila searah (Sakamoto, 2015).



Gambar 3.12. Vector Wind (Tanaka and Shiraishi, 2008)

Sakamoto (2015) mengatakan bahwa perhitungan reduksi kebisingan yang terpengaruh oleh kondisi angin dapat dihitung dengan persamaan (3.4)

$$\Delta L_{m,line} = \begin{cases} 0.88 \lg\left(\frac{l}{15}\right) \cdot U_{vec} & l > 15 \\ 0 & l \leq 15 \end{cases} \quad (3.4)$$

dimana l adalah jarak horizontal dari jalan (sumber bunyi) ke titik penerima (m) dan $U_{vec} = U \cos \theta$ adalah komponen vektor dari kecepatan angin rata-rata (m/s) untuk sudut θ yang terjadi antara arah angin dan garis tegak lurus terhadap titik penerima.

Nilai perhitungan tersebut diakumulasikan dengan hasil rancangan eksperimen yang paling baik dalam mereduksi kebisingan agar dapat dilihat pengaruh angin terhadap performa balkon. Hasil yang memungkinkan terjadi adalah penambahan dan pengurangan kebisingan yang hasilnya disajikan dalam grafik.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

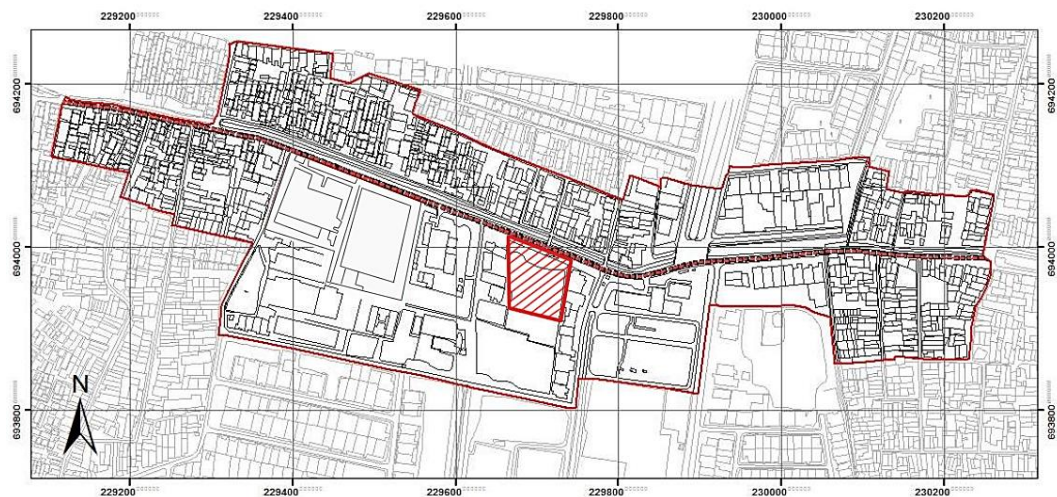
BAB 4

HASIL PENGAMATAN LAPANGAN

Penelitian ini diawali dengan melakukan pengamatan lapangan, diantaranya kondisi fisik ruangan, aktivitas penghuni dan kondisi lingkungan di sekitar bangunan.

4.1. Lokasi Objek Penelitian

Objek penelitian pada penelitian ini didapatkan dari proses *sampling*. Berdasarkan kriteria kelas jalan dan keberadaan balkon loggia pada apartemen bertingkat tinggi, terpilihlah Apartemen Gunawangsa Manyar. Lokasi Apartemen Gunawangsa Manyar berada di jalan Menur Pumpungan, Surabaya Timur. Jalan Menur Pumpungan termasuk ke dalam kelas jalan IIB dengan jenis kendaraan yang melintas berupa mobil, motor bus, truk dan kendaraan berukuran sedang lainnya yang melintas dengan kecepatan tinggi. Jalan ini sangat ramai karena merupakan salah satu jalan utama yang menghubungkan kawasan Surabaya Selatan dengan Surabaya Timur.



Gambar 4.1 Peta Persil Lingkungan Apartemen Gunawangsa Manyar

Lingkungan Apartemen Gunawangsa Manyar berada pada kawasan permukiman padat yang juga terdapat perguruan tinggi, yaitu Sekolah Tinggi Ilmu Ekonomi Indonesia. Dapat dilihat pada Gambar 4.1, posisi Apartemen Gunawangsa Manyar berada di tengah Jalan Menur Pumpungan. Batas utara

apartemen merupakan permukiman padat, di bagian timur berbatasan dengan perumahan PLN dan Gardu Induk Sukolilo, bagian selatan berbatasan dengan lingkungan sekolah hingga perumahan, dan bagian barat berbatasan dengan ruko dan bangunan komersil lainnya.

4.1.1 Deskripsi Kondisi Eksisting Objek Penelitian

Apartemen Gunawangsa Manyar terdiri dari 25 lantai. Kamar apartemen yang digunakan sebagai lokasi pengukuran tingkat kebisingan dalam penelitian ini berada di kamar 1511A yang terletak di lantai 15. Kamar yang digunakan bertipe studio (1 BR) dengan balkon loggia yang menghadap langsung ke arah Jalan Menur Pumpungan.

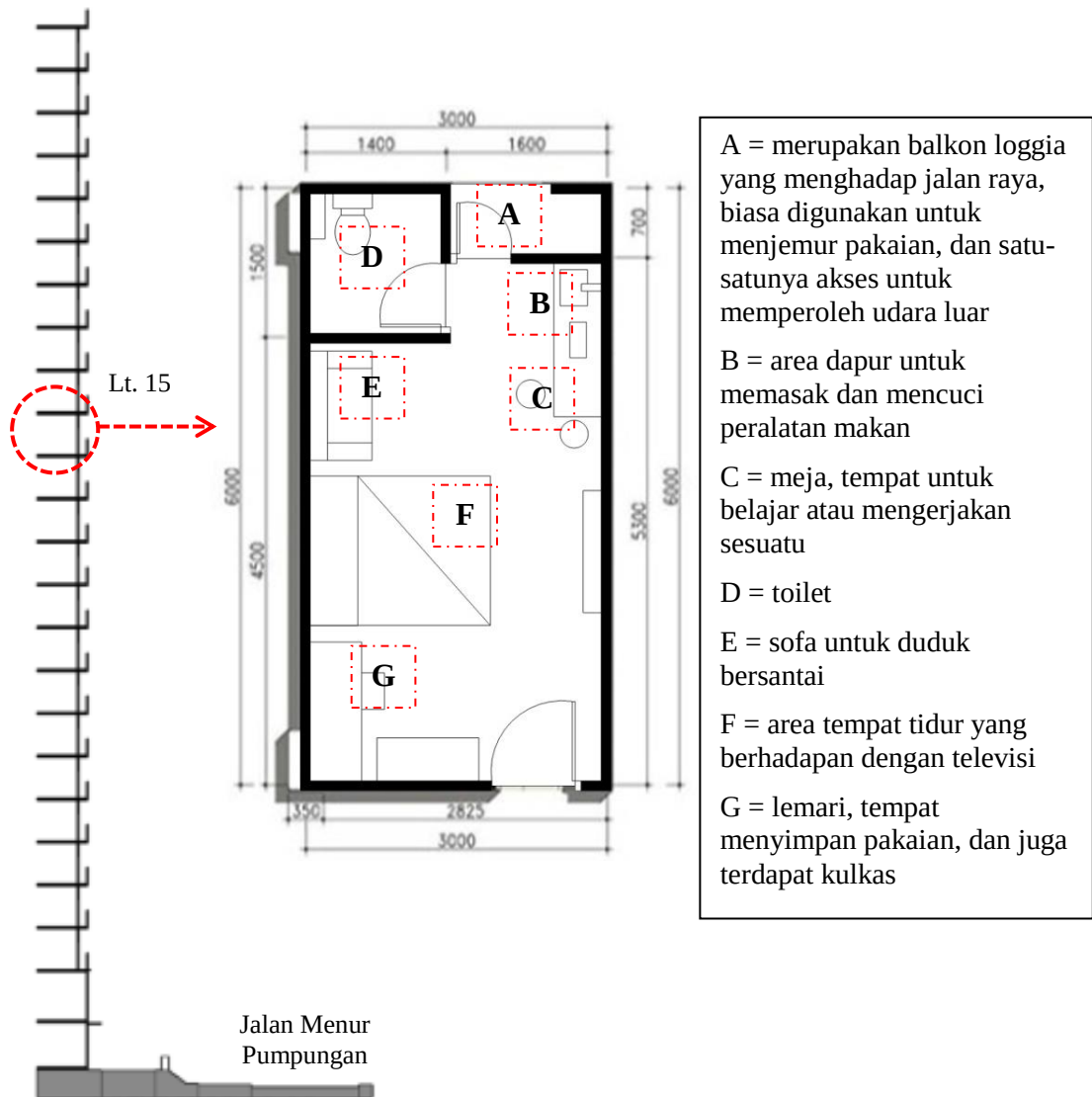
Pengambilan data lapangan berupa gambar kondisi eksisting kamar apartemen dan denah ruangan. Pada Gambar 4.2 merupakan kondisi eksisting kamar apartemen 1511A dan balkon loggia. Balkon loggia pada apartemen ini cukup kecil yang digunakan untuk menjemur baju dan area peletakan kompresor AC.



Gambar 4.2 Kondisi Kamar Apartemen (a); Balkon Loggia Apartemen (b)

Setelah pengambilan gambar kondisi eksisting kamar apartemen, dilakukan pengukuran kamar keseluruhan yang dilakukan secara manual

menggunakan alat ukur. Berikut adalah potongan apartemen, denah dan zonasi kamar apartemen 1511A.



Gambar 4.3 Potongan dan Denah Apartemen

Dapat dilihat pada Gambar 4.3 denah apartemen beserta zonasi ruangan. Walaupun terlihat hanya dalam satu ruangan saja, namun aktivitas yang dilakukan dapat beragam sehingga membentuk suatu zona aktivitas yang tidak terpisah oleh keberadaan furnitur. Berikut adalah spesifikasi dimensi furnitur, elemen ruang huni beserta materialnya yang dapat dilihat pada Tabel 4.1. Data ini juga diambil untuk menghitung pengaruh material terhadap reduksi kebisingan yang digunakan pada bagian pembahasan.

Tabel 4.1 Spesifikasi Dimensi Furnitur, Elemen Ruang dan Material

Apartemen		Dimensi			Material/keterangan
		Panjang (m)	Lebar (m)	Tebal/tinggi (m)	
Balkon	Teralis	1	0.7	0.4	Besi, jarak antar besi 10 cm, tebal besi kecil 1 cm, besi besar 4 cm
	Lantai	1.1	0.7	-	Keramik
	Dinding	2.7	1.5	0.15	Sisi kiri dan kanan
Elemen	Utara	Dinding 1	2.7	1.5	Beton ringan
		Dinding 2	2.7	1.5	Beton ringan
		Pintu	2.1	0.65	Pintu kaca (0,5 cm) 0.42x1.9 dengan kusen aluminium (7 cm)
	Barat	Dinding 1	0.4	4.15	Beton ringan
		Dinding 2	2.3	0.7	Beton ringan
		Dinding 3	2.7	0.65	Beton ringan
		Cermin 1	1.26	0.6	Cermin
		Cermin 2	2.3	11	Cermin
		Cermin 3	2.3	11	Cermin
	Selatan	Dinding	2.7	3	Beton ringan
		Pintu	0.8	2.1	Kayu
	Timur	Dinding	2.7	4.5	Beton ringan
Lantai dan Plafon		Lantai	6	3	Plat beton dilapisi wallpaper lantai
		Plafon	6	3	Plat beton finishing plester
Furnitur		Kasur	2	1.5	Spring bed
		Kitchen set	1.26	0.6	Keramik
		Rak Dapur	1.45	0.38	Kayu
		Meja kerja	0.6	0.6	Kayu
		Kursi	0.4	0.35	Plastik, 2 buah
		Sofa	0.6	0.8	Kulit
		Lemari	1.6	0.6	Kayu
		TV	0.74	0.44	LCD
		Meja TV	1.2	0.2	Kayu
		Rak	1	0.24	Kayu
		Rak Buku	1.1	0.24	Kayu
		Meja kecil	0.4	0.5	Kayu

Dokumentasi spesifikasi tersebut digunakan untuk mengetahui koefisien absorpsi material. Seperti yang telah dilakukan Jang (2015) yang meneliti tentang material pada fasad dapat mereduksi Tingkat Tekanan Bunyi sesuai pada frekuensi nya. Selain itu, informasi koefisien absorpsi material tersebut dijadikan *input* material saat melakukan simulasi.

4.1.2 Pola Aktivitas Penghuni Tiap Jam

Kamar Apartemen Gunawangsa manyar khususnya pada tipe studio kebanyakan dihuni oleh pekerja, mahasiswa dan keluarga kecil (ayah, ibu dan satu anak). Saat *weekday*, di siang hari sebagian besar waktu penguni dilakukan berada di luar ruangan, dan saat *weekend* terdapat dua pola aktivitas untuk hari Sabtu dan Minggu. Di hari Sabtu sore hingga malam, sebagian besar waktu penghuni dilakukan di luar ruangan, sedangkan untuk hari Minggu, pagi hari penghuni menghabiskan waktunya di luar ruangan. Walau terdapat pembagian zona untuk aktivitas di dalam ruang, semua kegiatan sebetulnya dapat dilakukan dalam satu ruangan tipe studio tersebut. Dalam ruangan tersebut dapat dilakukan berbagai aktivitas diantaranya tidur, menonton tv, makan, memasak, dan melakukan pekerjaan (belajar/bekerja). Dari hasil pengamatan dan wawancara pemilik apartemen, dapat dilihat pada Tabel 4.2 pemakaian ruang apartemen sesuai dengan waktunya. Namun pada kenyataannya pola aktivitas yang terjadi lebih beragam, sehingga diharapkan hasil penelitian dapat mencakup keberagaman aktivitas.

Tabel 4.2 Asumsi Pola Aktivitas Penghuni Apartemen Gunawangsa Manyar dari hasil wawancara

Aktivitas Penghuni																							
Ruang Apartemen																							
Weekday (Senin-Jumat)																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Weekend (Sabtu)																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Weekend (Minggu)																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

Keterangan: Terdapat aktivitas dalam ruangan
 Ruang tidak digunakan

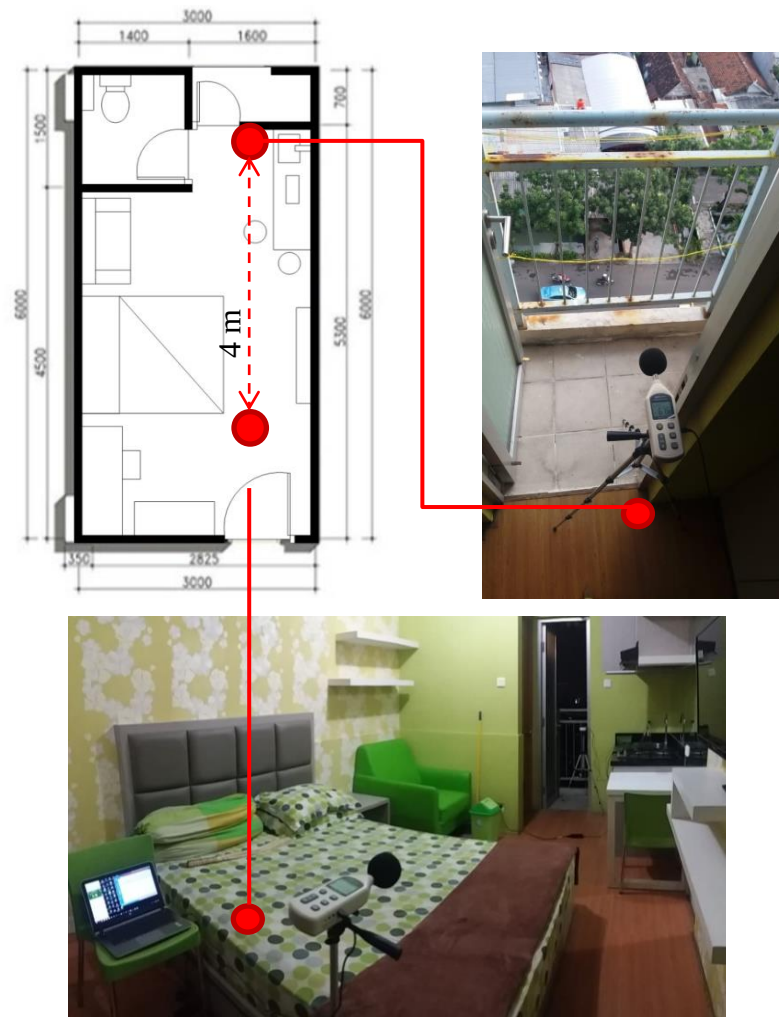
Berbeda dengan penelitian Park (2017) di mana kebisingan *structureborne* dari penghuni unit apartemen lainnya seperti jejak langkah lebih mendominasi, dan sumber bising *airborne* yang mengganggu adalah suara anak kecil. Pada saat pengukuran lapangan, aktivitas penghuni apartemen bukan menjadi sumber bunyi yang mengganggu baik dari intensitas maupun durasi dibandingkan bising lalu lintas dari jalan raya.

4.2 Analisis Hasil Pengukuran Lapangan

Pengukuran yang dimaksud pada sub bab ini adalah pengukuran tingkat kebisingan. Pengambilan data tingkat tekanan kebisingan (SPL) rata-rata 24 jam (L_{sm}) dilakukan dengan pengukuran menggunakan Sound Level Meter (SLM). Metode pengukuran tingkat kebisingan yang dilakukan pada penelitian ini juga dilakukan oleh Rusjadi (2011). Pengukuran lapangan dilakukan selama 4 hari, setiap jam selama 10 menit dengan interval 5 detik menggunakan SLM, untuk mengetahui tingkat kebisingan 24 jam (L_{sm}) pada hari libur (*weekend*) dan hari kerja (*weekday*). Pengukuran 2 hari yang mewakili *weekend* dilakukan selama 24 jam mulai hari Sabtu (23 Februari 2019) pada pukul 22.00 hingga hari Minggu (24 Februari 2019) pada pukul 21.00. Begitu pula 2 hari yang mewakili *weekday* dilakukan mulai hari Senin (25 Februari 2019) pada pukul 22.00 hingga hari Selasa (26 Februari 2019) pada pukul 21.00.

Titik peletakan dua SLM dengan jaram 4 meter untuk pengambilan data SPL dapat dilihat pada Gambar 4.4. SLM 1 diletakkan di area balkon loggia untuk mengetahui pengaruh kebisingan lalu lintas terhadap balkon secara langsung, sedangkan SLM 2 diletakkan di dalam ruang apartemen untuk mengetahui tingkat kebisingan dalam ruang saat pintu dalam keadaan terbuka. Data kedua SLM tersebut dapat menunjukkan pengaruh jarak dan keberadaan balkon pada tingkat kebisingan ruangan.

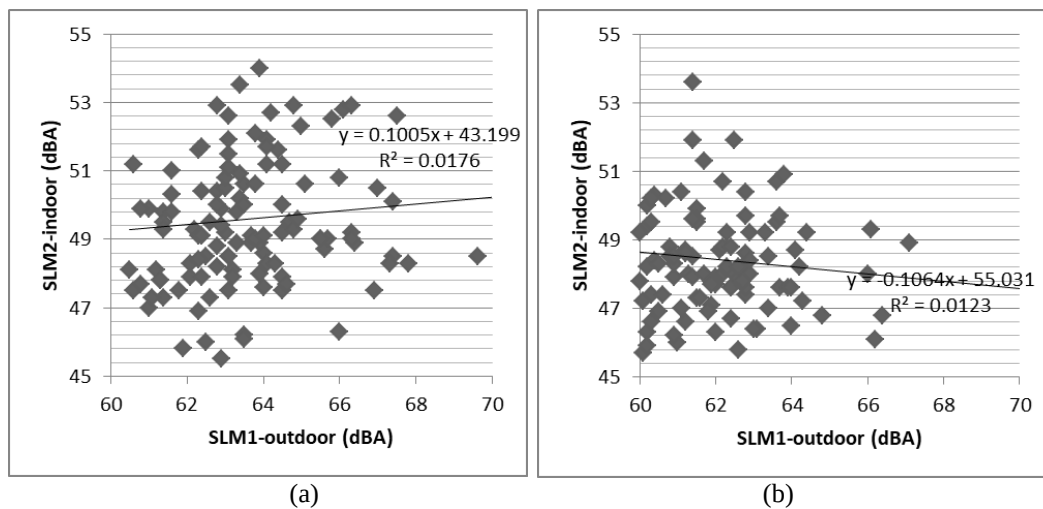
Kedua SLM yang telah disambungkan dengan laptop, diletakkan pada tripod di ketinggian 1.2 m. Peletakan ini disamakan dengan ketinggian telinga manusia mendengar bunyi pada kondisi sedang duduk di kursi. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan mode *record* pada SLM dengan interval pengambilan data setiap 5 detik dan dihentikan setelah 10 menit. Selain melakukan rekam data SPL, digunakan juga sebuah *recorder* yang diletakkan di balkon untuk merekam kondisi dan bunyi apa saja yang terjadi selama perekaman data SPL.



Gambar 4.4 Peletakan SLM di balkon dan di dalam ruang apartemen, pengukuran dilakukan dalam kondisi pintu terbuka dan AC mati

4.3 Analisis Regresi Tingkat Kebisingan Tiap Jam (L_{eq})

Hasil *record* kedua SLM berupa data SPL tiap 5 detik dipindahkan ke Microsoft Excel kemudian diolah dan dihitung dengan persamaan logaritma untuk mendapatkan nilai tingkat kebisingan perjam (L_{eq}) yang dapat dilihat pada Lampiran A. Nilai yang didapatkan kemudian dianalisis dengan analisis regresi berganda antara variabel L_{eq} *outdoor* dan *indoor* untuk mengetahui hubungan antara variabel jarak sumber kebisingan dengan penerima yang ditunjukkan dengan nilai L_{eq} apartemen tiap jam.



Gambar 4.5. Grafik regresi berganda L_{eq} 10.00 *weekday* (a), dan *weekend* (b)

Sebagian besar nilai R square L_{eq} antara balkon dan ruang apartemen menunjukkan hubungan yang sangat kecil. Salah satu contohnya dapat dilihat pada Gambar 4.5 yang menunjukkan bahwa terdapat variabel lain yang mempengaruhi L_{eq} selain variabel jarak. Hal ini diakibatkan karena sumber bunyi yang berasal dari jalan raya mengalami berbagai kondisi misalnya refleksi, absorpsi, ataupun difraksi (Mediastika, 2005). Selain itu dari grafik juga dapat dilihat bahwa nilai R square yang kecil menandakan bahwa terdapat variabel selain jarak sumber bunyi ke penerima yang mempengaruhi nilai L_{eq} yang terjadi di ruang apartemen. Diantaranya adalah elemen desain, furnitur dan material yang berada pada ruangan apartemen.

4.4 Analisis Tingkat Kebisingan Rata-rata 24 jam (L_{sm})

Data L_{eq} yang didapatkan setelah pengukuran digunakan untuk menghitung tingkat kebisingan siang (L_s), tingkat kebisingan malam (L_m), dan tingkat kebisingan rata-rata 24 jam (L_{sm}). Dapat dilihat pada Tabel 4.4 pembahasan lebih lanjut hasil perhitungan L_{sm} yang dibedakan menjadi 2 yaitu L_{sm} *weekend* dan L_{sm} *weekday*.

Tabel 4.3. Perhitungan tingkat kebisingan rata-rata 24 jam

Kode Pengukuran	Waktu		Weekday		Weekend	
	Awal	Akhir	Outdoor (dB)	Indoor (dB)	Outdoor (dB)	Indoor (dB)
L1	22.00	23.00	62.7	47.7	62.0	47.6
L2	23.00	24.00	64.0	49.3	61.4	46.3
L3	00.00	01.00	58.0	43.1	62.4	47.3
L4	01.00	02.00	56.4	41.9	59.1	44.0
L5	02.00	03.00	57.9	44.6	57.8	43.9
L6	03.00	04.00	54.7	40.6	56.9	42.2
L7	04.00	05.00	56.9	42.6	59.0	42.8
L8	05.00	06.00	59.6	44.3	60.1	44.6
L9	06.00	07.00	65.4	51.1	63.0	47.9
L10	07.00	08.00	64.5	50.0	61.7	47.9
L11	08.00	09.00	64.9	52.5	64.2	50.6
L12	09.00	10.00	64.7	51.2	62.7	49.4
L13	10.00	11.00	67.1	50.2	62.4	48.9
L14	11.00	12.00	63.6	50.4	62.0	49.6
L15	12.00	13.00	65.9	52.2	62.6	49.6
L16	13.00	14.00	63.3	48.7	61.7	47.5
L17	14.00	15.00	62.9	49.1	62.8	47.6
L18	15.00	16.00	64.9	51.3	64.1	51.0
L19	16.00	17.00	64.2	49.5	63.1	47.9
L20	17.00	18.00	65.1	50.4	62.6	49.0
L21	18.00	19.00	64.9	50.0	63.0	48.5
L22	19.00	20.00	66.3	51.8	63.6	49.8
L23	20.00	21.00	63.9	48.0	62.3	49.8
L24	21.00	22.00	62.4	47.1	62.6	47.7
L_m (dB)			59.9	45.2	60.2	45.2
L_s (dB)			64.8	50.4	62.8	49.1
L_{sm} (dB)			67.4	52.9	67.1	52.4

Dapat dilihat pada Tabel 4.3 bahwa tingkat kebisingan yang terjadi di balkon sebagian besar bernilai di rentang 60-68 dBA, namun nilainya bisa berada di rentang 50-60 dBA hanya pada saat waktu dini hari. Untuk tingkat kebisingan yang terjadi di dalam ruang apartemen saat bukaan balkon dibuka, sebagian besar nilainya di bawah 50 dBA, namun pada saat siang hari terutama *weekday*, tingkat kebisingannya berada di rentang 50-53 dBA. Dari sini dapat kita lihat juga bahwa pada perhitungan L_m maupun L_s menunjukkan bahwa pada ruangan apartemen masih belum memenuhi standar yang diberlakukan oleh WHO, yaitu batas kebisingan 30 dB untuk malam, dan 35 dB untuk siang (Berglund, 2017). Ketidaksesuaian pada standar ini juga berlaku pada penelitian Kim (2005), Lee (2007), Sakamoto (2015), dan Park (2017).

4.5 Analisis Karakteristik Kebisingan

Karakteristik kebisingan yang terdengar dan terjadi pada balkon apartemen dapat diketahui dengan pengamatan langsung dan melakukan perekaman bunyi dengan *recorder*. Pada penelitian ini, untuk melakukan penilaian terhadap karakteristik kebisingan yang terjadi dilakukan dengan cara melakukan metode pengisian kuisioner secara mandiri oleh peneliti yang juga pernah dilakukan oleh Krimm (2018) dari pengamatan langsung (*on the spot*) dengan pertanyaan yang dapat dilihat di Tabel 4.4. Pada penelitian ini, pengisian quisioner tidak dilakukan langsung namun dibantu dengan mendengarkan kembali hasil rekaman *recorder* selama 24 jam pada saat *weekday* yang mewakili hari yang paling bising.

Tabel 4.4 Kuisioner Pengamatan Data Rekaman Selama 10 Menit

Sumber Bunyi		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Jenis
Airborne noise	Bising lalu lintas											<i>steady</i>
	Klakson kendaraan											<i>impulsive</i>
	Suara manusia											<i>impulsive</i>
	Peralatan elektronik											<i>steady</i>
	Bising lainnya											<i>impulsive</i>
Structureborne noise												<i>impulsive</i>
		<i>noticeable</i>		<i>loud</i>			<i>sharp</i>		<i>diffuse</i>			

Sumber: kuisioner yang diolah berdasarkan Krimm, 2018

Dapat dilihat pada Tabel 4.5 terdapat penilaian pada tabel dari skala 1 hingga 5. Untuk *noticeable* hingga ke *loud* menandakan seberapa keras suara yang terdengar pada tiap sumber bunyi. Untuk skala *sharp* hingga ke *diffuse* menandakan seberapa jelas sumber bunyi tersebut, apakah cukup tajam terdengar atau terdengar samar karena berbaur dengan sumber kebisingan yang lainnya. Untuk jenis sumber bunyi dibagi menjadi dua yaitu *steady* berlangsung terus-menerus dan *impulsive* yang berlangsung terputus-putus atau hanya terjadi beberapa kali saja.

Hasil yang didapatkan pada analisis ini adalah diketahui bahwa terdapat 2 jenis kebisingan. Kebisingan yang pertama adalah kebisingan lalu lintas dengan jenis *steady* atau berlangsung secara terus-menerus dari pukul 05.00 hingga 24.00. Sedangkan karakteristik kebisingan yang kedua yaitu tingkat kebisingan dari kombinasi bunyi lalu lintas dan bunyi AC yang terjadi pada pukul 01.00 hingga

04.00. Salah satu jam yang mewakili kondisi kebisingan pada pukul 05.00 hingga 24.00 berada di pukul 10.00, sedangkan kondisi kebisingan pada pukul 01.00 hingga 04.00 dapat diwakili di pukul 02.00. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6.

Tabel 4.5 Kuisioner pada Pukul 10.00 *Weekday*

Sumber Bunyi		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Jenis
Airborne noise	Bising lalu lintas											steady <i>impulsive</i>
	Klakson kendaraan											
	Suara manusia											-
	Peralatan elektronik											-
	Bising lainnya											<i>impulsive</i>
Structureborne noise												<i>impulsive</i>
		noticeable				loud	sharp		diffuse			

Tabel 4.6 Kuisioner pada Pukul 02.00 *Weekday*

Sumber Bunyi		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Jenis
Airborne noise	Bising lalu lintas											impulsive <i>impulsive</i>
	Klakson kendaraan											
	Suara manusia											-
	Peralatan elektronik											steady <i>impulsive</i>
	Bising lainnya											
Structureborne noise												<i>impulsive</i>
		noticeable				loud	sharp		diffuse			

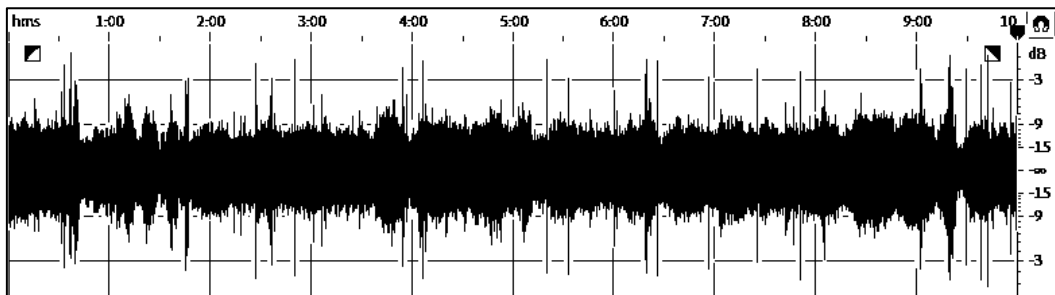
Dari hasil kuisioner tersebut didapatkan kesimpulan bahwa terdapat dua jenis kebisingan yang terjadi. Jenis kebisingan yang pertama pada pukul 05.00 – 24.00, dapat diwakili dari pukul 10.00. Terlihat pada Tabel 4.5 kebisingan lalu lintas bersifat *steady* atau terjadi terus-menerus dan terdengar sangat keras, namun karena kendaraan yang selalu datang dan kemudian disusul kendaraan lain setelahnya, menyebabkan bunyi yang terdengar bersifat *diffuse* atau berbau antara kendaraan satu dengan kendaraan yang lainnya. Terdapat kebisingan lainnya yaitu klakson kendaraan dan peluit yang cukup keras dan tajam namun hanya terjadi sesekali saja.

Untuk kebisingan yang terjadi pada pukul 01.00-04.00, dapat diwakili dari pukul 02.00. Terlihat pada Tabel 4.6 terdapat perbedaan yang signifikan pada kondisi kebisingan lalu lintas di pukul 02.00 dibandingkan pukul 10.00. Kebisingan lalu lintas yang terjadi sangat berbeda, kebisingan tidak bersifat

steady namun *impulsive* atau terjadi sesekali saja dan kebisingan lain yang mendominasi adalah suara *air-conditioner* (AC).

4.5.1 Analisis Kebisingan dari Sumber Bergerak

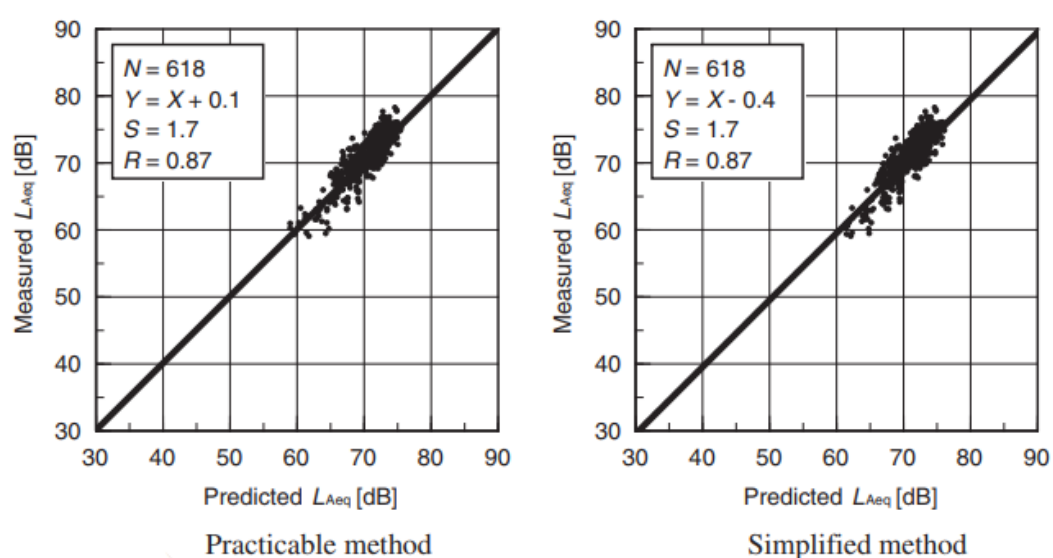
Pergerakan lalu lintas di Jalan Menur Pumpungan cukup kompleks. Dari hasil pengamatan lapangan didapatkan bahwa sumber utama bunyi bising lalu lintas dengan kondisi laju kendaraan yang berbeda-beda. Kondisi laju kendaraan berbeda-beda yang dimaksud adalah pada kondisi eksisting, kendaraan tidak serta-merta berjalan melewati area bangunan apartemen. Namun yang terjadi adalah kendaraan tersebut memacu kendaraannya dengan kecepatan yang stabil, mempercepat dan melambatkan kendaraan, serta terdapat kendaraan yang berhenti untuk menyebrang untuk memasuki ataupun keluar dari apartemen Gunawangsa Manyar. Kondisi laju kendaraan tersebut berpengaruh pada tingkat kebisingan yang terjadi (Sakamoto, 2015). Hal tersebut tergambarkan dengan kondisi sinyal akustik pada pukul 10.00 yang dapat dilihat pada Gambar 4.8, dimana tingkat kebisingan dari lalu lintas terlihat naik-turun secara fluktuatif namun terus-menerus terjadi setiap waktu.



Gambar 4.8 Sinyal akustik pada pukul 10.00

Menurut Sakamoto (2015), untuk mengetahui propagasi bunyi yang terjadi dari sumber kebisingan yang bergerak ke area penerima (balkon) pada kondisi lalu-lintas seperti ini dapat dilakukan dengan dua metode yaitu *practicable method* dan *simplified method*. Cara yang digunakan pada *practicable method* adalah mengukur dan menghitung jumlah *volume*, kecepatan dan tingkat tekanan bunyi tiap-tiap kendaraan yang sedang berjalan, berhenti, maupun mempercepat dan melambatkan laju kendaraan. Namun karena keterbatasan waktu dan sumber

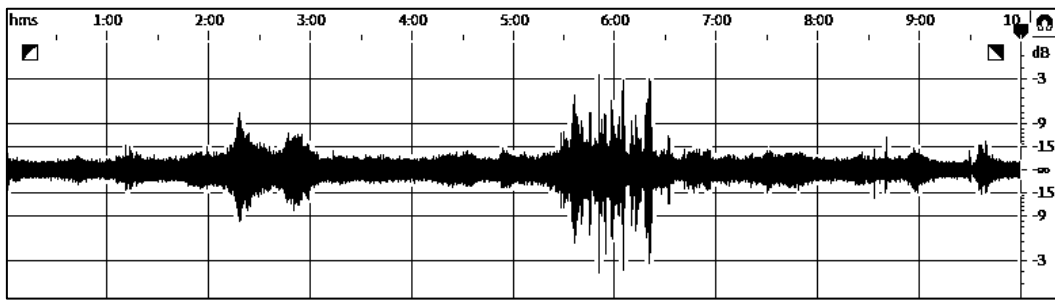
daya, maka metode tersebut tidak dilakukan pada penelitian ini. Cara lain yang bisa dilakukan adalah *simplified method* yaitu cara sederhana dengan menganggap kondisi kebisingan yang terjadi berasal dari satu kendaraan dengan kecepatan konstan dan bersifat *steady* atau terus-menerus dimana nilai tingkat kebisingannya diambil dari tingkat kebisingan rata-rata (L_{eq}) pada jam tersebut. Hasil dari *practicable* dan *simplified method* tidak jauh berbeda seperti yang terlihat pada Gambar 4.9 sehingga pada penelitian ini dapat menggunakan metode yang sederhana.



Gambar 4.9. Perbandingan hasil *practicable* dan *simplified method* (Sakamoto, 2015)

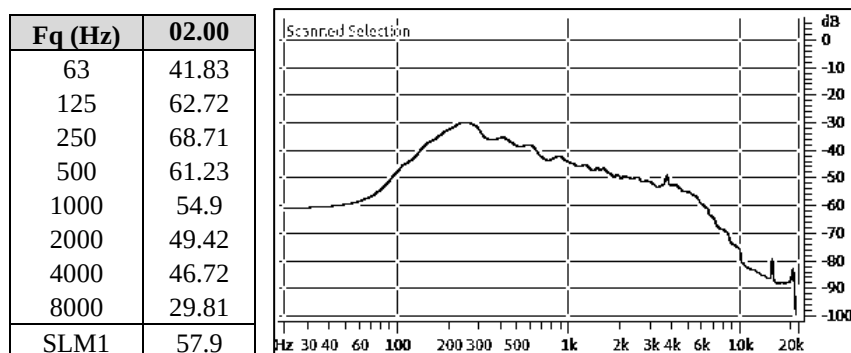
4.5.2 Analisis Kebisingan dari Balkon

Berbeda dengan kondisi kebisingan saat pukul 10.00, pada pukul 01.00 – 04.00 sumber kebisingan lalu-lintas tidak terjadi setiap waktu. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.10 sebagian besar sinyal akustik menunjukkan bunyi yang berasal dari *air-conditioner* (AC) dan dalam beberapa titik terdapat peningkatan tingkat kebisingan yang berasal dari kendaraan seperti yang terlihat pada menit ke 2 hingga 3. Terdapat kebisingan yang tidak wajar pada menit 5 hingga 7 yang tidak ditemukan di jam lainnya yaitu bunyi kendaraan roda dua yang motornya sedang diperbaiki dan diberhentikan di area jalan apartemen.



Gambar 4.10 Sinyal akustik pada pukul 02.00

Tabel 4.7 Tingkat kebisingan rata-rata pada pukul 02.00 *weekday*



Dapat dilihat pada Tabel 4.7 nilai tingkat kebisingan rata-rata pada pukul 02.00 yang menunjukkan bahwa pada frekuensi rendah nilai kebisingan berada di atas 45 dB dengan tingkat tekanan bunyi maksimal di atas 60 dB. Kebisingan tersebut harus dihindari agar terhindar dari *sleep disturbance* atau gangguan tidur (Berglund, 2000), seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.8.

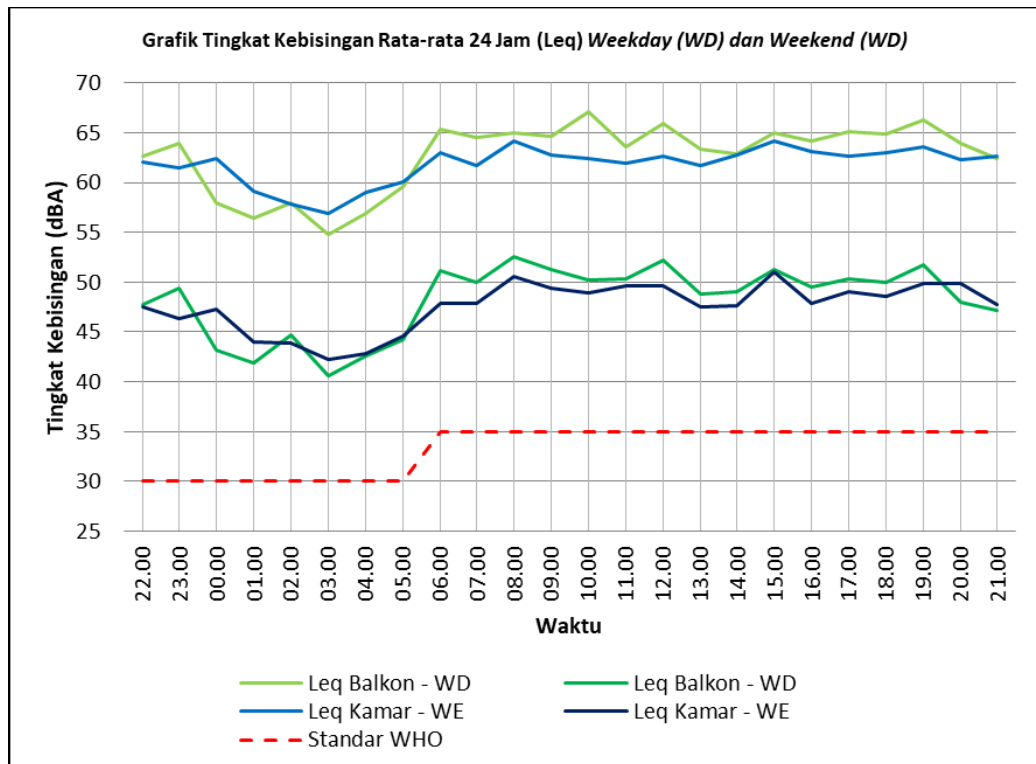
Tabel 4.8 Batas kebisingan dalam kondisi lingkungan tempat tinggal

Specific environment	Critical health effects	L_{eq}	L_{max}	Time base (hours)
Outdoor living area	Serious annoyance, daytime and evening	55	-	16
Indoors	Speech intelligibility & moderate annoyance, daytime & evening	35	-	16
Inside bedrooms	Sleep disturbance, night-time	30	45	8
Outside bedrooms (window open)	Sleep disturbance	45	60	8

Sumber: Berglund (WHO), 2000

4.6 Hasil Diskusi Pengamatan dan Pengukuran Lapangan

Berdasarkan hasil pengamatan dan pembahasan pengukuran lapangan, didapatkan beberapa kesimpulan yang berhubungan dengan tingkat kebisingan di apartemen yang disebabkan oleh kondisi lalu-lintas kendaraan di Jalan Menur Pumpungan.



Gambar 4.6 Perbandingan L_{eq} Weekday dan Weekend Balkon&Kamar Apartemen

Hasil pengukuran L_{eq} selama 24 jam, baik *weekday* maupun *weekend* menunjukkan bahwa pengukuran SLM 1 (di balkon) pada siang hari, tingkat kebisingan berada di rentang 60-70 dBA, sedangkan malam hari di rentang 50-65 dBA. Untuk pengukuran SLM 2 (di kamar apartemen) pada siang hari, tingkat kebisingan berada di rentang 45-55 dBA, sedangkan malam hari di rentang 40-50 dBA. Perbandingan L_{eq} dapat dilihat pada Gambar 4.6. Dapat dilihat pula dari grafik tersebut, selama 16 jam kebisingan yang terjadi pada balkon berada di atas 60 dB, dimana hal tersebut melebihi batas yang diperbolehkan, yaitu 12 jam seperti yang dijelaskan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Lama paparan kebisingan yang diperbolehkan

Tingkat kebisingan (dB)	Sumber bunyi	Lama paparan kebisingan yang diperbolehkan	Dampak pada manusia
10	Daun pepohonan	24 jam	Tidak ada
60	Percakapan	12 jam	Sangat terganggu
85	Kendaraan / traktor	8 jam	Beresiko
88	Bor listrik	4 jam	Beresiko
91	Mesin las	2 jam	Beresiko
94	Diskotik	1 jam	Beresiko
97	Mesin potong rumput	30 menit	Beresiko
100	Bengkel logam	15 menit	Cedera
106	Mesin bor jalan	7.5 menit	Cedera
109	Gergaji mesin	< 2 menit	Cedera
130	Palu keling	0	Sangat Berbahaya
140	Mesin pesawat jet	0	Sangat Berbahaya

Sumber: NOISH standards, 2016

Kondisi tingkat kebisingan pada Apartemen Gunawangsa tersebut, sekaligus menjawab pertanyaan penelitian yang pertama, bahwa kondisi di ruang apartemen yang dijadikan sebagai objek pengukuran lapangan, masih belum memenuhi Noise Criteria (NC) atau standar kebisingan yang disyaratkan oleh WHO untuk siang dan malam hari, baik saat *weekday* maupun *weekend*. Jika mengikuti standar tingkat kebisingan dari Keputusan Menteri Lingkungan Hidup no. 48 tahun 1996, maka ruang apartemen tersebut sudah memenuhi standar di malam hari saja yaitu di bawah 55 dB. Namun standar dari Kepmen tersebut tidak digunakan pada penelitian ini karena kenyataannya kondisi kebisingan lalu lintas yang terjadi pada kondisi sangat sangat mengganggu. Bunyi bising yang berasal dari lalu-lintas selalu berlangsung terus menerus selama 24 jam yang seharusnya tidak boleh terpapar terlalu lama karena selain mengganggu pendengaran manusia hal tersebut akan membahayakan kesehatan. Kebisingan dengan seperti ini dijumpai di kota-kota besar padat penduduk, seperti pada lokasi yang menjadi objek penelitian oleh Sakamoto (2015) agar dapat mereduksi kebisingan tidak hanya di waktu tertentu saja namun juga selama 24 jam.

Agar dapat memenuhi NC dari WHO, balkon diharapkan dapat mereduksi kebisingan yang disebut *noise reduction* (NR) nilai L_s dan L_m harus dikurangi dengan nilai standar untuk mengetahui berapa nilai tingkat kebisingan yang harus

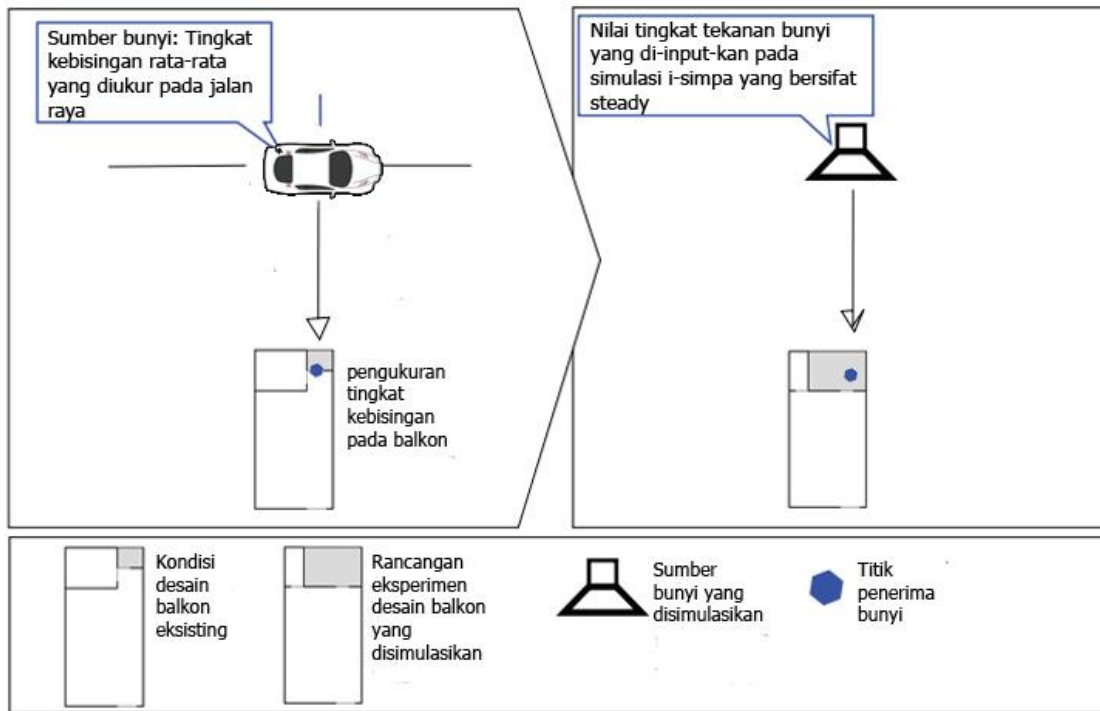
direduksi sesuai standar. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.10 yang menunjukkan nilai NR yang harus dipenuhi pada kondisi *weekday* dan *weekend* sangat besar yaitu sekitar 15 dB.

Tabel 4.10 Nilai NR yang harus terpenuhi untuk memenuhi standar

Hari	Jenis	Nilai L	NC (WHO)	NR
Weekday	Lm	45.2	30	15.2
	Ls	49.1	35	14.1
Weekend	Lm	45.2	30	15.2
	Ls	50.4	35	15.4

Terdapat dua jenis kebisingan yang terjadi yaitu pada pukul 05.00-24.00 kebisingan lalu lintas bersifat *steady* dan pada pukul 01.00-04.00 kebisingan lalu lintas bersifat *impulsive* ditambah dengan sumber bunyi dari AC dari unit tetangga pada apartemen. Terdapat perbedaan karakteristik kebisingan, namun kebisingan yang paling mengganggu adalah kebisingan pada siang hari. Walaupun kondisi malam hari juga terdapat kebisingan lalu-lintas namun rata-rata tingkat kebisingan masih didominasi oleh kebisingan siang hari.

Analisis rancangan eksperimen menggunakan bantuan simulasi I-simpa karena dapat membantu mengetahui propagasi bunyi yang bersumber dari jalan raya ke penerima yaitu area balkon loggia. Hasil pengukuran nilai tingkat tekanan bunyi pada jalan raya dan pada balkon apartemen dijadikan *input* untuk simulasi pada i-Simpa, dengan mengubah kondisi balkon eksisting menjadi beberapa desain balkon yang berbeda. Output yang dapat diperoleh dengan simulasi adalah nilai tingkat kebisingan tiap lantai dan *sound mapping* dengan perbedaan ketinggian lantai apartemen sekaligus. *Output* tersebut kemudian dibandingkan dengan hasil rancangan eksperimen lainnya untuk diketahui kualitas akustiknya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Hasil pengukuran lapangan dijadikan dasar untuk mensimulasikan rancangan eksperimen

BAB 5

HASIL EKSPERIMEN DAN PEMBAHASAN

Pembahasan pada Bab ini terbagi menjadi tiga bagian. Bagian pertama membahas verifikasi pengukuran lapangan dan simulasi. Bagian kedua membahas pengaruh desain yaitu WWR, kedalaman balkon dan material pada tiap rancangan eksperimen yang dibandingkan dengan hasil *base case*. Bagian ketiga membahas pengaruh angin terhadap tingkat kebisingan yang terjadi pada rancangan eksperimen yang cukup baik mereduksi kebisingan.

5.1 Verifikasi Pengukuran Lapangan dan Simulasi

Verifikasi bertujuan untuk mengetahui kesesuaian hasil pengukuran lapangan dengan simulasi yang dilakukan. Hasil verifikasi digunakan sebagai validitas model yang digunakan untuk simulasi. Verifikasi dilakukan dengan membandingkan nilai L_{eq} pengukuran lapangan di balkon dan *indoor* dengan hasil simulasi I-Simpa. Perbandingan tersebut menggunakan analisis standar deviasi RMSE yang juga pernah dilakukan oleh Yu (2018) dengan persamaan 3.1. Hasil verifikasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 5.1 Verifikasi Hasil Pengukuran Lapangan dan Simulasi

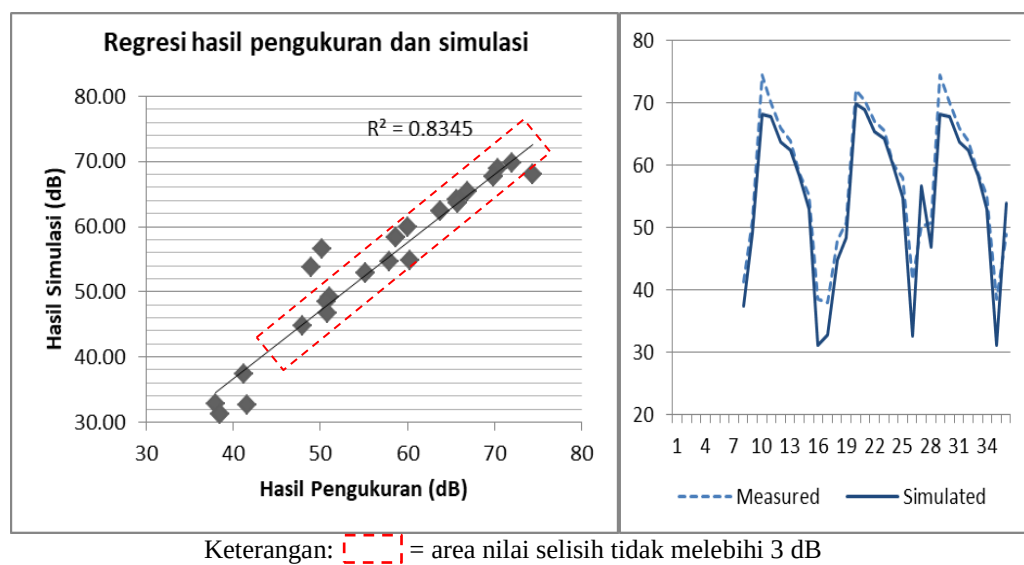
Frekuensi (Hz)	10.00 weekday		Selisih	RMSE	%RMSE (standar deviasi)	10.00 weekend		Selisih	RMSE	%RMSE (standar deviasi)
	87.20					85.30				
	SLM 1	Simu lasi				SLM 1	Simu lasi			
63	50.7	48.4	2.34	1.65	3.31 %	50.7	46.8	3.96	2.8	5.60 %
125	72.0	69.8	2.21	1.56	3.13 %	64.7	68.1	3.39	2.4	4.79 %
250	70.3	68.9	1.46	1.03	2.06 %	69.9	67.7	2.20	1.56	3.11 %
500	66.9	65.3	1.64	1.16	2.32 %	65.8	63.6	2.23	1.58	3.15 %
1000	65.6	64.2	1.4	0.99	1.98 %	63.7	62.3	1.49	1.05	2.11 %
2000	60.1	60	0.1	0.07	0.14 %	58.7	58.3	0.42	0.3	0.59 %
4000	57.9	54.7	3.23	2.28	4.57 %	55.2	52.9	2.32	1.64	3.28 %
8000	41.6	32.6	9.00	6.36	12.73 %	38.4	31.2	7.24	5.12	10.24 %
Indoor	50.2	56.6	-6.42	4.54	9.08 %	48.9	53.7	-4.89	3.46	6.92 %

Keterangan: angka merah tidak memenuhi standar error/ melebihi 5%

Model dianggap valid bila nilai tingkat kesalahan tidak melebihi 0,05 (Sumantri, 2006) dalam hal ini standar deviasi atau $RMSE \leq 5\%$ (Suryani, 2006).

Dapat dilihat pada Tabel 5.1 verifikasi hasil pengukuran lapangan dan simulasi. Sebagian besar RMSE berada di bawah 5%, namun melebihi 5% pada tingkat tekanan bunyi pada simulasi *indoor*, frekuensi 63 dan 8000 Hz. Sehingga dapat

Menurut Rusjadi (2011), toleransi perbedaan nilai pengukuran tingkat kebisingan antar alat ukur adalah 3 dB, namun pada hasil simulasi nilainya belum tentu memiliki selisih nilai 3 dB dengan hasil pengukuran. Namun dapat dilihat bahwa sebagian besar hasil simulasi memiliki kondisi yang mendekati dengan hasil pengukuran lapangan.



Gambar 5.1 Verifikasi Hasil Simulasi dan Pengukuran lapangan

Dapat dilihat Tabel 5.2 tentang klarifikasi nilai regresi. Nilai regresi melebihi 0,7 mengindikasikan bahwa hasil simulasi dan pengukuran lapangan sangat kuat (Moore, 2013). Pada Gambar 4.6 menunjukkan nilai R^2 berada di atas 0,7 itu berarti dapat dikatakan bahwa perbandingan hasil simulasi dengan kondisi pengukuran lapangan adalah sangat kuat bila dianalisis dengan analisis regresi.

Berdasarkan perhitungan standar deviasi dengan RMSE dan analisis regresi, hampir keseluruhan hasil simulasi memiliki kondisi yang mendekati hasil pengukuran lapangan, sehingga simulasi yang dilakukan pada penelitian ini bersifat valid dan dapat digunakan untuk mensimulasikan rancangan penelitian untuk diketahui nilai tingkat kebisingan yang terjadi.

Tabel 5.2 Klasifikasi Nilai Regresi

Nilai regresi	Hubungan antar variabel
$R^2 < 0.3$	Hubungan atau pengaruh antar variabel sangat lemah
$0.3 < R^2 < 0.5$	Hubungan atau pengaruh antar variabel lemah
$0.5 < R^2 < 0.7$	Hubungan atau pengaruh antar variabel cukup
$R^2 > 0.7$	Hubungan atau pengaruh antar variabel sangat kuat

Sumber: Moore (2013)

5.2 Kinerja Base Case

Kinerja akustik pada *base case* merupakan parameter model eksperimen. Oleh karena itu dilakukan simulasi untuk mengetahui tingkat kebisingan objek studi (*base case*) untuk setiap lantai dari lantai 3 hingga 25. Tabel 5.3 dan 5.4 menunjukkan nilai yang dimasukkan ke dalam simulasi (*input*) pada program I-Simpa. *Input* simulasi tersebut diantaranya sumber kebisingan yang diambil dari kondisi tingkat kebisingan tertinggi dari hasil pengukuran di jalan raya. Data lain yang diperlukan untuk simulasi adalah suhu *outdoor*, kelembapan udara, dan kondisi permukaan dalam hal ini adalah kepadatan lingkungan tapak karena selain harus dimasukkan dalam program I-Simpa, hal-hal tersebut dapat mempengaruhi propagasi kebisingan dari sumber bunyi ke penerima (Sakamoto, 2015). Pada kondisi siang hari dipilih kondisi pada pukul 10.00 dan malam hari dipilih pada pukul 02.00 *weekday*.

Tabel 5.3 *Input* Simulasi Siang Hari (kebisingan rata-rata)

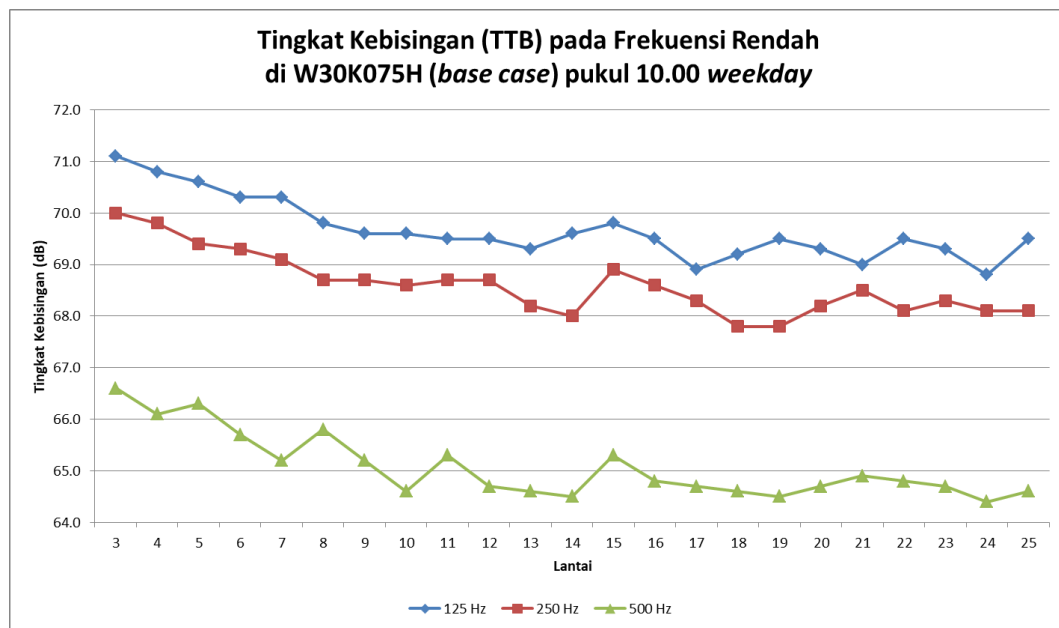
	Input Simulasi	Sumber/keterangan														
Sumber kebisingan pada tiap pita frekuensi	Pada pukul 10.00 <i>weekday</i> Sumber jalan raya: <table> <tr> <th>Fq (Hz)</th> <th>TTB</th> </tr> <tr> <td>125</td> <td>90.2</td> </tr> <tr> <td>250</td> <td>89.5</td> </tr> <tr> <td>500</td> <td>86.7</td> </tr> <tr> <td>1000</td> <td>81.2</td> </tr> <tr> <td>2000</td> <td>81.1</td> </tr> <tr> <td>4000</td> <td>76</td> </tr> </table>	Fq (Hz)	TTB	125	90.2	250	89.5	500	86.7	1000	81.2	2000	81.1	4000	76	Rata-rata kebisingan tertinggi dari hasil pengukuran lalu-lintas jalan raya Menur Pumpungan
		Fq (Hz)	TTB													
		125	90.2													
		250	89.5													
		500	86.7													
		1000	81.2													
		2000	81.1													
4000	76															
Suhu <i>outdoor</i>	33°C	BMKG Surabaya														
Kelembapan	60%	BMKG Surabaya														
Kepadatan lingkungan	Dense urban	Lingkungan permukiman padat														

Tabel 5.4 *Input Simulasi Malam Hari (Kebisingan Sesaat dan Bunyi AC)*

	Input Simulasi	Sumber/keterangan
Sumber kebisingan pada tiap pita frekuensi	Pada pukul 02.00 <i>weekday</i> Sumber 1 kendaraan:	Puncak kebisingan sesaat yang paling tinggi dari hasil pengukuran lalu-lintas (1 kendaraan bermotor) di jalan raya Menur Pumpungan dan <i>background noise</i> yang hanya terdengar bunyi AC dari unit tetangga
	Fq (Hz)	
	125	
	250	
	500	
	1000	
	2000	
	4000	
	TTB	
	93.7	
	Sumber AC:	
	Fq (Hz)	
	125	
	250	
	500	
	1000	
	2000	
	4000	
	TTB	
	56.76	
Suhu outdoor	24°C	BMKG Surabaya
Kelembapan	90%	BMKG Surabaya
Kepadatan lingkungan	Dense urban	Lingkungan permukiman padat

5.2.1 Simulasi *base case* siang hari

Pada simulasi ini sumber kebisingan yang digunakan pada pukul 10.00 *weekday*. Gambar 5.1 menunjukkan simulasi model W30K075H (*base case*) dengan hasil tingkat tekanan bunyi yang terjadi pada lantai 3 hingga lantai 25 di enam tiga frekuensi yang berbeda. Apartemen digunakan sebagai tempat istirahat dan bekerja lebih terganggu dengan kebisingan berfrekuensi rendah (Berglund, 2000). Sehingga pada penelitian ini hanya dilihat pengaruh balkon dalam mereduksi kebisingan pada frekuensi rendah yaitu 125, 250 dan 500 Hz saja. Hal ini sesuai dengan kondisi tingkat kebisingan yang terjadi pada *base case* dimana kebisingan paling tinggi terjadi di pita frekuensi rendah dibandingkan frekuensi tinggi. Dapat dilihat pula bahwa pengurangan tingkat kebisingan dari lantai terendah (lantai 3) hingga lantai tertinggi (lantai 25) yang terjadi mencapai sekitar 2 dB.

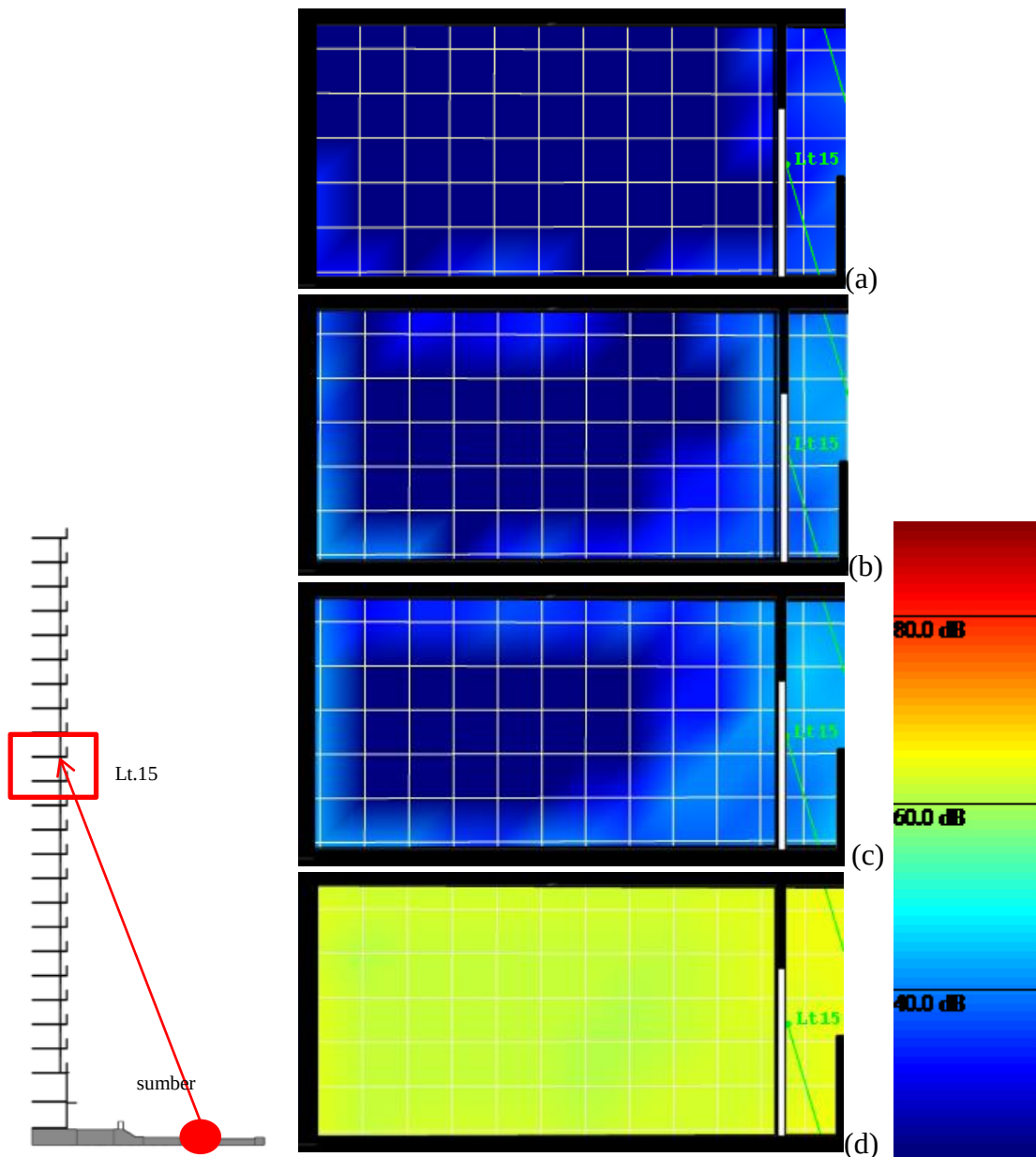


Gambar 5.2 Grafik Tingkat Kebisingan (TTB) di Setiap Lantai pada Frekuensi Rendah di Jam Terbising (10.00 weekday)

Dapat dilihat pada Gambar 5.2 bahwa nilai tingkat kebisingan dari lantai terendah hingga tertinggi menunjukkan penurunan dari 1 hingga 2 dB. Namun pada beberapa lantai tidak menunjukkan pengurangan kebisingan, bahkan tingkat kebisingan yang terjadi adalah semakin meningkat seperti yang terlihat pada lantai 15 dimana tingkat kebisingannya naik dibandingkan dengan lantai 9 di semua frekuensi. Hal ini dapat dipahami karena bunyi dapat mengalami refleksi maupun difraksi yang menyebabkan semakin meningkatnya tingkat kebisingan (Doelle, 1986). Untuk korelasi antara tingkat kebisingan dan ketinggian lantai dapat dinyatakan dalam rumus atau persamaan polinomial yang dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Tingkat Kebisingan di Frekuensi Rendah Sesuai Perbedaan Lantai n (3 hingga 25)

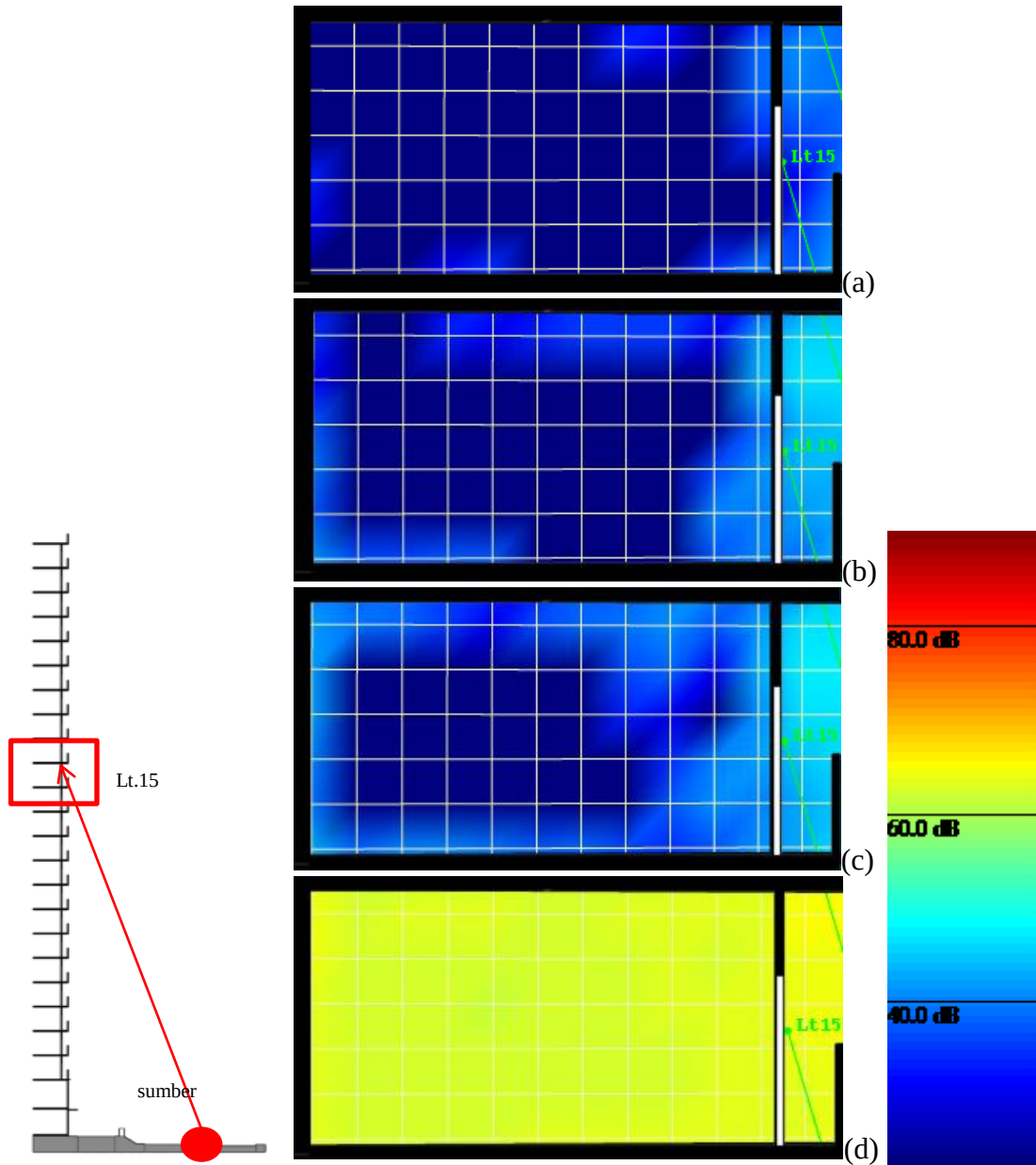
Frekuensi (Hz)	Rumus Empiris	R ²
125	$TTB = 0.0063n^2 - 0.2213n + 71.139$	0.84
250	$TTB = 0.0058n^2 - 0.2109n + 70.048$	0.83
500	$TTB = 0.0067n^2 - 0.2343n + 66.616$	0.8



Gambar 5.3 Propagasi Bunyi *Base Case* Frekuensi 125 Hz pada Potongan Lantai 15 Saat Bunyi Datang di Balkon. (a, b, c) Kontur Perambatan Bunyi; (d) Akumulasi Gelombang Bunyi/Tingkat Kebisingan pada Balkon

Seperti yang sudah diutarakan sebelumnya, salah satu hal yang menarik pada simulasi *base case* tersebut adalah pada lantai 15 terdapat peningkatan tingkat tekanan bunyi dibandingkan dengan beberapa lantai di bawahnya seperti pada lantai 9 hingga 14 yang lebih dekat dengan sumber kebisingan lalu lintas. Dapat dilihat pada Gambar 5.3, 5.4, dan 5.5 tentang propagasi bunyi *base case* dari frekuensi 125, 250 dan 500 Hz. Perambatan gelombang bunyi yang terjadi

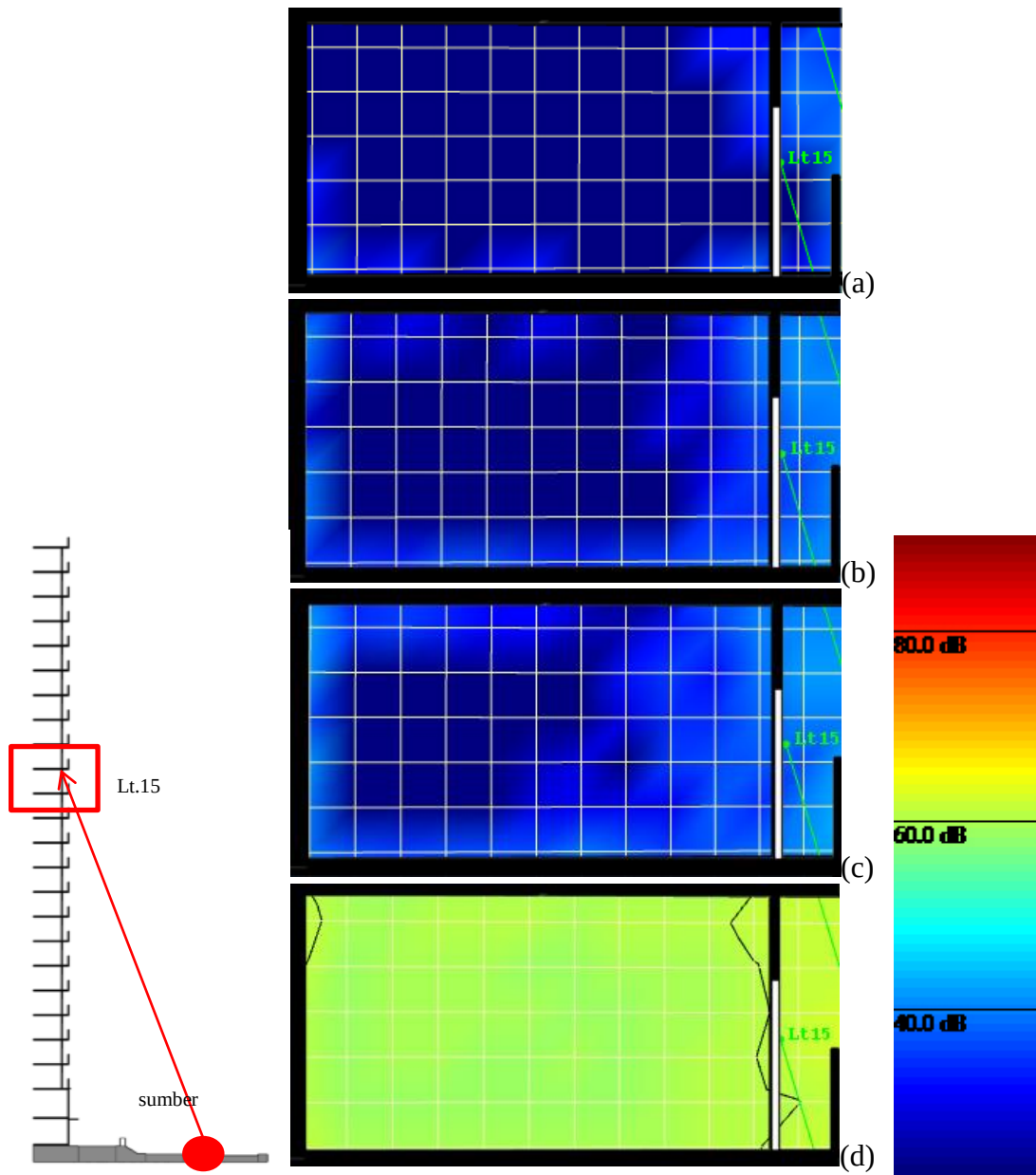
melalui udara relatif sama yaitu sudut datang bunyi terlihat sama di semua frekuensi, namun yang membedakan adalah intensitas bunyi yang terjadi.



Gambar 5.4 Propagasi Bunyi *Base Case* Frekuensi 250 Hz pada Potongan Lantai 15 Saat Bunyi Datang di Balkon. (a, b, c) Kontur Perambatan Bunyi; (d) Akumulasi Gelombang Bunyi/Tingkat Kebisingan pada Balkon

Dapat dilihat pada Gambar 5.3, gelombang bunyi yang datang dengan frekuensi 125 Hz dipantulkan di plafon yang kemudian beberapa gelombang terpantul kembali karena dinding dan ada juga gelombang yang masuk ke dalam unit apartemen. Banyak pantulan gelombang bunyi yang tidak berhasil masuk ke

dalam unit apartemen ataupun keluar kembali dari balkon sehingga terjebak di area balkon yang menyebabkan tingkat tekanan bunyi pada balkon menjadi lebih tinggi.



Gambar 5.5 Propagasi Bunyi *Base Case* Frekuensi 500 Hz pada Potongan Lantai 15 Saat Bunyi Datang di Balkon. (a, b, c) Kontur Perambatan Bunyi; (d) Akumulasi Gelombang Bunyi/Tingkat Kebisingan pada Balkon

Gambar 5.4 menunjukkan pada frekuensi 250 Hz gelombang bunyi lebih cepat datang dibandingkan frekuensi 125 dan 500 Hz namun intensitasnya tidak sebesar frekuensi 125 Hz. Dapat dilihat pula pengaruh difraksi dari objek

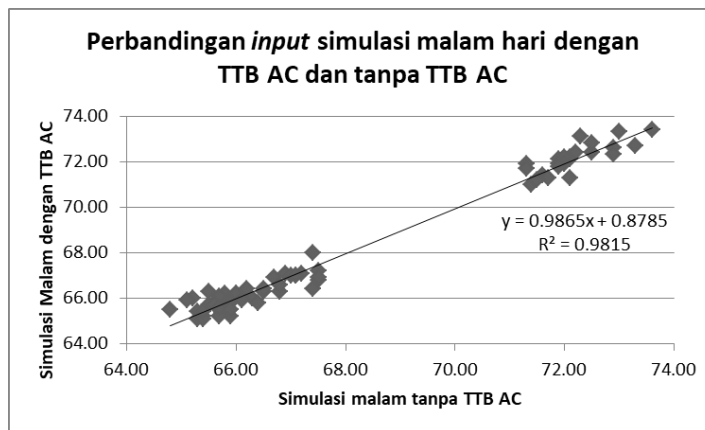
penghalang satu-satunya yaitu *railing* balkon tidak menunjukkan pengaruh difraksi yang signifikan karena ukuran penghalang tersebut kecil dengan rongga-rongga yang besar. Dapat dilihat pada Gambar 5.5 yang menunjukkan propagasi pada frekuensi 500 Hz yang paling lemah dibandingkan dengan frekuensi 125 dan 250 Hz, termasuk dengan tingkat kebisingan kumulatif yang terjadi. Hal ini menandakan bahwa panjang gelombang bunyi di frekuensi 500 Hz lebih pendek dibandingkan dengan panjang gelombang di frekuensi lainnya. Mediastika (2005) menyatakan bahwa panjang gelombang (m) merupakan elemen yang menunjukkan kekuatan bunyi, semakin panjang gelombangnya, semakin kuat pula bunyi tersebut dalam merambat suatu medium tertentu. Jika Doelle (1986) menyatakan bahwa pembelokan dan penghamburan bunyi lebih nyata pada frekuensi rendah daripada frekuensi tinggi, pada penelitian ini yang memperhatikan bunyi di frekuensi 125 Hz, 250 Hz, dan 500 Hz yang sama-sama berada dalam rentang frekuensi rendah memperjelas teori tersebut karena berlaku juga dalam rentang frekuensi rendah, dimana difraksi yang terjadi pada frekuensi 125 Hz lebih nyata dibandingkan dengan 250 atau 500 Hz.

5.2.2. Simulasi *base case* malam hari

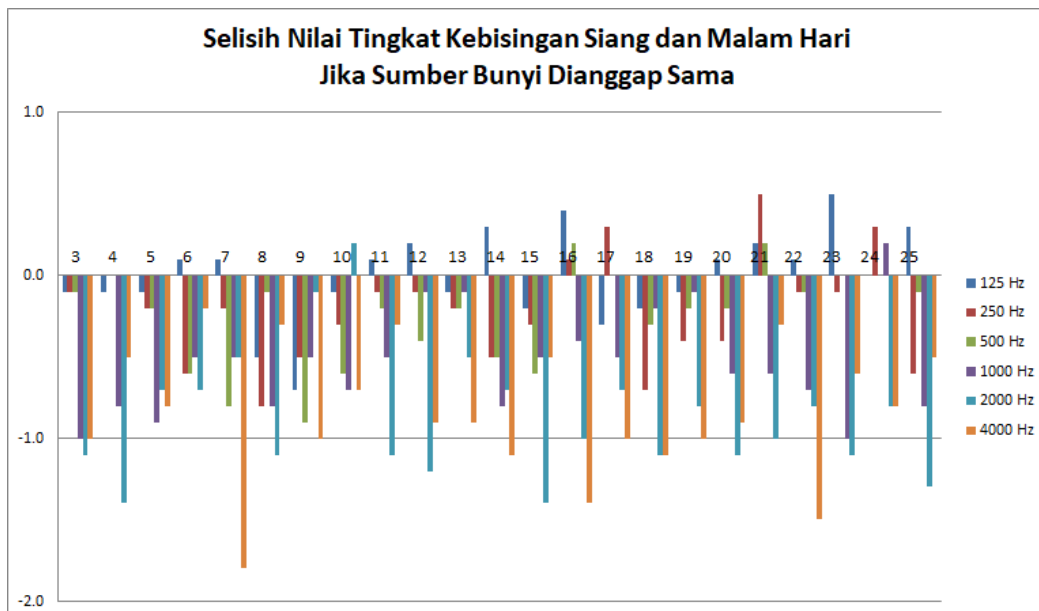
Pada simulasi ini terdapat dua sumber kebisingan yaitu jalan raya dan AC unit tetangga apartemen. Dilakukan 2 simulasi yang berbeda dari perbedaan *input* simulasi. Pertama, merupakan kebisingan lalu-lintas sesaat atau terdapat satu kendaraan yang melewati Jalan Menur Pumpungan ditambah dengan kebisingan dari bunyi AC tetangga unit apartemen. Sedangkan yang kedua tidak memperhitungkan bunyi AC. Dari hasil kedua simulasi malam hari tersebut diperoleh hasil perbandingan bahwa antara keduanya menunjukkan nilai tingkat kebisingan yang relatif sama dengan selisih tingkat kebisingan kurang dari 1 dB seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.6.

Fenomena lain yang terjadi pada saat malam hari pada balkon eksisting adalah walaupun nilai rata-rata tingkat kebisingan pada malam hari jauh lebih rendah daripada siang hari, namun satu kendaraan saja yang melewati area apartemen bisa terdengar lebih keras daripada di siang hari. Menurut Sakamoto (2015) selain angin, temperatur dan kelembapan udara juga berpengaruh pada

propagasi bunyi. Untuk membuktikan hal tersebut dilakukan simulasi malam hari (pukul 02.00) dengan sumber kebisingan yang sama dengan siang hari (pukul 10.00), namun suhu dan kelembapannya disesuaikan dengan jam 02.00 untuk dibandingkan dengan hasil simulasi di siang hari. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.7 bahwa tingkat kebisingan di sebagian keseluruhan lantai mengalami peningkatan di semua frekuensi mulai dari frekuensi 125 Hz hingga frekuensi 4000 Hz.

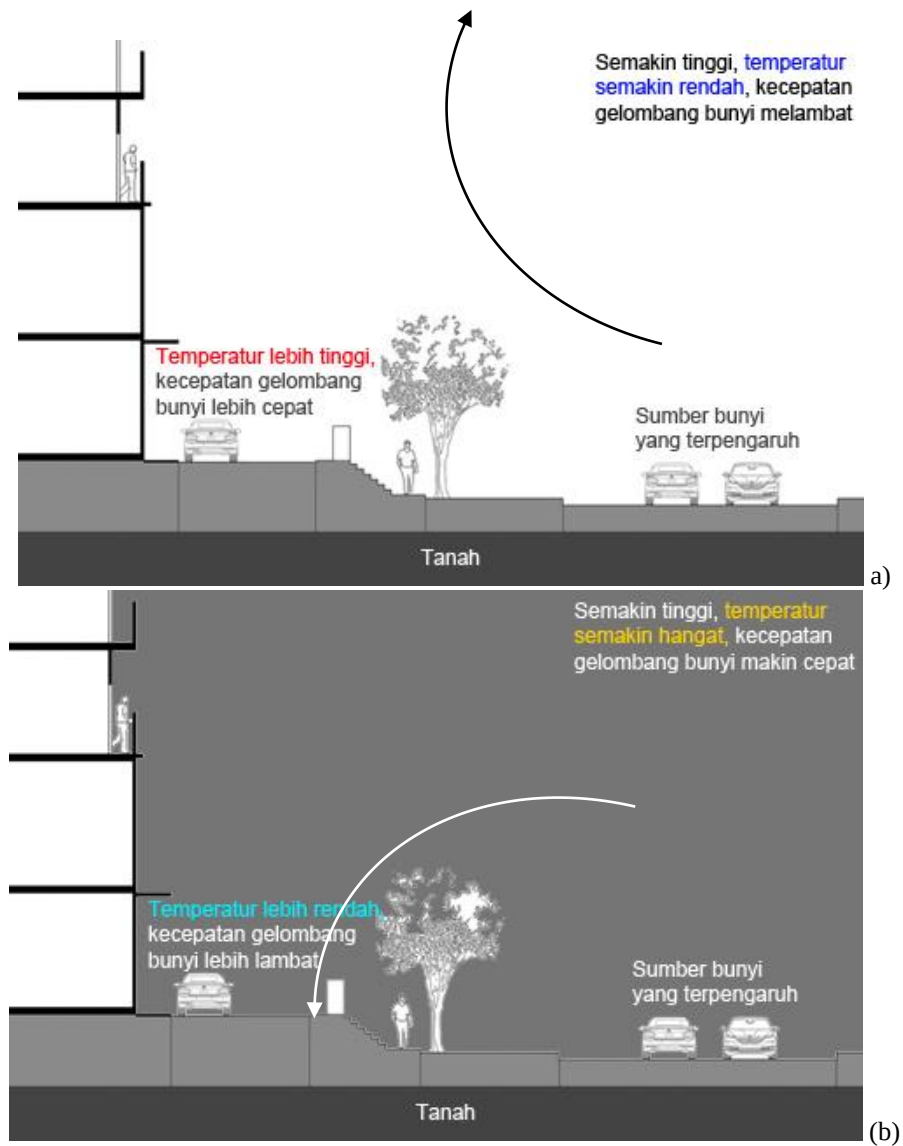


Gambar 5.6 Perbandingan Hasil Simulasi Malam Hari (Pukul 02.00) Antara *Input* Simulasi Menggunakan TTB AC dan Tanpa TTB AC



Gambar 5.7. Selisih Nilai Tingkat Kebisingan Siang dan Malam Jika Sumber Bunyi Dianggap Sama Dengan Kondisi Suhu dan Kelembapan yang Berbeda, Nilai Positif (+) Mengurangi Kebisingan dan Negatif (-) Menambah Kebisingan

Menurut Kai-chung (2014), fenomena bunyi terdengar lebih jelas di malam hari bukanlah karena kondisi malam yang lebih sepi dibandingkan siang hari, namun karena terdapat perbedaan kecepatan gelombang bunyi. Di temperatur yang hangat gelombang bunyi akan bergerak lebih cepat dan lebih lambat di udara yang dingin. Sebagai ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 5.8. Pada malam hari, temperatur udara pada permukaan tanah lebih rendah dibandingkan dengan temperatur udara di bagian atasnya, sehingga pada malam hari bunyi kendaraan akan terdengar lebih jelas terutama pada lantai bangunan yang lebih tinggi dibandingkan di ketinggian lantai yang lebih rendah.



Gambar 5.8. Ilustrasi Temperatur Mempengaruhi Perambatan Bunyi; (a) Siang, (b) Malam Hari

Selain itu, bila memperhatikan hasil perhitungan tingkat tekanan bunyi di frekuensi rendah pada pukul 02.00 di balkon tanpa kendaraan dan pada saat terdapat kendaraan lewat yang tegak lurus dengan posisi balkon yang dapat dilihat pada Tabel 5.6, selisih tingkat kebisingan yang terjadi di atas 9 dB, itu artinya pada saat kendaraan lewat, bunyi AC tidak akan terdengar dan yang terdengar mendominasi di balkon adalah bunyi kendaraan yang lewat karena tidak terjadi penumpukan bunyi yang disebabkan selisih antara kedua sumber bunyi sangat besar (Egan, 1976) dimana hal tersebut juga sesuai dengan hasil simulasi.

Tabel 5.6 Perbandingan Tingkat Kebisingan di Balkon Saat Kondisi Jalan Tanpa Kendaraan dan Saat Terdapat Kendaraan Lewat pada Pukul 02.00

Frekuensi (Hz)	Tingkat kebisingan tanpa kendaraan (bunyi AC)	Tingkat kebisingan saat kendaraan lewat	Selisih (dB)
125	56.76	77.24	20.48
250	61.99	71.73	9.74
500	44.44	67.69	23.25
1000	44.16	64.34	20.18
2000	47.5	54.4	6.9
4000	47.52	49.99	2.47

Berdasarkan hasil simulasi *base case* di siang dan malam hari, pada penelitian ini cukup dilakukan simulasi desain balkon loggia dengan kondisi tingkat kebisingan di siang hari. Hal ini dapat dilakukan karena selain nilai tingkat kebisingan rata-rata siang hari yang jauh lebih besar daripada malam hari akibat kebisingan lalu lintas, kebisingan malam hari yang terdapat sumber bunyi lain seperti AC tidak akan terdengar saat terdapat kendaraan melaju melewati apartemen. Sesuai dengan Mediastika (2005) yang menyatakan bahwa kebisingan yang mendominasi kehidupan kita sehari-hari terutama berasal dari jalan raya yang mengganggu tidak hanya aktivitas kita di luar ruangan namun juga di dalam ruangan. Selain itu, Doelle (1986) menyatakan bahwa bunyi frekuensi rendah menyebabkan penyelubungan yang cukup besar pada bunyi frekuensi yang lebih tinggi. Terutama bila frekuensi rendah sangat keras, bunyi tersebut berpotensi menyelubungi di seluruh jangkauan frekuensi audio, sehingga kebisingan lalu

lintas dengan frekuensi rendah di siang hari dapat diatasi maka kebisingan lain di malam hari juga dapat terselesaikan.

5.3 Analisis Pengaruh Desain Balkon Tipe Loggia

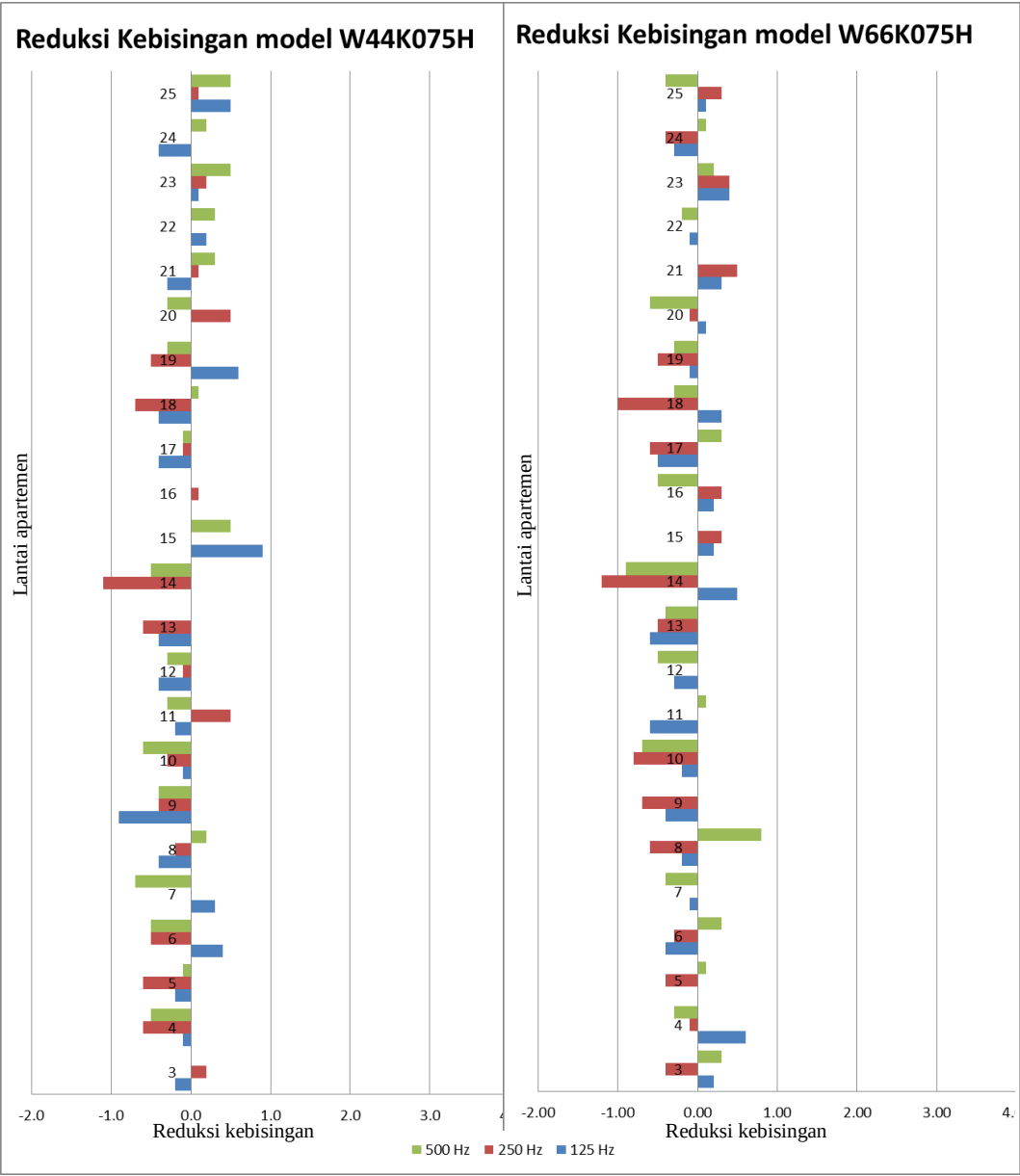
Hasil nilai dari simulasi model W30K075H atau *base case* siang hari pada subbab sebelumnya dibandingkan dengan hasil simulasi beberapa rancangan eksperimen yang sudah ditentukan. Hasil perbandingan simulasi dari selisih nilai tingkat kebisingan keduanya menghasilkan nilai reduksi kebisingan. Berdasarkan nilai reduksi kebisingan kita dapat melihat seberapa besar pengaruh elemen desain yang terdiri dari WWR, kedalaman balkon dan material dengan tingkat kebisingan yang terjadi.

5.3.1 Pengaruh Perubahan WWR 44% dan 66%

Nilai reduksi kebisingan saat model W30K075H (*base case*) dengan WWR balkon sebesar 30% diubah ke 44% dan 66% dapat dilihat pada Gambar 5.9. Hasil simulasi menunjukkan sebagian besar tingkat kebisingan meningkat lebih dari 1 dB terutama pada frekuensi 250 Hz di lantai 12 pada W44K075H dan lantai 14 pada W66K075H. Sedangkan reduksi kebisingan tidak banyak terjadi dan hanya dapat mereduksi sekitar 0,5 dB saja. Itu artinya kondisi *base case* dengan bukaan balkon 30% lebih baik dibandingkan dengan balkon yang semakin terbuka 44% dan 66%, karena semakin besar bukaan maka semakin besar pula bunyi yang diterima oleh balkon. Kim (2005) menyatakan bahwa variasi bukaan memberi pengaruh cukup besar terhadap kebisingan, tetapi pada penelitian ini, nilai reduksi kebisingan yang bervariasi pada tiap lantai menandakan pengaruh yang terjadi bukan saja disebabkan oleh pengaruh WWR saja, sehingga perlunya identifikasi lebih lanjut pada variabel lainnya seperti kedalaman balkon ataupun material.

Hasil reduksi kebisingan yang terjadi tidak menunjukkan grafik yang konstan atau tidak menunjukkan hasil dimana semakin tinggi jarak yang disebabkan oleh penambahan ketinggian lantai, maka semakin tinggi pula reduksi kebisingannya di semua pita frekuensi yang dapat dilihat pada Tabel 5.7. Hal ini juga terjadi pada penelitian yang dilakukan Lee (2007) dimana penambahan jarak

karena perbedaan ketinggian lantai tidak menunjukkan tren yang jelas terhadap perbaikan tingkat tekanan bunyi dan penambahan reduksi kebisingan.

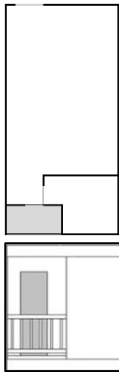
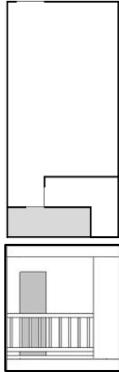


Gambar 5.9 Grafik Reduksi Kebisingan Pada Model W44K075H (WWR 44%) dan W66K075H (WWR 66%)

Penelitian lain yang dilakukan Tang (2005) yang melakukan eksperimen tentang perbedaan sudut dari sumber ke titik penerima. Tang menyebutkan bahwa semakin tinggi sudut yang terbentuk maka reduksi kebisingan semakin tinggi, dan sudut yang terbentuk antara sumber bising ke penerima di bawah 60° masih bisa

digeneralisasikan dengan rumus empiris, tapi sudah tidak berlaku di atas sudut 60°. Terdapat perbedaan pada penelitian Lee yang meneliti sudut 17° ke 75°, yang tidak dapat digeneralisasi seperti juga pada penelitian ini. Pada penelitian ini, sudut yang terbentuk mulai dari sudut 38.9° (lantai 3) hingga sudut 78.3° (lantai 25), rumus yang dihasilkan oleh Tang tidak bisa digunakan dalam frekuensi 125, 250 dan 500 Hz karena kenyataannya reduksi kebisingan sangat bervariasi dari satu lantai ke lantai lainnya. Hal ini menandakan bahwa sudut yang terbentuk belum tentu menjadi faktor utama dalam mereduksi kebisingan.

Tabel 5.7 Reduksi Kebisingan Tiap Frekuensi pada Model W44K075H (WWR 44%) dan W66K075H (WWR 66%)

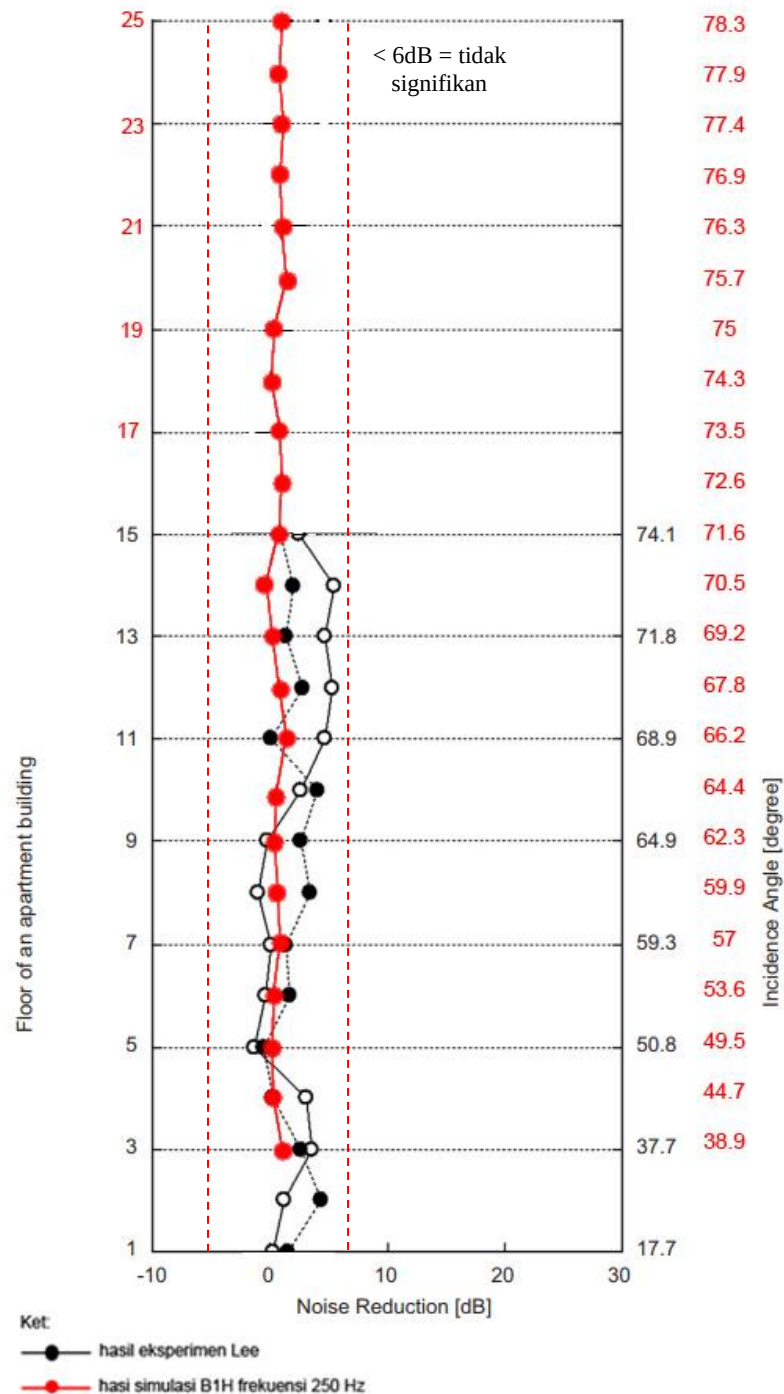
W44K075H	lt	125 Hz	250 Hz	500 Hz	(°)
WWR 44%, kedalaman 0.75m, beton halus 	25				78.3
	24				77.9
	23				77.4
	22				76.9
	21				76.3
	20				75.7
	19				75.0
	18				74.3
	17				73.5
	16				72.6
	15				71.6
	14				70.5
	13				69.2
	12				67.8
	11				66.2
	10				64.4
	9				62.3
	8				59.9
	7				57.0
	6				53.6
	5				49.5
	4				44.7
	3				38.9
W66K075H	lt	125 Hz	250 Hz	500 Hz	(°)
WWR 66%, kedalaman 0.75m, beton halus 	25				78.3
	24				77.9
	23				77.4
	22				76.9
	21				76.3
	20				75.7
	19				75.0
	18				74.3
	17				73.5
	16				72.6
	15				71.6
	14				70.5
	13				69.2
	12				67.8
	11				66.2
	10				64.4
	9				62.3
	8				59.9
	7				57.0
	6				53.6
	5				49.5
	4				44.7
	3				38.9

Dapat dilihat pada Gambar 5.10 perbandingan hasil eksperimen Lee (2007) dan penelitian ini yang menunjukkan nilai reduksi kebisingan yang terjadi

akibat perbedaan ketinggian/sudut datang dari sumber bunyi ke unit balkon apartemen. Pada penelitian yang dilakukan Lee, terdapat beberapa perbedaan perlakuan balkon yang menghasilkan nilai reduksi kebisingan yang kurang signifikan dan belum tentu menunjukkan nilai reduksi kebisingan yang semakin besar seiring bertambahnya ketinggian atau sudut datang sumber bunyi.

Bila hasil reduksi kebisingan dari simulasi model W44K075H pada frekuensi 250 Hz dimasukkan kedalam grafik yang dimiliki Lee (2007) seperti pada Gambar 5.8 terdapat kesamaan yang terjadi pada penelitian ini, yang berbeda adalah pada eksperimen W44K075H dan W66K075H, nilai reduksi kebisingannya tidak signifikan namun hasilnya tetap menunjukkan bahwa tidak semua kondisi pada frekuensi rendah menunjukkan peningkatan reduksi kebisingan dari penambahan ketinggian lantai ataupun sudut datangnya sumber bunyi. Signifikan yang dimaksud adalah perbedaan bunyi sebesar 6 dB karena perbedaan 1 dB tidak dapat didengar oleh telinga dan perubahan 3 dB hanya dapat dirasakan samar-samar (Satwiko, 2009).

Mediastika (2005) menyatakan bahwa salah satu cara untuk mengendalikan kebisingan yang merambat melalui medium udara adalah membatasi atau menghalangi bunyi. Perubahan WWR menjadi lebih besar seperti 44% dan 66% berlawanan dengan teori tersebut. Penambahan WWR menyebabkan semakin bertambahnya potensi bunyi/bising yang masuk karena tidak adanya penghalang bunyi dan menyebabkan kebisingan lebih meningkat dibandingkan WWR yang lebih kecil seperti pada *base case* (30%). Akan tetapi kebutuhan apartemen yang beragam akan luasan bukaan balkon harus dapat dipenuhi sehingga perlunya solusi lain dengan mengkaji elemen desain balkon lainnya agar WWR yang besarpun dengan tingkat kebisingan yang rendah tetap dapat diterapkan dalam desain apartemen. Seperti yang diutarakan Doelle (1986) bahwa pengendalian kebisingan tidak hanya serta merta dilakukan dengan cara menutup atau mengecilkan bukaan, namun terdapat banyak cara yang dapat dilakukan bahkan balkon juga dapat dimanfaatkan untuk mengendalikan kebisingan.

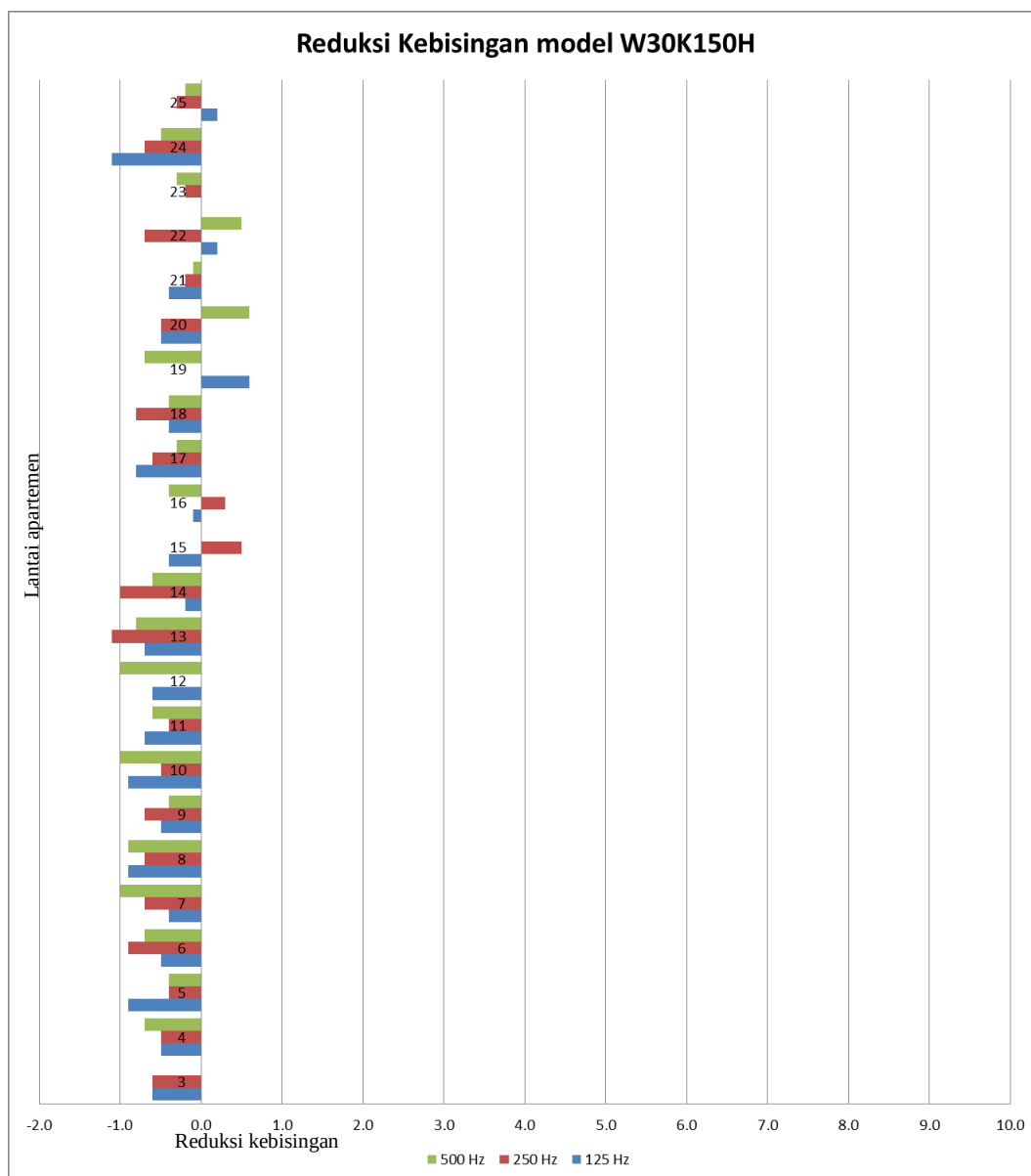


Gambar 5.10. Perbandingan Reduksi Kebisingan Eksperimen Lee pada Beberapa Perubahan Perlakuan Elemen Balkon Tiap Lantai dan Hasil Simulasi W44K075H (250 Hz) yang Tidak Berpengaruh Secara Signifikan

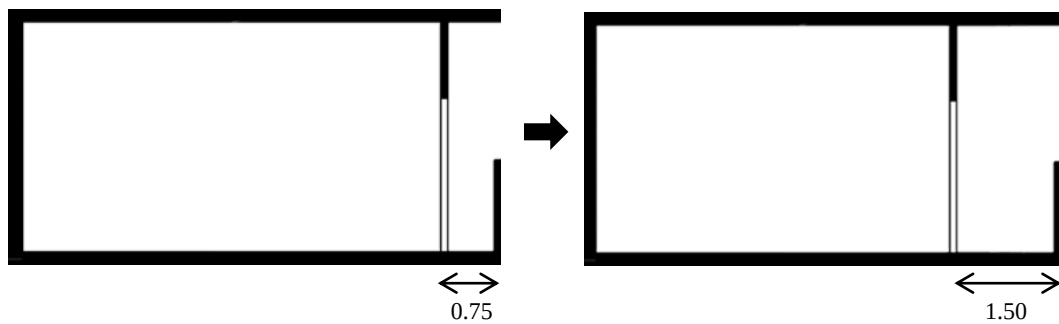
5.3.2 Pengaruh Kedalaman Balkon

Kedalaman balkon pada *base case* (W30K075H) sebesar 0.75 meter diubah dan ditambahkan menjadi 1.5 meter seperti yang terlihat pada Gambar

5.12, dimana kondisi pintu apartemen pada balkon adalah terbuka. Kedalaman balkon tersebut akan dikombinasikan dengan beberapa besaran WWR yang berbeda. Gambar 5.11 menunjukkan nilai reduksi kebisingan saat kedalaman balkon. Hasil yang didapatkan adalah tingkat kebisingan semakin bertambah hampir 1 dB di semua frekuensi kecuali di beberapa lantai tertentu. Hasil tersebut berbeda dengan pernyataan Satwiko (2009) yang menyatakan bahwa penambahan jarak dapat mengurangi tingkat kebisingan.

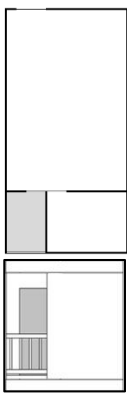


Gambar 5.11 Grafik reduksi kebisingan pada model W30K150H (WWR 30%, kedalaman balkon 1.5 m)

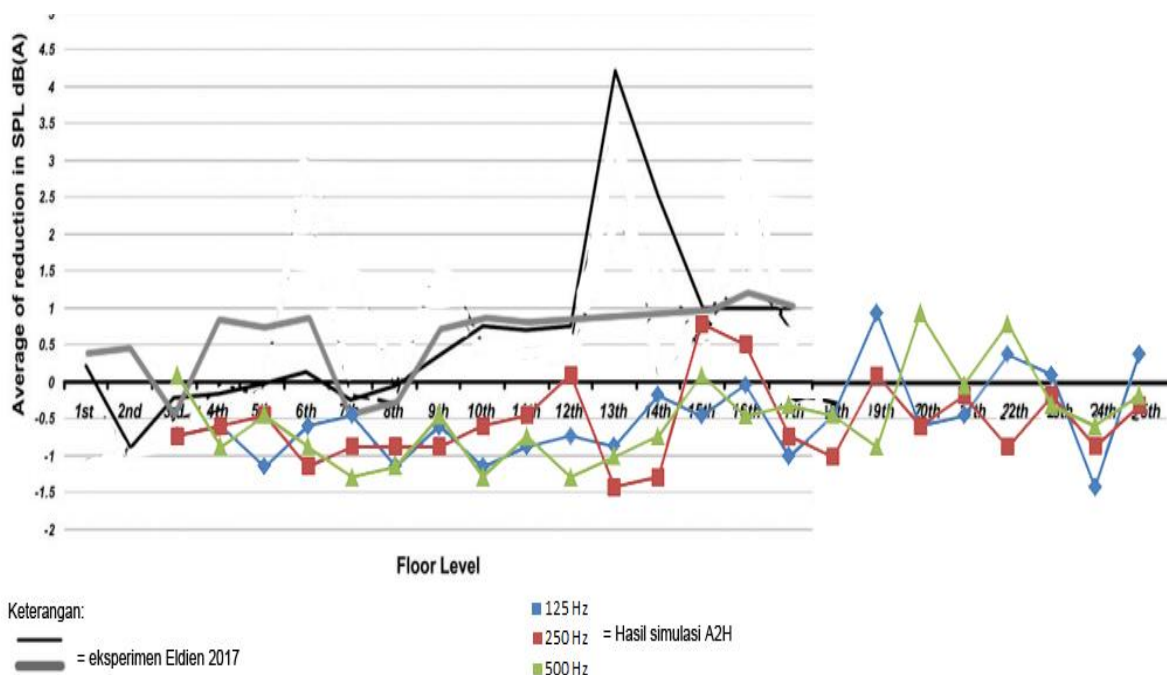


Gambar 5.12 Perubahan kedalaman balkon 0.75 m ke 1.5 m, dengan kondisi pintu apartemen terbuka

Tabel 5.8 Grafik reduksi kebisingan pada model W30K150H (WWR 30%, kedalaman balkon 1.5 m)

W30K150H	lt	125 Hz	250 Hz	500 Hz	(°)
WWR 30%, kedalaman 1.5 m, beton halus 	25		-0.3	-0.2	78.3
	24	-1.1	-0.7	-0.5	77.9
	23		-0.2	-0.3	77.4
	22		-0.7		76.9
	21	-0.4	-0.2	-0.1	76.3
	20	-0.5	-0.5		75.7
	19			0.6	75.0
	18	-0.4	0.0	-0.7	74.3
	17	-0.8	-0.8	-0.4	73.5
	16	-0.1	-0.6	-0.3	72.6
	15	-0.4	0.3	-0.4	71.6
	14	-0.2	0.5		70.5
	13	-0.7	-1.0	-0.6	69.2
	12	-0.6	-1.1	-0.8	67.8
	11	-0.7		-1.0	66.2
	10	-0.9	-0.4	-0.6	64.4
	9	-0.5	-0.5	-1.0	62.3
	8	-0.9	-0.7	-0.4	59.9
	7	-0.4	-0.7	-0.9	57.0
	6	-0.5	-0.9	-1.0	53.6
	5	-0.9	-0.4	-0.7	49.5
	4	-0.5	-0.5	-0.4	44.7
	3	-0.6	-0.6	-0.7	38.9

Penelitian serupa tentang kedalaman balkon dilakukan oleh Eldien (2004). Eldien melakukan perubahan kedalaman balkon dari 1, 2, dan 3 m dan menunjukkan peningkatan reduksi kebisingan yang semakin baik saat kedalaman balkon ditingkatkan walaupun hasil reduksi kebisingan yang didapatkan tidak dapat mengurangi kebisingan secara signifikan pada semua ketinggian lantai, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.13. Reduksi kebisingan yang terjadi baik dalam eksperimen Eldien dan penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat kenaikan dan penurunan kebisingan yang berbeda dari satu lantai ke lantai lainnya.

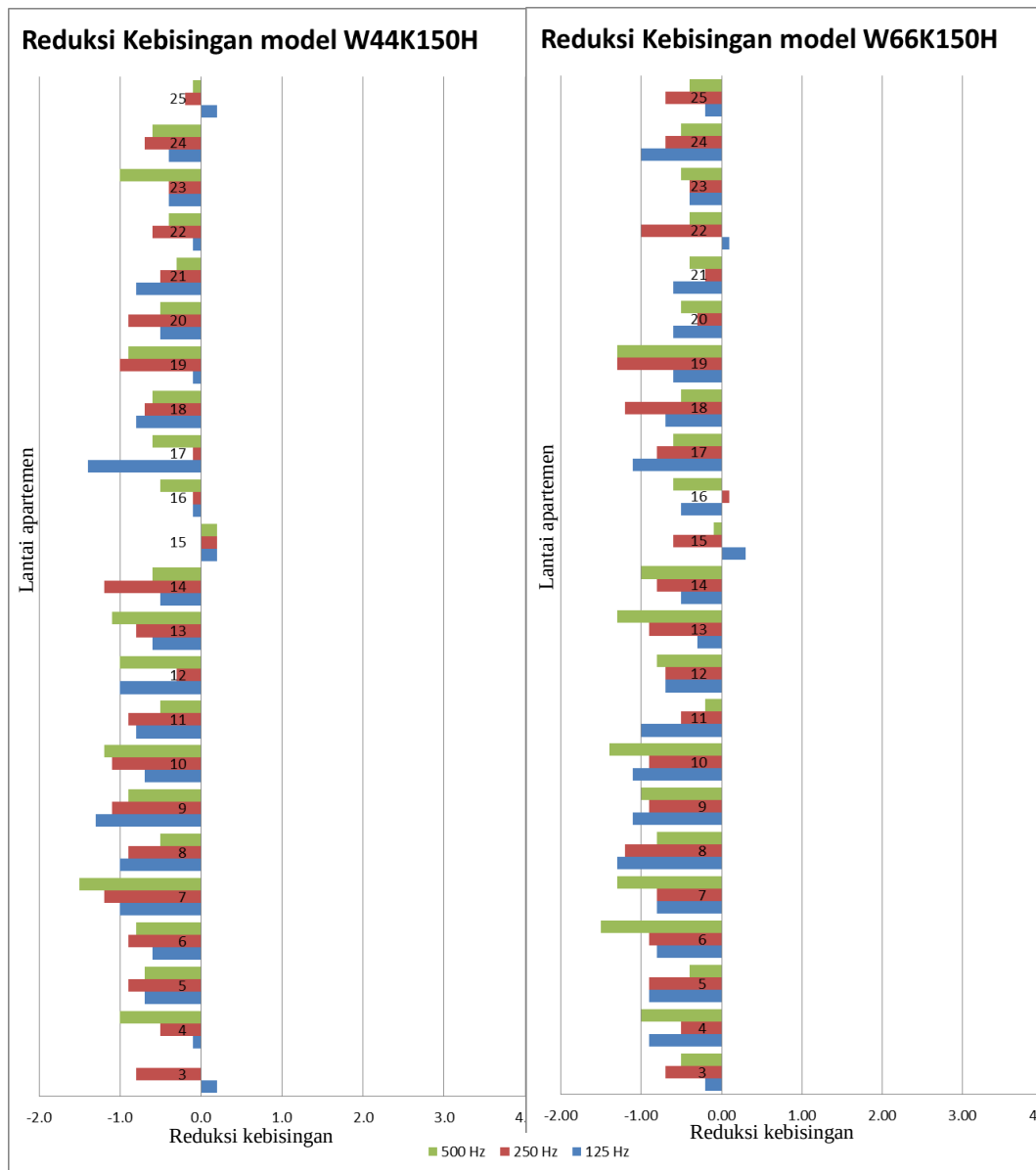


Gambar 5.13 Perbandingan Reduksi Kebisingan Eksperimen Eldien karena Perubahan Jarak dari Tepian Balkon ke Dinding Sebesar 1-2 M dengan Hasil Simulasi W30K150H di Frekuensi Rendah

Berlawanan dengan Mediastika (2005) yang menyarankan untuk semakin memperkecil dimensi bukaan dalam mengendalikan kebisingan, pada penelitian ini dilakukan hal sebaliknya. Jika pada model W30K150H dengan kedalaman balkon 1.5 m diubah dimensi bukaan balkonnnya dengan kondisi WWR 44% seperti pada model W44K150H atau 66% seperti pada model W66K150H, tidak menunjukkan hasil yang reduksi kebisingan yang semakin baik, karena kebisingan semakin meningkat bahkan mencapai 1.5 dB yang dapat dilihat pada Gambar 5.14.

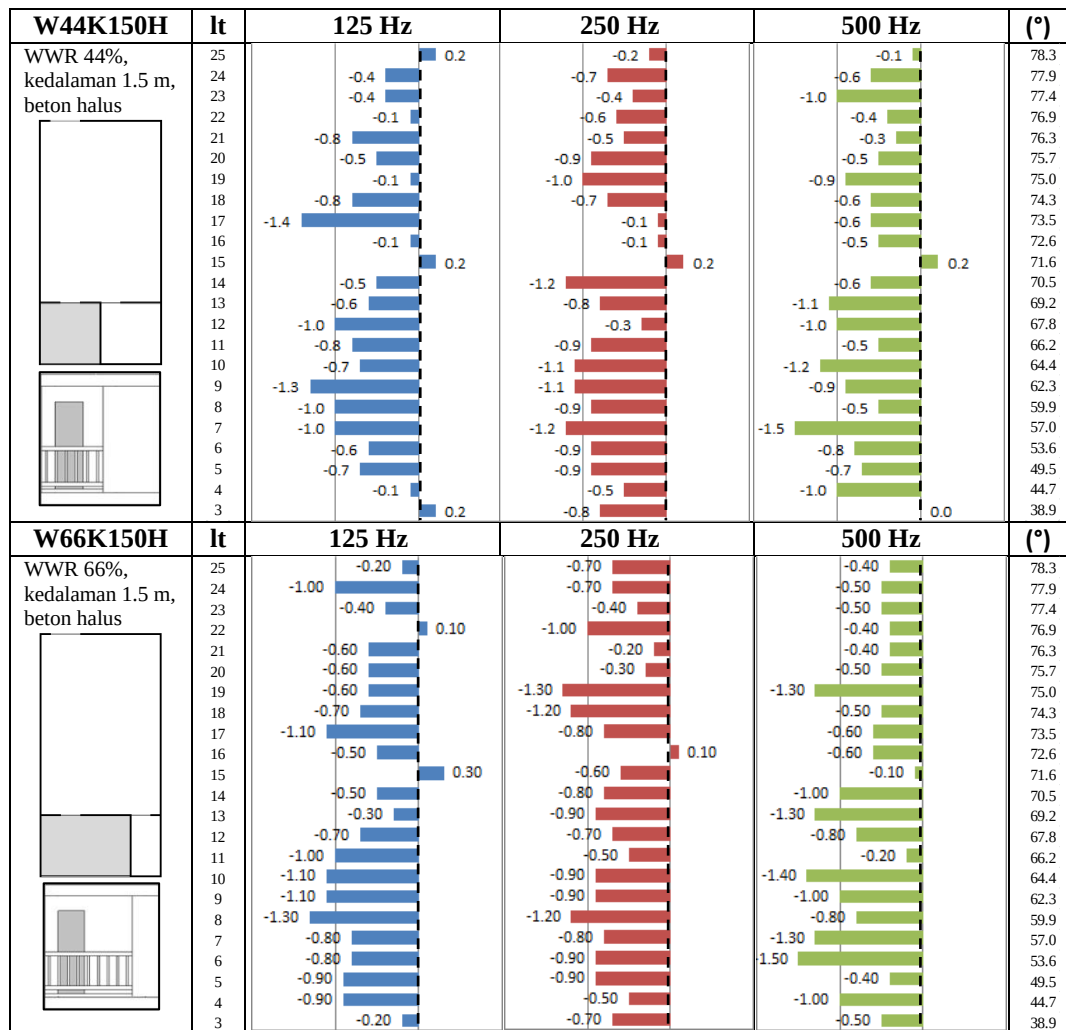
Hasil model W44K150H dan W66K150H menunjukkan bahwa semakin besar bukaan balkon dari bertambahnya WWR maka kebisingan meningkat karena kebisingan yang ditangkap dari sumber bunyi juga semakin besar. Pada hasil penelitian Kim (2005), Kim melakukan eksperimen pada variasi ukuran luasan bukaan jendela pada kondisi apartemen yang berbeda-beda. Diperoleh hasil bahwa bukaan balkon bukan menjadi salah satu faktor utama dalam mempengaruhi tingkat kebisingan pada balkon dimana sama dengan penelitian ini WWR bukan satu-satunya faktor yang mempengaruhi reduksi kebisingan.

Terdapat faktor lain seperti kedalaman balkon (jarak dari tepi luar bukaan ke dinding luar unit apartemen), metode pengukuran yang dilakukan, serta perbedaan sudut antara penerima dan sumber bunyi. Pada kasus penelitian ini, kedalaman balkon memberikan pengaruh berupa peningkatan kebisingan pada semua kondisi WWR yang berbeda.



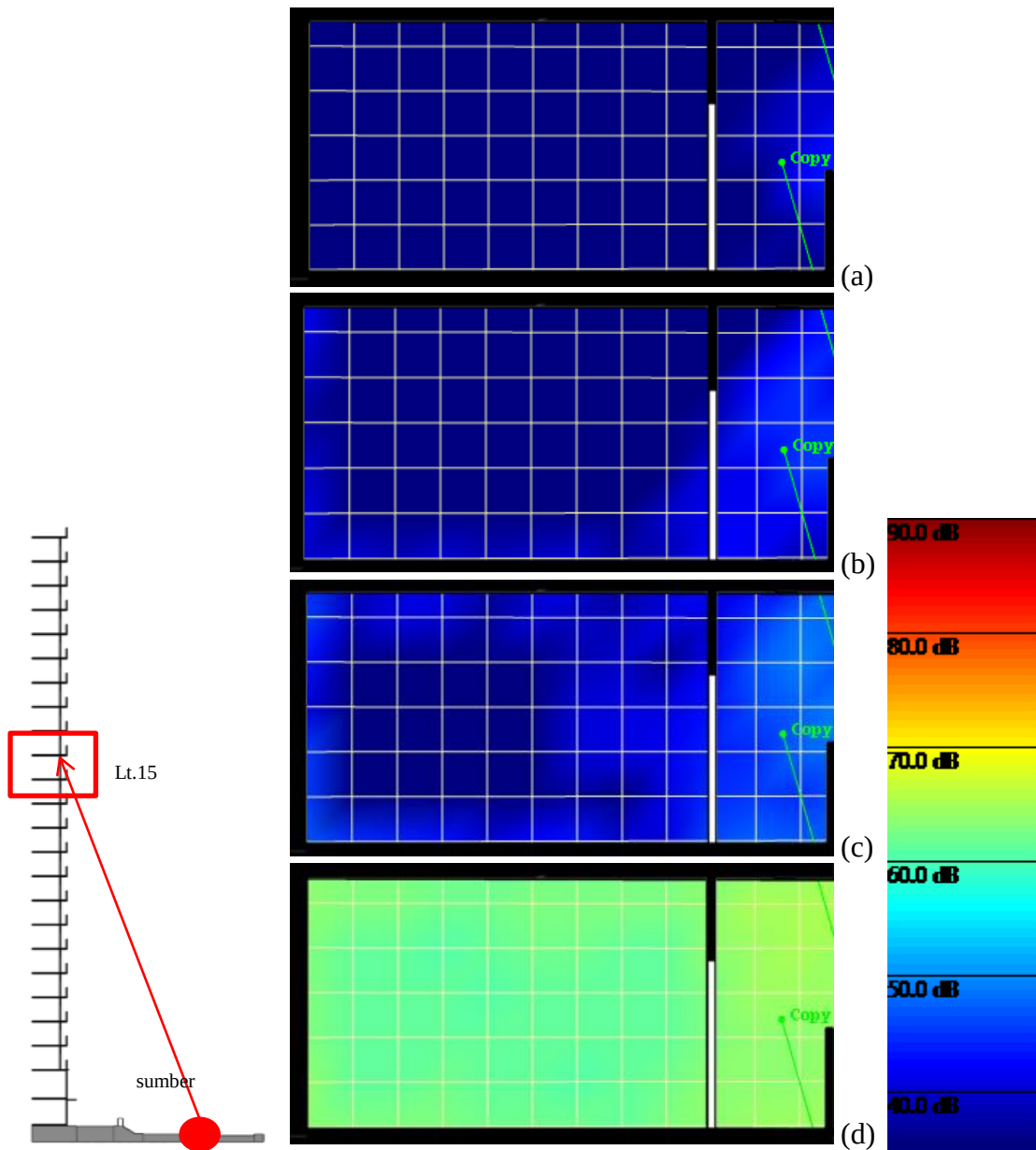
Gambar 5.14 Grafik Reduksi Kebisingan pada Model W44K150H (WWR 44% Kedalaman 1.5 m) dan W66K150H (WWR 66%, Kedalaman 1.5 m)

Tabel 5.9 Grafik Reduksi Kebisingan pada Model W44K150H (WWR 44% Kedalaman 1.5m) dan W66K150H (WWR 66%, Kedalaman 1.5 m)



Dapat dilihat pada Tabel 5.9 reduksi yang terjadi pada perbedaan ketinggian tiap lantai di setiap frekuensi 125, 250 dan 500 Hz. Tingkat kebisingan yang terjadi di lantai rendah tidak mengalami perubahan dan kebisingan semakin meningkat seiring bertambahnya jumlah lantai namun mengecil di lantai tengah dan kembali meningkat di lantai atas. Hal tersebut berbeda dengan Mediastika (2005) dan Doelle (1986) yang menyatakan untuk semakin menjauhkan jarak antara sumber bunyi dengan objek penerima, agar kebisingan juga akan semakin berkurang. Sehingga hal tersebut perlu diselidiki lebih lanjut dengan mengetahui propagasi bunyi yang terjadi pada lantai 15 yang mampu mereduksi kebisingan

dan berbeda dengan lantai lain yang menambah kebisingan seperti pada Gambar 5.13.



Gambar 5.15 Propagasi Bunyi W44K150H Frekuensi 250 Hz pada Potongan Lantai 15 Saat Bunyi Datang di Balkon. (a, b, c) Kontur Perambatan Bunyi; (d) Akumulasi Gelombang Bunyi/Tingkat Kebisingan pada Balkon

Jika pada simulasi *base case* atau W30K075H di lantai 15 seperti pada Gambar 5.2 menunjukkan nilai tingkat kebisingan yang tinggi karena bunyi yang masuk terperangkap di area balkon, namun pada simulasi W44K150H berbeda dan kebisingan tidak mengalami peningkatan seperti dengan lantai lainnya. Dapat

dilihat pada Gambar 5.15 perambatan bunyi yang terjadi pada lantai 15 dalam eksperimen W44K150H. Pada saat bunyi datang, bunyi yang dipantulkan dari plafon menuju ke tepi pintu sehingga mengalami difraksi yang menyebabkan bunyi ada yang memantul kembali ke lantai kemudian keluar dari balkon dan ada yang menyebar ke dalam unit apartemen., sehingga akumulasi tingkat kebisingan yang terjadi tidak jauh berbeda dengan *base case* pada lantai 15. Difraksi atau pembelokan perambatan gelombang bunyi terjadi karena adanya penghalang atau sudut (Doelle, 1986).

Doelle (1986) juga menyatakan bahwa salah satu cara dalam mengendalikan kebisingan adalah menjauhkan titik sumber bunyi ke titik penerima bunyi yang dapat dicapai dengan cara menambah jarak antara dua titik tersebut. Kedalaman balkon dari 0.75 meter yang diperpanjang menjadi 1.5 meter merupakan upaya menjauhkan sumber kebisingan ke titik penerima yaitu balkon loggia. Perubahan kedalaman balkon menjadi 1.5 meter tersebut justru menambah kebisingan dibandingkan dengan kedalaman balkon pada *base case* (0.75 m). Kebisingan semakin bertambah saat kedalaman balkon tersebut diaplikasikan pada WWR yang lebih besar seperti 44% dan 66%. Perlu selanjutnya mengkaji elemen material agar kebutuhan dalam rancangan desain apartemen pada konfigurasi ini dapat terpenuhi.

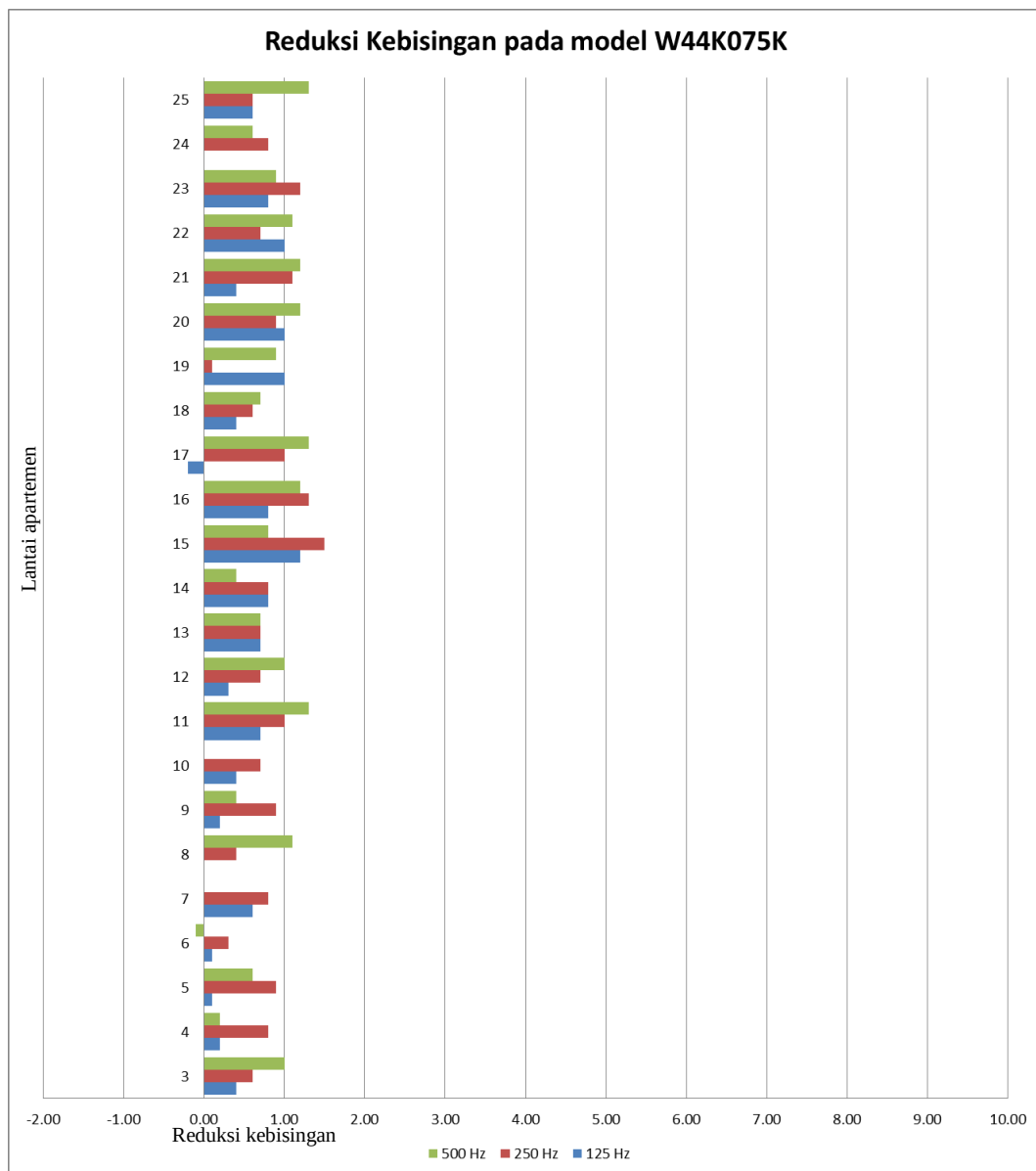
5.3.3 Pengaruh Material Fasad Balkon

Terdapat beberapa eksperimen yang diuji terkait dengan perbedaan material. Pada subbab sebelumnya telah dibahas material beton halus. Pada subbab ini membahas penerapan material beton kasar, material beton yang dikombinasikan dengan kayu lapis pada elemen balkon, dan material kayu lapis pada bagian balkon hingga fasad.

a. Beton dengan permukaan kasar

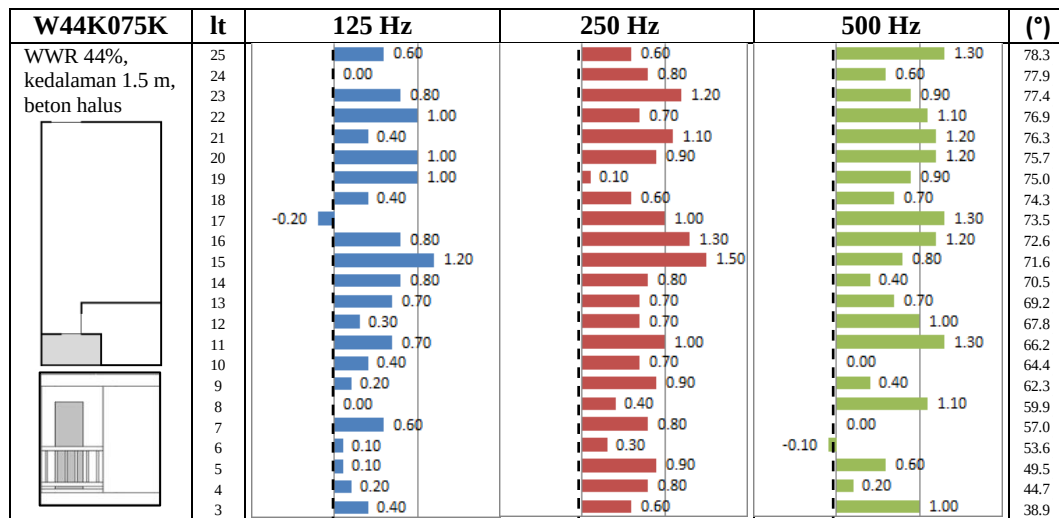
Gambar 5.16 menunjukkan reduksi kebisingan dengan penggunaan beton dengan permukaan yang kasar menghasilkan nilai yang relatif positif dengan artian mampu mereduksi kebisingan. Pada model W44K075K tingkat kebisingan dapat dikurangi sekitar 1.2 dB. Hal ini juga berlaku pada model W30K075K dengan WWR 30% dan W66K075K dengan WWR 66%. Material yang

diterapkan pada *base case* dan W44K075K sama-sama menggunakan material beton namun yang berbeda adalah kekasaran permukaannya. Seperti yang telah diutarakan Baruch (2018), aspek penting yang berpengaruh pada suatu permukaan bukanlah jenis materialnya namun koefisien serap bunyi yang dimiliki permukaan material tersebut dimana pada beton dengan permukaan kasar memiliki nilai koefisien absorpsi yang memiliki kemampuan serap lebih besar dibandingkan dengan material pada *base case* yang lebih bersifat memantulkan bunyi.



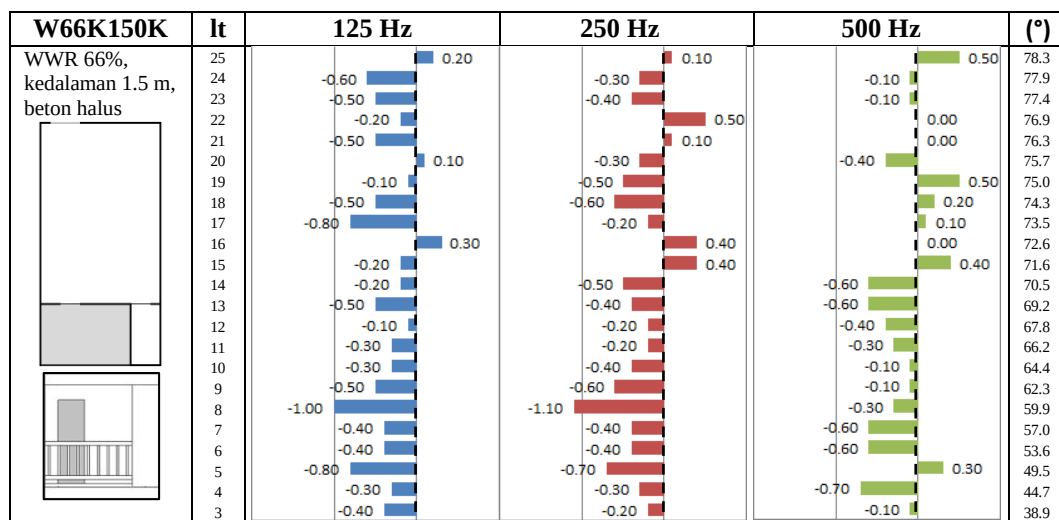
Gambar 5.16 Grafik Reduksi Kebisingan pada Model W44K075K (WWR 44%, Kedalaman 0.75 m, Material Beton Kasar)

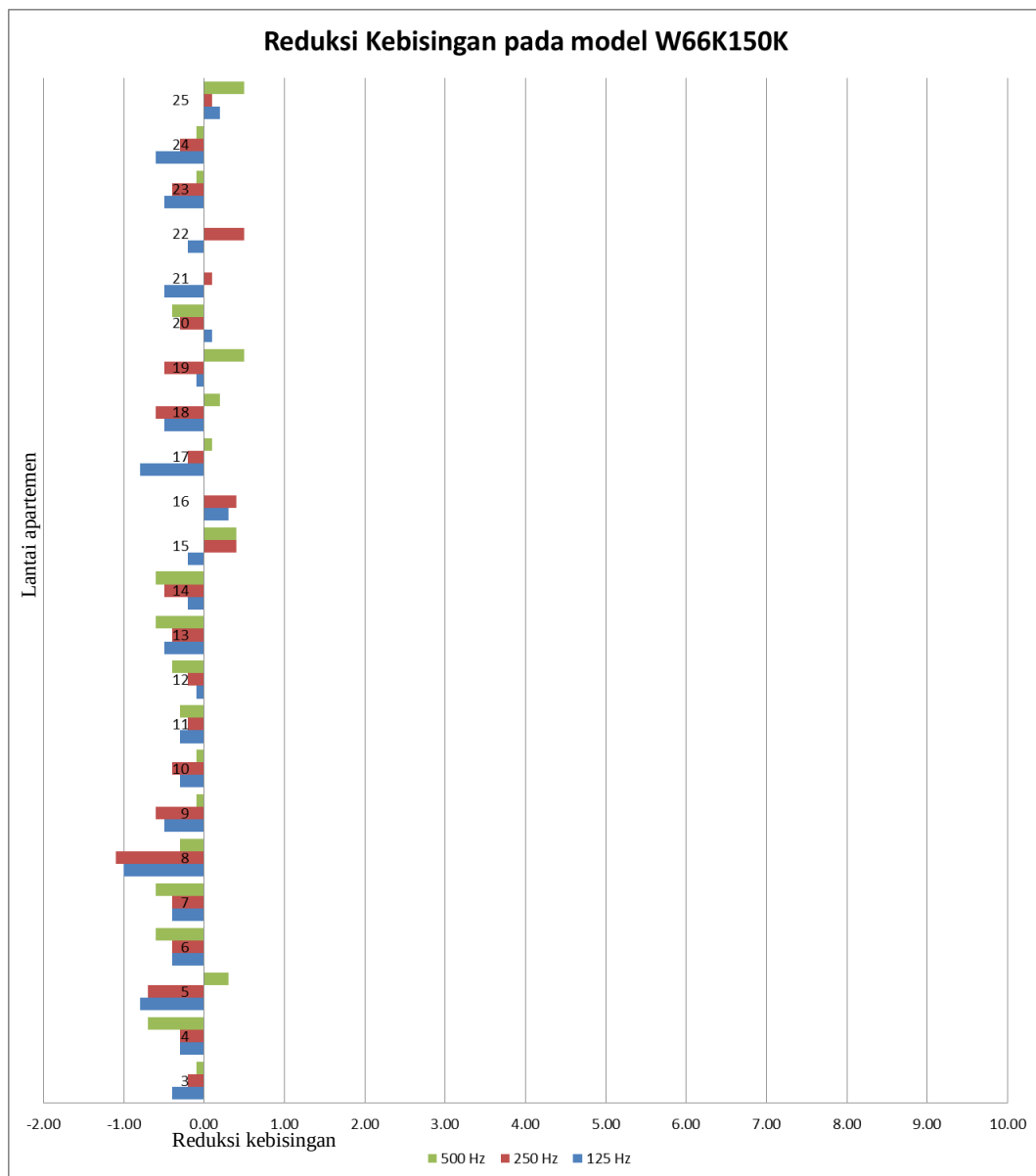
Tabel 5.10. Reduksi Kebisingan pada Model W44K075K (WWR 44%, Kedalaman 0.75 m, Material Beton Kasar)



Reduksi kebisingan pada balkon yang menggunakan material beton kasar tidak semakin baik saat balkon ditambah kedalamannya menjadi 1.5 meter seperti pada model W66K150K yang dapat dilihat pada Gambar 5.17. Hal ini berlaku pula pada model W30K150K dan W44K150K. Itu berarti penambahan kedalaman balkon pada penerapan material beton kasar pada fasad menyebabkan peningkatan kebisingan di beberapa lantai dibandingkan dengan penerapan beton halus.

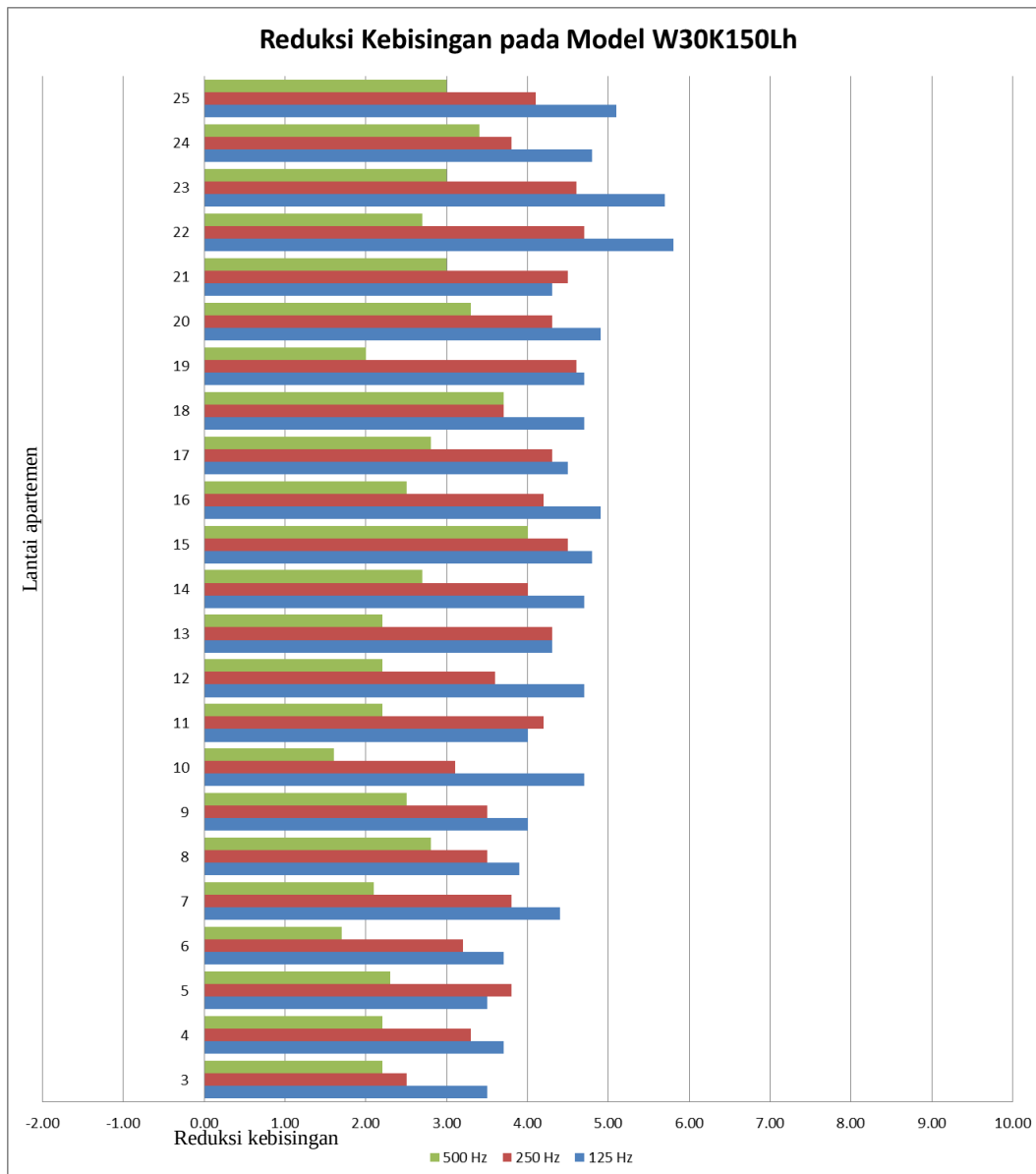
Tabel 5.11. Reduksi Kebisingan pada Model W66K150K (WWR 66%, kedalaman 1.5 m, Material Beton Kasar)





Gambar 5.17 Grafik Reduksi Kebisingan pada Model W66K150K (WWR 66%, Kedalaman 1.5 m, Material Beton Kasar)

Sama seperti halnya eksperimen pada model W30K150H, penambahan kedalaman balkon pada W66K150K tidak hanya mengurangi kebisingan tetapi lebih menambah tingkat kebisingan yang terjadi. Hal tersebut juga berbeda pada penelitian Eldien (2004) yang menunjukkan semakin dalam balkon maka semakin tinggi reduksi kebisingan yang terjadi.

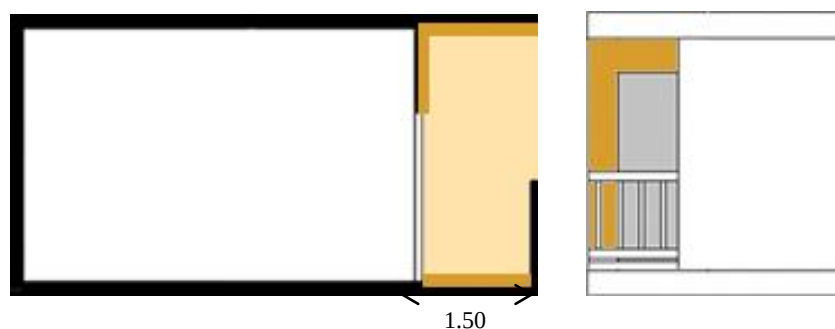


Gambar 5.18 Grafik reduksi kebisingan pada model W30K150Lh (WWR 30%, kedalaman 1.5 m, kombinasi material kayu lapis dan beton halus)

b. Penerapan material kombinasi beton dengan kayu lapis (*plywood*)

Pada eksperimen ini dilakukan kombinasi penerapan material. Kayu lapis diterapkan pada area balkon saja yaitu dinding, plafon dan lantai, dan fasad apartemen masih berupa beton halus. Sebagian besar hasil eksperimen dengan kombinasi material menghasilkan nilai positif atau dengan kata lain di setiap lantai apartemen tingkat kebisingan dapat direduksi. Dapat dilihat pada Gambar 5.18 nilai reduksi tingkat kebisingan tertinggi terdapat pada model eksperimen

W30K150Lh, dimana pada model tersebut dapat mereduksi kebisingan di frekuensi 125 Hz sebesar 3.5-4.8 dB, untuk di frekuensi 250 Hz sebesar 2.5-4.7 dB dan di frekuensi 500 Hz sebesar 1.6-4 dB. Hal ini dapat dipahami bahwa material kayu lapis memiliki kemampuan absorpsi yang cukup tinggi pada bunyi berfrekuensi rendah. Baruch (2018) menyatakan bahwa terdapat material yang memiliki kemampuan penyerapan bising. Baruch meneliti material dengan campuran kayu namun hasilnya material tersebut kurang baik dalam meredam kebisingan. Pada penelitian ini, penerapan tambahan kayu lapis menunjukkan hasil yang baik bukan karena material kayunya tetapi karena koefisien absorpsi material yang tinggi.



Gambar 5.19 Penerapan kayu lapis pada dinding beton di balkon pada model W30K150Lh

Dapat dilihat pula pada Tabel 5.13 *trendline* yang terbentuk dari simulasi model W30K150Lh dari perbedaan ketinggian antar lantai yang berbeda. Reduksi kebisingan dengan kombinasi penerapan material beton dan kayu lapis tiap lantai x dapat dihitung dari persamaan polinomial yang terbentuk dapat dilihat pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Reduksi kebisingan dengan kombinasi beton dan kayu lapis tiap lantai

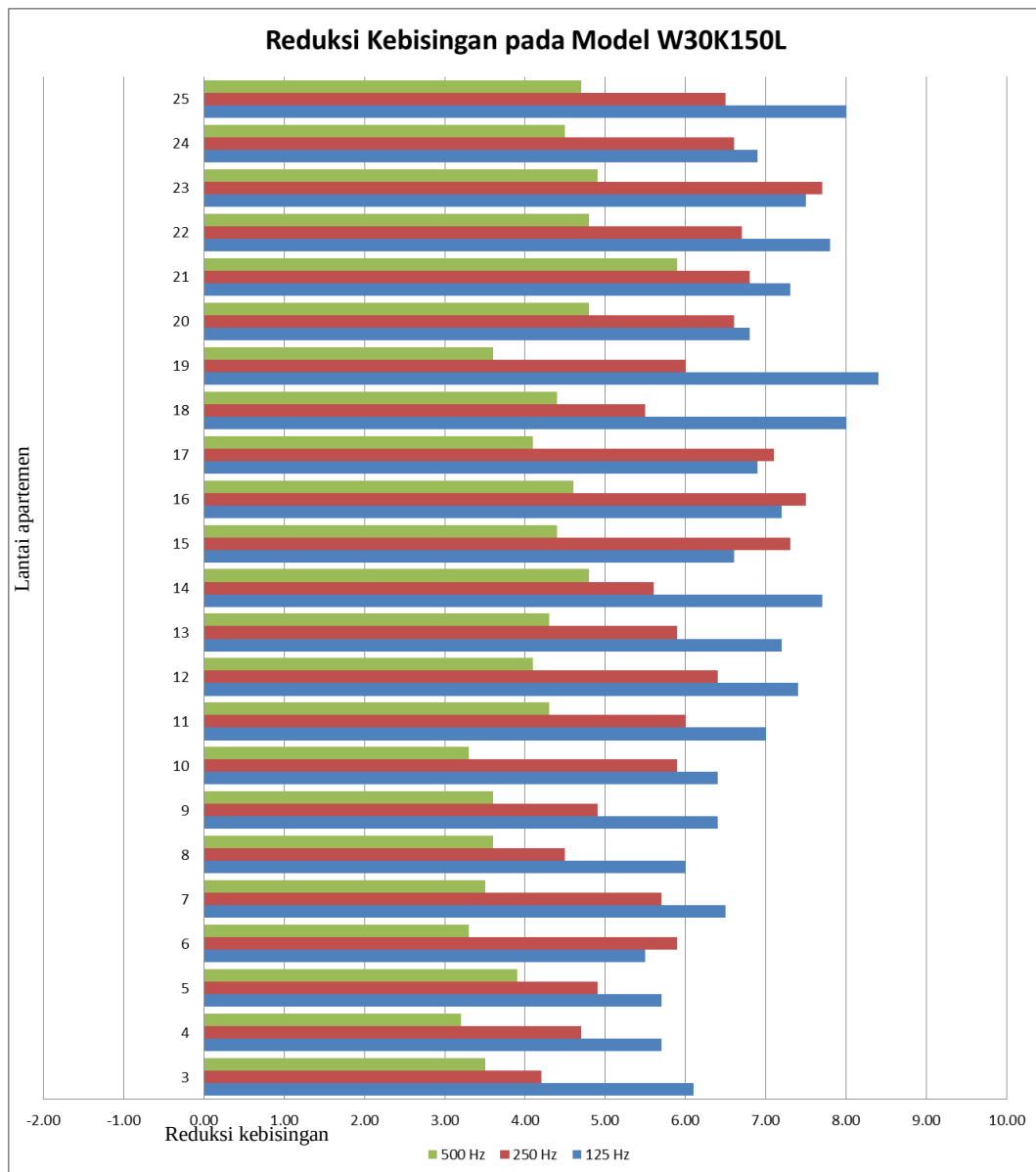
f (Hz)	Rumus Empiris	R²
125	$TTB = 2E-06x^6 + 0.0001x^5 - 0.0026x^4 + 0.0294x^3 - 0.1531x^2 + 0.4516x + 3.1499$	0.74
250	$TTB = 8E-06x^5 - 0.0005x^4 + 0.0137x^3 - 0.15x^2 + 0.7746x + 2.0811$	0.68
500	$TTB = 1E-06x^6 + 8E-05x^5 - 0.0026x^4 + 0.0371x^3 - 0.2439x^2 + 0.6473x + 1.6856$	0.42

Tabel 5.13. Reduksi kebisingan pada model W30K150Lh (WWR 30%, kedalaman 1.5 m, kombinasi material kayu lapis dan beton halus)

W30K150Lh	It	125 Hz					(°)
WWR 30%, kedalaman 0.75 m, beton halus dengan kayu lapis 	25						78.3
	24						77.9
	23						77.4
	22						76.9
	21						76.3
	20						75.7
	19						75.0
	18						74.3
	17						73.5
	16						72.6
	15						71.6
	14						70.5
	13						69.2
	12						67.8
	11						66.2
	10						64.4
	9						62.3
	8						59.9
	7						57.0
	6						53.6
	5						49.5
	4						44.7
	3						38.9
It	250 Hz						
25						78.3	
24						77.9	
23						77.4	
22						76.9	
21						76.3	
20						75.7	
19						75.0	
18						74.3	
17						73.5	
16						72.6	
15						71.6	
14						70.5	
13						69.2	
12						67.8	
11						66.2	
10						64.4	
9						62.3	
8						59.9	
7						57.0	
6						53.6	
5						49.5	
4						44.7	
3						38.9	
It	500 Hz						
25						78.3	
24						77.9	
23						77.4	
22						76.9	
21						76.3	
20						75.7	
19						75.0	
18						74.3	
17						73.5	
16						72.6	
15						71.6	
14						70.5	
13						69.2	
12						67.8	
11						66.2	
10						64.4	
9						62.3	
8						59.9	
7						57.0	
6						53.6	
5						49.5	
4						44.7	
3						38.9	

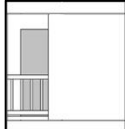
c. Penerapan kayu lapis (plywood) keseluruhan pada fasad

Sebagian besar hasil eksperimen dengan penerapan kayu lapis pada area balkon dan keseluruhan fasad apartemen menghasilkan nilai positif atau dengan kata lain di setiap lantai apartemen tingkat kebisingan dapat direduksi dengan penggunaan kayu pada fasad apartemen.



Gambar 5.20 Grafik reduksi kebisingan pada model W30K150L (WWR 30%, zkedalaman 1.5 m, material kayu lapis)

Tabel 5.14. Reduksi kebisingan pada model W30K150L (WWR 30%, kedalaman 1.5 m, material kayu lapis)

W30K150L	It	125 Hz					(°)
WWR 30%, kedalaman 0.75 m, kayu lapis 	25						78.3
	24						77.9
	23						77.4
	22						76.9
	21						76.3
	20						75.7
	19						75.0
	18						74.3
	17						73.5
	16						72.6
	15						71.6
	14						70.5
	13						69.2
	12						67.8
	11						66.2
	10						64.4
	9						62.3
	8						59.9
	7						57.0
	6						53.6
	5						49.5
	4						44.7
	3						38.9
It	250 Hz						
25						78.3	
24						77.9	
23						77.4	
22						76.9	
21						76.3	
20						75.7	
19						75.0	
18						74.3	
17						73.5	
16						72.6	
15						71.6	
14						70.5	
13						69.2	
12						67.8	
11						66.2	
10						64.4	
9						62.3	
8						59.9	
7						57.0	
6						53.6	
5						49.5	
4						44.7	
3						38.9	
It	500 Hz						
25						78.3	
24						77.9	
23						77.4	
22						76.9	
21						76.3	
20						75.7	
19						75.0	
18						74.3	
17						73.5	
16						72.6	
15						71.6	
14						70.5	
13						69.2	
12						67.8	
11						66.2	
10						64.4	
9						62.3	
8						59.9	
7						57.0	
6						53.6	
5						49.5	
4						44.7	
3						38.9	

Dapat dilihat pada Gambar 5.20 nilai reduksi tingkat kebisingan tertinggi terdapat pada model eksperimen W30K150L, dimana pada model tersebut dapat mereduksi kebisingan di frekuensi 125 Hz sebesar 5.5-8 dB, untuk di frekuensi 250 Hz sebesar 4.2-7.7 dB dan di frekuensi 500 Hz sebesar 3.2-5.9 dB. Sama seperti pada model W30K150L dimana material kayu lapis memiliki kemampuan absorpsi yang cukup tinggi pada bunyi yang berfrekuensi rendah.

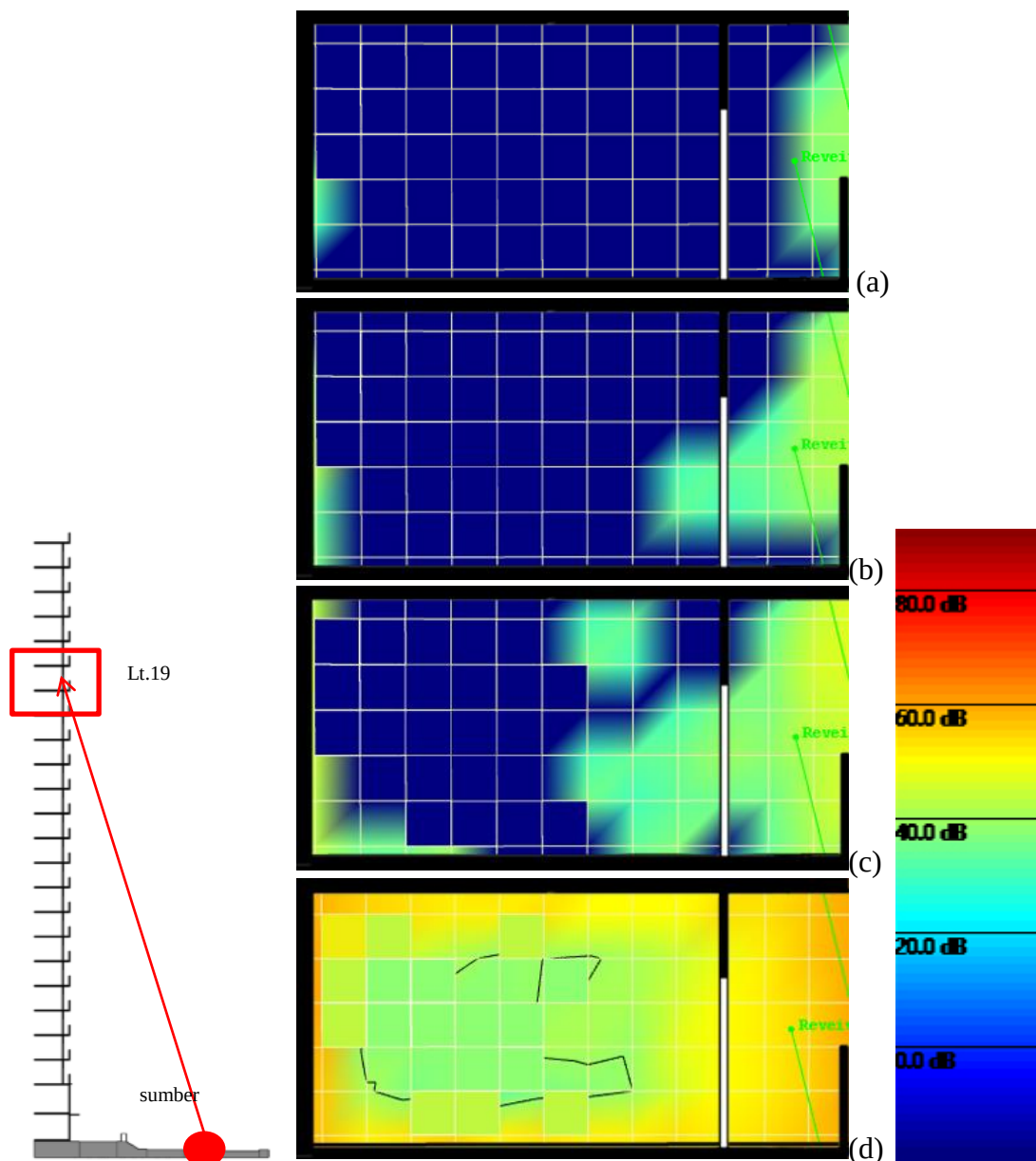
Dari hasil simulasi W30K150L reduksi kebisingan terbesar tidak berada di lantai teratas. Dapat dilihat pada Tabel 5.14, reduksi kebisingan terbesar di frekuensi 125 berada di lantai 19, frekuensi 250 Hz di lantai 23, dan frekuensi 500 Hz di lantai 21. Dapat dilihat pada Gambar 5.20 dan 5.21 terdapat perbedaan propagasi bunyi yang terjadi di lantai 19 dan 25. Pada lantai 19, saat sumber bunyi datang ke balkon, gelombang bunyi yang terpantul pada plafon langsung menuju ke dalam apartemen namun dengan intensitas bunyi yang berkurang karena terdapat bunyi yang diserap oleh material kayu lapis. Pada lantai 25 sebetulnya menghasilkan nilai reduksi kebisingan yang baik namun nilainya masih dibawah lantai 19. Gelombang bunyi yang dipantulkan dari plafon tidak menuju ke dalam unit apartemen melainkan dipantulkan ke tembok kemudian terpantul di lantai dan keluar dari balkon. Berbeda dengan Mediastika (2005) dan Doelle (1986) yang menyatakan bahwa pengendalian kebisingan tidak hanya serta merta dilakukan dengan cara mengecilkan bukaan, namun terdapat beberapa cara yang dapat dilakukan. Dalam penelitian ini koefisien serap material memberikan dampak yang sangat besar bagi reduksi kebisingan.

Dapat dilihat pula pada Tabel 5.14 *trendline* yang terbentuk dari simulasi model W30K150L. Reduksi kebisingan dengan penerapan kayu lapis tiap lantai x dapat dihitung dari persamaan polinomial yang terbentuk dapat dilihat pada Tabel 5.15.

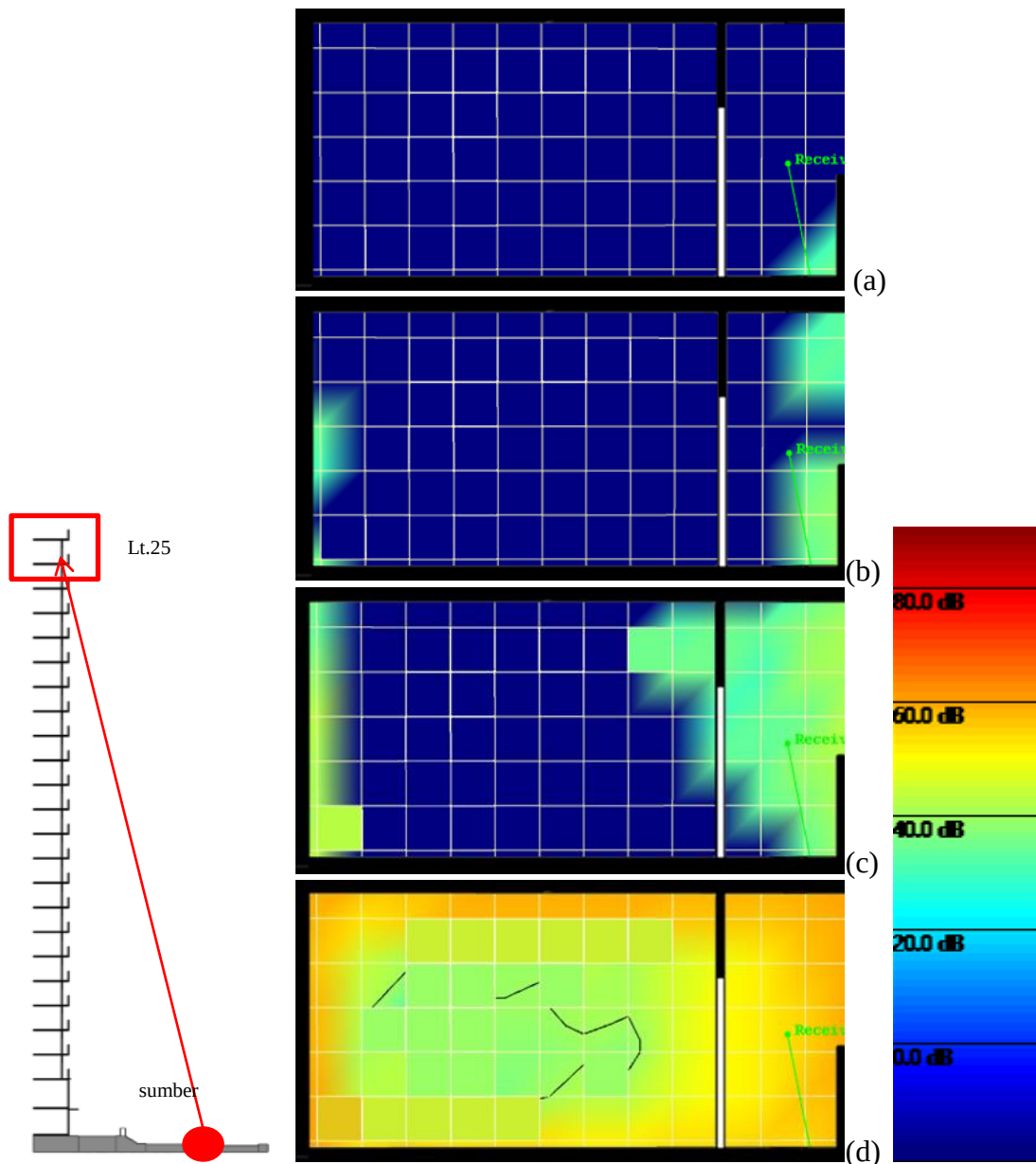
Dapat dilihat pula pada Tabel 5.14 *trendline* yang terbentuk dari simulasi model W30K150L. Reduksi kebisingan dengan penerapan kayu lapis tiap lantai x dapat dihitung dari persamaan polinomial yang terbentuk, dapat dilihat pada Tabel 5.15.

Tabel 5.15 Reduksi kebisingan dengan material kayu lapis tiap lantai

f (Hz)	Rumus Empiris	R ²
125	$TTB = 3E-06x^6 - 0.0002x^5 + 0.0055x^4 - 0.0794x^3 + 0.5787x^2 - 1.7666x + 7.4169$	0.73
250	$TTB = 6E-06x^6 + 0.0005x^5 - 0.0131x^4 + 0.1751x^3 - 1.139x^2 + 3.4025x + 1.5732$	0.69
500	$TTB = -3E-06x^6 + 0.0002x^5 - 0.0045x^4 + 0.0527x^3 - 0.2777x^2 + 0.6097x + 3.0544$	0.65

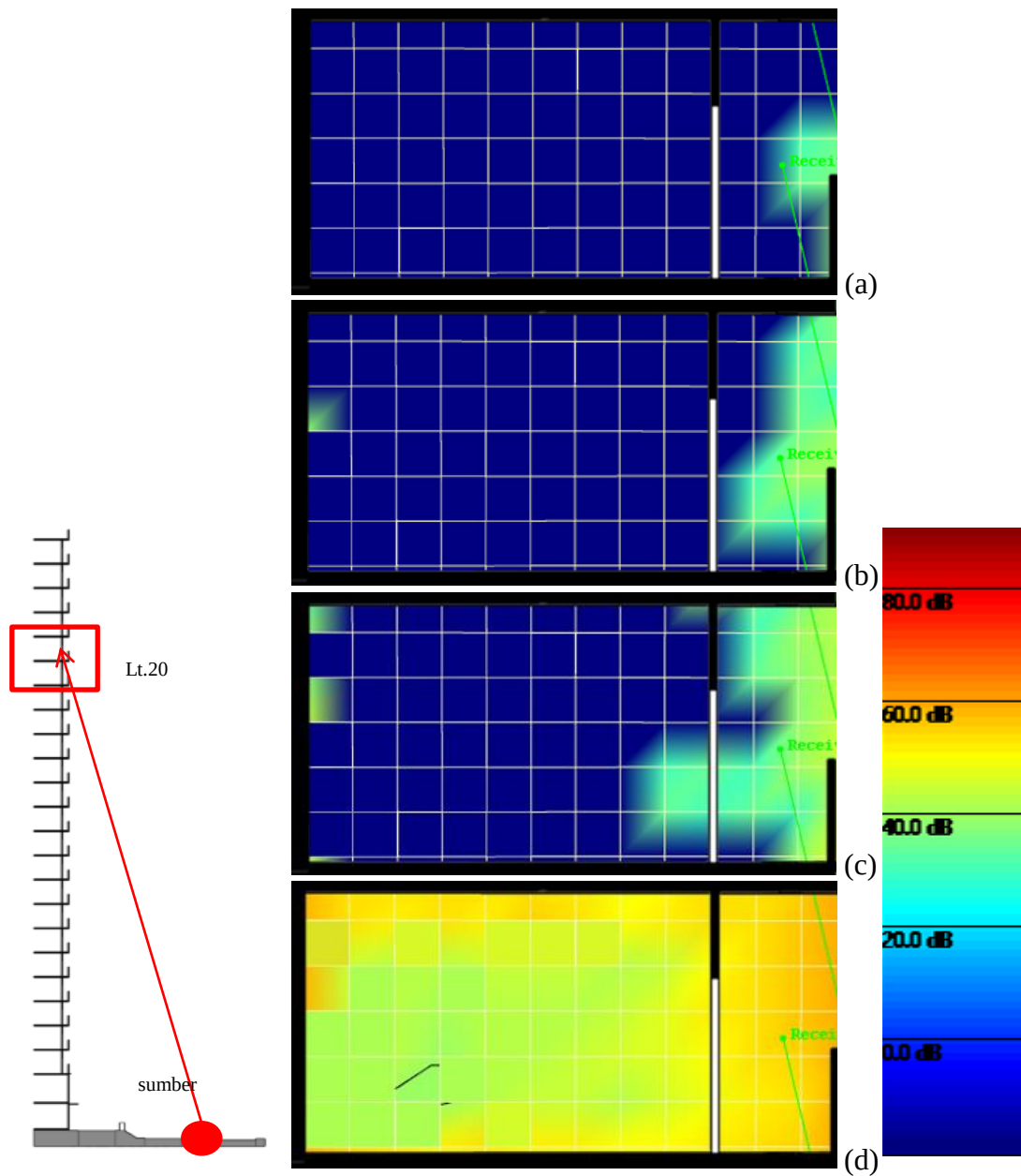


Gambar 5.21 Propagasi bunyi W30K150L Frekuensi 125 Hz pada Potongan Lantai 19 Saat Bunyi Datang di Balkon. (a, b, c) Kontur Perambatan Bunyi; (d) Akumulasi Gelombang Bunyi/Tingkat Kebisingan pada Balkon



Gambar 5.22 Propagasi bunyi W30K150L Frekuensi 125 Hz pada Potongan Lantai 25 Saat Bunyi Datang di Balkon. (a, b, c) Kontur Perambatan Bunyi; (d) Akumulasi Gelombang Bunyi/Tingkat Kebisingan pada Balkon

Jika lantai 19 dan 25 menunjukkan reduksi kebisingan yang baik namun hal yang sangat berbeda terjadi pada lantai 20. Di lantai 20 walau hanya berbeda 1 lantai dengan lantai 19, gelombang bunyi yang dipantulkan oleh plafon dipantulkan ke lantai kemudian dipantulkan kembali ke dinding balkon, sehingga gelombang bunyi tidak keluar dari balkon.

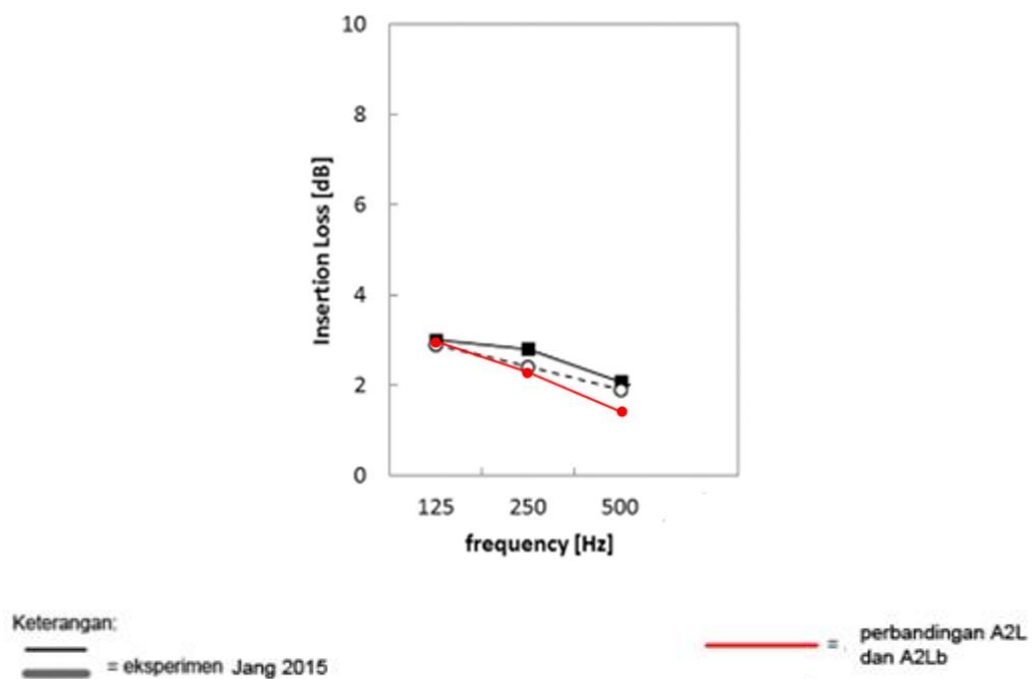


Gambar 5.23 Propagasi bunyi W30K150L frekuensi 125 Hz pada Potongan Lantai 20 Saat Bunyi Datang di Balkon. (a, b, c) Kontur Perambatan Bunyi; (d) Akumulasi Gelombang Bunyi/Tingkat Kebisingan pada Balkon

Berdasarkan analisis propagasi dari lantai 19, 20 dan 25 tersebut dapat disimpulkan bahwa perbedaan sudut datang sumber bunyi bahkan kurang dari 1° menyebabkan refleksi yang berbeda-beda. Hal ini berbeda dengan penelitian Lee (2007), karena pada penelitian Lee terbatas pada lantai 15 dengan sudut maksimal yang terbentuk yaitu 74.1° sehingga hanya diketahui pengaruh reduksi

kebisingannya tiap 3° , dan pada penelitian ini terdapat 25 lantai dengan sudut maksimal 78.3° yang menunjukkan nilai yang lebih variatif dalam mereduksi kebisingan pada setiap perbedaan sudutnya.

Jika membandingkan hasil reduksi kebisingan pada model W30K150Lh dan W30K150L terdapat selisih sebesar 1-3 dB. Pada penelitian yang dilakukan Jang (2015) yang melakukan eksperimen dengan membandingkan berbagai elemen material dengan koefisien absorpsi yang berbeda, menunjukkan hasil yang lebih baik di frekuensi 250 dan 500 Hz dibandingkan dengan hasil pada penelitian ini seperti pada Gambar 5.23 karena nilai koefisien absorpsi dalam kasus Jang tersebut adalah tanaman rambat yang memiliki nilai koefisien absorpsi yang lebih tinggi dibandingkan kayu lapis pada penelitian ini. Hasil dalam penelitian ini, kebisingan dapat direduksi rata-rata 2.4 dB pada frekuensi 125 Hz, 2.1 dB di frekuensi 250 Hz dan 1.6 dB di frekuensi 500 Hz.



Gambar 5.24. Perbandingan Reduksi Kebisingan pada Penerapan Material Fasad Yang Memiliki Koefisien Absorpsi Yang Tinggi yang Dilakukan Jang dengan Penelitian Ini

Tabel 5.16. Kompilasi Perbandingan Hasil Reduksi Kebisingan Tiap Lantai Terhadap Arah Sudut Datangnya Dan Jarak Diagonal Dari Sumber Bunyi Ke Penerima (Balkon)

Lt.	Kode Rancangan Eksperimen												Su- dut (°)	Ja- rak (m)
	W30K150H			W44K075K			W30K150Lh			W30K150L				
f(hz)	125	250	500	125	250	500	125	250	500	125	250	500		
3	-0.6	-0.6	0.0	0.7	0.8	1.1	3.5	2.5	2.2	6.1	4.2	3.5	38.9	21.03
4	-0.5	-0.5	-0.7	0.5	0.9	0.8	3.7	3.3	2.2	5.7	4.7	3.2	44.7	23.03
5	-0.9	-0.4	-0.4	0.3	1.3	1.3	3.5	3.8	2.3	5.7	4.9	3.9	49.5	25.23
6	-0.5	-0.9	-0.7	0.1	0.7	0.5	3.7	3.2	1.7	5.5	5.9	3.3	53.6	27.59
7	-0.4	-0.7	-1.0	0.6	0.8	0.7	4.4	3.8	2.1	6.5	5.7	3.5	57.0	30.05
8	-0.9	-0.7	-0.9	0.4	0.6	1.7	3.9	3.5	2.8	6.0	4.5	3.6	59.9	32.61
9	-0.5	-0.7	-0.4	0.3	0.5	1.0	4.0	3.5	2.5	6.4	4.9	3.6	62.3	35.24
10	-0.9	-0.5	-1.0	0.1	0.3	0.5	4.7	3.1	1.6	6.4	5.9	3.3	64.4	37.92
11	-0.7	-0.4	-0.6	-0.4	0.9	1.0	4.0	4.2	2.2	7.0	6.0	4.3	66.2	40.64
12	-0.6	0.0	-1.0	0.6	1.2	1.0	4.7	3.6	2.2	7.4	6.4	4.1	67.8	43.41
13	-0.7	-1.1	-0.8	0.2	0.7	0.7	4.3	4.3	2.2	7.2	5.9	4.3	69.2	46.2
14	-0.2	-1.0	-0.6	0.9	0.6	0.6	4.7	4.0	2.7	7.7	5.6	4.8	70.5	49.02
15	-0.4	0.5	0.0	-0.6	-0.2	0.3	4.8	4.5	4.0	6.6	7.3	4.4	71.6	51.85
16	-0.1	0.3	-0.4	0.6	1.2	1.2	4.9	4.2	2.5	7.2	7.5	4.6	72.6	54.71
17	-0.8	-0.6	-0.3	0.4	0.8	1.5	4.5	4.3	2.8	6.9	7.1	4.1	73.5	57.58
18	-0.4	-0.8	-0.4	0.8	0.3	0.9	4.7	3.7	3.7	8.0	5.5	4.4	74.3	60.46
19	0.6	0.0	-0.7	1.0	0.4	1.1	4.7	4.6	2.0	8.4	6.0	3.6	75.0	63.35
20	-0.5	-0.5	0.6	1.1	1.2	0.8	4.9	4.3	3.3	6.8	6.6	4.8	75.7	66.26
21	-0.4	-0.2	-0.1	0.3	2.0	1.4	4.3	4.5	3.0	7.3	6.8	5.9	76.3	69.17
22	0.2	-0.7	0.5	1.0	1.7	1.5	5.8	4.7	2.7	7.8	6.7	4.8	76.9	72.08
23	0.0	-0.2	-0.3	0.5	1.8	1.4	5.7	4.6	3.0	7.5	7.7	4.9	77.4	75.01
24	-1.1	-0.7	-0.5	-0.3	1.8	1.2	4.8	3.8	3.4	6.9	6.6	4.5	77.9	77.94
25	0.2	-0.3	-0.2	1.1	1.2	1.2	5.1	4.1	3.0	8.0	6.5	4.7	78.3	80.88

Keterangan:

Angka merah: nilai reduksi paling rendah

Angka biru: nilai reduksi paling besar

Dalam lantai yang sama terdapat perbedaan reduksi kebisingan karena perbedaan konfigurasi desain yang berdampak pada perbedaan propagasi/perambatan gelombang bunyi yang terjadi. Dalam kasus tersebut selisih nilai cukup besar karena perbedaan material, dan juga perbedaan WWR dan kedalaman lantai

Dari hasil analisis elemen desain balkon didapatkan hasil bahwa material memberikan pengaruh yang paling besar dalam mereduksi kebisingan. Kumpulan hasil nilai reduksi kebisingan dari beberapa simulasi dapat dilihat pada Tabel 5.16. Untuk penerapan material beton halus, hasil terbaik terdapat pada eksperimen W30K075H (*base case*) yaitu WWR 30% dan kedalaman balkon 0.75

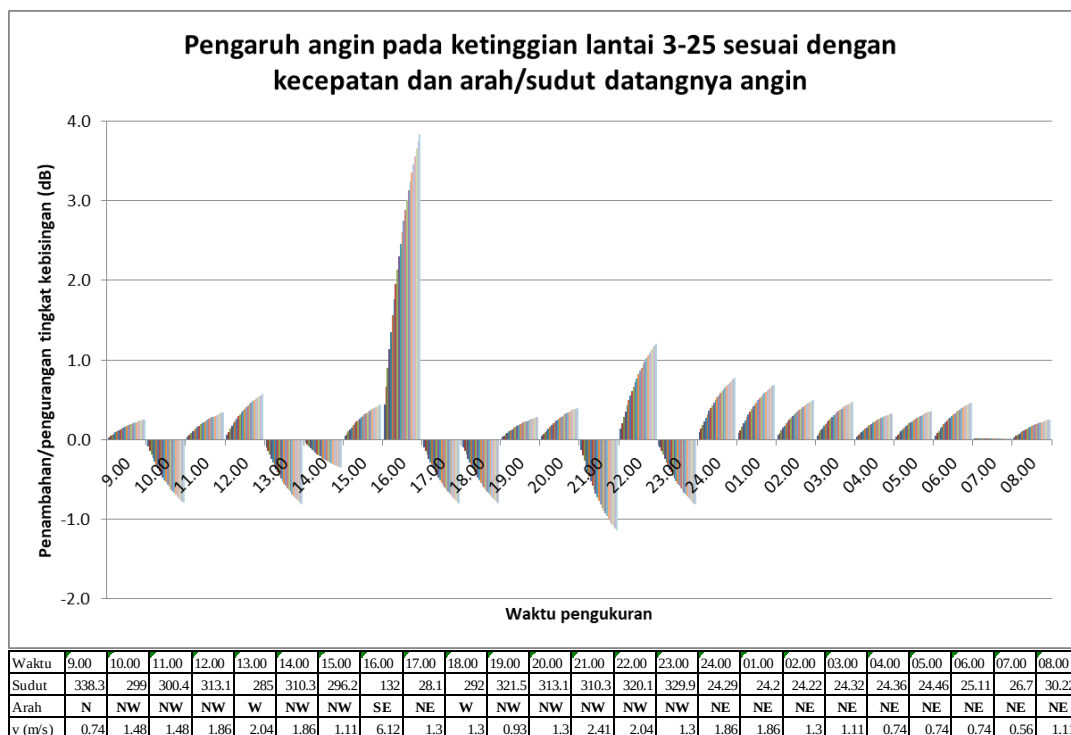
m. Hasil eksperimen seperti W30K150H, W44K150H, dan W66K150H yang mengubah kedalaman balkon dari 0.75 ke 1.5 m tidak menunjukkan nilai reduksi kebisingan yang baik namun menambah kebisingan. Penerapan material beton kasar, hasil terbaik terdapat pada eksperimen W44K075K yaitu 44% dan kedalaman balkon 0.75 m. Penerapan kombinasi material kayu lapis pada balkon dan beton halus pada fasad, hasil terbaik terdapat pada eksperimen W30K150Lh (WWR 30%, kedalaman balkon 1.5 m). Penerapan material kayu lapis di balkon dan keseluruhan fasad menghasilkan nilai reduksi kebisingan yang paling baik di semua eksperimen yaitu di W30K150L (WWR 30%, kedalaman 1.5 m), pada frekuensi 125 Hz dapat direduksi sebesar 5.5-8.4 dB, untuk di frekuensi 250 Hz sebesar 4.6-7.2 dB dan di frekuensi 500 Hz sebesar 3.3-5.5 dB.

5.4 Pengaruh Angin

Angin dapat mempengaruhi propagasi bunyi (Sakamoto, 2015), dalam hal ini adalah kebisingan lalu lintas yang sesuai dengan kecepatan dan arah datangnya angin. Data angin yang digunakan pada penelitian ini adalah hasil pengukuran oleh Arsitektur ITS di *rooftop* Gunawangsa Manyar pada 17-18 November 2017 yang kemudian dilakukan perhitungan menggunakan persamaan 2.3 untuk mengetahui pengaruh angin terhadap penambahan atau pengurangan tingkat kebisingan pada rancangan eksperimen balkon loggia tiap lantai yang telah dilakukan sebelumnya.

Dapat dilihat Gambar 5.24, grafik pengaruh angin selama 24 jam di semua ketinggian lantai dari 3 hingga 25 lantai. Grafik tersebut menunjukkan pengaruh angin terhadap tingkat kebisingan yang paling rendah berada di lantai paling rendah dan sebaliknya pengaruh angin paling tinggi terhadap tingkat kebisingan berada di lantai paling tinggi. Selama 24 jam, angin memiliki arah datang dan kecepatan yang berbeda-beda, semakin besar kecepatan angin, maka pengaruh yang diberikan pada kondisi tingkat kebisingan juga besar. Bertambah atau berkurangnya tingkat kebisingan yang terjadi pada balkon tergantung pada arah angin dan lokasi sumber kebisingan. Jika Mediastika (2005) menyarankan untuk mengecilkan bukaan dan memperhatikan angin datang, dalam penelitian ini akan dilihat tidak hanya arah angin datang namun hubungannya juga dengan arah

kebisingan dan titik penerima di balkon dengan WWR yang paling besar yaitu 66%.



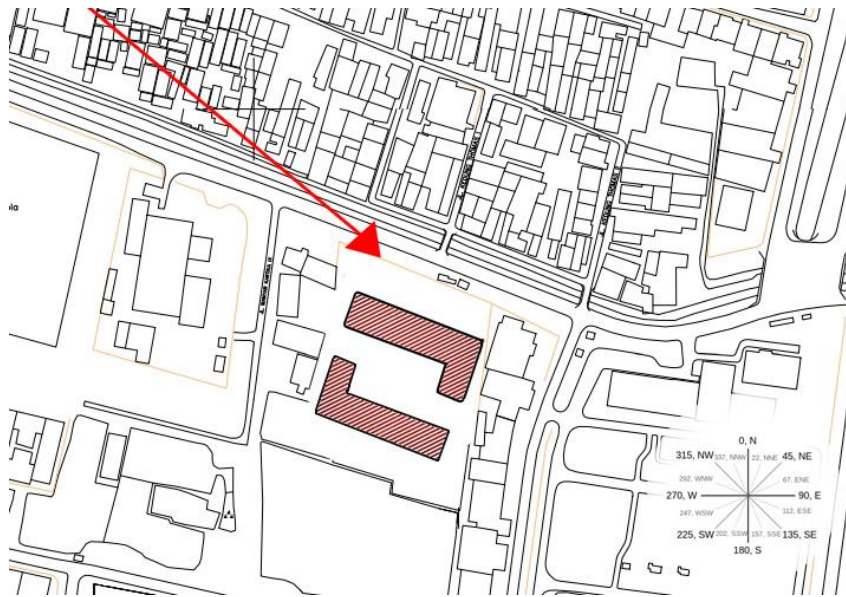
Gambar 5.25 Grafik Perhitungan Pengaruh Angin Terhadap Penambahan dan Pengurangan Kebisingan Selama 24 Jam

a. Arah datang angin searah dengan sumber kebisingan

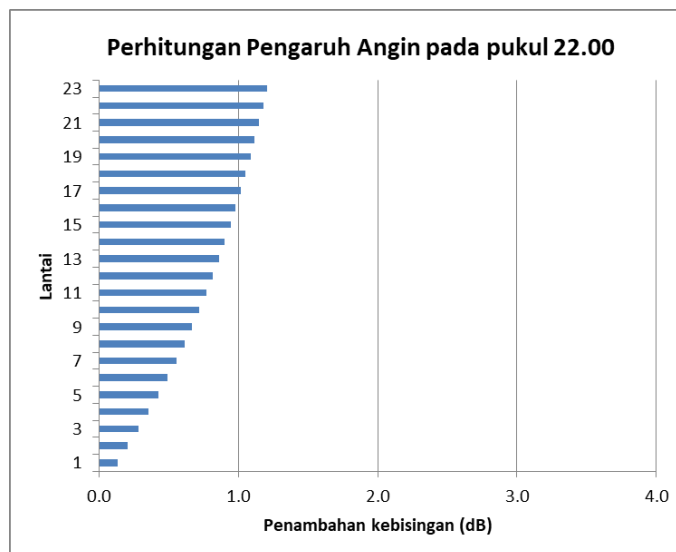
Kondisi arah datang angin yang menuju ke fasad apartemen dengan kata lain angin searah dengan sumber kebisingan lalu lintas, menyebabkan meningkatnya tingkat kebisingan yang terjadi di titik penerima atau balkon (Sakamoto, 2015). Melihat kemiringan eksisting tapak apartemen Gunawangsa Manyar sebesar 22° dari arah utara, maka terdapat peningkatan kebisingan di fasad atau balkon bila arah angin datang berasal dari arah barat laut (NW), utara (N), timur laut (NE), dan timur (E), lebih tepatnya dalam kasus ini adalah dari arah sudut $\geq 292^\circ - \leq 112^\circ$. Salah satu contoh kasus waktu dimana arah angin yang searah/menjuu apartemen memiliki kecepatan angin paling tinggi sebesar 2.04 m/s dari arah barat laut (NW - 320.1°) pada pukul 22.00 yang dapat dilihat pada Gambar 5.26.

Dapat dilihat pula dari hasil perhitungan, dengan data angin pukul 16.00 dengan arah angin tenggara (*south east*) pada Gambar 5.27 yang diperoleh hasil

bahwa semakin tinggi lantai, maka pengaruh angin semakin tinggi, pada lantai 25 menunjukkan angka +1.2 dimana angin pada kondisi tersebut searah dengan sumber kebisingan itu artinya kebisingan bisa dikurangi sebesar 1.2 dB pada kondisi balkon tersebut. Bila hasil perhitungan persamaan 2.3 dimasukkan pada hasil tingkat kebisingan yang didapatkan dari simulasi pada model rancangan W30K150L, maka tingkat kebisingan dapat bertambah atau nilai reduksi kebisingan semakin kecil, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 5.17.

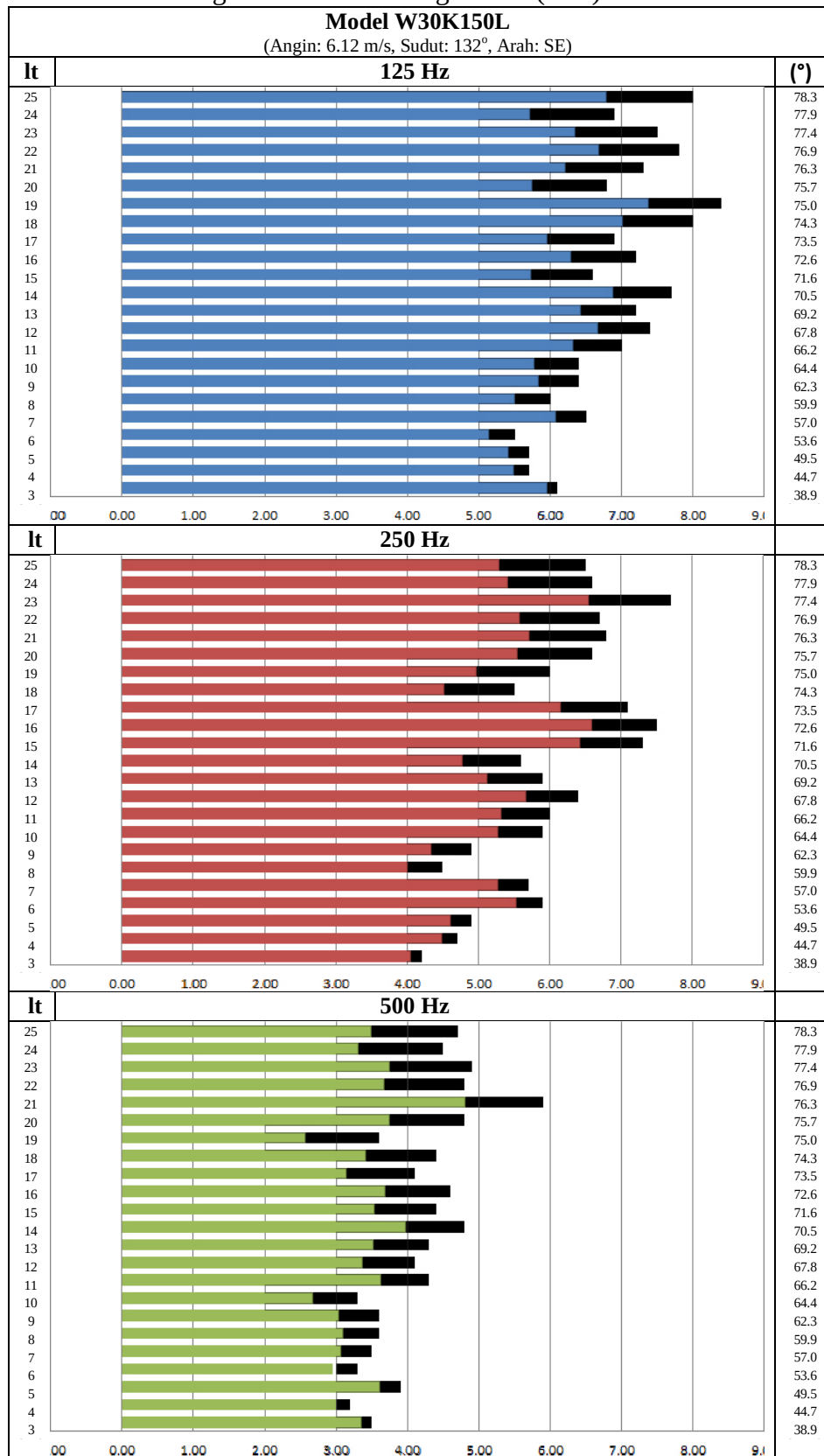


Gambar 5.26 Sudut datang angin 320.1° (NW) pada pukul 22.00



Gambar 5.27 Grafik perhitungan pengaruh angin dari arah datang 320.1° (NW) pada pukul 22.00 yang menambah kebisingan

Tabel 5.17. Reduksi Kebisingan Pada Model W30K150L yang Dipengaruhi Pula Oleh Kondisi Angin dari Arah Datang 302.1° (NW)



b. Arah datang angin berlawanan dengan sumber kebisingan

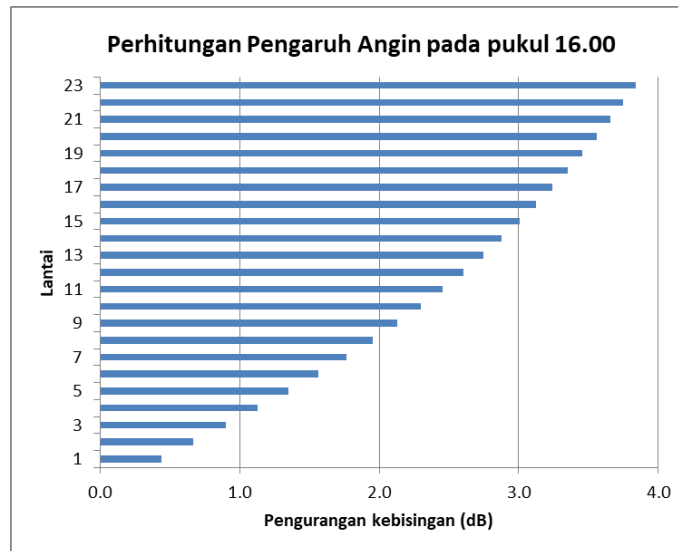
Kondisi arah datang angin yang menuju ke fasad apartemen dengan kata lain angin berlawanan arah dengan sumber kebisingan lalu lintas, menyebabkan berkurangnya tingkat kebisingan yang terjadi di titik penerima atau balkon (Sakamoto, 2015). Melihat kemiringan eksisting tapak apartemen Gunawangsa Manyar sebesar 22° dari arah utara, maka terdapat pengurangan kebisingan di fasad atau balkon bila arah angin datang berasal dari arah barat (W), barat daya (SW), selatan (W), dan tenggara (SE), lebih tepatnya pada kasus ini adalah dari arah sudut $\geq 113^\circ - \leq 291^\circ$. Salah satu contoh kasus waktu dimana arah angin yang berlawanan/membelakangi apartemen memiliki kecepatan angin paling tinggi sebesar 6.12 m/s dari arah tenggara (SE - 132°) pada pukul 16.00 yang dapat dilihat pada Gambar 5.28.



Gambar 5.28 Sudut Datang Angin 132° (SE) pada Pukul 16.00

Dapat dilihat pula dari hasil perhitungan, dengan data angin pukul 16.00 dengan arah angin tenggara (*south east*) pada Gambar 5.29 yang diperoleh hasil bahwa semakin tinggi lantai, maka pengaruh angin semakin tinggi, pada lantai 25 menunjukkan angka +3.8 dimana angin pada kondisi tersebut berlawanan dengan sumber kebisingan itu artinya kebisingan bisa dikurangi sebesar 3.8 dB pada kondisi balkon tersebut. Bila hasil perhitungan persamaan 2.3 tersebut dimasukkan pada hasil tingkat kebisingan yang didapatkan dari simulasi pada

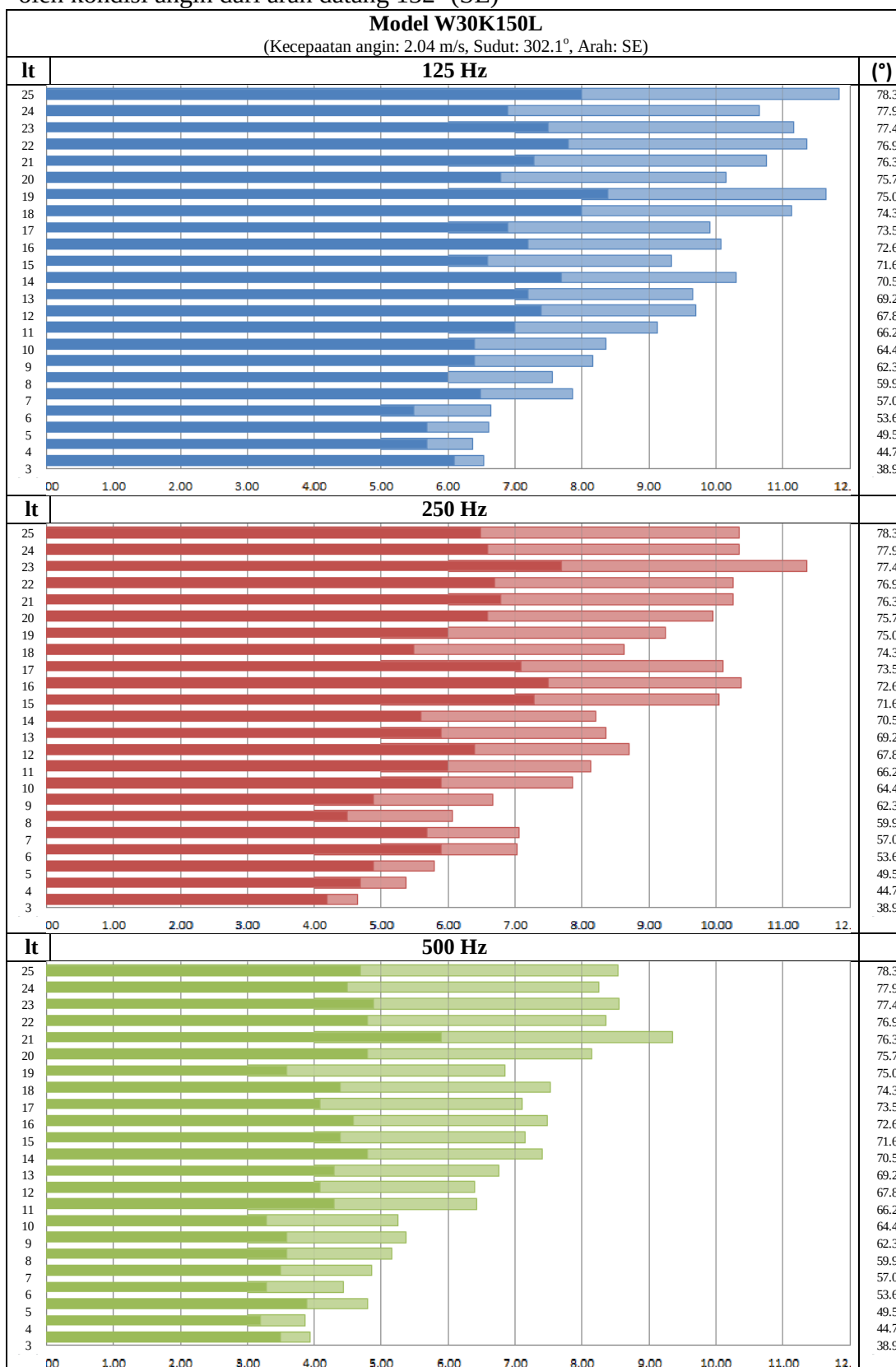
model rancangan W30K150L, maka tingkat kebisingan juga berkurang, atau reduksi kebisingannya semakin bertambah tiap lantainya seperti yang dapat dilihat pada Tabel 5.18.



Gambar 5.29 Grafik Perhitungan Pengaruh Angin dari Arah Datang 132° (SE) pada Pukul 16.00 yang Mengurangi Kebisingan

Dari analisis perhitungan pengaruh angin terhadap kebisingan diperoleh kesimpulan bahwa, faktor paling penting dalam kaitannya angin mempengaruhi tingkat kebisingan adalah sudut datangnya angin dan sumber kebisingan terhadap titik penerima atau balkon. Keseluruhan hasil perhitungan ini sesuai dengan teori kecepatan angin yang meningkat jika ketinggian bertambah. Hal ini disebabkan karena pengaruh dari kondisi permukaan tanah atau objek yang menutupi kawasan lebih padat sehingga kecepatan angin berkurang di ketinggian yang rendah dan meningkat di ketinggian yang lebih tinggi karena berkurangnya hambatan angin (Katsaprakakis, 2012). Itu berarti semakin tinggi lantai pada bangunan maka kebisingan yang dibawa oleh angin juga meningkat karena tidak adanya penghalang yang mempengaruhi kondisi angin. Selain itu arah angin menjadi faktor penting. Menurut Doelle (1986) bising lalu lintas lebih mudah menyebar dalam arah angin daripada melawan angin. Pada penelitian ini sudut yang terbentuk antara arah angin datang dan arah sumber kebisingan dengan penerima menjadi faktor utama untuk pengurangan dan penambahan tingkat kebisingan.

Tabel 5.18. Reduksi kebisingan pada model W30K150L yang dipengaruhi pula oleh kondisi angin dari arah datang 132° (SE)



5.5 Rangkuman Hasil Eksperimen

Pembahasan pada hasil eksperimen menjawab pertanyaan penelitian kedua yang membahas pengaruh desain balkon dalam mereduksi tingkat kebisingan dan pertanyaan ketiga yang membahas pengaruh angin terhadap kebisingan yang terjadi pada balkon. Berikut beberapa hal yang penting dalam bab ini:

- a. Reduksi kebisingan pada penerapan WWR 44% dan 66% tidak lebih baik daripada *base case* (WWR 30%) pada material beton halus.
- b. Penambahan kedalaman balkon dari 0.75 ke 1.5 meter meningkatkan kebisingan.
- c. Penerapan material beton kasar dapat mereduksi kebisingan namun tidak signifikan. Kebisingan akan bertambah bila kedalaman balkon ditingkatkan.
- d. Penerapan material kombinasi beton halus balkon dan kayu lapis menunjukkan nilai yang baik di semua konfigurasi namun tidak mereduksi kebisingan secara signifikan.
- e. Penerapan material kayu lapis pada seluruh fasad menunjukkan hasil reduksi kebisingan paling baik dan signifikan.
- f. Angin dapat mempengaruhi tingkat kebisingan secara signifikan tergantung oleh kecepatan angin.
- g. Faktor angin yang paling penting adalah sudut yang terbentuk dari arah datang angin dan sumber kebisingan dengan titik penerima (balkon).

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis balkon loggia terhadap kebisingan eksisting. Selain itu penelitian ini mengevaluasi pengaruh desain balkon loggia sebagai *barrier* dalam mereduksi tingkat kebisingan pada ruangan apartemen akibat kebisingan dari lalu lintas jalan raya. Desain balkon loggia yaitu elemen-elemen desain yang membentuk ruang balkon loggia dan berpengaruh pada akustik. Elemen desain yang dilihat pengaruhnya adalah rasio luas bukaan balkon terhadap luasan dinding (WWR), kedalaman balkon, material fasad apartemen, jarak/ketinggian apartemen. Penelitian ini bersifat kuantitatif dimana hasil penelitian mengacu pada modifikasi angka nilai dari hasil pengukuran dan hasil simulasi. Tiap rancangan model balkon loggia diuji untuk mengetahui seberapa besar reduksi kebisingan yang dapat dicapai. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh angin terhadap meningkatnya ataupun berkurangnya tingkat kebisingan jalan raya di balkon apartemen yang bersifat akumulatif di siang maupun malam hari yang dilakukan analisis pengaruh angin terhadap kebisingan tersebut.

6.1.1. Tingkat Kebisingan Eksisting Terkait Kepadatan Lalu Lintas

Hasil pengukuran lapangan menunjukkan bahwa tingkat kebisingan pada kondisi eksisting tidak memenuhi standar WHO baik pada saat siang dan malam hari, padahal terdapat perbedaan kondisi kebisingan. Kebisingan rata-rata yang harus direduksi di ruangan apartemen adalah 15 dB. Terdapat dua jenis karakteristik kebisingan yang umum terjadi pada bangunan apartemen. Kebisingan yang pertama bersifat *steady*/terus-menerus baik di siang hari dan di sebagian malam hari yang didominasi oleh bunyi kendaraan dari lalu lintas. Pada saat dini hari kebisingan yang terjadi adalah kombinasi dari bising kendaraan dan bunyi AC. Namun pada saat kendaraan melaju, sumber kebisingan yang berasal dari AC sama sekali tidak terdengar karena didominasi oleh kendaraan yang melewati apartemen tersebut, sehingga untuk menyelesaikan permasalahan

kebisingan di malam hari cukup melakukan eksperimen dengan menggunakan kebisingan siang hari.

6.1.2 Pengaruh Desain Balkon

Analisis pengaruh desain balkon dilakukan dengan simulasi I-Simpa. Tingkat kebisingan yang disimulasikan berada mulai dari lantai 3 hingga lantai 25. Frekuensi yang difokuskan adalah frekuensi rendah yaitu pada 125, 250 dan 500 Hz karena pada kebisingan frekuensi tersebut lebih mendominasi dan menyebabkan *sleep disturbance* atau gangguan tidur pada manusia, dibandingkan frekuensi tinggi yang hanya mengganggu *speech intelligibility* atau tingkat kejelasan dalam mendengar dan berbicara.

Simulasi diawali dari simulasi *base case* yang menunjukkan bahwa semakin tinggi lantai maka tidak semua lantai tingkat kebisingan semakin menurun. Untuk frekuensi 125 Hz kebisingan berada pada rentang 71.1 - 69.5 dB, frekuensi 250 Hz pada rentang 70 – 68.1 dB dan frekuensi 500 Hz pada rentang 66.6 – 64.6 dB. Penurunan kebisingan yang terjadi karena perbedaan jarak tidak menunjukkan nilai yang signifikan.

a. WWR

Pada studi ini, WWR didefinisikan sebagai erbandingan luas bukaan (lubang) pada fasad balkon dan luas keseluruhan dinding pada tiap unit perlantai. Aspek yang diuji adalah 30%, 44% dan 66%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan *base case* dengan mengubah WWR dari 30% ke 44% dan 66%, tidak menunjukkan nilai reduksi kebisingan yang baik karena juga terjadi peningkatan tingkat kebisingan. Reduksi dan peningkatan kebisingan yang terjadi tidak melebihi 1 dB.

b. Kedalaman Balkon

Kedalaman balkon yang diuji dalam studi ini adalah 0.75 dan 1.5 m. Penambahan kedalaman balkon pada *base case* meningkatkan kebisingan dan menjadi lebih besar saat WWR juga ditingkatkan. Hal ini ditunjukkan dari perubahan kedalaman balkon yang semula 0.75 ke 1.5 m, kebisingan meningkat sebesar 1 dB di sebagian besar lantai. Kebisingan semakin bertambah hingga mencapai 1.5 dB saat WWR juga diubah menjadi 44% dan 66%.

c. Material

Perubahan material fasad menunjukkan nilai reduksi kebisingan cukup baik. Untuk beton dengan permukaan kasar menunjukkan nilai reduksi yang baik di seluruh rancangan yang menggunakan beton kasar namun reduksi yang dihasilkan rata-rata sebesar 1 dB dengan kata lain tidak signifikan. Nilai reduksi kebisingan menjadi lebih baik saat desain balkon diterapkan material kayu lapis pada fasadnya, bahkan dengan WWR yang besar. Kayu lapis yang memiliki nilai koefisien absorpsi material memberikan pengaruh yang besar pada reduksi kebisingan.

Dari hasil rancangan eksperimen berbagai model rancangan, model rancangan eksperimen balkon yang mereduksi kebisingan secara signifikan ditunjukkan oleh model W30K150L yaitu model dengan WWR 30%, kedalaman 1.5 m dengan penerapan fasad kayu lapis. Pada bunyi frekuensi 125 Hz dapat direduksi sebesar 5.5-8.4 dB, untuk di frekuensi 250 Hz sebesar 4.6-7.2 dB dan di frekuensi 500 Hz sebesar 3.3-5.5 dB. Perbedaan nilai tingkat kebisingan sehingga nilai reduksi kebisingan dapat terpengaruh karena perbedaan konfigurasi model yang mengakibatkan berbedanya pula propagasi atau perambatan bunyi yang terjadi pada balkon. Sebagian besar dipengaruhi oleh material yang digunakan dalam hal ini sangat bergantung pada koefisien absorpsi material yang mempengaruhi respon refleksi maupun difraksi gelombang bunyi.

d. Rekomendasi Desain Balkon

Dari hasil di atas, diperoleh rekomendasi desain berdasarkan bukaan balkon yang dikehendaki pada suatu balkon loggia apartemen yang dapat dilihat pada Tabel 6.1

Tabel 6.1 Rekomendasi desain balkon berdasarkan bukaan balkon yang dikehendaki

WWR (%)	Kedalaman Balkon (m)	Material yang Direkomendasikan
30	0.75	Beton halus, beton kasar, kombinasi dan kayu lapis
44		Beton kasar kombinasi, dan kayu lapis
66		Beton kasar, kombinasi, dan kayu lapis
30	1.5	Kombinasi dan kayu lapis
44		Kombinasi dan kayu lapis
66		Kombinasi dan kayu lapis

6.1.3 Pengaruh Angin

Dari analisis perhitungan pengaruh angin terhadap kebisingan diperoleh kesimpulan bahwa, faktor utama angin dalam mempengaruhi tingkat kebisingan adalah sudut datangnya angin dan sumber kebisingan terhadap titik penerima atau balkon. Hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi lantai maka kebisingan karena pengaruh angin juga semakin bertambah. Jika arah datang angin sama dengan arah kebisingan maka, tingkat kebisingan juga meningkat dan sebaliknya jika arah datang angin berlawanan dengan sumber kebisingan maka kebisingan dapat direduksi. Hasil pengukuran 24 jam tidak menunjukkan penambahan atau pengurangan kebisingan secara signifikan karena pengaruh angin.

6.2 Saran

Beberapa hal yang dapat dikembangkan dari penelitian ini karena keterbatasan dan kelemahan pada penelitian ini antara lain:

- a. Model rancangan eksperimen yang digunakan pada penelitian ini masih terbatas pada unit apartemen studio (1 BR), dapat dikembangkan untuk unit apartemen yang lebih luas seperti BR agar dapat memungkinkannya mengkaji pengaruh WWR dari yang paling kecil hingga WWR 100%.
- b. Penelitian ini hanya memperhatikan bunyi pada frekuensi rendah < 500 Hz yang mengganggu kenyamanan beristirahat. Dapat dikembangkan pada penelitian selanjutnya untuk memperhatikan bunyi pada frekuensi tinggi > 2000 Hz yang dapat mengganggu kejelasan dalam berkomunikasi.
- c. Verifikasi model simulasi sebaiknya tidak hanya dengan menggunakan perbandingan tingkat kebisingan pada 1 lantai saja, namun bisa dibandingkan juga dengan lebih dari 1 lantai, misalnya lantai terendah dan lantai tertinggi.
- d. Kombinasi material yang diterapkan pada fasad masih dapat dibahas lebih lanjut. Hal ini berkaitan dengan koefisien absorpsi material yang bervariasi, sehingga dapat memanfaatkan tidak hanya kemampuan serapnya namun juga kemampuan pantulnya. Penerapan material-material tersebut bisa saling dikombinasikan dan diterapkan pada salah satu bagian plafon . Material yang

dapat diuji misalnya material yang kurang banyak dimanfaatkan seperti panel dinding yang berasal dari limbah jagung atau serabut kelapa.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Baruch, Katarzynam, (2018), “An engineering method to measure the impact sound reduction due to soft coverings on heavyweight floors”, *Applied Acoustics*, Vol. 142, hal. 18-28.
- Berglund, B., Lindvall T, Schwela D, & Goh, KT, (2000), *Guidelines for Community Noise*. Geneva: World Health Organization (WHO).
- Blauert, J.X, (2008), *Acoustics for Engineers*. Springer.
- Browning, W., Ryan, C, & Clancy, J. (2014), *14 Patterns of Biophilic Design*. Terrapin Bright Green, LLC.
- Committee AV-002 (2004), *Electroacoustics—Sound level meters*, Standards Australia International, Sydney
- Curl, James. (2006). *A Dictionary of Architecture and Landscape Architecture*, Oxford University Press, USA.
- Doelle, L.E. (1986), *Akustik Lingkungan*, Erlangga, Jakarta.
- Eldien, Hossam dan Woloszyn, (2003), “Prediction of the sound field into high-rise building facades due to its balcony ceiling form”, *Applied Acoustics* Vol. 65, hal. 431–440.
- Eldien, Hossam dan Woloszyn, (2004), *Acoustical effect evaluation of balconies ceiling form in protecting buildings facades against traffic noise*. Conference paper, France.
- Ernst, Neufferst. (1996). *Data Arsitek*. Erlangga, Jakarta.
- Egan, David. (1976) *Concepts in Architectural Accoustic*, Prentice-Hall Inc, New-Jersey.
- Farina, A, and Brero, G, (1996), *Computer code based on experimental results for acoustical mapping of urban areas*. Proceedings of Noise & Planning, Pisa.
- Gunawan, S, (2017), *Seberapa Penting Fungsi Balkon Apartemen Untuk Investasi* www.99.co, diakses pada Mei 2018.
- Groat, Linda and Wang, David, (2002), *Architectural Research Methods*, John Willey and Sons, Canada.

- Jang, Kim dan Jeon, (2015), “Scale-model method for measuring noise reduction in residential buildings by vegetation”, *Building and Environment*, Vol. 86 hal. 81-88.
- Kai-chung, Cheung, (2014), *Sound Transmits Farther At Night*, www.hk-phy.org, diakses pada Mei 2019 .
- Kementrian Koordinator Bidang Pembangunan Manusia dan Kebudayaan, (2015), *Jumlah Penduduk Indonesia Terbesar Ke Empat Dunia Setelah China, India Dan Amerika*. www.kemenkopmk.go.id, diakses pada Mei 2018.
- Kementrian Lingkungan Hidup, (2000), Kep48/MENLH/11/1996 tentang Kebisingan Lingkungan. Jakarta.
- Keputusan Walikota Surabaya No. 46 Tahun 2000 tentang Kelas Jalan di Kota Surabaya.
- Kim, Myung-Jun & Kim, Ha-Geun, (2007), “Field measurements of facade sound insulation in residential buildings with balcony windows”, *Building and Environment*, Vol. 42, hal 1026–1035.
- Krimm, Jochen, (2018), *Acoustically effective facades design*, Disertasi Doktor, Delft University of Technology, Belanda.
- Lee, Kim, Jeon dan Song, (2007), “Effects of apartment building facade and balcony design on the reduction of exterior noise”, *Building and Environment*, Vol. 42 hal. 3517–3528.
- McMullan, R. (2007), *Environmental Science in Building*, Palgrave MacMillan, Hampshire.
- Mediastika Christina E. (2005), *Akustika Bangunan, Prinsip-Prinsip dan Penerapannya di Indonesia*, Erlangga, Jakarta.
- Mediastika, Christina E, 2009, *Material Akustik Pengendali Kualitas Bunyi pada Bangunan*, Andi Offset, Yogyakarta.
- Moore, D. S., Notz, W. I., & Flinger, M. A. (2013). *The Basic Practice of Statistics (6th ed)*. New York: W.H. Freeman and Company.
- Naish, Tan, dan Demirbilek, (2014), “Simulating the effect of acoustic treatment types for residential balconies with road traffic noise”, *Applied Acoustics* Vol. 79 hal. 131–140.
- Nugraha, et. all. (1985). *Manajemen Proyek Konstruksi 1*. Kartika Yudha, Surabaya.

- Park, Sang Hee, Lee, Pyoung Jik dan Lee, Byung Kwon, (2017), “Levels and sources of neighbour noise in heavyweight residential buildings in Korea”, *Applied Acoustics*, Vol. 120, hal. 148-157.
- Picaut, J dan Fortin, N, (2012), *I-Simpa, a graphical user interface devoted to host 3D sound propagation numerical codes*, Société Française d’Acoustique, Acoustics 2012, Nantes, France.
- Pilch, Adam, (2016), “Optimization in the Validation of the Room Acoustic Model”, *Proceedings of EuroRegio2016*, Porto, Portugal.
- Rusjadi, Dodi dan Palupi, Maharani, (2011), “Study Sampling Method of Environment Noise From The Decision of Environment Minister No. 48 of 1996”, *Jurnal Standardisasi*, Vol. 13, No. 3 hal: 176 – 183.
- Sakamoto, Shinichi, (2015), Road traffic noise prediction model “ASJ RTN-Model 2013”: Report of the Research Committee on Road Traffic Noise. *Acoust. Sci. & Tech* 36, 2.
- Sakamoto, Shinichi & Aoki, Ami, (2015), “Numerical and experimental study on noise shielding effect of eaves/louvers attached on building façade”, *Building and Environment*, Vol. 94 hal 773-784.
- Samodra, FX Teddy, (2017), “Site Barrier Optimization On Integrating Thermal Comfort With Noise Propagation Control”, *DIMENSI–Journal of Architecture and Built Environment*, Vol. 44, No. 1, hal. 45-52.
- Samodra, FX Teddy, (2018), “WWR Optimization For Ventilation And Environmental Noise Control Of Tropical Dwelling”, *ARSITEKTURA* Vol. 16, No.1, hal. 57-66.
- Satwiko, Prasasto, (2009), *Fisika Bangunan*. Penerbit ANDI, Yogyakarta.
- Savitri, Esti, dan Ignatius, Marcel, (2007), *Indonesian Apartment: Design Concept Lifestyle*, Jakarta: PT. Griya Asri Prima.
- Smith, B.J., Peters, R.J., dan Owen, S. (1996), “*Acoustic and Noise Control*”, Addison Wesley Longman, England.
- Sutalaksana, et all. (1979), *Teknik Tata Cara Kerja*. Jurusan Teknik Industri, ITB, Bandung.
- Sumantri, A., Muhidin S.A, (2006), *Aplikasi Statistika dalam Penelitian*, Pustaka Setia, Bandung.
- Suryani, Erma, (2006), *Pemodelan dan Simulasi*, Graha Ilmu, Yogyakarta.

- Tanaka, S, Shiraishi, B. (2008), “Wind Effects on Noise Propagation for Complicated Geographical and Road Configurations”, *Applied Acoustics*, Vol 69, hal. 1038–104.
- Yu, Jiangmiao, et al. (2018), “More accurate modulus back-calculation by reducing noise information from in situ-measured asphalt pavement deflection basin using regression model”, *Construction and Building Materials*, Vol. 158, hal. 1026-1034.
- Zijlema, Wilma, et al. (2016), “Road traffic noise, blood pressure and heart rate: Pooled analyses of harmonized data from 88,336 participants”, *Environmental Research*, Vol. 151, hal. 804-813.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Pengukuran L_{eq} 24 jam

a. *TINGKAT KEBISINGAN RATA-RATA 24 JAM (L_{sm})*

SLM 1 (di balkon)

- WEEKDAY

Data yang di-input:

L_{eq} tiap jam pada kolom

	Hr Start	Hr End	L_{eq} <u>Perjam</u>	NR	
L1	22.00	23.00	62.7	22.7	The Nighttime Average is: Lm = 59.9
L2	23.00	24.00	64.0	24.0	
L3	00.00	01.00	58.0	18.0	
L4	01.00	02.00	56.4	16.4	
L5	02.00	03.00	57.9	17.9	
L6	03.00	04.00	54.7	14.7	
L7	04.00	05.00	56.9	16.9	
L8	05.00	06.00	59.6	19.6	
L9	06.00	07.00	65.4	20.4	
L10	07.00	08.00	64.5	19.5	The Daytime Average is: Ls = 64.8
L11	08.00	09.00	64.9	19.9	
L12	09.00	10.00	64.7	19.7	
L13	10.00	11.00	67.1	22.1	
L14	11.00	12.00	63.6	18.6	
L15	12.00	13.00	65.9	20.9	
L16	13.00	14.00	63.3	18.3	
L17	14.00	15.00	62.9	17.9	
L18	15.00	16.00	64.9	19.9	
L19	16.00	17.00	64.2	19.2	
L20	17.00	18.00	65.1	20.1	
L21	18.00	19.00	64.9	19.9	
L22	19.00	20.00	66.3	21.3	
L23	20.00	21.00	63.9	18.9	
L24	21.00	22.00	62.4	17.4	

$L_{sm} = 67.4 \text{ dBA}$

b. TINGKAT KEBISINGAN RATA-RATA 24 JAM (Lsm)

SLM 1 (di balkon)

-WEEKEND

Data yang di-input:

Leq tiap jam pada kolom E

	Hr Start	Hr End	Leq Perjam	NR	
L1	22.00	23.00	62.0	22.0	The Nighttime Average is: Lm = 60.2
L2	23.00	24.00	61.4	21.4	
L3	00.00	01.00	62.4	22.4	
L4	01.00	02.00	59.1	19.1	
L5	02.00	03.00	57.8	17.8	
L6	03.00	04.00	56.9	16.9	
L7	04.00	05.00	59.0	19.0	
L8	05.00	06.00	60.1	20.1	
L9	06.00	07.00	63.0	18.0	
L10	07.00	08.00	61.7	16.7	The Daytime Average is: Ls = 62.8
L11	08.00	09.00	64.2	19.2	
L12	09.00	10.00	62.7	17.7	
L13	10.00	11.00	62.4	17.4	
L14	11.00	12.00	62.0	17.0	
L15	12.00	13.00	62.6	17.6	
L16	13.00	14.00	61.7	16.7	
L17	14.00	15.00	62.8	17.8	
L18	15.00	16.00	64.1	19.1	
L19	16.00	17.00	63.1	18.1	
L20	17.00	18.00	62.6	17.6	
L21	18.00	19.00	63.0	18.0	
L22	19.00	20.00	63.6	18.6	
L23	20.00	21.00	62.3	17.3	
L24	21.00	22.00	62.6	17.6	

Lsm = 67.1 dBA

c. TINGKAT KEBISINGAN RATA-RATA 24 JAM (L_{sm})

SLM 2 (indoor) -
WEEKDAY

Data yang di-input:

Leq tiap jam pada kolom E

	Hr Start	Hr End	Leq Perjam	NR	
L1	22.00	23.00	47.7	7.7	The Nighttime Average is: Lm = 45.2
L2	23.00	24.00	49.3	9.3	
L3	00.00	01.00	43.1	3.1	
L4	01.00	02.00	41.9	1.9	
L5	02.00	03.00	44.6	4.6	
L6	03.00	04.00	40.6	0.6	
L7	04.00	05.00	42.6	2.6	
L8	05.00	06.00	44.3	4.3	
L9	06.00	07.00	51.1	6.1	The Daytime Average is: Ls = 50.4
L10	07.00	08.00	50.0	5.0	
L11	08.00	09.00	52.5	7.5	
L12	09.00	10.00	51.2	6.2	
L13	10.00	11.00	50.2	5.2	
L14	11.00	12.00	50.4	5.4	
L15	12.00	13.00	52.2	7.2	
L16	13.00	14.00	48.7	3.7	
L17	14.00	15.00	49.1	4.1	
L18	15.00	16.00	51.3	6.3	
L19	16.00	17.00	49.5	4.5	
L20	17.00	18.00	50.4	5.4	
L21	18.00	19.00	50.0	5.0	
L22	19.00	20.00	51.8	6.8	
L23	20.00	21.00	48.0	3.0	
L24	21.00	22.00	47.1	2.1	

$$L_{sm} = 52.9 \text{ dBA}$$

d. TINGKAT KEBISINGAN RATA-RATA 24 JAM (Lsm)

SLM 2 (indoor)

-WEEKEND

Data yang di-input:

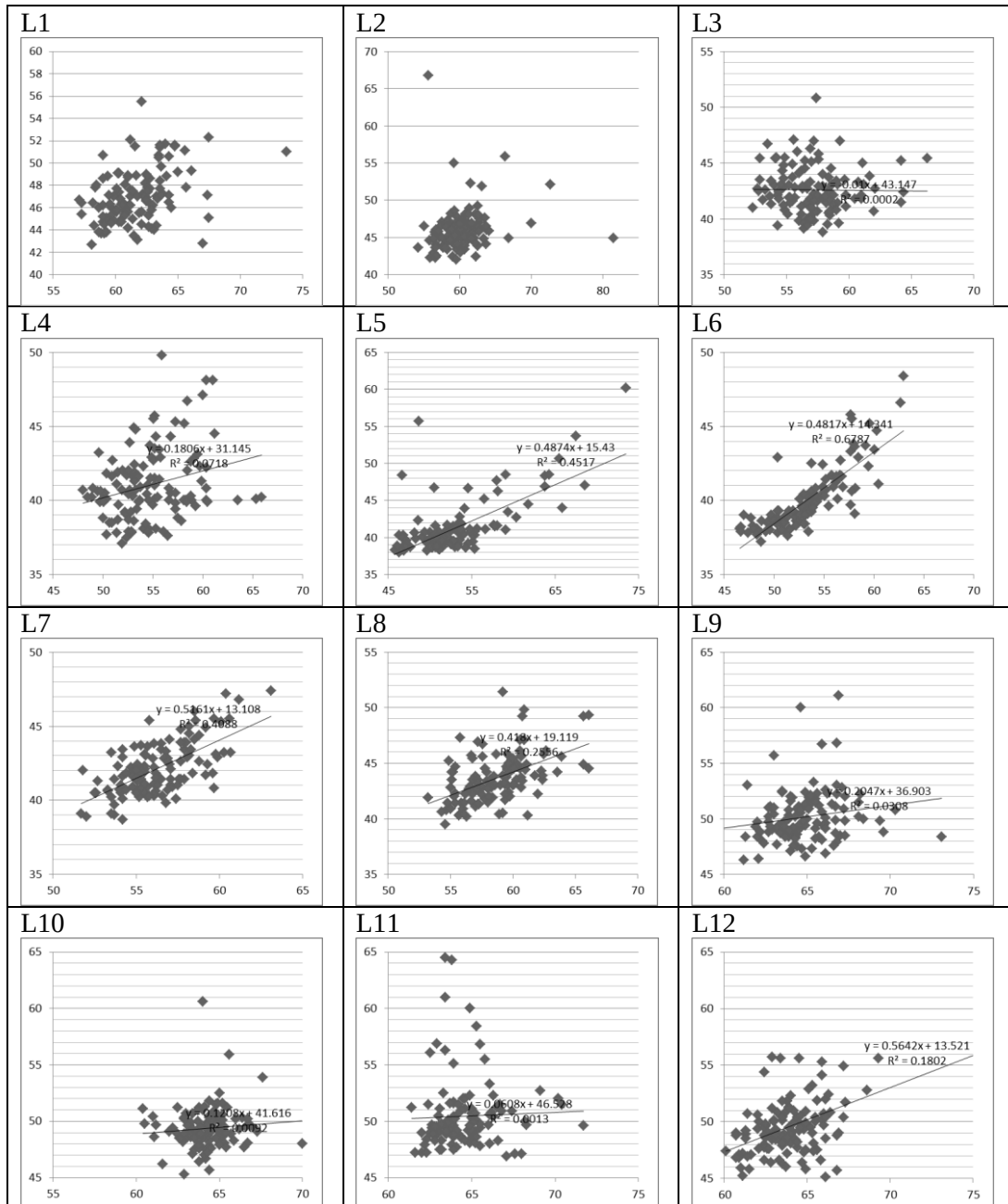
Leq tiap jam pada kolom E

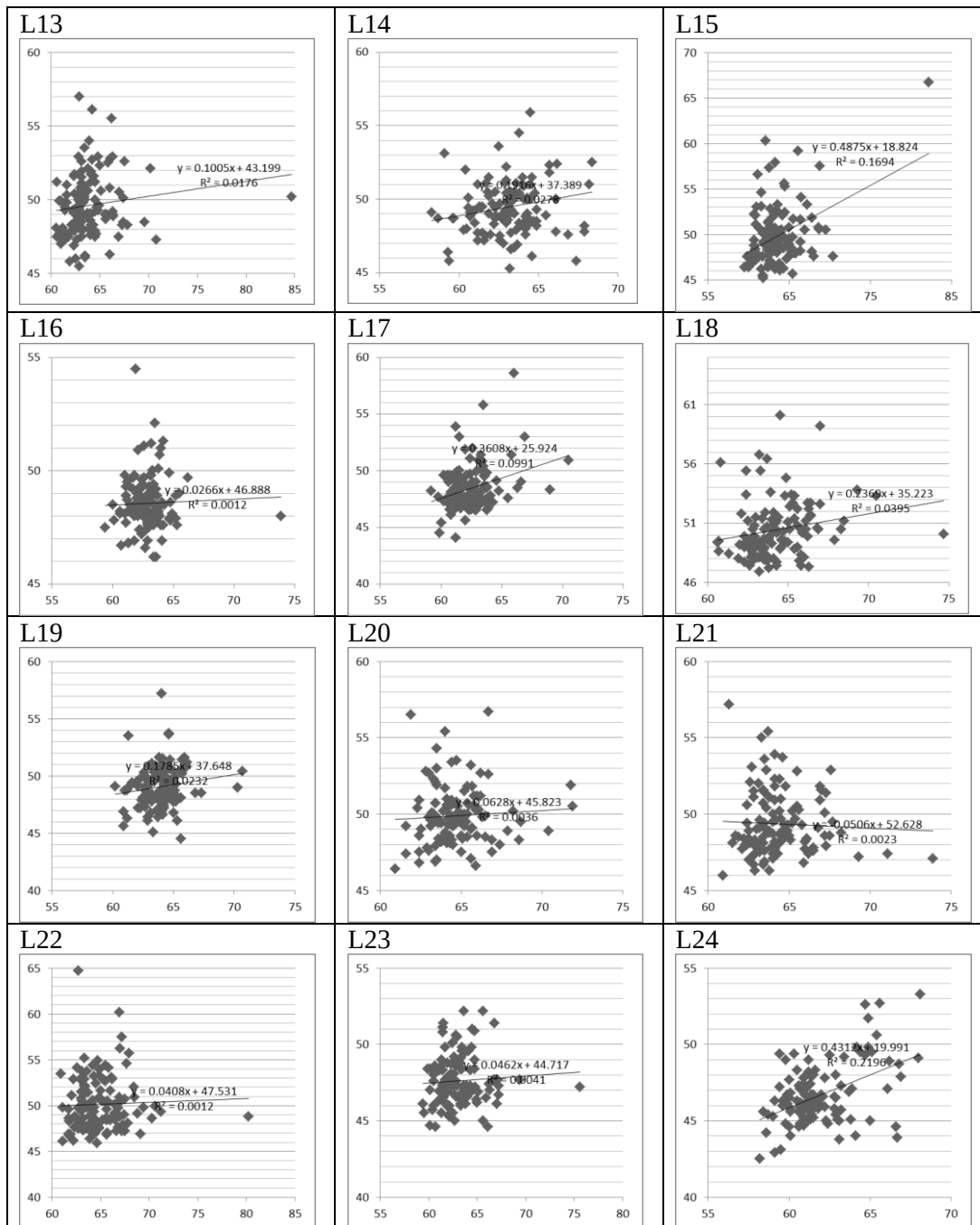
	Hr Start	Hr End	Leq <u>Perjam</u>	NR	
L1	22.00	23.00	47.6	7.6	The Nighttime Average is: Lm = 45.2
L2	23.00	24.00	46.3	6.3	
L3	00.00	01.00	47.3	7.3	
L4	01.00	02.00	44.0	4.0	
L5	02.00	03.00	43.9	3.9	
L6	03.00	04.00	42.2	2.2	
L7	04.00	05.00	42.8	2.8	
L8	05.00	06.00	44.6	4.6	
L9	06.00	07.00	47.9	2.9	
L10	07.00	08.00	47.9	2.9	The Daytime Average is: Ls = 49.1
L11	08.00	09.00	50.6	5.6	
L12	09.00	10.00	49.4	4.4	
L13	10.00	11.00	48.9	3.9	
L14	11.00	12.00	49.6	4.6	
L15	12.00	13.00	49.6	4.6	
L16	13.00	14.00	47.5	2.5	
L17	14.00	15.00	47.6	2.6	
L18	15.00	16.00	51.0	6.0	
L19	16.00	17.00	47.9	2.9	
L20	17.00	18.00	49.0	4.0	
L21	18.00	19.00	48.5	3.5	
L22	19.00	20.00	49.8	4.8	
L23	20.00	21.00	49.8	4.8	
L24	21.00	22.00	47.7	2.7	

Lsm = 52.4 dBA

Lampiran 2. Regresi L_{eq} (hubungan tingkat kebisingan balkon dan ruang apartemen) tiap jam saat *weekday* dan *weekend*

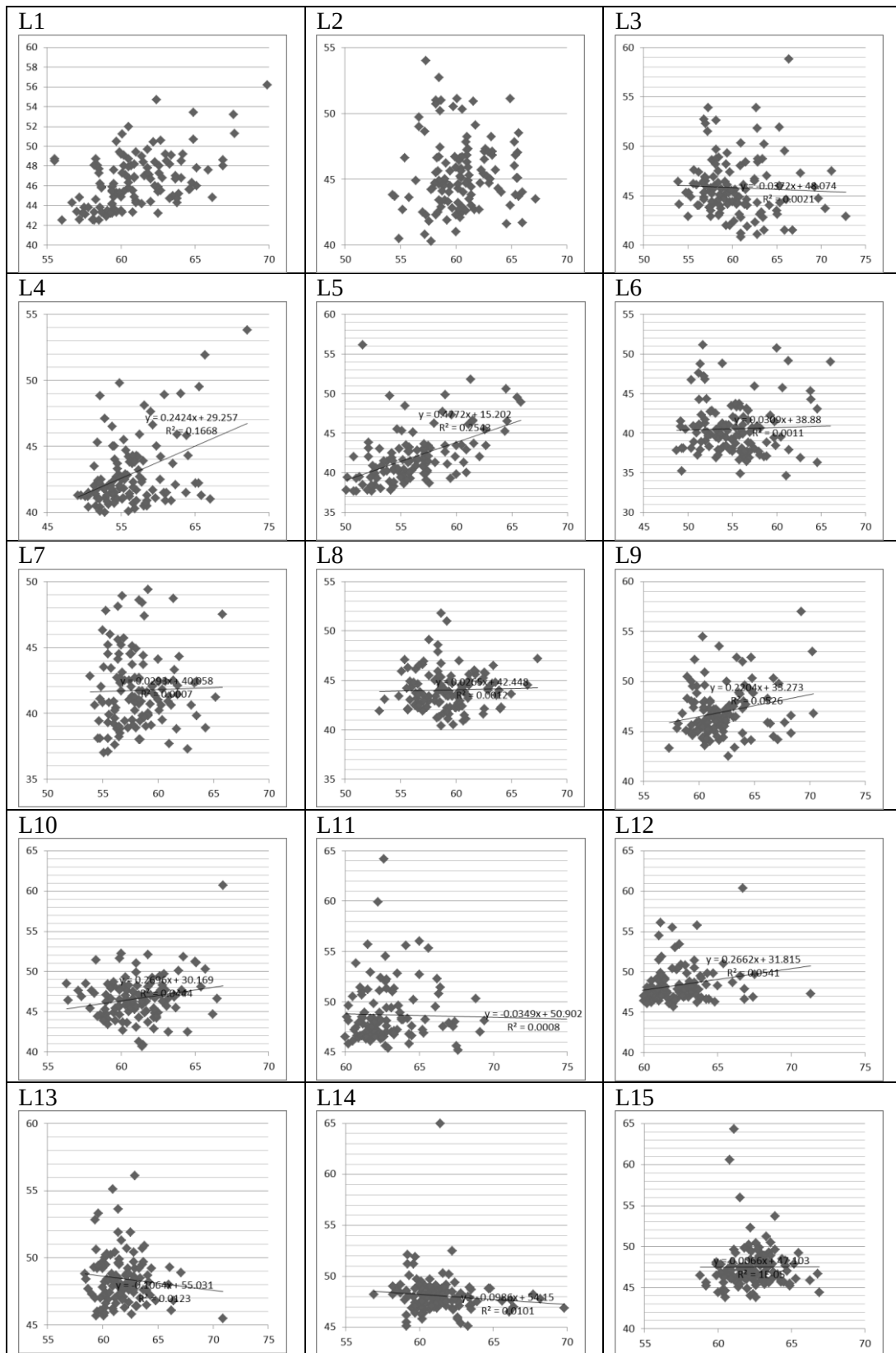
a. L_{eq} Weekday Tiap Jam

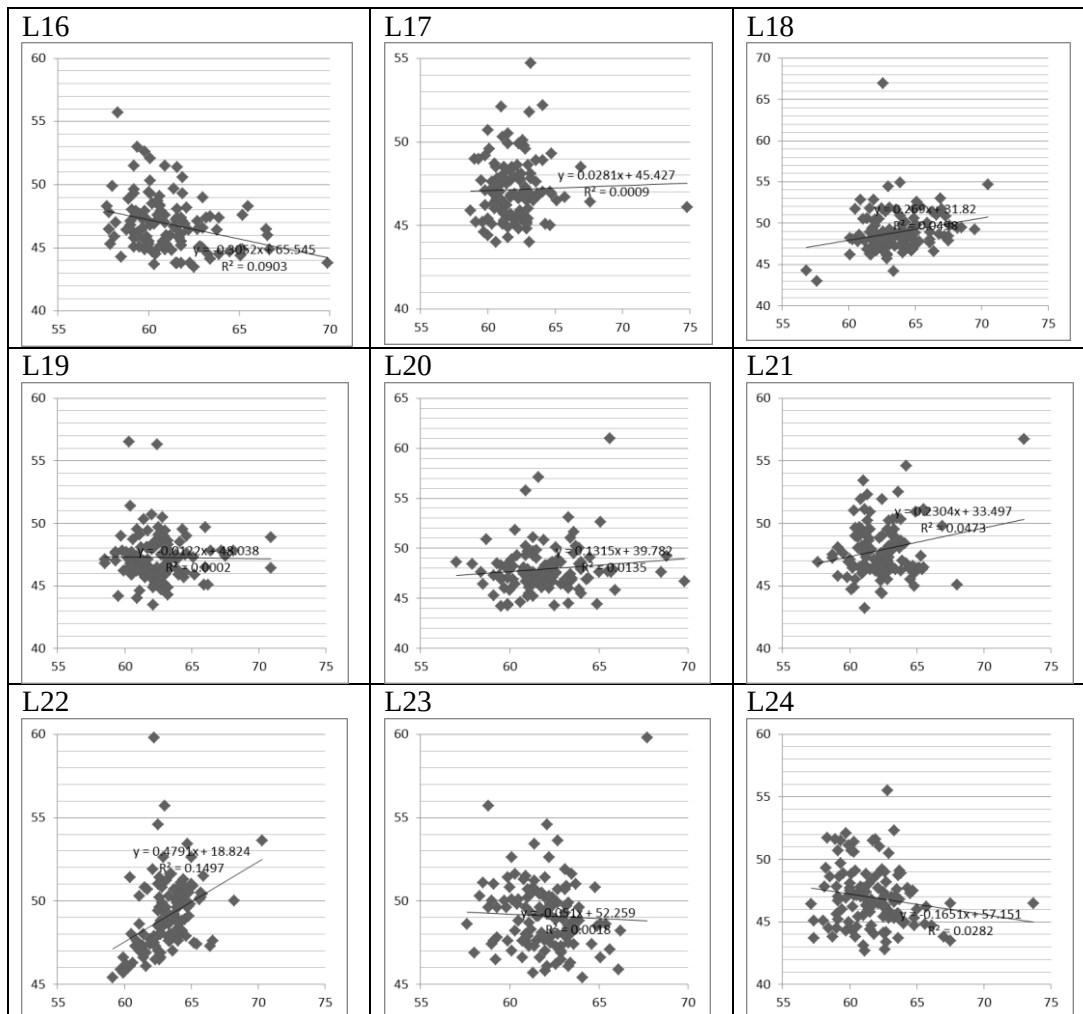




Kesimpulan: tidak ada hubungan nilai tingkat kebisingan yang terjadi di balkon dan ruang apartemen saat *weekend*. Hal ini menandakan ada variabel-variabel yang mempengaruhi tingkat kebisingan

b. L_{eq} Weekend Tiap Jam

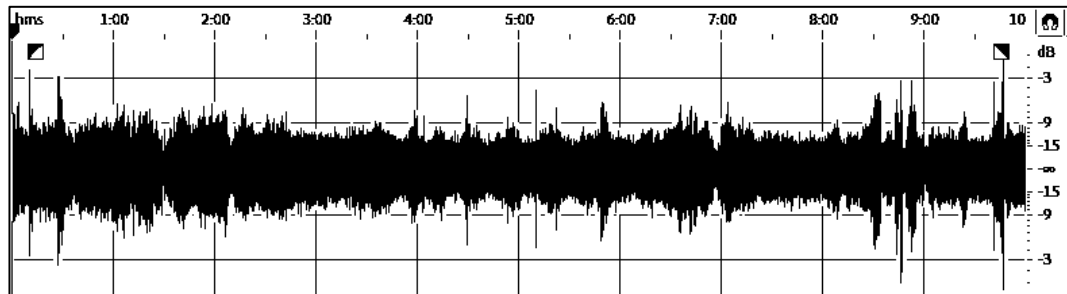




Kesimpulan: tidak ada hubungan nilai tingkat kebisingan yang terjadi di balkon dan ruang apartemen saat *weekday*. Hal ini menandakan ada variabel-variabel yang mempengaruhi tingkat kebisingan

Lampiran 3. Hasil Kuisioner Pengamatan Data Rekaman Weekday

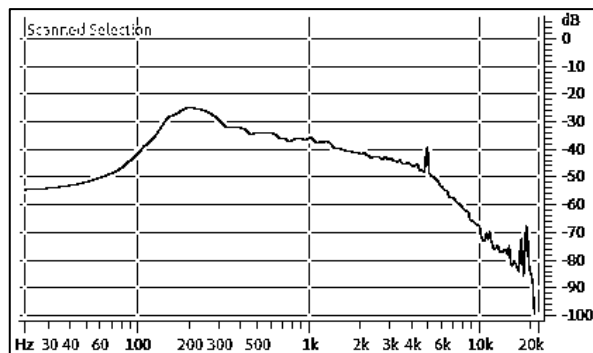
Kode Pengukuran	L1 – Weekday
Waktu	22.00



Gambar sinyal akustik terhadap waktu selama pengukuran pukul 22.00

Tabel dan grafik nilai L_{eq} (dB) pada tiap frekuensi

Fq (Hz)	22.00
63	49.48
125	70.9
250	70.95
500	65.65
1000	63.76
2000	57.66
4000	53.32
8000	37.22
SLM1	62.7



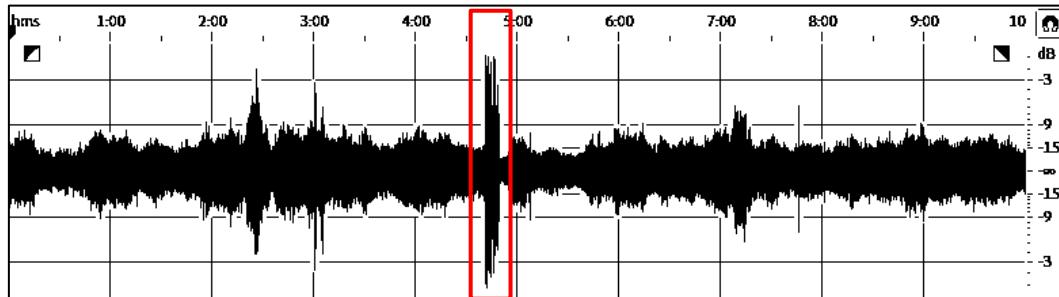
Tabel pengamatan jenis sumber bunyi pada saat pengukuran

Sumber Bunyi		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Jenis
Airborne noise	Bising lalu lintas											steady
	Klakson kendaraan											impulsive
	Suara manusia											impulsive
	Peralatan elektronik											-
	Bising lainnya											-
Structureborne noise												-
		noticeable		loud			sharp		diffuse			

Catatan:

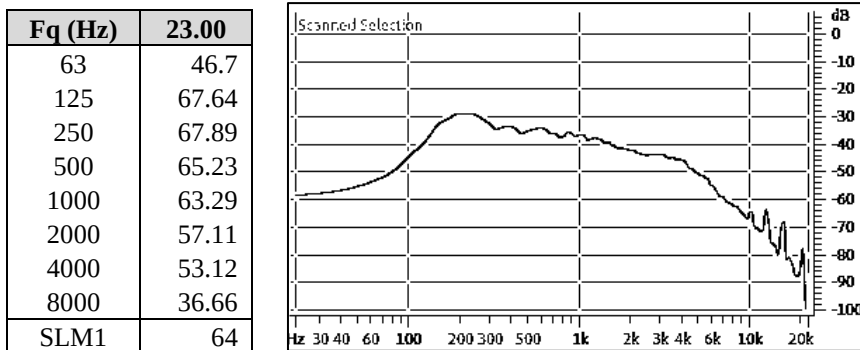
1. Kebisingan lalu lintas bersifat *steady*/terus-menerus.
2. Bunyi dari klakson kendaraan bersifat impulsif
3. Suara percakapan manusia terdengar samar
4. Bunyi dari peralatan elektronik, *structureborne* maupun bising lainnya tidak dapat diidentifikasi

Kode Pengukuran	L2 – Weekday
Waktu	23.00



Gambar sinyal akustik terhadap waktu selama pengukuran pukul 23.00

Tabel dan grafik nilai L_{eq} (dB) pada tiap frekuensi



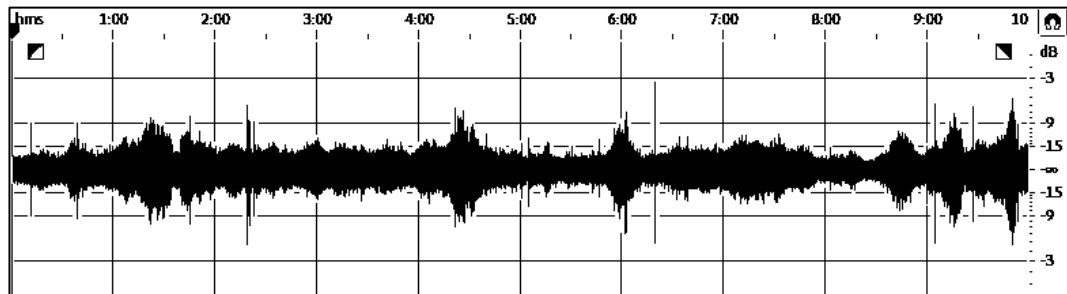
Tabel pengamatan jenis sumber bunyi pada saat pengukuran

Sumber Bunyi		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Jenis
Airborne noise	Bising lalu lintas											steady impulsive
	Klakson kendaraan											
	Suara manusia											-
	Peralatan elektronik											-
	Bising lainnya											-
Structureborne noise												-
		noticeable		loud			sharp		diffuse			

Catatan:

1. Kebisingan lalu lintas bersifat *steady*/terus-menerus.
2. Terdapat bunyi motor dengan kebisingan tinggi pada frekuensi 500-8000 Hz terjadi selama 8 detik.
3. Bunyi dari klakson kendaraan cukup keras dan bersifat impulsif. Namun pada saat pengukuran hanya terjadi sebanyak 2 kali.
4. Bunyi dari peralatan elektronik dan *structureborne* tidak dapat diidentifikasi

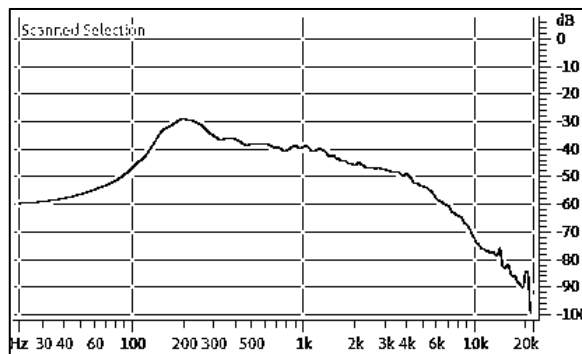
Kode Pengukuran	L3 – Weekday
Waktu	00.00



Gambar sinyal akustik terhadap waktu selama pengukuran pukul 00.00

Tabel dan grafik nilai L_{eq} (dB) pada tiap frekuensi

Fq (Hz)	00.00
63	45.26
125	66.29
250	64.98
500	61.38
1000	60.86
2000	53.97
4000	49
8000	34.18
SLM1	58



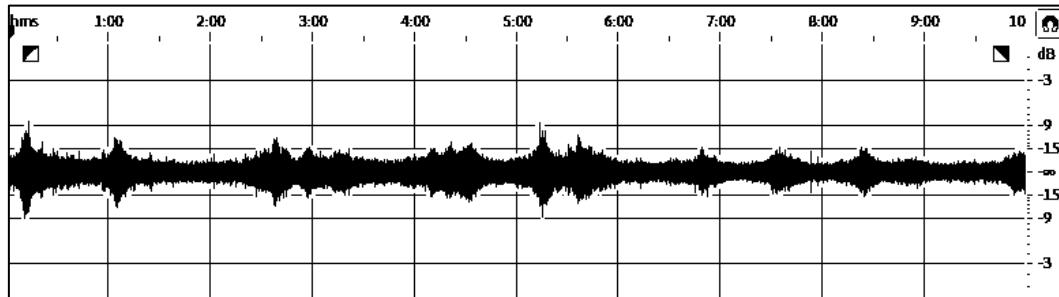
Tabel pengamatan jenis sumber bunyi pada saat pengukuran

Sumber Bunyi		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Jenis
Airborne noise	Bising lalu lintas											steady
	Klakson kendaraan											impulsive
	Suara manusia											impulsive
	Peralatan elektronik											steady
	Bising lainnya											-
Structureborne noise												-
		noticeable		loud		sharp		diffuse				

Catatan:

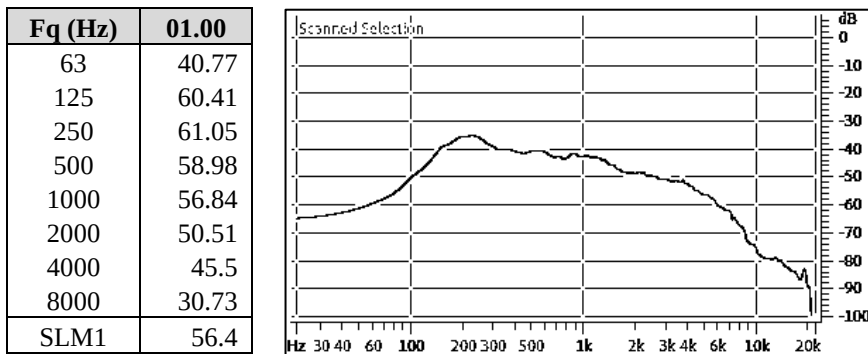
1. Kebisingan lalu lintas bersifat *steady*/terus-menerus.
2. Bunyi dari klakson kendaraan cukup keras dan bersifat impulsif
3. Suara percakapan manusia dan peralatan elektronik yaitu AC terdengar samar
4. Bunyi dari *structureborne* dan bising lainnya tidak dapat diidentifikasi

Kode Pengukuran	L4 – Weekday
Waktu	01.00



Gambar sinyal akustik terhadap waktu selama pengukuran pukul 01.00

Tabel dan grafik nilai L_{eq} (dB) pada tiap frekuensi



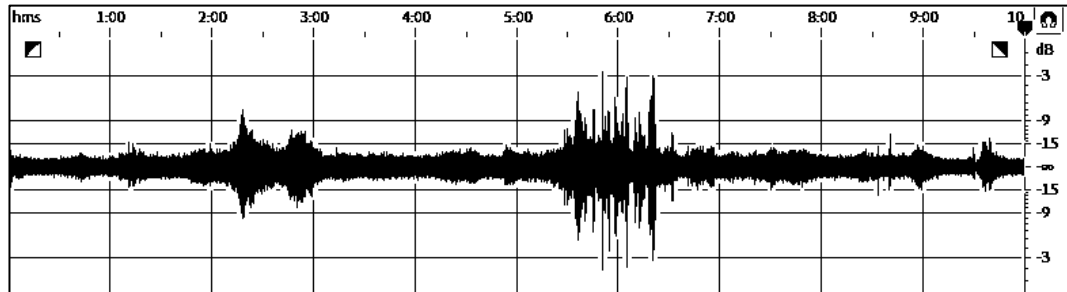
Tabel pengamatan jenis sumber bunyi pada saat pengukuran

Sumber Bunyi		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Jenis
Airborne noise	Bising lalu lintas											<i>steady</i>
	Klakson kendaraan											<i>impulsive</i>
	Suara manusia											<i>impulsive</i>
	Peralatan elektronik											<i>steady</i>
	Bising lainnya											<i>impulsive</i>
Structureborne noise												<i>impulsive</i>
		<i>noticeable</i>					<i>loud</i>					
							<i>sharp</i>					<i>diffuse</i>

Catatan:

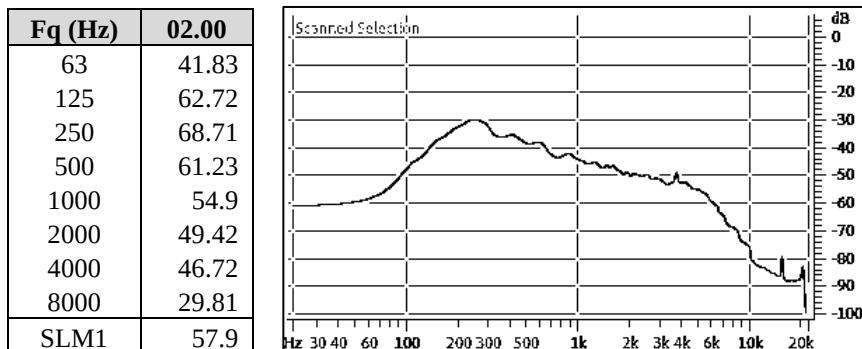
1. Kebisingan lalu lintas bersifat *steady*/terus-menerus.
2. Bunyi peralatan elektronik yaitu AC terdengar samar, bersifat *steady*.
3. Terdapat bunyi orang menyapu dengan sapu ijuk di jalan
4. Suara manusia, klakson, dan *structureborne* terdengar samar

Kode Pengukuran	L5 – Weekday
Waktu	02.00



Gambar sinyal akustik terhadap waktu selama pengukuran pukul 02.00

Tabel dan grafik nilai L_{eq} (dB) pada tiap frekuensi



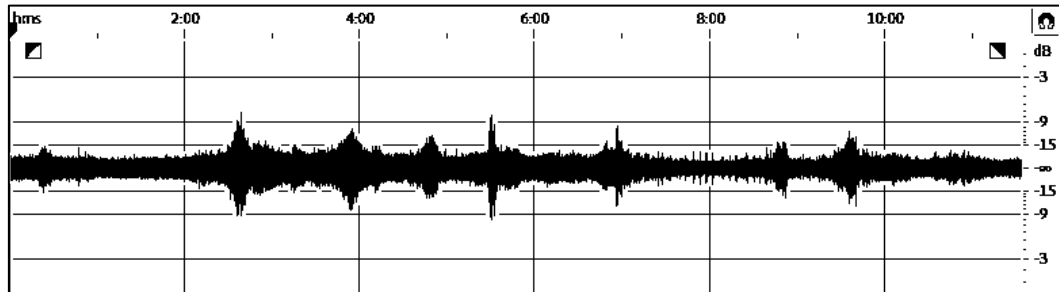
Tabel pengamatan jenis sumber bunyi pada saat pengukuran

Sumber Bunyi		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Jenis
Airborne noise	Bising lalu lintas											steady
	Klakson kendaraan											impulsive
	Suara manusia											-
	Peralatan elektronik											steady
	Bising lainnya											-
Structureborne noise												impulsive
		noticeable					loud					
							sharp					diffuse

Catatan:

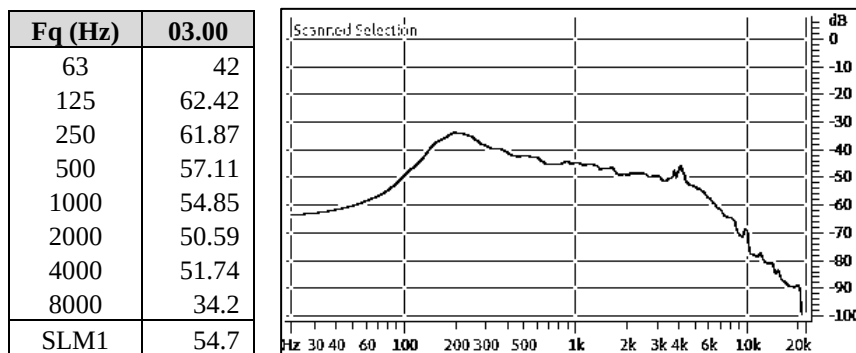
1. Kebisingan lalu lintas bersifat *steady*/terus-menerus. Terdapat kebisingan kendaraan berfrekuensi rendah selama 1 menit.
2. Bunyi peralatan elektronik yaitu AC terdengar samar, bersifat *steady*.
3. Bunyi klakson, dan *structureborne* yaitu benda terjatuh terdengar samar.
4. Suara manusia dan bising lainnya tidak dapat diidentifikasi

Kode Pengukuran	L6 – Weekday
Waktu	03.00



Gambar sinyal akustik terhadap waktu selama pengukuran pukul 03.00

Tabel dan grafik nilai L_{eq} (dB) pada tiap frekuensi



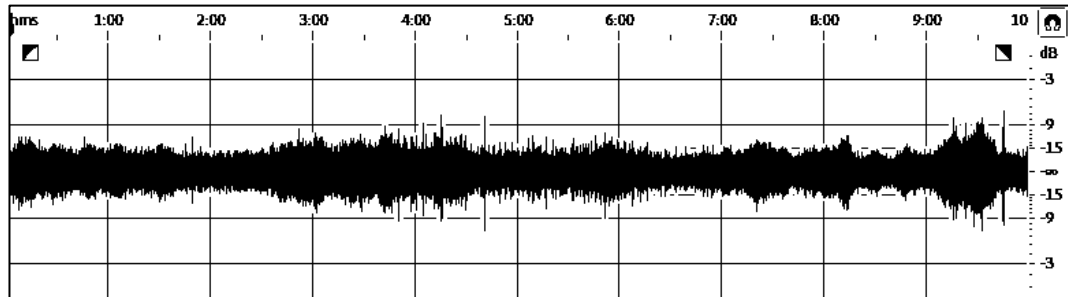
Tabel pengamatan jenis sumber bunyi pada saat pengukuran

Sumber Bunyi		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Jenis
Airborne noise	Bising lalu lintas											<i>steady</i>
	Klakson kendaraan											-
	Suara manusia											-
	Peralatan elektronik											<i>steady</i>
	Bising lainnya											-
Structureborne noise												<i>impulsive</i>
		noticeable				loud	sharp				diffuse	

Catatan:

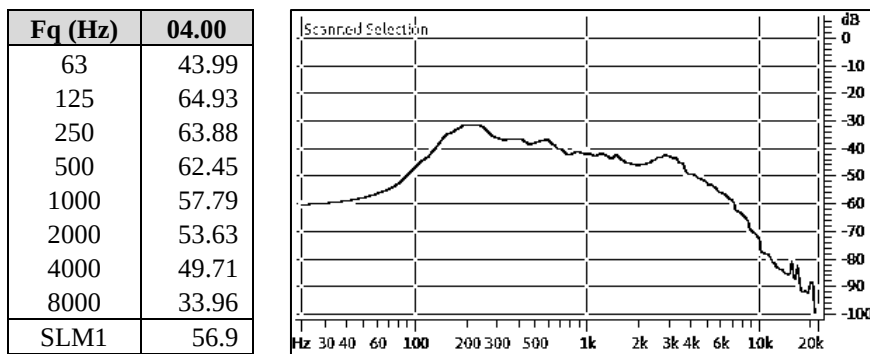
1. Kebisingan lalu lintas bersifat *steady*/terus-menerus.
2. Bunyi dari peralatan elektronik (AC) dan *structureborne* terdengar samar
3. Bunyi klakson, suara manusia dan bising lainnya tidak dapat diidentifikasi

Kode Pengukuran	L7 – Weekday
Waktu	04.00



Gambar sinyal akustik terhadap waktu selama pengukuran pukul 04.00

Tabel dan grafik nilai L_{eq} (dB) pada tiap frekuensi



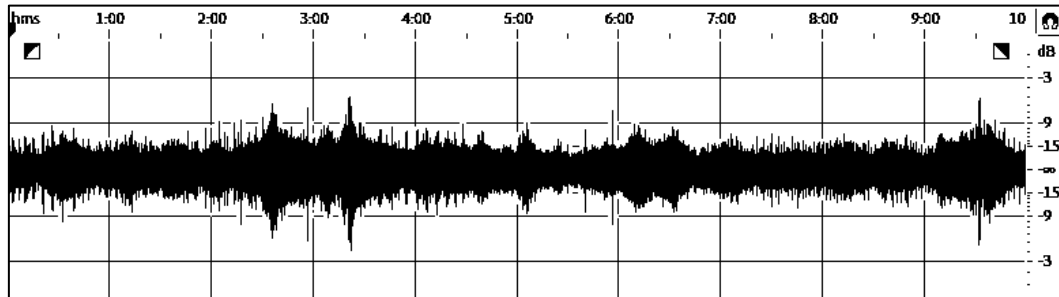
Tabel pengamatan jenis sumber bunyi pada saat pengukuran

Sumber Bunyi		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Jenis
Airborne noise	Bising lalu lintas											<i>steady</i>
	Klakson kendaraan											-
	Suara manusia											<i>impulsive</i>
	Peralatan elektronik											<i>steady</i>
	Bising lainnya											-
Structureborne noise												-
		<i>noticeable</i>			<i>loud</i>		<i>sharp</i>		<i>diffuse</i>			

Catatan:

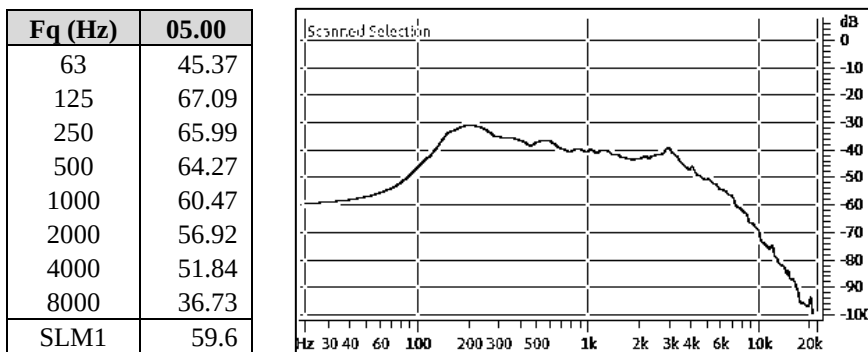
1. Kebisingan lalu lintas bersifat *steady*/terus-menerus.
2. Bunyi dari peralatan elektronik (AC) dan suara manusia terdengar samar.
Untuk bunyi AC semakin tidak terdengar karena kendaraan mulai kembali padat
3. Bunyi klakson, *structureborne* dan bising lainnya tidak dapat diidentifikasi

Kode Pengukuran	L8 – Weekday
Waktu	05.00



Gambar sinyal akustik terhadap waktu selama pengukuran pukul 05.00

Tabel dan grafik nilai L_{eq} (dB) pada tiap frekuensi



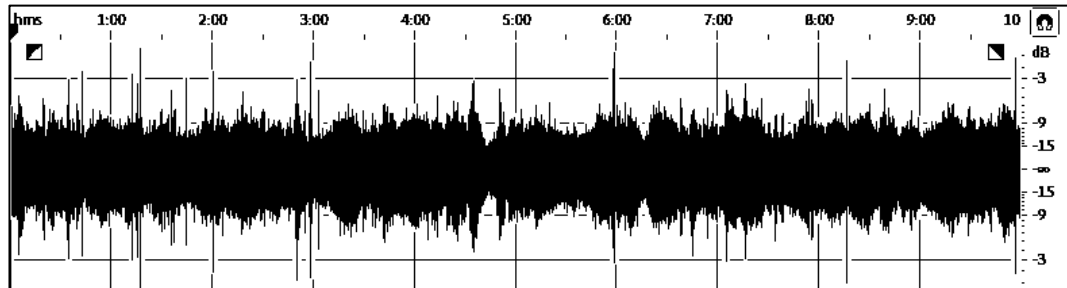
Tabel pengamatan jenis sumber bunyi pada saat pengukuran

Sumber Bunyi		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Jenis
Airborne noise	Bising lalu lintas											steady
	Klakson kendaraan											
	Suara manusia											impulsive
	Peralatan elektronik											-
	Bising lainnya											-
Structureborne noise												impulsive
		noticeable			loud		sharp		diffuse			

Catatan:

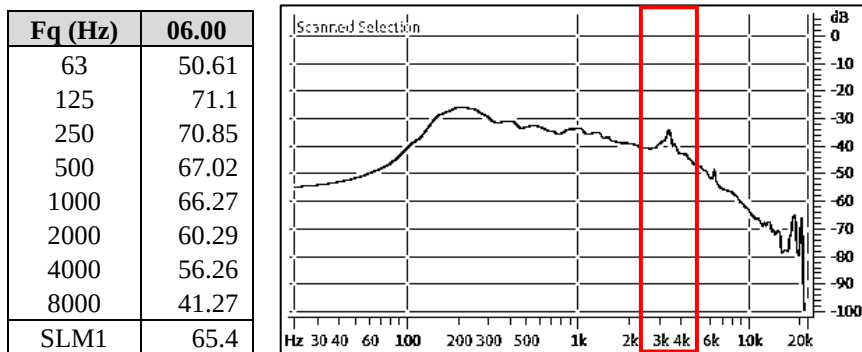
1. Kebisingan lalu lintas bersifat *steady*/terus-menerus.
2. Suara percakapan manusia terdengar samar
3. Bising *structureborne* yaitu orang berjalan terdengar beberapa kali
4. Bunyi dari klakson, peralatan elektronik dan bising lainnya tidak dapat diidentifikasi

Kode Pengukuran	L9 – Weekday
Waktu	06.00



Gambar sinyal akustik terhadap waktu selama pengukuran pukul 06.00

Tabel dan grafik nilai L_{eq} (dB) pada tiap frekuensi



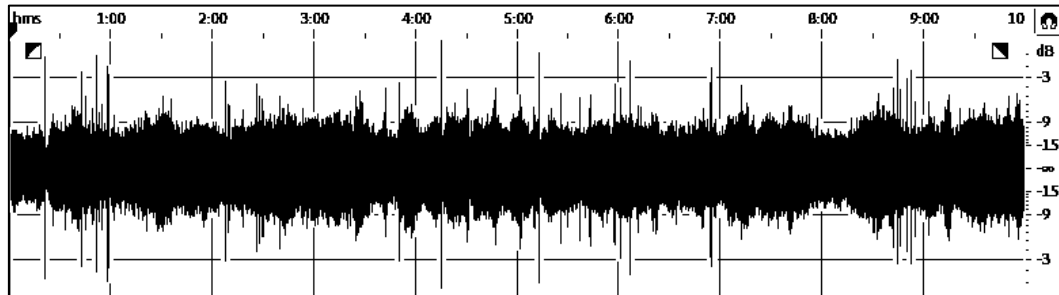
Tabel pengamatan jenis sumber bunyi pada saat pengukuran

Sumber Bunyi		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Jenis
Airborne noise	Bising lalu lintas											steady
	Klakson kendaraan											impulsive
	Suara manusia											impulsive
	Peralatan elektronik											-
	Bising lainnya											impulsive
Structureborne noise												-
		noticeable		loud			sharp		diffuse			

Catatan:

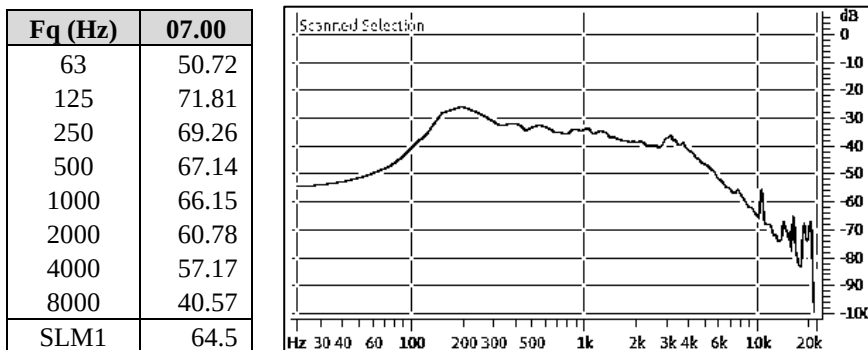
1. Kebisingan lalu lintas bersifat *steady*/terus-menerus.
2. Bunyi dari klakson kendaraan dan bising lain yaitu peluit yang bersifat impulsif, terdengar sangat jelas pada frekuensi 3000-4000 Hz.
3. Terdengar satu kali suara manusia yaitu wanita batuk, bersifat impulsif.
4. Bunyi dari peralatan elektronik dan *structureborne* tidak dapat diidentifikasi.

Kode Pengukuran	L10 – Weekday
Waktu	07.00



Gambar sinyal akustik terhadap waktu selama pengukuran pukul 07.00

Tabel dan grafik nilai L_{eq} (dB) pada tiap frekuensi



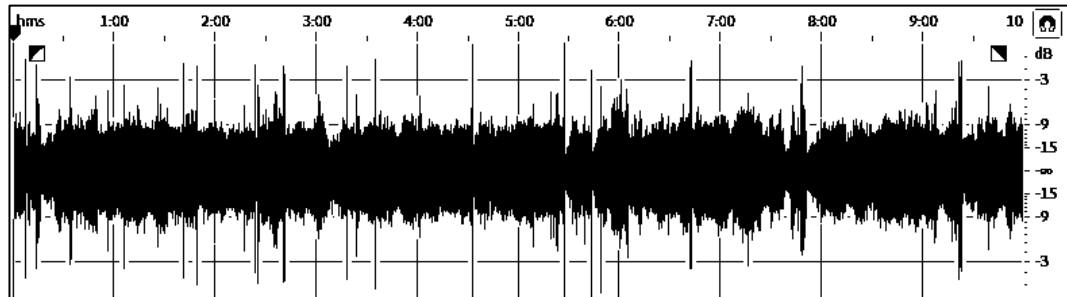
Tabel pengamatan jenis sumber bunyi pada saat pengukuran

Sumber Bunyi		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Jenis
Airborne noise	Bising lalu lintas											steady
	Klakson kendaraan											
	Suara manusia											impulsive
	Peralatan elektronik											impulsive
	Bising lainnya											-
Structureborne noise												impulsive
		noticeable					loud					
							sharp					
							diffuse					

Catatan:

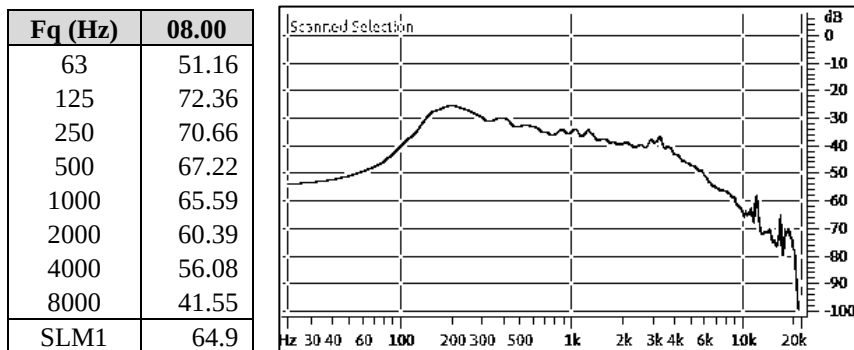
1. Kebisingan lalu lintas bersifat *steady*/terus-menerus.
2. Bunyi dari klakson kendaraan bersifat impulsif
3. Bunyi dari peluit semakin samar dan sedikit dibandingkan dengan pukul 06.00
4. Terdengar bunyi pria yang sedikit berteriak, namun terdengar samar-samar
5. Bunyi dari peralatan elektronik dan *structureborne* tidak dapat diidentifikasi

Kode Pengukuran	L11 – Weekday
Waktu	08.00



Gambar sinyal akustik terhadap waktu selama pengukuran pukul 08.00

Tabel dan grafik nilai L_{eq} (dB) pada tiap frekuensi



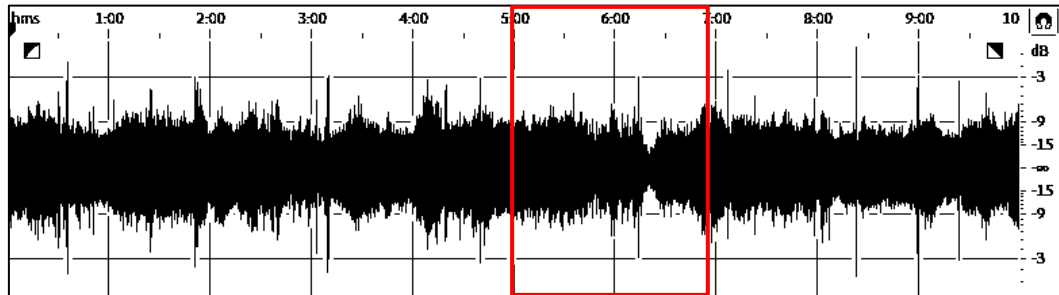
Tabel pengamatan jenis sumber bunyi pada saat pengukuran

Sumber Bunyi		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Jenis
Airborne noise	Bising lalu lintas											steady
	Klakson kendaraan											impulsive
	Suara manusia											impulsive
	Peralatan elektronik											-
	Bising lainnya											impulsive
Structureborne noise												impulsive
		noticeable			loud		sharp		diffuse			

Catatan:

1. Kebisingan lalu lintas bersifat *steady*/terus-menerus.
2. Bunyi dari klakson kendaraan bersifat impulsif
3. Bunyi dari peluit semakin samar dan sedikit dibandingkan dengan pukul 06.00
4. Terdengar satu kali bunyi benda logam terjatuh
5. Terdengar suara orang mengobrol namun samar
6. Bunyi dari peralatan elektronik tidak dapat diidentifikasi

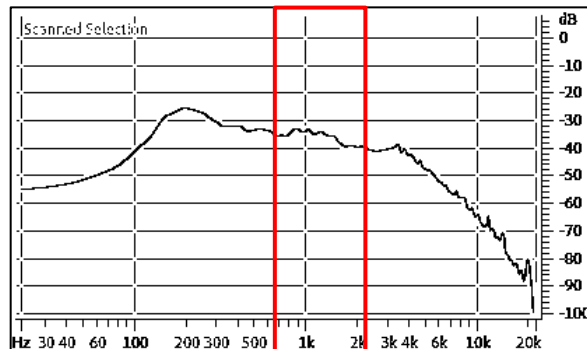
Kode Pengukuran	L12 – Weekday
Waktu	09.00



Gambar sinyal akustik terhadap waktu selama pengukuran pukul 09.00

Tabel dan grafik nilai L_{eq} (dB) pada tiap frekuensi

Fq (Hz)	09.00
63	50.65
125	71.72
250	70.08
500	66.56
1000	66.35
2000	59.85
4000	56.1
8000	40.08
SLM1	64.7



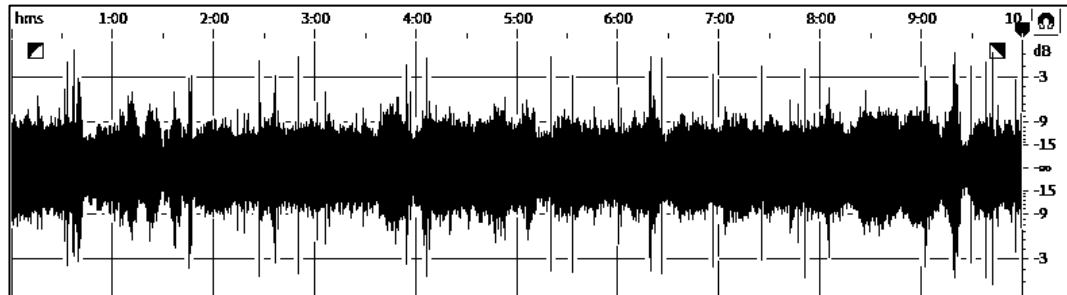
Tabel pengamatan jenis sumber bunyi pada saat pengukuran

Sumber Bunyi		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Jenis
Airborne noise	Bising lalu lintas											steady
	Klakson kendaraan											
	Suara manusia											-
	Peralatan elektronik											-
	Bising lainnya											impulsive
Structureborne noise												impulsive
		noticeable			loud		sharp		diffuse			

Catatan:

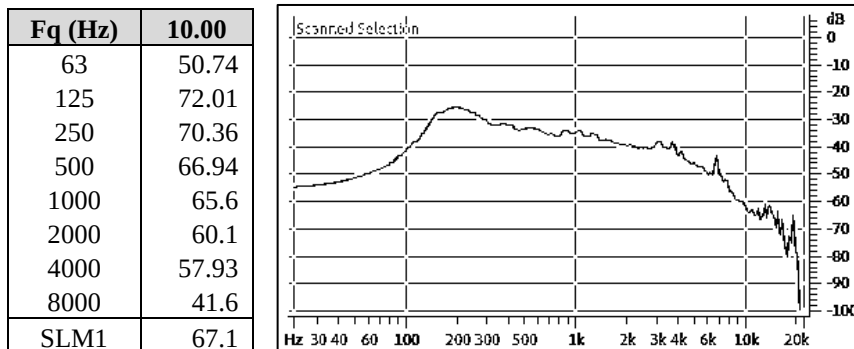
1. Kebisingan lalu lintas bersifat *steady*/terus-menerus.
2. Bunyi sirine *ambulance* terdengar selama 2 menit, pada frekuensi 800-2000 Hz
3. Bunyi dari klakson kendaraan dan peluit bersifat impulsif
4. Terdengar bunyi benda terjatuh
5. Bunyi dari suara manusia dan peralatan elektronik tidak dapat diidentifikasi

Kode Pengukuran	L13 – Weekday
Waktu	10.00



Gambar sinyal akustik terhadap waktu selama pengukuran pukul 10.00

Tabel dan grafik nilai L_{eq} (dB) pada tiap frekuensi



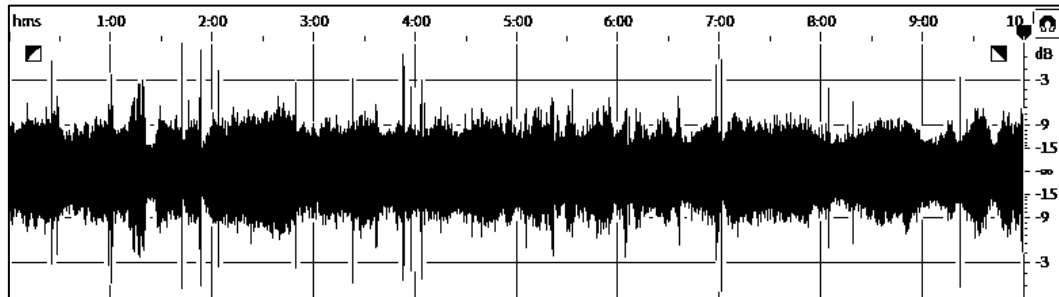
Tabel pengamatan jenis sumber bunyi pada saat pengukuran

Sumber Bunyi		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Jenis
Airborne noise	Bising lalu lintas											<i>steady</i>
	Klakson kendaraan											<i>impulsive</i>
	Suara manusia											-
	Peralatan elektronik											-
	Bising lainnya											<i>impulsive</i>
Structureborne noise												<i>impulsive</i>
		<i>noticeable</i>				<i>loud</i>	<i>sharp</i>		<i>diffuse</i>			

Catatan:

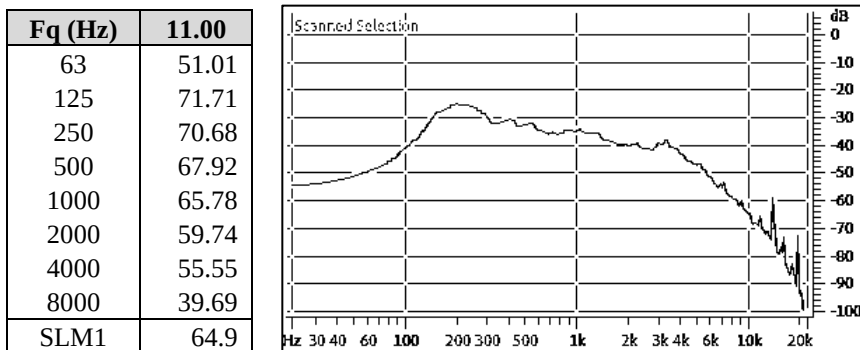
1. Kebisingan lalu lintas bersifat *steady*/terus-menerus.
2. Bunyi dari klakson kendaraan dan bising dari peluit cukup keras dan bersifat impulsif
4. Terdengar bunyi orang menggunakan palu
5. Bunyi dari suara manusia dan peralatan elektronik tidak dapat diidentifikasi

Kode Pengukuran	L14 – Weekday
Waktu	11.00



Gambar sinyal akustik terhadap waktu selama pengukuran pukul 11.00

Tabel dan grafik nilai L_{eq} (dB) pada tiap frekuensi



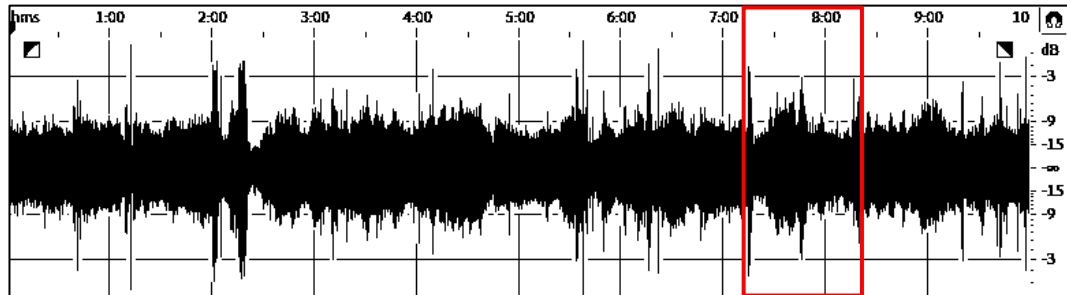
Tabel pengamatan jenis sumber bunyi pada saat pengukuran

Sumber Bunyi		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Jenis
Airborne noise	Bising lalu lintas											<i>steady</i>
	Klakson kendaraan											<i>impulsive</i>
	Suara manusia											<i>impulsive</i>
	Peralatan elektronik											<i>impulsive</i>
	Bising lainnya											<i>impulsive</i>
Structureborne noise												<i>impulsive</i>
		<i>noticeable</i>					<i>sharp</i>					<i>diffuse</i>

Catatan:

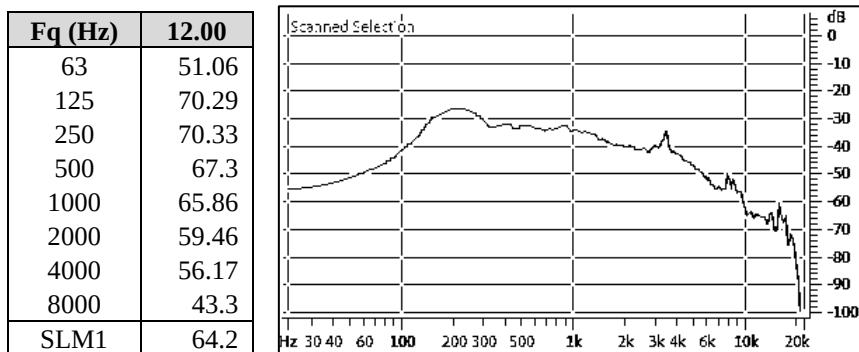
1. Kebisingan lalu lintas bersifat *steady*/terus-menerus.
2. Bunyi dari klakson kendaraan dan bising dari peluit cukup keras dan bersifat impulsif
3. Suara percakapan manusia terdengar samar
4. Bunyi dari peralatan elektronik dan *structureborne* tidak dapat diidentifikasi

Kode Pengukuran	L15 – Weekday
Waktu	12.00



Gambar sinyal akustik terhadap waktu selama pengukuran pukul 12.00

Tabel dan grafik nilai L_{eq} (dB) pada tiap frekuensi



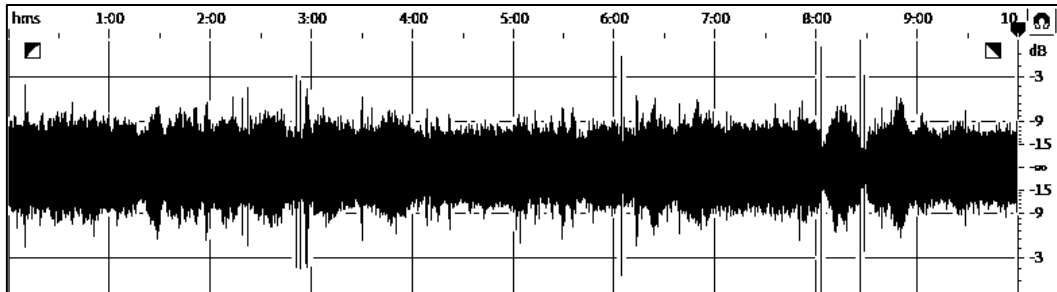
Tabel pengamatan jenis sumber bunyi pada saat pengukuran

Sumber Bunyi		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Jenis
Airborne noise	Bising lalu lintas											<i>steady</i>
	Klakson kendaraan											<i>impulsive</i>
	Suara manusia											<i>impulsive</i>
	Peralatan elektronik											-
	Bising lainnya											<i>impulsive</i>
Structureborne noise												-
		<i>noticeable</i>			<i>loud</i>		<i>sharp</i>		<i>diffuse</i>			

Catatan:

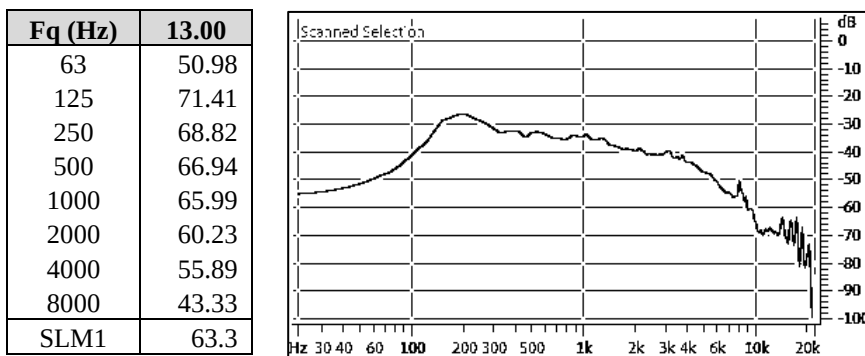
1. Kebisingan lalu lintas bersifat *steady*/terus-menerus.
2. Bunyi sirine *ambulance* terdengar selama kurang lebih 1.5 menit, pada frekuensi 800-2000 Hz
3. Bunyi dari klakson kendaraan dan peluit bersifat impulsif
4. Bunyi dari suara manusia terdengar samar
5. Bising *structureborne* dan peralatan elektronik tidak dapat diidentifikasi

Kode Pengukuran	L16 – Weekday
Waktu	13.00



Gambar sinyal akustik terhadap waktu selama pengukuran pukul 13.00

Tabel dan grafik nilai L_{eq} (dB) pada tiap frekuensi



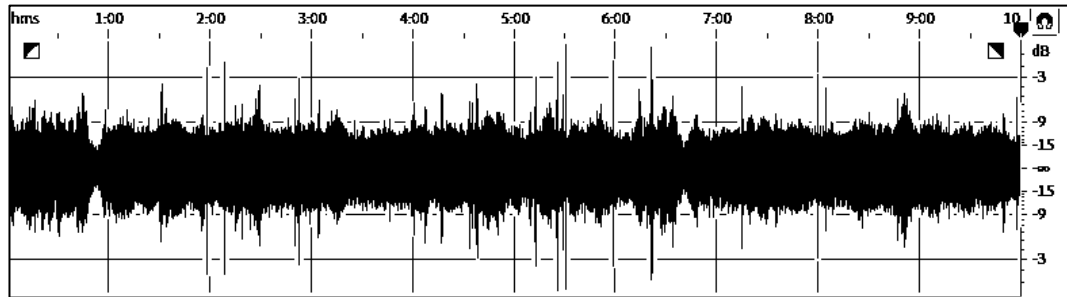
Tabel pengamatan jenis sumber bunyi pada saat pengukuran

Sumber Bunyi		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Jenis
Airborne noise	Bising lalu lintas											steady
	Klakson kendaraan											
	Suara manusia											-
	Peralatan elektronik											-
	Bising lainnya											-
Structureborne noise												impulsive
		noticeable			loud		sharp		diffuse			

Catatan:

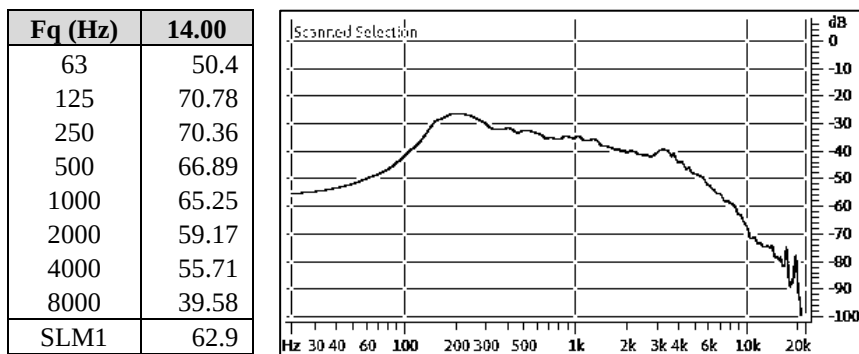
1. Kebisingan lalu lintas bersifat *steady*/terus-menerus.
2. Bunyi dari klakson kendaraan bersifat impulsif
3. Bunyi *structureborne* terdengar jelas yaitu bunyi pukulan palu
4. Bunyi dari peralatan elektronik, suara manusia dan bising lainnya tidak dapat diidentifikasi

Kode Pengukuran	L17 – Weekday
Waktu	14.00



Gambar sinyal akustik terhadap waktu selama pengukuran pukul 14.00

Tabel dan grafik nilai L_{eq} (dB) pada tiap frekuensi



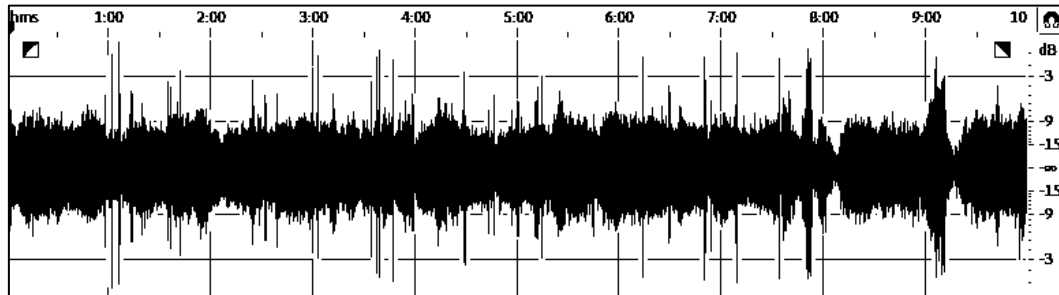
Tabel pengamatan jenis sumber bunyi pada saat pengukuran

Sumber Bunyi		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Jenis
Airborne noise	Bising lalu lintas											steady
	Klakson kendaraan											
	Suara manusia											impulsive
	Peralatan elektronik											impulsive
	Bising lainnya											-
Structureborne noise												-
		noticeable			loud		sharp		diffuse			

Catatan:

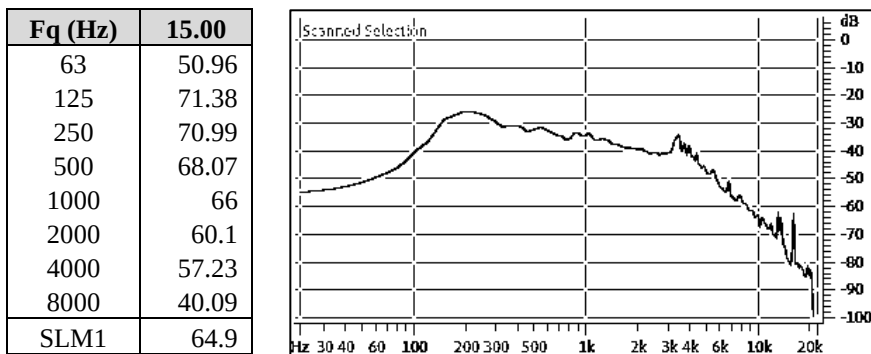
1. Kebisingan lalu lintas bersifat *steady*/terus-menerus.
2. Bunyi dari klakson kendaraan dan bising dari peluit cukup keras dan bersifat impulsif
3. Suara manusia terdengar yaitu orang berteriak
4. Bunyi dari peralatan elektronik dan *structureborne* tidak dapat diidentifikasi

Kode Pengukuran	L18 – Weekday
Waktu	15.00



Gambar sinyal akustik terhadap waktu selama pengukuran pukul 15.00

Tabel dan grafik nilai L_{eq} (dB) pada tiap frekuensi



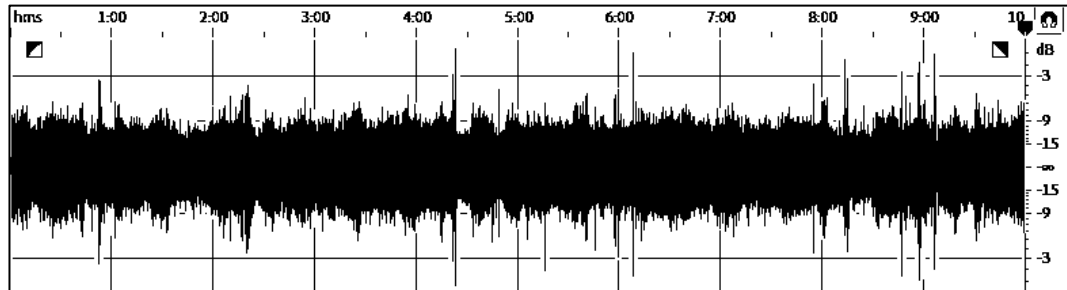
Tabel pengamatan jenis sumber bunyi pada saat pengukuran

Sumber Bunyi		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Jenis
Airborne noise	Bising lalu lintas											steady
	Klakson kendaraan											
	Suara manusia											-
	Peralatan elektronik											-
	Bising lainnya											impulsive
Structureborne noise												impulsive
		noticeable			loud		sharp		diffuse			

Catatan:

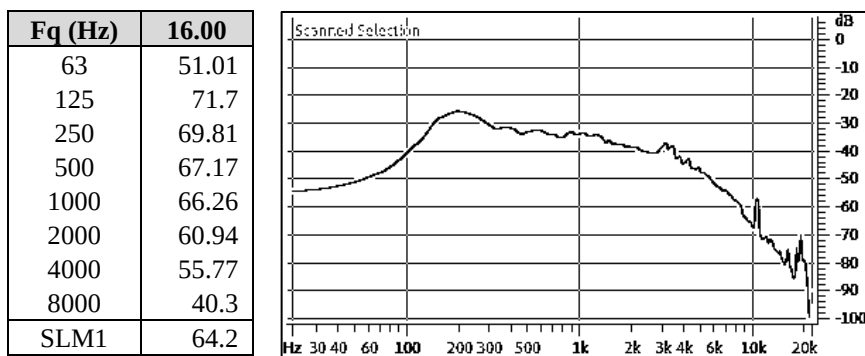
1. Kebisingan lalu lintas bersifat *steady*/terus-menerus.
2. Bunyi dari klakson kendaraan dan bising dari peluit cukup keras dan bersifat impulsif
3. Bising *structureborne* terdengar samar yaitu benda terjatuh
4. Bunyi dari peralatan elektronik dan suara manusia tidak dapat diidentifikasi

Kode Pengukuran	L19 – Weekday
Waktu	16.00



Gambar sinyal akustik terhadap waktu selama pengukuran pukul 16.00

Tabel dan grafik nilai L_{eq} (dB) pada tiap frekuensi



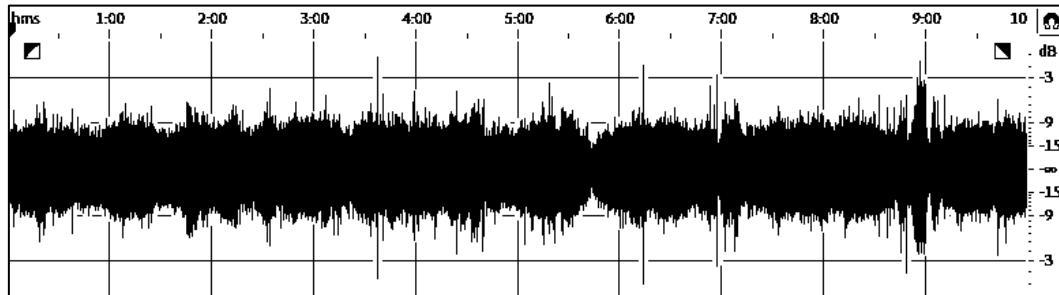
Tabel pengamatan jenis sumber bunyi pada saat pengukuran

Sumber Bunyi		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Jenis
Airborne noise	Bising lalu lintas											steady
	Klakson kendaraan											
	Suara manusia											impulsive
	Peralatan elektronik											impulsive
	Bising lainnya											-
Structureborne noise												impulsive
		noticeable					loud					
							sharp					
							diffuse					

Catatan:

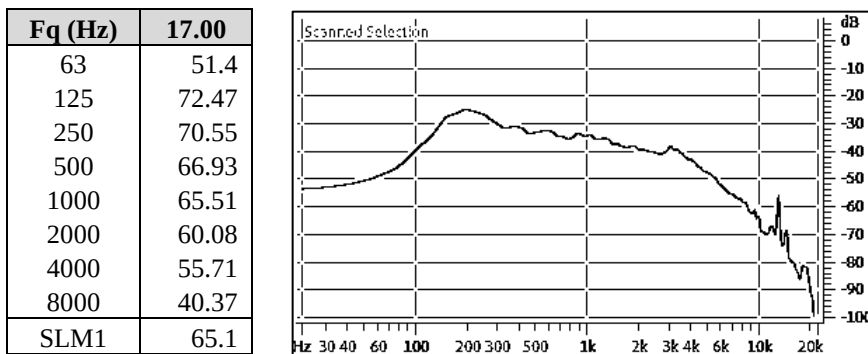
1. Kebisingan lalu lintas bersifat *steady*/terus-menerus.
2. Bunyi dari klakson kendaraan dan bising dari peluit cukup keras dan bersifat impulsif
3. Suara anak kecil terdengar cukup keras, namun hanya terjadi 4 kali
4. Bunyi dari peralatan elektronik dan *structureborne* tidak dapat diidentifikasi

Kode Pengukuran	L20 – Weekday
Waktu	17.00



Gambar sinyal akustik terhadap waktu selama pengukuran pukul 17.00

Tabel dan grafik nilai L_{eq} (dB) pada tiap frekuensi



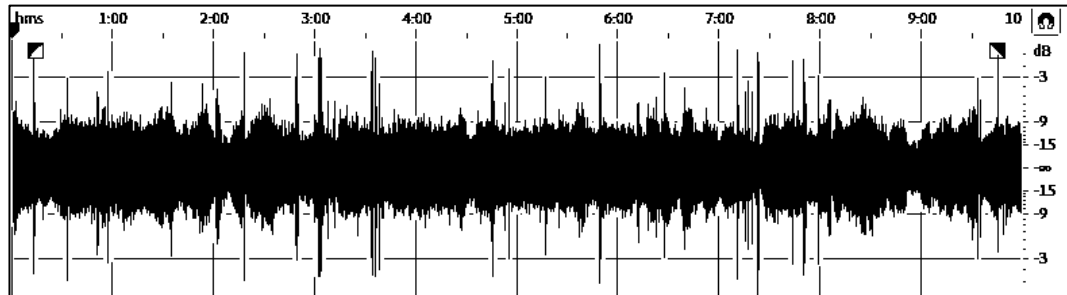
Tabel pengamatan jenis sumber bunyi pada saat pengukuran

Sumber Bunyi		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Jenis
Airborne noise	Bising lalu lintas											<i>steady</i>
	Klakson kendaraan											<i>impulsive</i>
	Suara manusia											<i>impulsive</i>
	Peralatan elektronik											<i>steady</i>
	Bising lainnya											<i>impulsive</i>
Structureborne noise												<i>impulsive</i>
		noticeable				loud	sharp		diffuse			

Catatan:

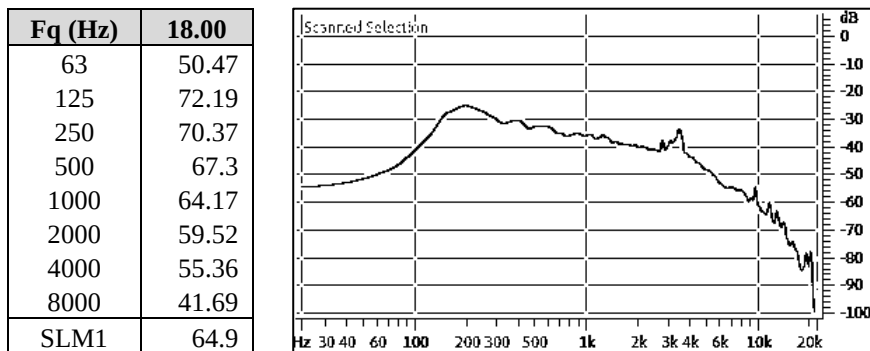
1. Kebisingan lalu lintas bersifat *steady*/terus-menerus.
2. Bunyi dari klakson kendaraan dan bising dari peluit cukup keras dan bersifat impulsif
3. Suara percakapan manusia terdengar samar. Begitu juga dengan bunyi *structureborne* yang terdengar orang memukul palu
4. Bunyi dari peralatan elektronik tidak dapat diidentifikasi

Kode Pengukuran	L21 – Weekday
Waktu	18.00



Gambar sinyal akustik terhadap waktu selama pengukuran pukul 18.00

Tabel dan grafik nilai L_{eq} (dB) pada tiap frekuensi



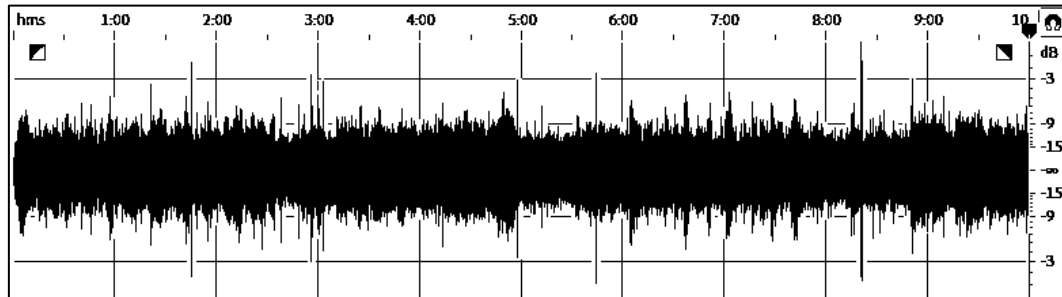
Tabel pengamatan jenis sumber bunyi pada saat pengukuran

Sumber Bunyi		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Jenis
Airborne noise	Bising lalu lintas											<i>steady</i>
	Klakson kendaraan											<i>impulsive</i>
	Suara manusia											-
	Peralatan elektronik											-
	Bising lainnya											<i>impulsive</i>
Structureborne noise												<i>impulsive</i>
		<i>noticeable</i>			<i>loud</i>		<i>sharp</i>		<i>diffuse</i>			

Catatan:

1. Kebisingan lalu lintas bersifat *steady*/terus-menerus.
2. Bunyi dari klakson kendaraan dan bising dari peluit cukup keras dan bersifat impulsif
3. Bunyi *structureborne* yang terdengar yaitu langkah kaki dan benda terjatuh
4. Bunyi dari peralatan elektronik dan suara manusia tidak dapat diidentifikasi

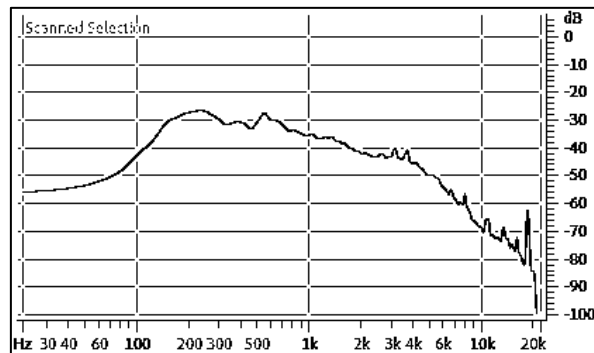
Kode Pengukuran	L22 – Weekday
Waktu	19.00



Gambar sinyal akustik terhadap waktu selama pengukuran pukul 19.00

Tabel dan grafik nilai L_{eq} (dB) pada tiap frekuensi

Fq (Hz)	19.00
63	48.29
125	69.74
250	70.99
500	72.58
1000	64.66
2000	57.51
4000	53.65
8000	37.14
SLM1	66.3



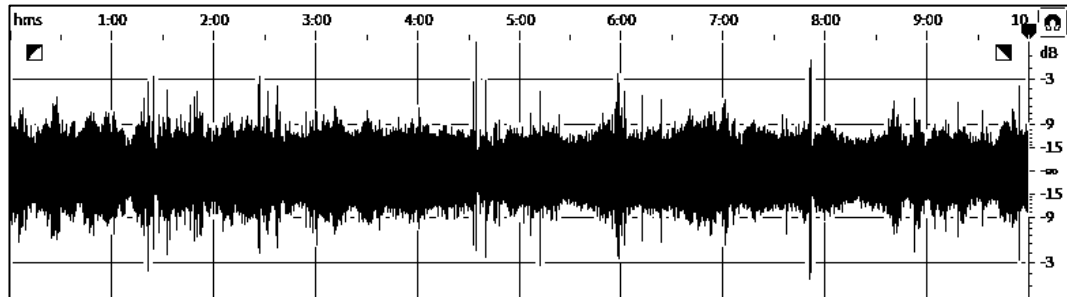
Tabel pengamatan jenis sumber bunyi pada saat pengukuran

Sumber Bunyi		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Jenis
Airborne noise	Bising lalu lintas											<i>steady</i>
	Klakson kendaraan											<i>impulsive</i>
	Suara manusia											<i>impulsive</i>
	Peralatan elektronik											-
	Bising lainnya											<i>impulsive</i>
Structureborne noise												-
		<i>noticeable</i>					<i>loud</i>					
							<i>sharp</i>					
							<i>diffuse</i>					

Catatan:

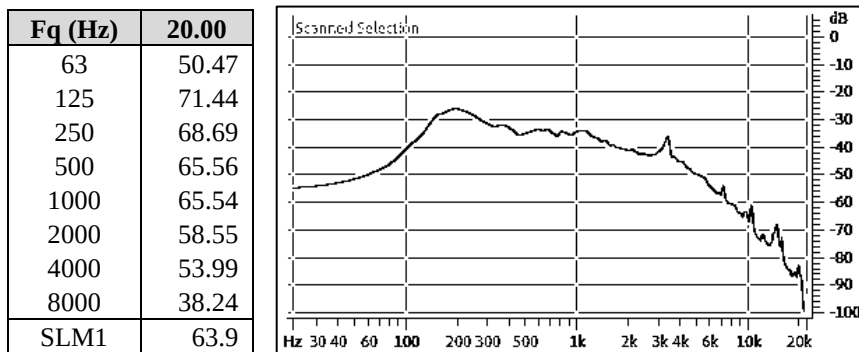
1. Kebisingan lalu lintas bersifat *steady*/terus-menerus.
2. Bunyi dari klakson kendaraan dan bising dari peluit cukup keras dan bersifat impulsif
3. Suara percakapan manusia terdengar samar.
4. Bunyi dari peralatan elektronik dan *structureborne* tidak dapat diidentifikasi

Kode Pengukuran	L23 – Weekday
Waktu	20.00



Gambar sinyal akustik terhadap waktu selama pengukuran pukul 20.00

Tabel dan grafik nilai L_{eq} (dB) pada tiap frekuensi



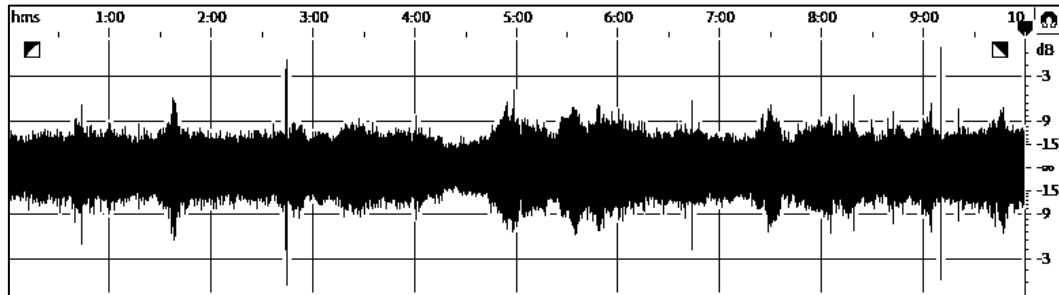
Tabel pengamatan jenis sumber bunyi pada saat pengukuran

Sumber Bunyi		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Jenis
Airborne noise	Bising lalu lintas											<i>steady</i>
	Klakson kendaraan											<i>impulsive</i>
	Suara manusia											<i>impulsive</i>
	Peralatan elektronik											-
	Bising lainnya											<i>impulsive</i>
Structureborne noise												<i>impulsive</i>
		<i>noticeable</i>					<i>loud</i>					
							<i>sharp</i>					
							<i>diffuse</i>					

Catatan:

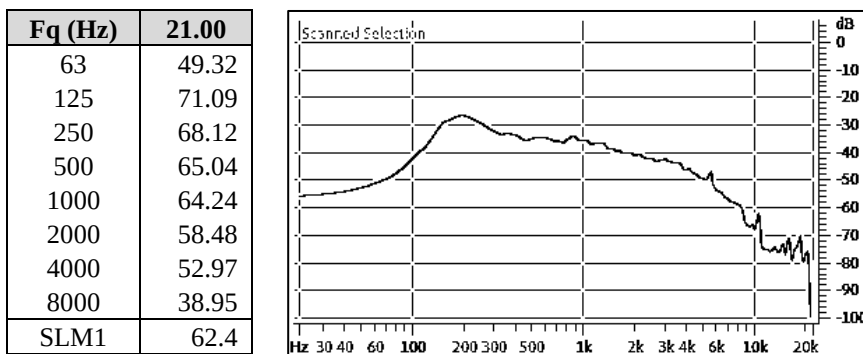
1. Kebisingan lalu lintas bersifat *steady*/terus-menerus.
2. Bunyi dari klakson kendaraan dan bising dari peluit cukup keras dan bersifat impulsif
3. Suara percakapan manusia dan *structureborne* yaitu benda terjatuh terdengar samar.
4. Bunyi dari peralatan elektronik tidak dapat diidentifikasi

Kode Pengukuran	L24 – Weekday
Waktu	21.00



Gambar sinyal akustik terhadap waktu selama pengukuran pukul 21.00

Tabel dan grafik nilai L_{eq} (dB) pada tiap frekuensi



Tabel pengamatan jenis sumber bunyi pada saat pengukuran

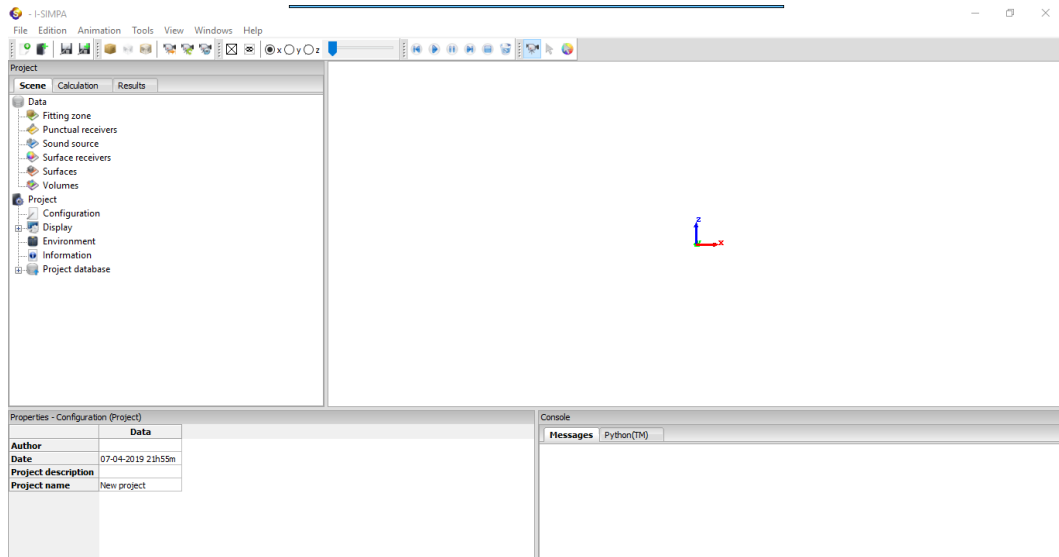
Sumber Bunyi		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Jenis
Airborne noise	Bising lalu lintas											steady
	Klakson kendaraan											
	Suara manusia											impulsive
	Peralatan elektronik											-
	Bising lainnya											-
Structureborne noise												-
		noticeable				loud		sharp		diffuse		

Catatan:

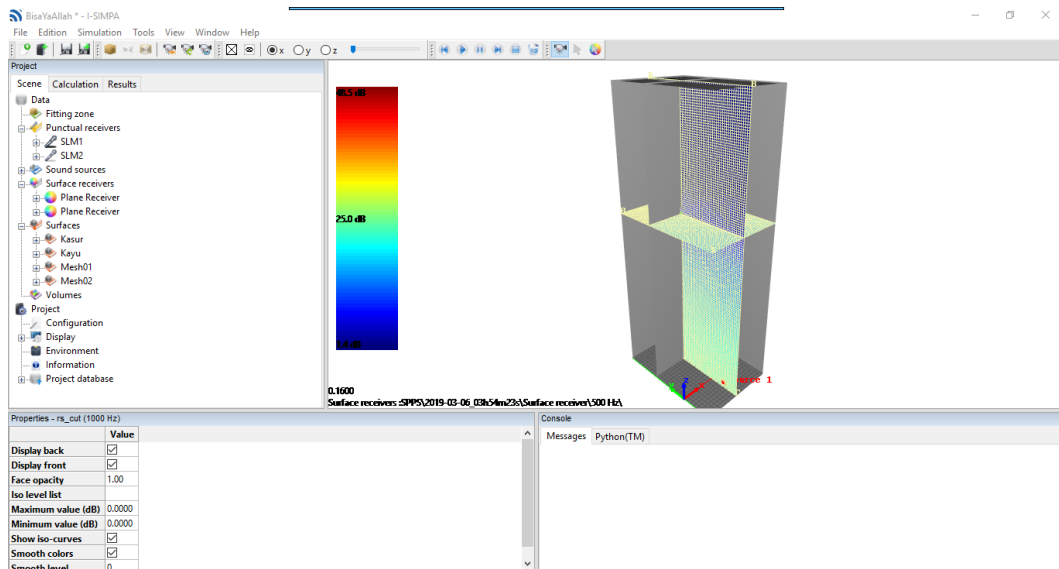
1. Kebisingan lalu lintas bersifat *steady*/terus-menerus.
2. Bunyi dari klakson kendaraan bersifat impulsif
3. Suara percakapan manusia terdengar samar
4. Bunyi dari peralatan elektronik, *structureborne* maupun bising lainnya tidak dapat diidentifikasi

Lampiran 4. Tampilan Program Simulasi I-Simpa

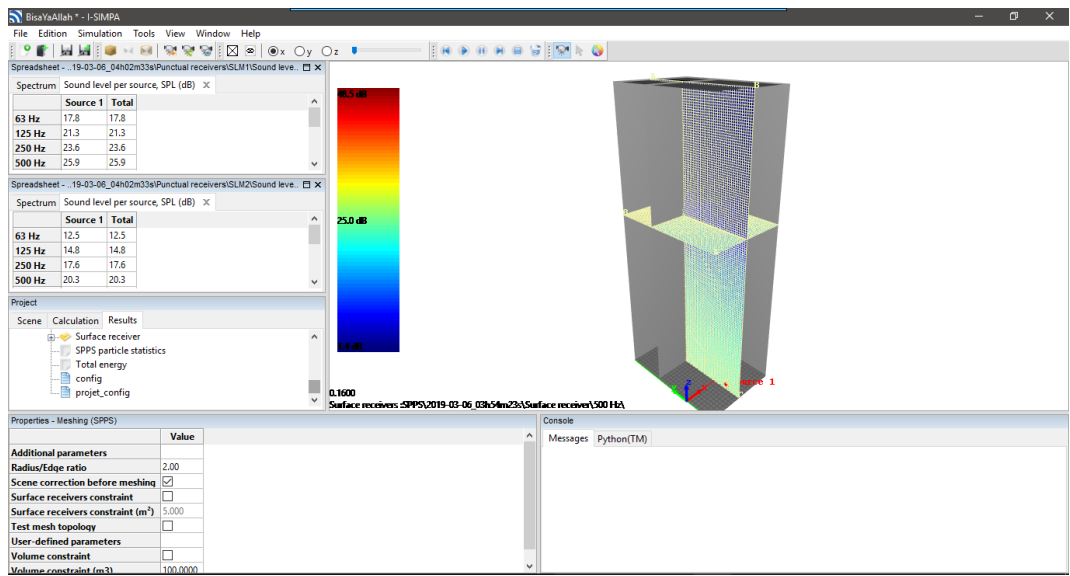
a. Halaman utama I-Simpa. Diawali dengan melakukan *import file* model 3D rancangan eksperimen yang akan diuji.



b. Melakukan *input* posisi sumber bunyi dan titik penerima, kemudian melakukan *input* material yang diterapkan pada fasad/dinding



b. Output hasil simulasi berupa nilai tingkat kebisingan dan kontur propagasi bunyi



Lampiran 5. Hasil Simulasi Rancangan Penelitian Material Beton Halus

a. Hasil Simulasi W30K075H (Base Case)

	Lantai																								
Frekuensi (Hz)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
125	71.1	70.8	70.6	70.3	70.3	69.8	69.6	69.6	69.5	69.5	69.3	69.6	69.8	69.5	68.9	69.2	69.5	69.3	69.0	69.5	69.3	68.8	69.5		
250	70.0	69.8	69.4	69.3	69.1	68.7	68.7	68.6	68.7	68.7	68.2	68.0	68.9	68.6	68.3	67.8	67.8	68.2	68.5	68.1	68.3	68.1	68.1		
500	66.6	66.1	66.3	65.7	65.2	65.8	65.2	64.6	65.3	64.7	64.6	64.5	65.3	64.8	64.7	64.6	64.5	64.7	64.9	64.8	64.7	64.4	64.6		
1000	65.2	64.9	64.7	64.4	64.5	64.4	64.0	63.7	63.5	63.7	63.3	63.2	64.2	63.1	63.1	62.9	63.3	62.9	62.7	62.5	62.2	63.0	62.8		
2000	61.8	61.1	61.6	61.2	61.0	60.5	60.8	60.5	59.4	59.1	59.7	59.4	60.0	59.1	59.3	59.2	58.9	59.1	59.2	59.0	59.0	59.0	58.3		
4000	57.3	56.7	56.2	56.6	55.0	55.8	55.4	53.9	55.0	54.5	53.7	53.8	54.7	53.5	53.4	53.0	53.3	52.9	53.5	52.5	53.2	52.6	53.5		

Hasil simulasi *base case* akan dibandingkan dengan hasil simulasi pada model rancangan penelitian yang lainnya dengan mencari nilai reduksi kebisingan yang terjadi, atau selisih nilai tingkat kebisingan keduanya.

b. Hasil Simulasi W30K150H

	Lantai																								
Frekuensi (Hz)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
125	71.70	71.30	71.50	70.80	70.70	70.70	70.10	70.50	70.20	70.10	70.00	69.80	70.20	69.60	69.70	69.60	68.90	69.80	69.40	69.30	69.30	69.90	69.30		
250	70.60	70.30	69.80	70.20	69.80	69.40	69.40	69.10	69.10	68.70	69.30	69.00	68.40	68.30	68.90	68.60	67.80	68.70	68.70	68.80	68.50	68.80	68.40		
500	66.60	66.80	66.70	66.40	66.20	66.70	65.60	65.60	65.90	65.70	65.40	65.10	65.30	65.20	65.00	65.00	65.20	64.10	65.00	64.30	65.00	64.90	64.80		
1000	65.60	65.30	65.30	65.00	65.00	64.50	65.20	64.30	63.90	64.10	63.20	64.20	64.30	63.30	63.30	64.00	63.30	63.20	63.60	63.80	64.00	63.50	62.50		
2000	62.20	62.70	62.60	62.30	61.40	61.60	61.40	60.30	61.00	60.20	60.20	60.30	60.20	59.70	60.50	60.90	59.10	59.90	59.10	59.70	59.70	59.90	58.80		
4000	58.30	57.30	57.10	57.40	57.00	57.10	57.10	55.90	54.70	54.30	54.50	55.90	54.80	52.20	53.90	54.80	53.40	53.70	53.30	53.70	53.80	54.50	53.30		

Frekuensi (Hz)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
125	-0.6	-0.5	-0.9	-0.5	-0.4	-0.9	-0.5	-0.9	-0.7	-0.6	-0.7	-0.2	-0.4	-0.1	-0.8	-0.4	0.6	-0.5	-0.4	0.2	0.0	-1.1	0.2
250	-0.6	-0.5	-0.4	-0.9	-0.7	-0.7	-0.7	-0.5	-0.4	0.0	-1.1	-1.0	0.5	0.3	-0.6	-0.8	0.0	-0.5	-0.2	-0.7	-0.2	-0.7	-0.3
500	0.0	-0.7	-0.4	-0.7	-1.0	-0.9	-0.4	-1.0	-0.6	-1.0	-0.8	-0.6	0.0	-0.4	-0.3	-0.4	-0.7	0.6	-0.1	0.5	-0.3	-0.5	-0.2
1000	-0.4	-0.4	-0.6	-0.6	-0.5	-0.1	-1.2	-0.6	-0.4	-0.4	0.1	-1.0	-0.1	-0.2	-0.2	-1.1	0.0	-0.3	-0.9	-1.3	-1.8	-0.5	0.3
2000	-0.4	-1.6	-1.0	-1.1	-0.4	-1.1	-0.6	0.2	-1.6	-1.1	-0.5	-0.9	-0.2	-0.6	-1.2	-1.7	-0.2	-0.8	0.0	-0.5	-0.7	-0.9	-0.5
4000	-1.0	-0.6	-0.9	-0.8	-2.0	-1.3	-1.7	-2.0	0.3	0.2	-0.8	-2.1	-0.1	1.3	-0.5	-1.8	-0.1	-0.8	0.2	-1.2	-0.6	-1.9	0.2

c. Hasil Simulasi W44K075H

Frekuensi (Hz)	Lantai																								
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
125	71.30	70.90	70.80	69.90	70.00	70.20	70.50	69.70	69.70	69.90	69.70	69.60	68.90	69.50	69.30	69.60	68.90	69.30	69.30	69.30	69.20	69.20	69.00		
250	69.80	70.40	70.00	69.80	69.10	68.90	69.10	68.90	68.20	68.80	68.80	69.10	68.90	68.50	68.40	68.50	68.30	67.70	68.40	68.10	68.10	68.10	68.00		
500	66.60	66.60	66.40	66.20	65.90	65.60	65.60	65.20	65.60	65.00	64.60	65.00	64.80	64.80	64.80	64.50	64.80	65.00	64.60	64.50	64.20	64.20	64.10		
1000	64.90	65.00	65.40	64.60	64.70	63.80	64.40	63.90	63.30	63.40	63.90	63.60	63.10	63.70	62.80	63.20	63.30	63.40	63.30	62.30	63.90	62.80	62.70		
2000	62.30	61.70	60.40	61.20	60.50	61.20	60.90	60.20	59.20	59.80	59.80	59.40	59.50	59.90	59.80	59.20	59.80	58.70	58.60	58.30	58.60	58.30	58.20		
4000	58.50	58.10	56.90	56.90	55.70	56.00	55.90	54.50	54.70	54.80	54.10	54.30	55.00	53.90	54.50	54.00	53.60	54.00	53.30	53.10	51.90	53.40	53.30		

Frekuensi (Hz)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
125	-0.2	-0.1	-0.2	0.4	0.3	-0.4	-0.9	-0.1	-0.2	-0.4	-0.4	0.0	0.9	0.0	-0.4	-0.4	0.6	0.0	-0.3	0.2	0.1	-0.4	0.5		
250	0.2	-0.6	-0.6	-0.5	0.0	-0.2	-0.4	-0.3	0.5	-0.1	-0.6	-1.1	0.0	0.1	-0.1	-0.7	-0.5	0.5	0.1	0.0	0.2	0.0	0.1		
500	0.0	-0.5	-0.1	-0.5	-0.7	0.2	-0.4	-0.6	-0.3	-0.3	0.0	-0.5	0.5	0.0	-0.1	0.1	-0.3	-0.3	0.3	0.3	0.5	0.2	0.5		
1000	0.3	-0.1	-0.7	-0.2	-0.2	0.6	-0.4	-0.2	0.2	0.3	-0.6	-0.4	1.1	-0.6	0.3	-0.3	0.0	-0.5	-0.6	0.2	-1.7	0.2	0.1		
2000	-0.5	-0.6	1.2	0.0	0.5	-0.7	-0.1	0.3	0.2	-0.7	-0.1	0.0	0.5	-0.8	-0.5	0.0	-0.9	0.4	0.5	0.9	0.4	0.7	0.1		
4000	-1.2	-1.4	-0.7	-0.3	-0.7	-0.2	-0.5	-0.6	0.3	-0.3	-0.4	-0.5	-0.3	-0.4	-1.1	-1.0	-0.3	-1.1	0.2	-0.6	1.3	-0.8	0.2		

d. Hasil Simulasi W44K150H

	Lantai																								
Frekuensi (Hz)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
125	70.90	70.90	71.30	70.90	71.30	70.80	70.90	70.30	70.30	70.50	69.90	70.10	69.60	69.60	70.30	70.00	69.60	69.80	69.80	69.60	69.70	69.20	69.30		
250	70.80	70.30	70.30	70.20	70.30	69.60	69.80	69.70	69.60	69.00	69.00	69.20	68.70	68.70	68.40	68.50	68.80	69.10	69.00	68.70	68.70	68.80	68.30		
500	66.60	67.10	67.00	66.50	66.70	66.30	66.10	65.80	65.80	65.70	65.70	65.10	65.10	65.30	65.30	65.20	65.40	65.20	65.20	65.70	65.00	64.70			
1000	65.90	65.50	65.90	65.80	65.60	65.50	64.90	64.60	64.10	64.30	64.10	63.90	63.60	63.60	63.30	64.30	63.80	63.40	63.70	63.20	63.60	63.00	63.50		
2000	63.30	62.50	62.10	62.20	62.30	62.00	61.70	61.10	61.00	60.30	61.00	59.90	58.70	59.10	59.80	59.70	59.50	59.70	59.30	59.90	60.00	59.30	60.40		
4000	57.80	58.00	57.20	57.50	56.90	56.60	56.30	55.70	55.50	55.00	55.40	54.90	54.90	54.70	54.20	54.90	54.00	54.00	54.40	53.90	53.20	54.40	54.40		

Frekuensi (Hz)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
125	0.2	-0.1	-0.7	-0.6	-1.0	-1.0	-1.3	-0.7	-0.8	-1.0	-0.6	-0.5	0.2	-0.1	-1.4	-0.8	-0.1	-0.5	-0.8	-0.1	-0.4	-0.4	0.2
250	-0.8	-0.5	-0.9	-0.9	-1.2	-0.9	-1.1	-1.1	-0.9	-0.3	-0.8	-1.2	0.2	-0.1	-0.1	-0.7	-1.0	-0.9	-0.5	-0.6	-0.4	-0.7	-0.2
500	0.0	-1.0	-0.7	-0.8	-1.5	-0.5	-0.9	-1.2	-0.5	-1.0	-1.1	-0.6	0.2	-0.5	-0.6	-0.6	-0.9	-0.5	-0.3	-0.4	-1.0	-0.6	-0.1
1000	-0.7	-0.6	-1.2	-1.4	-1.1	-1.1	-0.9	-0.9	-0.6	-0.6	-0.8	-0.7	0.6	-0.5	-0.2	-1.4	-0.5	-0.5	-1.0	-0.7	-1.4	0.0	-0.7
2000	-1.5	-1.4	-0.5	-1.0	-1.3	-1.5	-0.9	-0.6	-1.6	-1.2	-1.3	-0.5	1.3	0.0	-0.5	-0.5	-0.6	-0.6	-0.2	-0.7	-1.0	-0.3	-2.1
4000	-0.5	-1.3	-1.0	-0.9	-1.9	-0.8	-0.9	-1.8	-0.5	-0.5	-1.7	-1.1	-0.2	-1.2	-0.8	-1.9	-0.7	-1.1	-0.9	-1.4	0.0	-1.8	-0.9

e. Hasil Simulasi W66K075H

Frekuensi (Hz)	Lantai																								
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
125	70.90	70.20	70.60	70.70	70.40	70.00	70.00	69.80	70.10	69.80	69.90	69.10	69.60	69.30	69.40	68.90	69.60	69.20	68.70	69.60	68.90	69.10	69.40		
250	70.40	69.90	69.80	69.60	69.10	69.30	69.40	69.40	68.70	68.70	68.70	69.20	68.60	68.30	68.90	68.80	68.30	68.30	68.00	68.10	67.90	68.50	67.80		
500	66.30	66.40	66.20	65.40	65.60	65.00	65.20	65.30	65.20	65.20	65.00	65.40	65.30	65.30	64.40	64.90	64.80	65.30	64.90	65.00	64.50	64.30	65.00		
1000	65.30	64.80	65.10	64.70	65.10	64.40	64.50	63.90	64.00	62.90	63.90	63.50	63.00	63.30	63.00	63.60	63.60	63.10	62.80	63.30	63.50	63.30	62.10		
2000	61.90	62.20	61.70	61.50	61.20	60.90	60.90	60.00	60.50	60.80	58.80	59.40	59.30	60.30	59.90	60.20	59.30	59.20	59.40	59.30	58.80	59.20	58.70		
4000	57.50	57.00	56.40	57.10	55.60	55.40	54.90	55.70	53.30	54.20	52.80	52.90	54.20	52.50	54.00	52.90	54.20	52.80	53.90	54.00	53.00	53.20	52.00		

Frekuensi (Hz)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
125	0.20	0.60	0.00	-0.40	-0.10	-0.20	-0.40	-0.20	-0.60	-0.30	-0.60	0.50	0.20	0.20	-0.50	0.30	-0.10	0.10	0.30	-0.10	0.40	-0.30	0.10		
250	-0.40	-0.10	-0.40	-0.30	0.00	-0.60	-0.70	-0.80	0.00	0.00	-0.50	-1.20	0.30	0.30	-0.60	-1.00	-0.50	-0.10	0.50	0.00	0.40	-0.40	0.30		
500	0.30	-0.30	0.10	0.30	-0.40	0.80	0.00	-0.70	0.10	-0.50	-0.40	-0.90	0.00	-0.50	0.30	-0.30	-0.30	-0.60	0.00	-0.20	0.20	0.10	-0.40		
1000	-0.10	0.10	-0.40	-0.30	-0.60	0.00	-0.50	-0.20	-0.50	0.80	-0.60	-0.30	1.20	-0.20	0.10	-0.70	-0.30	-0.20	-0.10	-0.80	-1.30	-0.30	0.70		
2000	-0.10	-1.10	-0.10	-0.30	-0.20	-0.40	-0.10	0.50	-1.10	-1.70	0.90	0.00	0.70	-1.20	-0.60	-1.00	-0.40	-0.10	-0.30	-0.10	0.20	-0.20	-0.40		
4000	-0.20	-0.30	-0.20	-0.50	-0.60	0.40	0.50	-1.80	1.70	0.30	0.90	0.90	0.50	1.00	-0.60	0.10	-0.90	0.10	-0.40	-1.50	0.20	-0.60	1.50		

f. Hasil Simulasi W66K150H

Frekuensi (Hz)	Lantai																								
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
125	71.30	71.70	71.50	71.10	71.10	71.10	70.70	70.70	70.50	70.20	69.60	70.10	69.50	70.00	70.00	69.90	70.10	69.90	69.60	69.40	69.70	69.80	69.70		
250	70.70	70.30	70.30	70.20	69.90	69.90	69.60	69.50	69.20	69.40	69.10	68.80	69.50	68.50	69.10	69.00	69.10	68.50	68.70	69.10	68.70	68.80	68.80		
500	67.10	67.10	66.70	67.20	66.50	66.60	66.20	66.00	65.50	65.50	65.90	65.50	65.40	65.40	65.30	65.10	65.80	65.20	65.30	65.20	65.20	64.90	65.00		
1000	66.00	65.90	66.30	66.20	65.70	65.50	65.60	65.20	64.40	64.30	64.40	64.00	63.90	64.50	63.60	64.30	63.90	63.10	63.30	64.00	64.00	63.60	64.00		
2000	72.10	71.70	71.70	71.60	71.50	71.20	71.00	70.90	69.20	69.90	70.40	70.10	70.30	70.30	69.50	69.40	69.00	70.00	70.20	69.60	69.10	69.70	69.80		
4000	58.50	57.80	57.20	57.20	58.00	56.90	55.90	55.40	55.40	55.70	55.10	54.40	54.10	54.70	53.80	55.20	54.70	54.60	53.80	54.10	54.20	54.70	54.30		

Frekuensi (Hz)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
125	-0.20	-0.90	-0.90	-0.80	-0.80	-1.30	-1.10	-1.10	-1.00	-0.70	-0.30	-0.50	0.30	-0.50	-1.10	-0.70	-0.60	-0.60	-0.60	0.10	-0.40	-1.00	-0.20		
250	-0.70	-0.50	-0.90	-0.90	-0.80	-1.20	-0.90	-0.90	-0.50	-0.70	-0.90	-0.80	-0.60	0.10	-0.80	-1.20	-1.30	-0.30	-0.20	-1.00	-0.40	-0.70	-0.70		
500	-0.50	-1.00	-0.40	-1.50	-1.30	-0.80	-1.00	-1.40	-0.20	-0.80	-1.30	-1.00	-0.10	-0.60	-0.60	-0.50	-1.30	-0.50	-0.40	-0.40	-0.50	-0.50	-0.40		
1000	-0.80	-1.00	-1.60	-1.80	-1.20	-1.10	-1.60	-1.50	-0.90	-0.60	-1.10	-0.80	0.30	-1.40	-0.50	-1.40	-0.60	-0.20	-0.60	-1.50	-1.80	-0.60	-1.20		
2000	-10.30	-10.60	-10.10	-10.40	-10.50	-10.70	-10.20	-10.40	-9.80	-10.80	-10.70	-10.70	-10.30	-11.20	-10.20	-10.20	-10.10	-10.90	-11.10	-10.40	-10.10	-10.70	-11.50		
4000	-1.20	-1.10	-1.00	-0.60	-3.00	-1.10	-0.50	-1.50	-0.40	-1.20	-1.40	-0.60	0.60	-1.20	-0.40	-2.20	-1.40	-1.70	-0.30	-1.60	-1.00	-2.10	-0.80		

Lampiran 6. Hasil Simulasi Rancangan Penelitian Material Beton Kasar

a. Hasil Simulasi W30K075K

Lantai																						
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
70.40	70.30	70.30	70.20	69.70	69.40	69.30	69.50	69.90	68.90	69.10	68.70	70.40	68.90	68.50	68.40	68.50	68.20	68.70	68.50	68.80	69.10	68.40
69.20	68.90	68.10	68.60	68.30	68.10	68.20	68.30	67.80	67.50	67.50	67.40	69.10	67.40	67.50	67.50	67.40	67.00	66.50	66.40	66.50	66.30	66.90
65.50	65.30	65.00	65.20	64.50	64.10	64.20	64.10	64.30	63.70	63.90	63.90	65.00	63.60	63.20	63.70	63.40	63.90	63.50	63.30	63.30	63.20	63.40
65.30	64.80	64.80	64.40	64.40	63.40	64.10	63.40	63.50	62.90	62.90	62.40	63.80	62.20	63.20	62.40	62.70	62.20	62.20	62.10	62.70	62.30	62.10
61.20	61.00	60.70	60.70	60.00	59.80	59.20	59.50	59.30	59.30	58.90	58.40	60.80	58.60	58.70	58.60	58.80	58.60	58.10	57.70	57.70	58.40	58.30
56.40	56.50	56.00	55.10	54.40	54.30	53.40	53.20	53.00	52.40	52.80	52.80	54.40	52.10	52.20	51.90	52.20	51.60	51.50	51.10	52.50	51.20	51.10

3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
0.70	0.50	0.30	0.10	0.60	0.40	0.30	0.10	-0.40	0.60	0.20	0.90	-0.60	0.60	0.40	0.80	1.00	1.10	0.30	1.00	0.50	-0.30	1.10
0.80	0.90	1.30	0.70	0.80	0.60	0.50	0.30	0.90	1.20	0.70	0.60	-0.20	1.20	0.80	0.30	0.40	1.20	2.00	1.70	1.80	1.80	1.20
1.10	0.80	1.30	0.50	0.70	1.70	1.00	0.50	1.00	1.00	0.70	0.60	0.30	1.20	1.50	0.90	1.10	0.80	1.40	1.50	1.40	1.20	1.20
-0.10	0.10	-0.10	0.00	0.10	1.00	-0.10	0.30	0.00	0.80	0.40	0.80	0.40	0.90	-0.10	0.50	0.60	0.70	0.50	0.40	-0.50	0.70	0.70
0.60	0.10	0.90	0.50	1.00	0.70	1.60	1.00	0.10	-0.20	0.80	1.00	-0.80	0.50	0.60	0.60	0.10	0.50	1.00	1.50	1.30	0.60	0.00
0.90	0.20	0.20	1.50	0.60	1.50	2.00	0.70	2.00	2.10	0.90	1.00	0.30	1.40	1.20	1.10	1.10	1.30	2.00	1.40	0.70	1.40	2.40

b. Hasil Simulasi W30K150K

Lantai																						
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
71.10	70.30	70.80	70.40	70.30	70.20	69.90	69.90	70.30	69.50	69.50	69.90	69.10	69.20	69.30	69.30	69.10	68.90	69.10	68.80	68.70	69.40	69.00
69.90	69.20	69.30	69.20	68.50	69.00	69.10	68.80	68.00	68.00	68.20	67.90	67.30	67.80	67.90	67.20	67.30	67.90	67.30	67.30	67.80	67.90	67.70
66.10	65.80	65.50	65.60	65.70	65.30	64.90	64.80	64.50	63.90	65.00	64.50	64.10	63.80	63.80	64.10	64.10	64.00	63.80	63.80	64.00	64.30	64.60
65.10	65.00	64.60	65.30	65.00	65.20	64.80	64.40	63.90	64.10	63.70	63.80	63.20	63.30	63.10	62.70	63.60	62.60	63.30	63.30	63.40	62.90	61.70
61.60	62.20	61.80	61.00	61.00	61.30	60.30	60.30	60.00	59.60	60.20	59.90	59.90	58.00	58.60	58.90	59.40	59.50	58.40	58.80	59.20	58.30	58.20
57.60	56.70	56.30	56.80	56.20	55.60	55.00	54.70	53.50	54.50	52.90	53.00	52.80	52.50	53.80	52.30	52.90	53.00	53.50	52.80	53.40	51.80	52.80

3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
0.00	0.50	-0.20	-0.10	0.00	-0.40	-0.30	-0.30	-0.80	0.00	-0.20	-0.30	0.70	0.30	-0.40	-0.10	0.40	0.40	-0.10	0.70	0.60	-0.60	0.50
0.10	0.60	0.10	0.10	0.60	-0.30	-0.40	-0.20	0.70	0.70	0.00	0.10	1.60	0.80	0.40	0.60	0.50	0.30	1.20	0.80	0.50	0.20	0.40
0.50	0.30	0.80	0.10	-0.50	0.50	0.30	-0.20	0.80	0.80	-0.40	0.00	1.20	1.00	0.90	0.50	0.40	0.70	1.10	1.00	0.70	0.10	0.00
0.10	-0.10	0.10	-0.90	-0.50	-0.80	-0.80	-0.70	-0.40	-0.40	-0.40	-0.60	1.00	-0.20	0.00	0.20	-0.30	0.30	-0.60	-0.80	-1.20	0.10	1.10
0.20	-1.10	-0.20	0.20	0.00	-0.80	0.50	0.20	-0.60	-0.50	-0.50	-0.50	0.10	1.10	0.70	0.30	-0.50	-0.40	0.70	0.40	-0.20	0.70	0.10
-0.30	0.00	-0.10	-0.20	-1.20	0.20	0.40	-0.80	1.50	0.00	0.80	0.80	1.90	1.00	-0.40	0.70	0.40	-0.10	0.00	-0.30	-0.20	0.80	0.70

c. Hasil Simulasi W44K075K

	Lantai																								
Frekuensi (Hz)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
125	70.70	70.60	70.50	70.20	69.70	69.80	69.40	69.20	68.80	69.20	68.60	68.80	68.60	68.70	69.10	68.80	68.50	68.30	68.60	68.50	68.50	68.80	68.80	68.90	
250	69.40	69.00	68.50	69.00	68.30	68.30	67.80	67.90	67.70	68.00	67.50	67.20	67.40	67.30	67.30	67.20	67.70	67.30	67.40	67.40	67.10	67.30	67.50		
500	65.60	65.90	65.70	65.80	65.20	64.70	64.80	64.60	64.00	63.70	63.90	64.10	64.50	63.60	63.40	63.90	63.60	63.50	63.70	63.70	63.80	63.80	63.30		
1000	65.10	64.80	64.70	63.70	64.90	63.50	63.70	64.00	62.90	62.80	62.30	64.10	63.50	62.40	62.50	62.60	62.10	62.30	62.70	63.00	62.10	62.50	62.70		
2000	61.50	61.70	61.40	60.40	60.00	60.40	60.30	59.90	59.40	59.80	58.60	59.40	58.90	58.40	59.20	59.50	58.70	58.30	59.10	58.20	58.20	59.30	58.00		
4000	56.30	56.30	56.30	55.60	55.10	55.10	54.60	52.40	53.60	52.90	52.60	52.60	52.60	52.50	52.50	52.70	52.60	52.70	51.50	52.70	50.50	51.10	52.00		

Frekuensi (Hz)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
125	0.40	0.20	0.10	0.10	0.60	0.00	0.20	0.40	0.70	0.30	0.70	0.80	1.20	0.80	-0.20	0.40	1.00	1.00	0.40	1.00	0.80	0.00	0.60
250	0.60	0.80	0.90	0.30	0.80	0.40	0.90	0.70	1.00	0.70	0.70	0.80	1.50	1.30	1.00	0.60	0.10	0.90	1.10	0.70	1.20	0.80	0.60
500	1.00	0.20	0.60	-0.10	0.00	1.10	0.40	0.00	1.30	1.00	0.70	0.40	0.80	1.20	1.30	0.70	0.90	1.20	1.20	1.10	0.90	0.60	1.30
1000	0.10	0.10	0.00	0.70	-0.40	0.90	0.30	-0.30	0.60	0.90	1.00	-0.90	0.70	0.70	0.60	0.30	1.20	0.60	0.00	-0.50	0.10	0.50	0.10
2000	0.30	-0.60	0.20	0.80	1.00	0.10	0.50	0.60	0.00	-0.70	1.10	0.00	1.10	0.70	0.10	-0.30	0.20	0.80	0.00	1.00	0.80	-0.30	0.30
4000	1.00	0.40	-0.10	1.00	-0.10	0.70	0.80	1.50	1.40	1.60	1.10	1.20	2.10	1.00	0.90	0.30	0.70	0.20	2.00	-0.20	2.70	1.50	1.50

d. Hasil Simulasi W44K150K

	Lantai																								
Frekuensi (Hz)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
125	71.40	71.00	70.40	70.80	70.30	70.50	70.50	69.60	69.40	69.80	69.40	69.80	69.30	69.50	69.00	68.80	69.20	69.00	69.60	68.90	69.10	69.70	68.80		
250	70.10	70.00	69.50	69.10	68.90	69.00	68.90	69.00	68.90	68.60	68.60	68.20	68.30	68.30	68.00	67.80	67.90	68.40	67.80	67.40	67.90	67.90	67.70		
500	66.20	66.50	66.00	66.40	65.60	65.60	65.60	65.30	65.50	64.90	65.60	64.60	64.60	64.30	64.30	64.70	63.70	65.10	65.00	63.40	64.00	64.30	64.30		
1000	66.30	65.40	65.30	65.00	65.20	65.30	64.40	64.70	64.10	64.20	64.30	63.80	63.50	63.80	62.30	63.20	63.00	63.90	63.60	63.70	62.90	63.50	63.00		
2000	62.20	61.90	61.80	62.30	61.30	61.80	61.80	60.20	59.80	60.10	59.70	59.80	59.70	59.00	60.00	59.10	59.70	59.50	58.80	59.80	58.70	59.00	58.90		
4000	57.70	56.70	56.40	56.60	55.90	55.90	55.60	55.80	53.20	54.00	54.30	53.70	53.90	53.20	52.60	53.20	53.00	52.90	52.90	52.50	53.80	53.00	51.80		

Frekuensi (Hz)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
125	-0.30	-0.20	0.20	-0.50	0.00	-0.70	-0.90	0.00	0.10	-0.30	-0.10	-0.20	0.50	0.00	-0.10	0.40	0.30	0.30	-0.60	0.60	0.20	-0.90	0.70
250	-0.10	-0.20	-0.10	0.20	0.20	-0.30	-0.20	-0.40	-0.20	0.10	-0.40	-0.20	0.60	0.30	0.30	0.00	-0.10	-0.20	0.70	0.70	0.40	0.20	0.40
500	0.40	-0.40	0.30	-0.70	-0.40	0.20	-0.40	-0.70	-0.20	-0.20	-1.00	-0.10	0.70	0.50	0.40	-0.10	0.80	-0.40	-0.10	1.40	0.70	0.10	0.30
1000	-1.10	-0.50	-0.60	-0.60	-0.70	-0.90	-0.40	-1.00	-0.60	-0.50	-1.00	-0.60	0.70	-0.70	0.80	-0.30	0.30	-1.00	-0.90	-1.20	-0.70	-0.50	-0.20
2000	-0.40	-0.80	-0.20	-1.10	-0.30	-1.30	-1.00	0.30	-0.40	-1.00	0.00	-0.40	0.30	0.10	-0.70	0.10	-0.80	-0.40	0.30	-0.60	0.30	0.00	-0.60
4000	-0.40	0.00	-0.20	0.00	-0.90	-0.10	-0.20	-1.90	1.80	0.50	-0.60	0.10	0.80	0.30	0.80	-0.20	0.30	0.00	0.60	0.00	-0.60	-0.40	1.70

e. Hasil Simulasi W66K075K

Frekuensi (Hz)	Lantai																								
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
125	70.20	70.40	70.10	70.40	70.10	70.10	69.70	68.90	69.40	69.50	69.50	69.40	68.80	68.60	68.40	68.50	68.80	69.10	68.90	68.90	68.40	68.80	68.80		
250	69.70	69.20	68.50	68.80	68.60	68.00	68.40	68.00	68.20	67.70	68.00	68.10	67.70	67.30	67.40	66.70	67.00	67.30	67.10	66.70	67.10	67.40	67.20		
500	66.00	65.40	65.00	64.80	64.60	64.90	64.80	64.50	64.50	64.50	64.00	64.20	64.10	63.70	64.20	63.70	64.20	63.70	63.50	63.80	64.10	63.60	63.60		
1000	65.40	64.80	64.60	65.10	64.00	63.60	63.30	63.60	63.10	63.70	62.20	63.20	63.00	62.90	63.10	61.90	63.30	62.50	62.00	62.40	62.40	62.70	63.10		
2000	62.20	61.70	60.80	60.70	60.20	60.50	60.10	60.20	59.70	59.10	59.80	58.70	59.00	58.60	58.50	58.40	58.70	58.40	59.00	57.90	57.50	58.40	59.50		
4000	56.50	56.60	56.40	56.10	54.50	54.70	53.80	54.30	53.10	54.20	52.70	53.10	53.60	51.60	53.30	52.70	52.10	52.70	52.40	52.10	52.40	51.80	51.80		

Frekuensi (Hz)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
125	0.90	0.40	0.50	-0.10	0.20	-0.30	-0.10	0.70	0.10	0.00	-0.20	0.20	1.00	0.90	0.50	0.70	0.70	0.20	0.10	0.60	0.90	0.00	0.70		
250	0.30	0.60	0.90	0.50	0.50	0.70	0.30	0.60	0.50	1.00	0.20	-0.10	1.20	1.30	0.90	1.10	0.80	0.90	1.40	1.40	1.20	0.70	0.90		
500	0.60	0.70	1.30	0.90	0.60	0.90	0.40	0.10	0.80	0.20	0.60	0.30	1.20	1.10	0.50	0.90	0.30	1.00	1.40	1.00	0.60	0.80	1.00		
1000	-0.20	0.10	0.10	-0.70	0.50	0.80	0.70	0.10	0.40	0.00	1.10	0.00	1.20	0.20	0.00	1.00	0.00	0.40	0.70	0.10	-0.20	0.30	-0.30		
2000	-0.40	-0.60	0.80	0.50	0.80	0.00	0.70	0.30	-0.30	0.00	-0.10	0.70	1.00	0.50	0.80	0.80	0.20	0.70	0.10	1.30	1.50	0.60	-1.20		
4000	0.80	0.10	-0.20	0.50	0.50	1.10	1.60	-0.40	1.90	0.30	1.00	0.70	1.10	1.90	0.10	0.30	1.20	0.20	1.10	0.40	0.80	0.80	1.70		

f. Hasil Simulasi W66K150K

	Lantai																								
Frekuensi (Hz)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
125	71.50	71.10	71.40	70.70	70.70	70.80	70.10	69.90	69.80	69.60	69.80	69.80	70.00	69.20	69.70	69.70	69.60	69.20	69.50	69.70	69.80	69.40	69.30		
250	70.20	70.10	70.10	69.70	69.50	69.80	69.30	69.00	68.90	68.90	68.60	68.50	68.50	68.20	68.50	68.40	68.30	68.50	68.40	67.60	68.70	68.40	68.00		
500	66.70	66.80	66.00	66.30	65.80	66.10	65.30	64.70	65.60	65.10	65.20	65.10	64.90	64.80	64.60	64.40	64.00	65.10	64.90	64.80	64.80	64.50	64.10		
1000	66.50	66.10	65.40	65.70	64.90	65.50	65.50	64.10	64.40	64.00	64.40	64.50	63.70	63.60	63.10	63.80	63.10	63.10	63.50	63.20	63.10	62.60	63.70		
2000	71.80	71.80	71.50	71.90	70.90	71.40	70.50	70.20	70.40	70.10	70.40	70.00	69.60	69.80	69.00	69.70	69.60	69.00	70.20	69.30	69.60	69.10	69.60		
4000	57.40	57.40	57.10	56.60	55.70	56.20	55.70	55.00	54.70	55.20	54.40	53.90	53.60	53.30	53.20	53.10	52.90	53.00	53.60	51.30	52.80	53.60	52.60		

Frekuensi (Hz)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
125	-0.40	-0.30	-0.80	-0.40	-0.40	-1.00	-0.50	-0.30	-0.30	-0.10	-0.50	-0.20	-0.20	0.30	-0.80	-0.50	-0.10	0.10	-0.50	-0.20	-0.50	-0.60	0.20
250	-0.20	-0.30	-0.70	-0.40	-0.40	-1.10	-0.60	-0.40	-0.20	-0.20	-0.40	-0.50	0.40	0.40	-0.20	-0.60	-0.50	-0.30	0.10	0.50	-0.40	-0.30	0.10
500	-0.10	-0.70	0.30	-0.60	-0.60	-0.30	-0.10	-0.10	-0.30	-0.40	-0.60	-0.60	0.40	0.00	0.10	0.20	0.50	-0.40	0.00	0.00	-0.10	-0.10	0.50
1000	-1.30	-1.20	-0.70	-1.30	-0.40	-1.10	-1.50	-0.40	-0.90	-0.30	-1.10	-1.30	0.50	-0.50	0.00	-0.90	0.20	-0.20	-0.80	-0.70	-0.90	0.40	-0.90
2000	-10.00	-10.70	-9.90	-10.70	-9.90	-10.90	-9.70	-9.70	-11.00	-11.00	-10.70	-10.60	-9.60	-10.70	-9.70	-10.50	-10.70	-9.90	-11.10	-10.10	-10.60	-10.10	-11.30
4000	-0.10	-0.70	-0.90	0.00	-0.70	-0.40	-0.30	-1.10	0.30	-0.70	-0.70	-0.10	1.10	0.20	0.20	-0.10	0.40	-0.10	-0.10	1.20	0.40	-1.00	0.90

Lampiran 7. Hasil Simulasi Rancangan Penelitian Kombinasi Material Beton Halus dan Kayu Lapis

a. Hasil Simulasi W30K075Lh

	Lantai																						
Frekuensi (Hz)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
125	67.70	67.70	67.20	67.50	66.70	66.60	66.50	66.50	65.80	65.40	65.60	66.50	65.90	65.70	65.70	65.90	64.90	65.50	65.10	64.50	65.70	66.20	65.20
250	67.00	66.90	66.60	67.20	65.90	65.90	65.70	64.60	65.90	65.10	64.50	65.30	65.10	64.80	65.70	64.60	64.20	64.70	63.80	65.00	64.40	64.90	64.30
500	64.30	65.00	64.20	64.20	63.80	63.80	63.60	63.40	63.30	63.50	62.90	62.00	62.50	63.00	62.80	62.90	63.00	62.90	62.70	63.40	62.40	62.90	62.50
1000	65.40	64.80	65.10	63.80	64.00	64.00	63.70	63.40	63.70	62.50	61.80	63.20	62.70	62.80	62.50	62.40	62.20	62.00	62.60	62.50	62.40	62.00	62.50
2000	63.60	63.00	62.60	62.60	62.20	61.20	61.30	61.20	61.40	60.70	61.50	61.00	59.60	60.60	60.70	59.60	60.40	60.20	61.40	60.30	60.30	60.50	61.20
4000	57.00	56.30	56.20	56.20	55.40	55.50	54.80	53.60	53.50	53.90	53.00	52.70	53.30	52.30	53.10	54.00	52.80	52.60	52.80	52.20	52.60	52.50	53.60

Frekuensi (Hz)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
125	3.40	3.10	3.40	2.80	3.60	3.20	3.10	3.10	3.70	4.10	3.70	3.10	3.90	3.80	3.20	3.30	4.60	3.80	3.90	5.00	3.60	2.60	4.30
250	3.00	2.90	2.80	2.10	3.20	2.80	3.00	4.00	2.80	3.60	3.70	2.70	3.80	3.80	2.60	3.20	3.60	3.50	4.70	3.10	3.90	3.20	3.80
500	2.30	1.10	2.10	1.50	1.40	2.00	1.60	1.20	2.00	1.20	1.70	2.50	2.80	1.80	1.90	1.70	1.50	1.80	2.20	1.40	2.30	1.50	2.10
1000	-0.20	0.10	-0.40	0.60	0.50	0.40	0.30	0.30	-0.20	1.20	1.50	0.00	1.50	0.30	0.60	0.50	1.10	0.90	0.10	0.00	-0.20	1.00	0.30
2000	-1.80	-1.90	-1.00	-1.40	-1.20	-0.70	-0.50	-0.70	-2.00	-1.60	-1.80	-1.60	0.40	-1.50	-1.40	-0.40	-1.50	-1.10	-2.30	-1.10	-1.30	-1.50	-2.90
4000	0.30	0.40	0.00	0.40	-0.40	0.30	0.60	0.30	1.50	0.60	0.70	1.10	1.40	1.20	0.30	-1.00	0.50	0.30	0.70	0.30	0.60	0.10	-0.10

b. Hasil Simulasi W30K150Lh

	Lantai																						
Frekuensi (Hz)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
125	67.60	67.10	67.10	66.60	65.90	65.90	65.60	64.90	65.50	64.80	65.00	64.90	65.00	64.60	64.40	64.50	64.80	64.40	64.70	63.70	63.60	64.00	64.40
250	67.50	66.50	65.60	66.10	65.30	65.20	65.20	65.50	64.50	65.10	63.90	64.00	64.40	64.40	64.00	64.10	63.20	63.90	64.00	63.40	63.70	64.30	64.00
500	64.40	63.90	64.00	64.00	63.10	63.00	62.70	63.00	63.10	62.50	62.40	61.80	61.30	62.30	61.90	60.90	62.50	61.40	61.90	62.10	61.70	61.00	61.60
1000	64.40	64.10	64.10	64.20	63.70	63.30	62.50	62.40	62.10	62.20	61.90	61.10	61.70	61.10	61.30	60.70	61.90	61.20	60.90	60.70	61.70	61.10	61.60
2000	62.40	62.20	62.30	61.90	61.70	61.90	61.70	61.00	61.40	60.70	60.20	60.60	60.10	59.30	59.00	59.60	59.80	59.10	59.60	60.20	60.00	59.40	60.10
4000	57.80	57.50	57.10	56.30	57.30	56.60	55.80	55.10	54.80	55.30	54.60	52.60	53.80	53.00	54.00	53.90	52.40	52.90	54.80	53.10	53.30	52.10	52.10

Frekuensi (Hz)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
125	3.50	3.70	3.50	3.70	4.40	3.90	4.00	4.70	4.00	4.70	4.30	4.70	4.80	4.90	4.50	4.70	4.70	4.90	4.30	5.80	5.70	4.80	5.10
250	2.50	3.30	3.80	3.20	3.80	3.50	3.50	3.10	4.20	3.60	4.30	4.00	4.50	4.20	4.30	3.70	4.60	4.30	4.50	4.70	4.60	3.80	4.10
500	2.20	2.20	2.30	1.70	2.10	2.80	2.50	1.60	2.20	2.20	2.20	2.70	4.00	2.50	2.80	3.70	2.00	3.30	3.00	2.70	3.00	3.40	3.00
1000	0.80	0.80	0.60	0.20	0.80	1.10	1.50	1.30	1.40	1.50	1.40	2.10	2.50	2.00	1.80	2.20	1.40	1.70	1.80	1.80	0.50	1.90	1.20
2000	-0.60	-1.10	-0.70	-0.70	-0.70	-1.40	-0.90	-0.50	-2.00	-1.60	-0.50	-1.20	-0.10	-0.20	0.30	-0.40	-0.90	0.00	-0.50	-1.00	-1.00	-0.40	-1.80
4000	-0.50	-0.80	-0.90	0.30	-2.30	-0.80	-0.40	-1.20	0.20	-0.80	-0.90	1.20	0.90	0.50	-0.60	-0.90	0.90	0.00	-1.30	-0.60	-0.10	0.50	1.40

c. Hasil Simulasi W44K075Lh

Frekuensi (Hz)	Lantai																								
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
125	68.50	67.90	67.60	67.10	66.80	66.90	66.30	66.70	66.00	65.40	66.40	65.60	66.10	65.50	66.00	66.40	65.00	64.90	65.40	65.30	65.40	65.70	64.80		
250	67.00	67.30	66.60	66.50	66.10	66.40	65.90	65.40	65.20	64.90	65.30	65.00	65.00	64.50	65.20	65.10	65.20	64.50	64.60	65.30	64.40	65.30	64.70		
500	65.30	65.00	64.20	64.50	64.50	63.90	63.80	63.30	63.60	63.30	63.70	63.10	62.80	62.80	62.30	62.80	62.00	62.60	62.20	62.20	61.50	62.30	62.20		
1000	64.30	64.00	63.90	63.80	63.50	63.50	63.10	62.80	61.90	61.60	62.20	61.50	61.70	61.70	62.20	62.00	61.60	61.70	61.80	60.40	61.50	61.70	61.60		
2000	62.40	62.00	61.90	61.50	60.90	61.00	60.90	59.00	60.30	60.20	59.60	60.00	59.50	60.20	59.10	58.20	58.70	59.70	59.40	58.60	59.70	59.20	59.30		
4000	57.40	57.60	56.60	55.90	56.30	55.50	55.80	53.90	54.10	53.10	54.00	53.70	53.40	53.40	52.90	54.10	52.60	53.40	54.00	53.60	53.90	52.10	54.20		

Frekuensi (Hz)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
125	2.60	2.90	3.00	3.20	3.50	2.90	3.30	2.90	3.50	4.10	2.90	4.00	3.70	4.00	2.90	2.80	4.50	4.40	3.60	4.20	3.90	3.10	4.70		
250	3.00	2.50	2.80	2.80	3.00	2.30	2.80	3.20	3.50	3.80	2.90	3.00	3.90	4.10	3.10	2.70	2.60	3.70	3.90	2.80	3.90	2.80	3.40		
500	1.30	1.10	2.10	1.20	0.70	1.90	1.40	1.30	1.70	1.40	0.90	1.40	2.50	2.00	2.40	1.80	2.50	2.10	2.70	2.60	3.20	2.10	2.40		
1000	0.90	0.90	0.80	0.60	1.00	0.90	0.90	0.90	1.60	2.10	1.10	1.70	2.50	1.40	0.90	0.90	1.70	1.20	0.90	2.10	0.70	1.30	1.20		
2000	-0.60	-0.90	-0.30	-0.30	0.10	-0.50	-0.10	1.50	-0.90	-1.10	0.10	-0.60	0.50	-1.10	0.20	1.00	0.20	-0.60	-0.30	0.60	-0.70	-0.20	-1.00		
4000	-0.10	-0.90	-0.40	0.70	-1.30	0.30	-0.40	0.00	0.90	1.40	-0.30	0.10	1.30	0.10	0.50	-1.10	0.70	-0.50	-0.50	-1.10	-0.70	0.50	-0.70		

d. Hasil Simulasi W44K150Lh

Frekuensi (Hz)	Lantai																								
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
125	68.00	67.90	67.00	67.50	67.40	66.80	66.20	65.80	65.40	65.50	65.80	65.90	65.70	64.70	65.60	64.90	65.10	65.40	65.70	64.70	65.30	65.10	65.30		
250	68.10	66.50	66.80	66.90	66.30	65.80	65.40	65.30	65.40	65.80	64.90	65.00	65.70	64.90	65.20	65.20	64.60	64.60	64.40	64.30	63.80	65.00	64.40		
500	65.10	64.70	64.50	64.00	64.20	63.50	63.90	63.60	62.90	63.00	63.30	62.40	63.10	62.50	62.50	61.90	62.10	62.20	61.70	62.00	62.40	62.70	62.00		
1000	64.40	64.10	64.60	64.40	63.60	63.70	63.70	63.30	62.40	62.10	62.00	62.20	61.80	62.80	61.60	62.30	62.00	61.20	61.80	61.50	61.80	61.10	61.80		
2000	62.60	63.00	62.60	62.10	62.30	62.30	61.20	61.20	60.30	61.30	61.00	60.50	59.20	60.10	59.30	59.20	60.10	59.60	60.30	59.80	60.40	60.00	59.20		
4000	57.70	57.10	56.80	57.50	56.30	57.10	56.20	55.10	54.80	53.60	55.20	55.50	54.50	54.40	53.50	54.30	52.30	53.20	53.80	54.00	53.80	52.40	52.70		

Frekuensi (Hz)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
125	3.10	2.90	3.60	2.80	2.90	3.00	3.40	3.80	4.10	4.00	3.50	3.70	4.10	4.80	3.30	4.30	4.40	3.90	3.30	4.80	4.00	3.70	4.20		
250	1.90	3.30	2.60	2.40	2.80	2.90	3.30	3.30	3.30	2.90	3.30	3.00	3.20	3.70	3.10	2.60	3.20	3.60	4.10	3.80	4.50	3.10	3.70		
500	1.50	1.40	1.80	1.70	1.00	2.30	1.30	1.00	2.40	1.70	1.30	2.10	2.20	2.30	2.20	2.70	2.40	2.50	3.20	2.80	2.30	1.70	2.60		
1000	0.80	0.80	0.10	0.00	0.90	0.70	0.30	0.40	1.10	1.60	1.30	1.00	2.40	0.30	1.50	0.60	1.30	1.70	0.90	1.00	0.40	1.90	1.00		
2000	-0.80	-1.90	-1.00	-0.90	-1.30	-1.80	-0.40	-0.70	-0.90	-2.20	-1.30	-1.10	0.80	-1.00	0.00	0.00	-1.20	-0.50	-1.20	-0.60	-1.40	-1.00	-0.90		
4000	-0.40	-0.40	-0.60	-0.90	-1.30	-1.30	-0.80	-1.20	0.20	0.90	-1.50	-1.70	0.20	-0.90	-0.10	-1.30	1.00	-0.30	-0.30	-1.50	-0.60	0.20	0.80		

e. Hasil Simulasi W66K075Lh

Frekuensi (Hz)	Lantai																								
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
125	68.40	68.10	67.30	66.80	66.80	67.60	66.00	66.00	65.90	65.90	66.00	65.80	65.60	65.20	65.80	65.10	66.10	65.20	66.00	65.90	66.00	65.30	65.40		
250	67.40	67.30	67.10	66.90	66.10	65.70	66.00	65.70	65.40	64.80	65.60	64.60	64.90	64.50	64.80	64.60	65.40	65.00	65.20	64.90	65.60	64.30	65.10		
500	65.00	64.70	64.70	64.30	64.20	64.50	63.90	63.50	62.90	63.60	62.90	63.70	62.40	62.00	62.20	62.10	62.90	62.40	62.20	62.70	61.60	62.80	62.20		
1000	64.50	64.50	63.70	62.70	63.10	63.00	63.10	62.20	62.40	62.80	61.40	61.60	62.00	62.20	61.90	61.70	61.60	61.60	61.70	62.00	61.90	61.90	62.10		
2000	62.80	61.90	62.10	61.70	60.70	61.10	60.50	60.40	60.00	60.10	60.00	59.60	60.00	59.40	59.30	60.10	60.30	57.10	59.70	58.80	59.40	58.70	59.50		
4000	57.00	57.40	56.60	57.00	55.70	55.20	53.70	54.40	52.70	53.80	54.60	54.00	53.80	53.10	53.60	54.80	54.00	53.10	53.40	52.90	53.10	53.10	53.50		

Frekuensi (Hz)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
125	2.70	2.70	3.30	3.50	3.50	2.20	3.60	3.60	3.60	3.60	3.30	3.80	4.20	4.30	3.10	4.10	3.40	4.10	3.00	3.60	3.30	3.50	4.10		
250	2.60	2.50	2.30	2.40	3.00	3.00	2.70	2.90	3.30	3.90	2.60	3.40	4.00	4.10	3.50	3.20	2.40	3.20	3.30	3.20	2.70	3.80	3.00		
500	1.60	1.40	1.60	1.40	1.00	1.30	1.30	1.10	2.40	1.10	1.70	0.80	2.90	2.80	2.50	2.50	1.60	2.30	2.70	2.10	3.10	1.60	2.40		
1000	0.70	0.40	1.00	1.70	1.40	1.40	0.90	1.50	1.10	0.90	1.90	1.60	2.20	0.90	1.20	1.20	1.70	1.30	1.00	0.50	0.30	1.10	0.70		
2000	-1.00	-0.80	-0.50	-0.50	0.30	-0.60	0.30	0.10	-0.60	-1.00	-0.30	-0.20	0.00	-0.30	0.00	-0.90	-1.40	2.00	-0.60	0.40	-0.40	0.30	-1.20		
4000	0.30	-0.70	-0.40	-0.40	-0.70	0.60	1.70	-0.50	2.30	0.70	-0.90	-0.20	0.90	0.40	-0.20	-1.80	-0.70	-0.20	0.10	-0.40	0.10	-0.50	0.00		

f. Hasil Simulasi W66K150Lh

Frekuensi (Hz)	Lantai																								
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
125	68.10	68.50	67.70	67.00	66.40	66.60	66.60	65.70	65.60	66.60	66.60	66.00	65.40	65.80	65.10	65.60	65.20	65.80	65.60	65.10	64.80	65.40	64.60		
250	68.10	67.50	67.20	66.30	65.80	66.20	65.60	66.00	65.10	65.40	65.40	65.80	64.60	65.00	65.20	64.00	65.10	65.10	65.00	65.00	65.10	64.30	65.10		
500	64.90	64.40	64.70	64.70	63.90	64.00	64.40	63.40	63.50	63.30	63.30	63.00	62.90	62.80	62.70	62.30	62.80	62.10	62.60	62.80	62.20	62.30	62.10		
1000	65.00	64.60	64.80	63.90	63.90	63.70	63.60	62.40	62.80	62.70	62.70	62.60	62.50	62.00	62.80	62.30	61.70	61.80	62.10	62.50	61.80	61.70	61.40		
2000	63.50	62.60	62.30	62.70	62.40	61.60	60.80	61.60	60.50	60.60	60.60	60.80	60.20	60.30	60.10	59.90	60.80	60.40	60.30	58.90	60.00	59.90	59.20		
4000	57.30	57.90	57.50	56.70	56.70	55.90	55.80	56.20	55.80	54.90	54.90	54.50	54.50	52.90	54.00	54.00	53.80	54.60	52.70	55.10	52.70	54.00	52.90		

Frekuensi (Hz)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
125	3.00	2.30	2.90	3.30	3.90	3.20	3.00	3.90	3.90	2.90	2.70	3.60	4.40	3.70	3.80	3.60	4.30	3.50	3.40	4.40	4.50	3.40	4.90		
250	1.90	2.30	2.20	3.00	3.30	2.50	3.10	2.60	3.60	3.30	2.80	2.20	4.30	3.60	3.10	3.80	2.70	3.10	3.50	3.10	3.20	3.80	3.00		
500	1.70	1.70	1.60	1.00	1.30	1.80	0.80	1.20	1.80	1.40	1.30	1.50	2.40	2.00	2.00	2.30	1.70	2.60	2.30	2.00	2.50	2.10	2.50		
1000	0.20	0.30	-0.10	0.50	0.60	0.70	0.40	1.30	0.70	1.00	0.60	0.60	1.70	1.10	0.30	0.60	1.60	1.10	0.60	0.00	0.40	1.30	1.40		
2000	-1.70	-1.50	-0.70	-1.50	-1.40	-1.10	0.00	-1.10	-1.10	-1.50	-0.90	-1.40	-0.20	-1.20	-0.80	-0.70	-1.90	-1.30	-1.20	0.30	-1.00	-0.90	-0.90		
4000	0.00	-1.20	-1.30	-0.10	-1.70	-0.10	-0.40	-2.30	-0.80	-0.40	-1.20	-0.70	0.20	0.60	-0.60	-1.00	-0.50	-1.70	0.80	-2.60	0.50	-1.40	0.60		

Lampiran 8. Hasil Simulasi Rancangan Penelitian Material Kayu Lapis

a. Hasil Simulasi W30K075L

	Lantai																								
Frekuensi (Hz)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
125	64.60	65.00	69.10	63.90	63.80	63.70	63.10	63.10	63.40	62.90	62.90	62.70	67.70	62.30	61.90	62.50	61.40	61.40	62.00	61.90	62.60	62.80	61.60		
250	64.70	64.80	68.70	63.70	63.50	62.90	63.70	62.90	61.90	61.50	61.10	61.80	66.70	62.20	61.80	61.80	61.80	62.10	61.30	61.70	61.40	61.60	61.40		
500	63.00	63.00	66.00	62.40	61.80	61.40	61.10	61.40	60.70	60.80	60.10	60.10	63.50	60.10	60.40	60.10	60.10	60.20	60.40	60.10	59.80	59.60	59.10		
1000	63.20	63.10	65.50	61.90	62.20	61.70	61.90	60.40	60.90	60.50	60.60	60.10	62.60	60.60	60.20	59.80	59.80	60.10	59.80	60.10	60.20	59.60	59.40		
2000	61.20	60.70	62.30	60.30	60.50	60.40	59.50	59.30	58.60	58.90	57.90	58.00	60.10	58.60	58.10	58.40	57.90	58.10	58.10	58.00	58.50	58.20	57.70		
4000	57.30	56.50	57.60	56.00	55.00	55.40	54.70	54.60	53.90	52.40	53.10	53.20	55.00	53.20	52.40	52.70	52.40	52.90	52.20	52.20	51.70	52.70	52.40		

Frekuensi (Hz)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
125	6.50	5.80	1.50	6.40	6.50	6.10	6.50	6.50	6.10	6.60	6.40	6.90	2.10	7.20	7.00	6.70	8.10	7.90	7.00	7.60	6.70	6.00	7.90
250	5.30	5.00	0.70	5.60	5.60	5.80	5.00	5.70	6.80	7.20	7.10	6.20	2.20	6.40	6.50	6.00	6.00	6.10	7.20	6.40	6.90	6.50	6.70
500	3.60	3.10	0.30	3.30	3.40	4.40	4.10	3.20	4.60	3.90	4.50	4.40	1.80	4.70	4.30	4.50	4.40	4.50	4.50	4.70	4.90	4.80	5.50
1000	2.00	1.80	-0.80	2.50	2.30	2.70	2.10	3.30	2.60	3.20	2.70	3.10	1.60	2.50	2.90	3.10	3.50	2.80	2.90	2.40	2.00	3.40	3.40
2000	0.60	0.40	-0.70	0.90	0.50	0.10	1.30	1.20	0.80	0.20	1.80	1.40	-0.10	0.50	1.20	0.80	1.00	1.00	1.00	1.20	0.50	0.80	0.60
4000	0.00	0.20	-1.40	0.60	0.00	0.40	0.70	-0.70	1.10	2.10	0.60	0.60	-0.30	0.30	1.00	0.30	0.90	0.00	1.30	0.30	1.50	-0.10	1.10

b. Hasil Simulasi W30K150L

	Lantai																								
Frekuensi (Hz)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
125	65.00	65.10	64.90	64.80	63.80	63.80	63.20	63.20	62.50	62.10	62.10	61.90	63.20	62.30	62.00	61.20	61.10	62.50	61.70	61.70	61.80	61.90	61.50	61.50	
250	65.80	65.10	64.50	63.40	63.40	64.20	63.80	62.70	62.70	62.30	62.30	62.40	61.60	61.10	61.20	62.30	61.80	61.60	61.70	61.40	60.60	61.50	61.60		
500	63.10	62.90	62.40	62.40	61.70	62.20	61.60	61.30	61.00	60.60	60.30	59.70	60.90	60.20	60.60	60.20	60.90	59.90	59.00	60.00	59.80	59.90	59.90		
1000	63.20	63.20	62.40	63.10	62.20	61.50	61.10	61.60	61.10	61.40	60.40	60.60	60.50	60.40	60.00	60.10	60.50	59.20	60.30	59.80	60.10	60.30	60.60		
2000	61.80	61.80	60.70	61.50	61.00	59.60	61.30	60.20	60.30	60.00	59.40	58.50	59.20	58.80	58.70	58.80	58.00	58.80	58.60	58.70	58.10	58.70	58.30		
4000	56.60	56.30	56.00	56.90	55.50	56.40	55.60	55.30	54.50	53.90	54.00	54.30	54.10	53.40	53.10	53.70	53.50	53.20	53.40	52.10	53.00	52.90	51.60		

Frekuensi (Hz)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
125	6.10	5.70	5.70	5.50	6.50	6.00	6.40	6.40	7.00	7.40	7.20	7.70	6.60	7.20	6.90	8.00	8.40	6.80	7.30	7.80	7.50	6.90	8.00
250	4.20	4.70	4.90	5.90	5.70	4.50	4.90	5.90	6.00	6.40	5.90	5.60	7.30	7.50	7.10	5.50	6.00	6.60	6.80	6.70	7.70	6.60	6.50
500	3.50	3.20	3.90	3.30	3.50	3.60	3.60	3.30	4.30	4.10	4.30	4.80	4.40	4.60	4.10	4.40	3.60	4.80	5.90	4.80	4.90	4.50	4.70
1000	2.00	1.70	2.30	1.30	2.30	2.90	2.90	2.10	2.40	2.30	2.90	2.60	3.70	2.70	3.10	2.80	2.80	3.70	2.40	2.70	2.10	2.70	2.20
2000	0.00	-0.70	0.90	-0.30	0.00	0.90	-0.50	0.30	-0.90	-0.90	0.30	0.90	0.80	0.30	0.60	0.40	0.90	0.30	0.50	0.50	0.90	0.30	0.00
4000	0.70	0.40	0.20	-0.30	-0.50	-0.60	-0.20	-1.40	0.50	0.60	-0.30	-0.50	0.60	0.10	0.30	-0.70	-0.20	-0.30	0.10	0.40	0.20	-0.30	1.90

c. Hasil Simulasi W44K075L

Frekuensi (Hz)	Lantai																								
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
125	65.40	64.70	64.90	64.10	64.40	63.50	63.00	63.10	63.20	63.40	62.50	61.40	62.40	61.70	62.10	61.70	61.60	62.50	63.30	61.80	62.20	62.50	62.40		
250	64.90	64.40	65.10	63.80	63.70	63.40	62.50	62.80	62.20	62.80	61.80	61.40	62.10	62.20	62.00	61.30	61.20	62.10	61.80	61.20	61.50	61.60	62.80		
500	62.70	63.20	63.20	62.50	61.50	61.40	60.70	60.50	61.10	62.00	61.00	61.30	61.00	60.60	61.00	60.30	60.30	59.30	60.10	60.30	60.40	58.70	60.30		
1000	63.20	63.10	62.80	62.80	61.90	61.40	60.80	60.70	60.70	60.20	60.20	59.10	59.60	61.10	60.20	60.00	60.60	60.50	61.00	60.70	59.60	61.10	60.00		
2000	61.50	61.70	60.30	60.50	60.00	60.30	60.20	59.60	59.40	58.90	57.70	59.10	58.30	58.40	58.80	57.70	57.60	58.50	57.40	58.40	58.10	58.10	58.20		
4000	56.80	56.60	56.70	55.20	55.50	55.20	54.60	54.40	54.50	53.60	53.30	52.80	53.40	52.30	53.10	51.30	54.00	53.30	52.60	51.70	51.30	52.00	51.60		

Frekuensi (Hz)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
125	5.70	6.10	5.70	6.20	5.90	6.30	6.60	6.50	6.30	6.10	6.80	8.20	7.40	7.80	6.80	7.50	7.90	6.80	5.70	7.70	7.10	6.30	7.10		
250	5.10	5.40	4.30	5.50	5.40	5.30	6.20	5.80	6.50	5.90	6.40	6.60	6.80	6.40	6.30	6.50	6.60	6.10	6.70	6.90	6.80	6.50	5.30		
500	3.90	2.90	3.10	3.20	3.70	4.40	4.50	4.10	4.20	2.70	3.60	3.20	4.30	4.20	3.70	4.30	4.20	5.40	4.80	4.50	4.30	5.70	4.30		
1000	2.00	1.80	1.90	1.60	2.60	3.00	3.20	3.00	2.80	3.50	3.10	4.10	4.60	2.00	2.90	2.90	2.70	2.40	1.70	1.80	2.60	1.90	2.80		
2000	0.30	-0.60	1.30	0.70	1.00	0.20	0.60	0.90	0.00	0.20	2.00	0.30	1.70	0.70	0.50	1.50	1.30	0.60	1.70	0.80	0.90	0.90	0.10		
4000	0.50	0.10	-0.50	1.40	-0.50	0.60	0.80	-0.50	0.50	0.90	0.40	1.00	1.30	1.20	0.30	1.70	-0.70	-0.40	0.90	0.80	1.90	0.60	1.90		

d. Hasil Simulasi W44K150L

Frekuensi (Hz)	Lantai																								
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
125	65.70	65.30	65.40	65.30	64.00	63.70	65.00	63.10	64.20	62.90	63.00	62.30	62.80	62.10	63.20	61.20	62.20	61.50	62.30	62.30	63.40	62.30	62.90		
250	65.50	65.50	64.20	65.40	64.50	64.00	63.90	62.50	63.10	62.80	61.30	62.50	62.80	62.10	62.00	62.50	62.80	62.50	62.20	62.20	61.40	62.30	62.30		
500	64.00	63.50	63.30	63.60	63.10	62.90	63.00	62.10	61.10	60.90	62.00	61.10	61.10	60.90	61.30	61.40	60.10	60.60	60.70	59.70	61.00	60.10	60.40		
1000	63.70	63.20	63.40	63.40	62.40	62.90	62.60	62.20	60.90	60.80	61.10	61.60	61.70	60.30	60.60	60.30	60.70	61.40	59.80	60.00	60.70	60.20	60.10		
2000	61.90	61.80	61.90	61.90	61.60	61.50	60.40	59.90	60.60	59.90	59.20	59.30	59.80	58.70	58.40	59.20	59.20	59.20	59.20	58.50	58.60	58.80	58.50		
4000	58.10	56.40	57.60	56.20	56.30	56.00	56.10	54.80	55.10	55.20	53.80	54.10	53.30	53.50	53.10	53.90	51.60	54.40	53.10	52.40	52.60	53.80	52.20		

Frekuensi (Hz)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
125	5.40	5.50	5.20	5.00	6.30	6.10	4.60	6.50	5.30	6.60	6.30	7.30	7.00	7.40	5.70	8.00	7.30	7.80	6.70	7.20	5.90	6.50	6.60		
250	4.50	4.30	5.20	3.90	4.60	4.70	4.80	6.10	5.60	5.90	6.90	5.50	6.10	6.50	6.30	5.30	5.00	5.70	6.30	5.90	6.90	5.80	5.80		
500	2.60	2.60	3.00	2.10	2.10	2.90	2.20	2.50	4.20	3.80	2.60	3.40	4.20	3.90	3.40	3.20	4.40	4.10	4.20	5.10	3.70	4.30	4.20		
1000	1.50	1.70	1.30	1.00	2.10	1.50	1.40	1.50	2.60	2.90	2.20	1.60	2.50	2.80	2.50	2.60	2.60	1.50	2.90	2.50	1.50	2.80	2.70		
2000	-0.10	-0.70	-0.30	-0.70	-0.60	-1.00	0.40	0.60	-1.20	-0.80	0.50	0.10	0.20	0.40	0.90	0.00	-0.30	-0.10	-0.10	0.70	0.40	0.20	-0.20		
4000	-0.80	0.30	-1.40	0.40	-1.30	-0.20	-0.70	-0.90	-0.10	-0.70	-0.10	-0.30	1.40	0.00	0.30	-0.90	1.70	-1.50	0.40	0.10	0.60	-1.20	1.30		

e. Hasil Simulasi W66K075L

Frekuensi (Hz)	Lantai																								
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
125	66.30	65.70	64.40	64.70	64.80	64.50	64.80	63.30	63.10	63.50	63.60	62.50	62.10	62.40	63.20	61.90	60.80	62.10	62.50	61.60	61.90	62.20	62.10		
250	65.20	64.40	64.80	64.80	64.30	63.60	63.40	62.70	62.40	63.10	62.70	62.40	62.10	62.00	62.30	62.10	62.30	61.00	62.00	61.50	62.30	62.10	60.90		
500	63.30	62.50	62.90	62.30	62.50	61.80	61.30	61.10	61.10	60.50	60.60	60.90	60.70	60.70	60.00	59.80	60.00	60.90	61.20	60.30	59.40	60.70	59.10		
1000	63.10	63.60	62.20	61.80	62.00	62.40	61.70	60.90	60.40	60.20	59.90	60.70	60.10	60.60	61.10	60.40	59.90	58.60	60.90	60.00	60.40	60.50	59.80		
2000	61.60	61.50	61.20	60.70	59.50	60.20	60.40	59.60	59.20	58.50	58.20	57.90	59.20	59.30	59.00	57.90	58.20	58.70	58.20	58.20	57.70	57.60	58.20		
4000	56.90	56.30	56.80	54.60	55.10	55.00	55.50	54.60	53.50	53.90	52.10	53.70	53.50	52.50	53.20	53.20	52.40	52.70	53.00	51.70	53.30	53.70	52.60		

Frekuensi (Hz)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
125	4.80	5.10	6.20	5.60	5.50	5.30	4.80	6.30	6.40	6.00	5.70	7.10	7.70	7.10	5.70	7.30	8.70	7.20	6.50	7.90	7.40	6.60	7.40		
250	4.80	5.40	4.60	4.50	4.80	5.10	5.30	5.90	6.30	5.60	5.50	5.60	6.80	6.60	6.00	5.70	5.50	7.20	6.50	6.60	6.00	6.00	7.20		
500	3.30	3.60	3.40	3.40	2.70	4.00	3.90	3.50	4.20	4.20	4.00	3.60	4.60	4.10	4.70	4.80	4.50	3.80	3.70	4.50	5.30	3.70	5.50		
1000	2.10	1.30	2.50	2.60	2.50	2.00	2.30	2.80	3.10	3.50	3.40	2.50	4.10	2.50	2.00	2.50	3.40	4.30	1.80	2.50	1.80	2.50	3.00		
2000	0.20	-0.40	0.40	0.50	1.50	0.30	0.40	0.90	0.20	0.60	1.50	1.50	0.80	-0.20	0.30	1.30	0.70	0.40	0.90	1.00	1.30	1.40	0.10		
4000	0.40	0.40	-0.60	2.00	-0.10	0.80	-0.10	-0.70	1.50	0.60	1.60	0.10	1.20	1.00	0.20	-0.20	0.90	0.20	0.50	0.80	-0.10	-1.10	0.90		

f. Hasil Simulasi W66K150L

Frekuensi (Hz)	Lantai																								
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
125	66.20	66.00	65.10	65.80	64.80	65.00	64.10	64.00	63.10	63.80	63.20	62.60	62.50	63.10	62.10	62.50	62.70	62.50	62.70	62.10	61.60	62.30	61.90		
250	65.70	65.20	64.90	64.80	64.90	64.40	64.20	63.90	62.20	63.00	63.00	63.40	62.50	63.30	62.60	62.30	62.00	62.20	62.60	62.40	62.80	62.20	62.20		
500	64.90	63.50	63.70	63.30	63.10	62.30	62.90	62.20	62.80	61.20	61.40	61.50	61.20	60.90	60.60	61.20	61.40	60.80	61.20	61.40	60.10	60.30	60.10		
1000	64.00	63.60	63.80	63.50	63.40	63.60	63.10	62.80	61.70	61.90	61.40	62.30	61.00	60.70	61.20	61.70	61.20	61.70	60.90	60.50	61.00	60.40	60.30		
2000	72.20	71.60	71.40	71.40	71.50	71.10	70.80	70.20	70.00	70.20	69.70	69.50	69.70	70.60	69.20	69.10	69.80	69.60	69.40	69.40	69.00	69.90	69.60		
4000	58.10	57.90	56.80	56.60	57.10	56.90	55.70	55.20	55.40	54.80	54.00	54.40	53.80	53.40	53.70	53.70	54.00	52.50	53.60	52.70	53.30	52.80	54.40		

Frekuensi (Hz)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
125	4.90	4.80	5.50	4.50	5.50	4.80	5.50	5.60	6.40	5.70	6.10	7.00	7.30	6.40	6.80	6.70	6.80	6.80	6.30	7.40	7.70	6.50	7.60		
250	4.30	4.60	4.50	4.50	4.20	4.30	4.50	4.70	6.50	5.70	5.20	4.60	6.40	5.30	5.70	5.50	5.80	6.00	5.90	5.70	5.50	5.90	5.90		
500	1.70	2.60	2.60	2.40	2.10	3.50	2.30	2.40	2.50	3.50	3.20	3.00	4.10	3.90	4.10	3.40	3.10	3.90	3.70	3.40	4.60	4.10	4.50		
1000	1.20	1.30	0.90	0.90	1.10	0.80	0.90	0.90	1.80	1.80	1.90	0.90	3.20	2.40	1.90	1.20	2.10	1.20	1.80	2.00	1.20	2.60	2.50		
2000	-10.40	-10.50	-9.80	-10.20	-10.50	-10.60	-10.00	-9.70	-10.60	-11.10	-10.00	-10.10	-9.70	-11.50	-9.90	-9.90	-10.90	-10.50	-10.30	-10.20	-10.00	-10.90	-11.30		
4000	-0.80	-1.20	-0.60	0.00	-2.10	-1.10	-0.30	-1.30	-0.40	-0.30	-0.30	-0.60	0.90	0.10	-0.30	-0.70	-0.70	0.40	-0.10	-0.20	-0.10	-0.20	-0.90		

Lampiran 9. Data Angin pada Rooftop Apartemen Gunawangsa Manyar Selama 24 Jam

Tanggal pengukuran: 17/11/2017 – 18/11/2017

Pengukuran data angin dilakukan oleh Arsitektur ITS

Time	Logger 1		Logger 2		Rooftop Measure.		Dir.
	CH1	CH2	CH1	CH2	m/s	deg	
9:00:41	0.031	0.031	0.062	0.0015	0.74	338.3	N
10:00:41	0.346	0.209	0.043	0.0215	1.48	299	NW
11:00:41	0.301	0.088	0.003	0.011	1.48	300.4	NW
12:00:41	0.092	0.08	0.01	0.021	1.86	313.1	NW
13:00:41	0.081	0.12	0.003	0.011	2.04	285	W
14:00:41	0.152	0.16	0.05	0.032	1.86	310.3	NW
15:00:41	0.041	0.001	0.011	0.0225	1.11	296.2	NW
16:00:41	0.171	0.003	0.554	0.0915	6.12	132	SE
17:00:41	0.033	0.011	0.003	0.001	1.3	28.1	NE
18:00:41	0.122	0.003	0.014	0.0105	1.3	292	W
19:00:41	0.064	0.003	0.011	0.0085	0.93	321.5	NW
20:00:41	0.031	0.001	0.055	0.011	1.3	313.1	NW
21:00:41	0.07	0.001	0.023	0.0105	2.41	310.3	NW
22:00:41	0.073	0.003	0.001	0.0105	2.04	320.1	NW
23:00:41	0.031	0.003	0.003	0.0105	1.3	329.9	NW
0:00:41	0.048	0.001	0.003	0.011	1.86	24.291	NE
1:00:41	0.064	0.003	0.004	0.011	1.86	24.195	NE
2:00:41	0.114	0.003	0.001	0.0015	1.3	24.219	NE
3:00:41	0.021	0.001	0.001	0.001	1.11	24.315	NE
4:00:41	0.074	0.001	0.001	0.001	0.74	24.363	NE
5:00:41	0.101	0.001	0.011	0.0105	0.74	24.46	NE
6:00:41	0.049	0.003	0.001	0.001	0.74	25.113	NE
7:00:41	0.062	0	0.011	0.0105	0.56	26.695	NE
8:00:41	0.085	0.011	0.001	0.001	1.11	30.217	NE

Lampiran 10. Perhitungan pengaruh angin terhadap kebisingan selama 24 jam

$$\Delta L_{m, \text{line}} = \begin{cases} 0.88 \lg\left(\frac{l}{15}\right) \cdot U_{\text{vec}} & l > 15 \\ 0 & l \leq 15 \end{cases}$$

				9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	24.00	01.00	02.00	03.00	04.00	05.00	06.00	07.00	08.00
				0.74	1.48	1.48	1.86	2.04	1.86	1.11	6.12	1.3	1.3	0.93	1.3	2.41	2.04	1.3	1.86	1.86	1.3	1.11	0.74	0.74	0.74	0.56	1.11
				338	299	300	313	285	310	296	132	28.1	292	322	313	310	320	330	24.3	24.2	24.2	24.3	24.4	24.5	25.1	26.7	30.2
				0.55	-0.85	0.37	0.49	-0.63	-0.75	0.63	1	-0.98	-0.99	0.49	0.49	-0.75	0.94	-1	0.67	0.59	0.61	0.68	0.72	0.78	1	0.01	0.36
				N	NW	NW	NW	W	NW	NW	SE	NE	W	NW	NW	NW	NW	NW	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Lt.	Jarak	l/15	LOG	0.4	-1.26	0.55	0.91	-1.29	-1.4	0.7	6.11	-1.28	-1.28	0.46	0.64	-1.82	1.92	-1.3	1.24	1.1	0.79	0.76	0.53	0.58	0.74	0	0.4
3	18.1	1.2	0.1	0.0	-0.1	0.0	0.1	-0.1	0.0	0.1	0.4	-0.1	-0.1	0.0	0.0	-0.1	0.1	-0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
4	19.9	1.3	0.1	0.0	-0.1	0.1	0.1	-0.1	-0.1	0.1	0.7	-0.1	-0.1	0.0	0.1	-0.2	0.2	-0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
5	22.0	1.5	0.1	0.1	-0.2	0.1	0.1	-0.2	-0.1	0.1	0.9	-0.2	-0.2	0.1	0.1	-0.3	0.3	-0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
6	24.3	1.6	0.2	0.1	-0.2	0.1	0.2	-0.2	-0.1	0.1	1.1	-0.2	-0.2	0.1	0.1	-0.3	0.4	-0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
7	26.8	1.8	0.2	0.1	-0.3	0.1	0.2	-0.3	-0.1	0.2	1.4	-0.3	-0.3	0.1	0.1	-0.4	0.4	-0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.0	
8	29.3	2.0	0.3	0.1	-0.3	0.1	0.2	-0.3	-0.1	0.2	1.6	-0.3	-0.3	0.1	0.2	-0.5	0.5	-0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.0	
9	31.9	2.1	0.3	0.1	-0.4	0.2	0.3	-0.4	-0.2	0.2	1.8	-0.4	-0.4	0.1	0.2	-0.5	0.6	-0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.0	
10	34.6	2.3	0.3	0.1	-0.4	0.2	0.3	-0.4	-0.2	0.2	2.0	-0.4	-0.4	0.1	0.2	-0.6	0.6	-0.4	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.0	
11	37.3	2.5	0.3	0.1	-0.4	0.2	0.3	-0.5	-0.2	0.2	2.1	-0.4	-0.4	0.2	0.2	-0.6	0.7	-0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.0	
12	40.1	2.7	0.4	0.2	-0.5	0.2	0.3	-0.5	-0.2	0.3	2.3	-0.5	-0.5	0.2	0.2	-0.7	0.7	-0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.0	
13	42.9	2.9	0.4	0.2	-0.5	0.2	0.4	-0.5	-0.2	0.3	2.5	-0.5	-0.5	0.2	0.3	-0.7	0.8	-0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.0	
14	45.7	3.0	0.4	0.2	-0.5	0.2	0.4	-0.6	-0.2	0.3	2.6	-0.5	-0.5	0.2	0.3	-0.8	0.8	-0.6	0.5	0.5	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.0	
15	48.6	3.2	0.4	0.2	-0.6	0.2	0.4	-0.6	-0.3	0.3	2.7	-0.6	-0.6	0.2	0.3	-0.8	0.9	-0.6	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.3	0.3	0.0	
16	51.4	3.4	0.5	0.2	-0.6	0.3	0.4	-0.6	-0.3	0.3	2.9	-0.6	-0.6	0.2	0.3	-0.9	0.9	-0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.0	
17	54.3	3.6	0.5	0.2	-0.6	0.3	0.4	-0.6	-0.3	0.3	3.0	-0.6	-0.6	0.2	0.3	-0.9	0.9	-0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.0	
18	57.2	3.8	0.5	0.2	-0.6	0.3	0.5	-0.7	-0.3	0.4	3.1	-0.7	-0.7	0.2	0.3	-0.9	1.0	-0.7	0.6	0.6	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.0	
19	60.1	4.0	0.5	0.2	-0.7	0.3	0.5	-0.7	-0.3	0.4	3.2	-0.7	-0.7	0.2	0.3	-1.0	1.0	-0.7	0.7	0.6	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.0	
20	63.0	4.2	0.5	0.2	-0.7	0.3	0.5	-0.7	-0.3	0.4	3.4	-0.7	-0.7	0.3	0.3	-1.0	1.1	-0.7	0.7	0.6	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.0	
21	65.9	4.4	0.6	0.2	-0.7	0.3	0.5	-0.7	-0.3	0.4	3.5	-0.7	-0.7	0.3	0.4	-1.0	1.1	-0.7	0.7	0.6	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.0	
22	68.8	4.6	0.6	0.2	-0.7	0.3	0.5	-0.8	-0.3	0.4	3.6	-0.7	-0.7	0.3	0.4	-1.1	1.1	-0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.4	0.0	
23	71.8	4.8	0.6	0.2	-0.8	0.3	0.5	-0.8	-0.3	0.4	3.7	-0.8	-0.8	0.3	0.4	-1.1	1.1	-0.8	0.7	0.7	0.5	0.5	0.3	0.3	0.4	0.0	
24	74.7	5.0	0.6	0.2	-0.8	0.3	0.6	-0.8	-0.3	0.4	3.8	-0.8	-0.8	0.3	0.4	-1.1	1.2	-0.8	0.8	0.7	0.5	0.5	0.3	0.4	0.5	0.0	
25	77.7	5.2	0.6	0.3	-0.8	0.3	0.6	-0.8	-0.4	0.4	3.8	-0.8	-0.8	0.3	0.4	-1.1	1.2	-0.8	0.8	0.7	0.5	0.5	0.3	0.4	0.5	0.0	

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Afif Fajar Zakariya, lahir di Malang pada tanggal 16 April 1991. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Drs. Achmad Hariyadi dan DR. Ir. Erni Yudaningtyas, MT. Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SD Negeri Percobaan 1 Malang pada tahun 1997-2003, dilanjutkan di SMP Negeri 5 Malang pada tahun 2003-2006, kemudian menempuh pendidikan di SMA Negeri 1

Malang tahun 2006-2009. Tahun 2015 penulis lulus dari pendidikan program S1 Jurusan Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Pada tahun 2017, penulis melanjutkan jenjang pendidikan program S2 Departemen Arsitektur bidang Arsitektur di Fakultas Arsitektur, Desain dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis mengambil tesis dengan judul “Pengaruh Desain Balkon Tipe Loggia dalam Mereduksi Kebisingan Lalu Lintas di Apartemen”. Demi pengembangan kemajuan ilmu dan diskusi lebih lanjut terkait akustik dan pengendalian kebisingan bangunan apartemen, penulis dengan senang hati menerima kritikan, saran dan diskusi terkait tesis ini. Penulis dapat dihubungi di alamat surel afif.zakariya@gmail.com.

