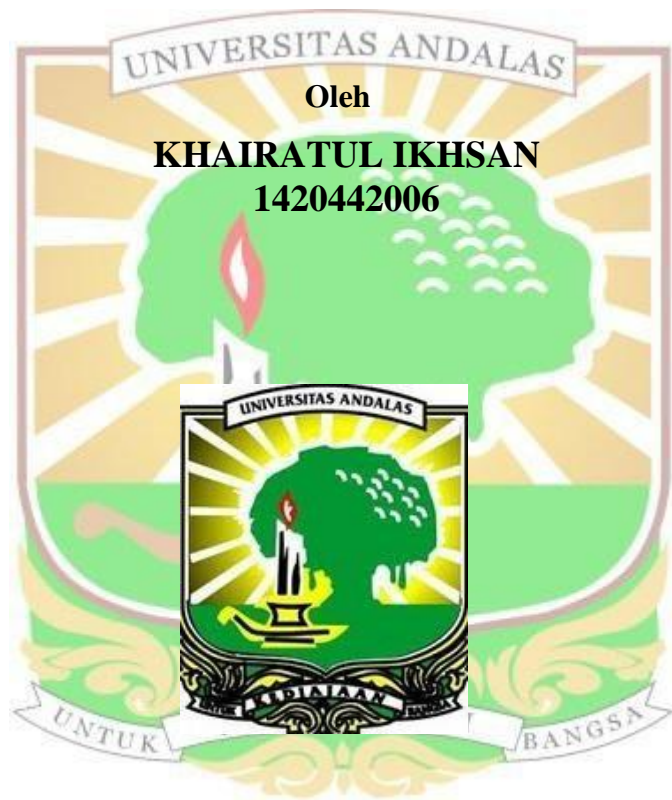


**KARAKTERISTIK KOEFISIEN ABSORBSI BUNYI DAN
IMPEDANSI AKUSTIK DARI MATERIAL BERONGGA
PLAFON PVC MENGGUNAKAN METODE
TABUNG IMPEDANSI**

TESIS



**JURUSAN FISIKA PASCASARJANA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG**

2016

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

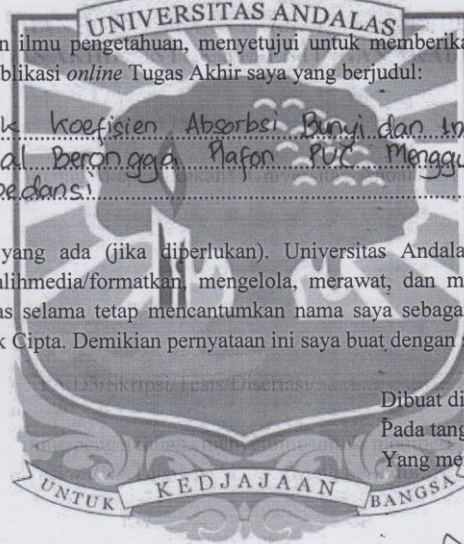
Saya mahasiswa/dosen/tenaga kependidikan* Universitas Andalas yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama lengkap : Khairatul Ikhsan
No. BP/NIM/NIDN : 1420442006
Program Studi : Magister Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Tugas Akhir : Tesis/Dissertasi/Tesis.....**

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Andalas hak atas publikasi online Tugas Akhir saya yang berjudul:

Karakteristik koefisien Absorpsi Bunyi dan Impedansi Akustik
dari Material Berongga Rata Rata Menggunakan Metode
Tabung Impedansi

berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Universitas Andalas juga berhak untuk menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola, merawat, dan mempublikasikan karya saya tersebut di atas selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.



Dibuat di ..Padang.....
Pada tanggal..15 September 2015
Yang menyatakan,

Khairatul Ikhsan

(Khairatul Ikhsan)

* pilih sesuai kondisi

** termasuk laporan penelitian, laporan pengabdian masyarakat, laporan magang, dll

**KARAKTERISTIK KOEFISIEN ABSORPSI BUNYI DAN
IMPEDANSI AKUSTIK DARI MATERIAL BERONGGA
PLAFON PVC MENGGUNAKAN METODE
TABUNG IMPEDANSI**

Oleh

KHAIRATUL IKHSAN

1420442006



Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister pada
Program Studi Magister Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Andalas

**JURUSAN FISIKA PASCASARJANA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG**

2016

LEMBARAN PENGESAHAN

Judul Penelitian : Karakteristik Koefisien Absorpsi Bunyi dan Impedansi Akustik dari Material Berongga Plafon PVC Menggunakan Metode Tabung Impedansi

Nama Mahasiswa : Khairatul Ikhsan, S.Si

No. Buku Pokok : 1420442006

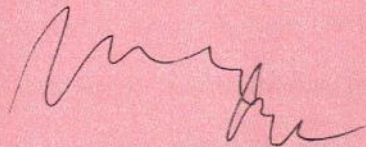
Program Studi : Fisika (S2)

Tesis ini telah diuji dan dipertahankan di hadapan panitia ujian akhir Magister pada Program Pascasarjana Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas dan dinyatakan lulus pada tanggal 28 Juli 2016

Menyetujui:


Komisi Pembimbing

Ketua



Dr. Elvaswer
NIP. 197005121998021001

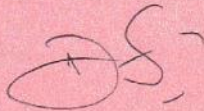
Anggota



Dr. Harmadi
NIP. 197112221999031001

Mengetahui,

Ketua Program Studi Pascasarjana
Jurusan Fisika



Dr. Dahyunir Dahlan
NIP. 196811281995121002

Dekan Fakultas MIPA



Prof. Dr. Mansyurdin
NIP. 196002131987031005

KARAKTERISTIK KOEFISIEN ABSORBSI BUNYI DAN IMPEDANSI AKUSTIK DARI MATERIAL BERONGGA PLAFON PVC MENGUNAKAN METODE TABUNG IMPEDANSI

Oleh: Khairatul Ikhsan

(Dibawah bimbingan Dr. Elvaswer dan Dr.Harmadi)

RINGKASAN

kebisingan adalah bunyi yang tidak diinginkan dari suatu usaha atau kegiatan dalam tingkat dan waktu tertentu yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan manusia dan kenyamanan lingkungan termasuk ternak, satwa, dan sistem alam. Kebisingan menimbulkan berbagai dampak bagi kesehatan dimana orang yang hidupnya dalam kebisingan cenderung memiliki tekanan darah tinggi dari pada orang yang hidup ditempat yang tenang, mudah marah dan mudah lelah, serta menderita bunyi dengung permanen di telinga (*Tinitus*).

Kebisingan dapat diatasi menggunakan material akustik. Material akustik dapat dibagi menjadi tiga kelompok dasar yaitu: material penyerap bunyi, material penghalang bunyi dan material peredam bunyi. Material penyerap bunyi dikelompokkan menjadi tiga yaitu bahan berpori, penyerap panel, dan resonator rongga. Material akustik digunakan pada perancangan plafon, dinding, lantai dan interior lainnya. Kualitas material akustik bunyi ditentukan dari nilai koefisien absorpsi bunyi dan impedansi akustik. Cara menentukan koefisien absorpsi bunyi dan impedansi akustik ada dua yaitu metode tabung impedansi dan metode reverberasi sabine. Kelebihan metode Tabung Impedansi adalah hanya menggunakan sampel seluas penampang tabung dan sangat sesuai dengan kajian-

kajian teoritis. Kelemahan metode reverberasi sabine adalah menggunakan banyak material akustik untuk menutupi seluruh ruangan yang dirancang tetapi metode ini sangat sesuai dengan keadaan yang real.

Penelitian ini menggunakan material berongga plafon PVC yang bermerek Shunda Plafon di produksi oleh PT Shunda Sucai Indonesia. Material Shunda Plafon yang digunakan memiliki bentuk permukaan yang sama dengan sisi tampang lintang yang berbeda yaitu 5, 6, 7, 8, dan 9 mm. Metode yang digunakan yaitu metode tabung impedansi bunyi menggunakan frekuensi 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz, 8000 Hz dan 16000 Hz.

Penelitian ini menggunakan beberapa alat antara lain : tabung impedansi, mikrofon, Amplifier, Osiloskop, Sinyal generator dan loudspeaker. Koefisien absorpsi bunyi didapatkan dari nilai amplitudo tekanan maksimum ($A+B$) dan amplitudo tekanan minimum ($A-B$) dengan cara menggeser mikrofon menjauhi sampel sehingga tampilan pada osiloskop menunjukkan amplitudo tekanan maksimum ($A+B$), kemudian dilakukan penggeseran mikrofon lagi sehingga tampilan osiloskop menunjukkan amplitudo tekanan minimum ($A-B$) kemudian dilakukan pengukuran. Setelah data pengukuran tekanan maksimum ($A+B$) dan amplitudo tekanan minimum ($A-B$) didapatkan maka gunakan Persamaan (2.4) dan (2.5) untuk menentukan nilai koefisien absorpsi bunyi. Impedansi akustik didapatkan dengan cara menggeser mikrofon dari sampel hingga pada osiloskop amplitudo tekanan minimum kemudian lihatlah angka yang ditunjukkan pada skala jarak itu yang disebut jarak amplitudo minimum pertama (d_1), kemudian dilakukan penggeseran mikrofon lagi sehingga osiloskop menampilkan amplitudo

tekanan minimum kedua kemudian lihatlah angka yang ditunjukkan pada skala jarak itu yang disebut (d_2).

Hasil yang didapatkan dari penelitian ini antara lain, koefisien absorpsi bunyi tertinggi di dapatkan 0.84 pada material Shunda Plafon dengan sisi tampang lintang rongga 9 mm pada frekuensi 1000 Hz. Koefisien absorpsi bunyi terendah didapatkan 0.23 pada material Shunda Plafon dengan sisi tampang lintang rongga 5 mm pada frekuensi 16000 Hz. Pada semua frekuensi yang digunakan pada penelitian ini nilai koefisien absorpsi bunyi meningkat jika ukuran sisi penampang lintang rongga meningkat. Pada semua Shunda Plafon yang digunakan pada penelitian ini koefisien absorpsinya menurun dengan bertambah besarnya frekuensi yang digunakan.

Impedansi akustik tertinggi di dapatkan $0.97 + i 0.07$ pada material Shunda Plafon dengan sisi tampang lintang rongga 9 mm pada frekuensi 1000 Hz. Impedansi akustik terendah didapatkan $0.51 + i 1.80$ pada material Shunda Plafon dengan sisi tampang lintang rongga 5 mm pada frekuensi 16000 Hz. Pada semua frekuensi yang digunakan pada penelitian ini nilai Impedansi akustik meningkat jika ukuran sisi penampang lintang rongga meningkat. Pada semua Shunda Plafon yang digunakan pada penelitian ini Impedansi akustik menurun dengan bertambah besarnya frekuensi yang digunakan.

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Medan pada tanggal 5 Agustus 1983. Penulis merupakan anak pertama dari lima bersaudara dari ayah yang bernama Safrikal dan ibu yang bernama Salatun Naimah. Penulis memulai jenjang pendidikan sekolah dasar pada tahun 1989 dan lulus pada tahun 1995. Penulis melanjutkan pendidikan ke Madrasah Tsanawiyah Al Kautsar Al Akbar Medan pada tahun 1995 dan lulus pada tahun 1998. Penulis melanjutkan pendidikan ke Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 1 Sungai Limau pada tahun 1998 dan lulus pada tahun 2001. Pada tahun 2001 penulis diterima di jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas, lulus tahun 2007. Penulis melanjutkan studi pada Program Pascasarjana Fisika Universitas Andalas pada tahun 2014 dan lulus pada tahun 2016.



PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

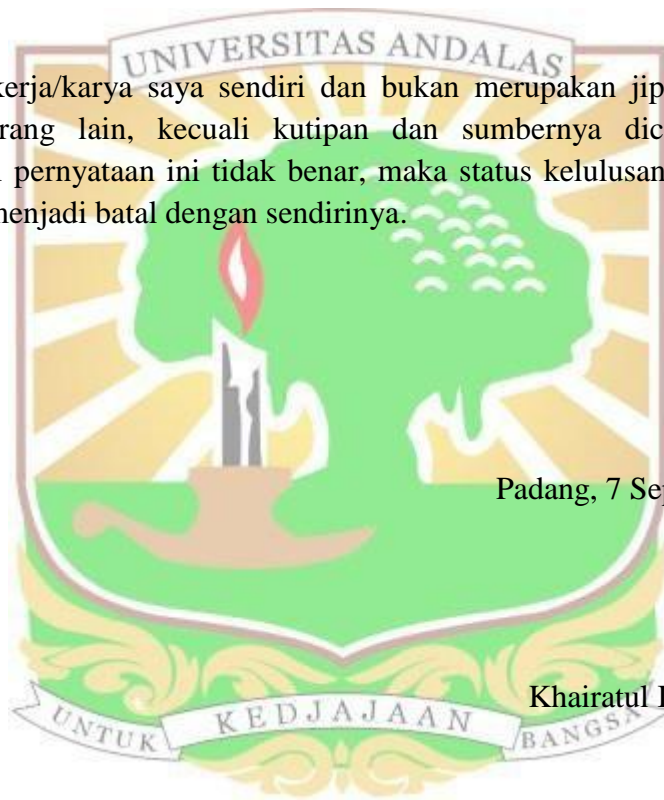
Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis yang saya tulis dengan judul :

“ KARAKTERISTIK KOEFISIEN ABSORBSI BUNYI DAN IMPEDANSI AKUSTIK DARI MATERIAL BERONGGA PLAFON PVC MENGUNAKAN METODE TABUNG IMPEDANSI ”

adalah hasil kerja/karya saya sendiri dan bukan merupakan jiplakan dari hasil kerja/karya orang lain, kecuali kutipan dan sumbernya dicantumkan. Jika kemudian hari pernyataan ini tidak benar, maka status kelulusan dan gelar yang saya peroleh menjadi batal dengan sendirinya.

Padang, 7 September 2016

Khairatul Ikhsan, S.Si



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tesis ini. Shalawat dan salam semoga disampaikan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membawa umatnya dari zaman kebodohan ke zaman yang penuh ilmu pengetahuan yang telah dirasakan pada saat sekarang ini.

Selesainya penulisan tesis ini tidak terlepas oleh bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Elvaswer dan bapak Dr. Harmadi selaku pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan bimbingan, masukan dan semangat dalam pelaksanaan penelitian dan penulisan tesis ini.
2. Bapak Dr. Techn. Marzuki, bapak Dr. Dahyunir Dahlan, bapak Dr. Zulfi selaku penguji yang telah memberikan masukan agar sempurnanya penulisan tesis ini.
3. Koordinator Progam Pascasarjana Fisika dan seluruh staf pengajar yang telah berbagi ilmu, pemahaman dan pengalamanya dalam proses belajar mengajar.
4. Ketua Progam Pascasarjana dan seluruh pegawai akademis di lingkungan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Andalas (UNAND) atas segala kemudahan dan bantuan yang telah diberikan.
5. Kedua orang tua, suami, adik, kedua putriku Dina dan Aulia serta seluruh anggota keluarga besar penulis yang telah memberikan doa, motivasi dan dorongan yang sangat besar kepada penulis.

6. Teman-teman di Program Pascasarjana Fisika FMIPA UNAND angkatan 2014 atas motivasi dan dukungan selama penelitian.
7. Teman-teman di Laboratorium Fisika Material, Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi atas segala bantuannya selama penelitian.
8. Semua pihak yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan studi di Progam Pascasarjana Fisika FMIPA UNAND.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar tesis ini menjadi lebih baik. Mudah-mudahan tesis dapat bermanfaat baik bagi penulis maupun bagi pembaca.

Padang, 7 September 2016

Khairatul Ikhsan, S.Si



KARAKTERISTIK KOEFISIEN ABSORBSI BUNYI DAN IMPEDANSI AKUSTIK DARI MATERIAL BERONGGA PLAFON PVC MENGGUNAKAN METODE TABUNG IMPEDANSI

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan karakteristik koefisien absorpsi bunyi dan impedansi akustik dari material berongga plafon PVC yang bermerek Shunda Plafon dengan sisi tampang lintang rongga yaitu : 5, 6, 7, 8, dan 9 mm menggunakan metode tabung impedansi. Rentang frekuensi yang digunakan adalah 1000, 2000, 4000, 8000, dan 16000 Hz. Hasil penelitian menunjukkan bahwa material Shunda Plafon dengan sisi tampang lintang rongga 5 mm sampai 9 mm dapat dikategorikan sebagai bahan penyerap bunyi yang cukup baik karena memiliki nilai koefisien absorpsi bunyi terendah lebih besar dari 0.15. Koefisien absorpsi bunyi dan impedansi tertinggi yaitu 0.84 dan $0,97 + i 0,07$, terdapat pada material Shunda Plafon dengan sisi tampang lintang rongga 9 mm pada frekuensi 1000 Hz. Dengan demikian material akustik terbaik dari penelitian ini adalah Shunda Plafon dengan sisi tampang lintang rongga 9 mm. Namun penggunaan Shunda Plafon untuk penyerapan bunyi dapat disesuaikan dengan tingkat frekuensi kebisingan yang akan diserap. Shunda Plafon dengan sisi tampang lintang rongga 5 mm menunjukkan penyerapan bunyi yang cukup baik karena memiliki koefisien absorpsi bunyi besar dari 0.15.

Kata kunci : koefisien absorpsi bunyi, impedansi akustik, material berongga, frekuensi dan metode tabung impedansi.



THE CHARACTERISTIC OF SOUND ABSORPTION COEFFICIENT AND THE ACOUSTIC IMPEDANCE FROM THE HOLLOW MATERIAL OF PVC CEILING USING THE METHOD OF IMPEDANCE TUBE

ABSTRACT

This research was performed to determine the character of sound absorption coefficient and acoustic impedance from the hollow material of PVC ceiling branded Shunda Plafon with the diameter side of hollow latitude as mentioned: 5, 6, 7, 8 and 9 mm, using the method of impedance tube. the used range of frequency are 1000, 2000, 4000, 8000 and 16.000 HZ. The result of this research showed that the material of Shunda Plafon with 5 mm – 9 mm diameter side of hollow latitude can be categorized as the quite good sound absorption material because of having the lowest rate of sound absorption coefficient bigger than 0.15. 0.84 and $0.97 + i 0.07$ sound absorption coefficients and the highest impedance appear in the material of Shunda Plafon with 9 mm diameter side of hollow latitude in 1.000 Hz frequency. Therefore, the best acoustic material for this research is Shunda Plafon with 9 mm diameter side of hollow latitude. However, the using of Shunda Plafon to absorb sound can be adjusted by the rate of noise frequency which will be absorbed. Shunda Plafon with 5 mm diameter side of hollow latitude showed quite good sound absorption because of having the sound absorption coefficient bigger than 0.15

Keyword: sound absorption coefficient, acoustic impedance, hollow material, frequency and impedance tube method

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR.....	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan dan Manfaat	4
1.3 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah.....	4
1.4 Hipotesis	5
 BAB II LANDASAN TEORI	
2.1 Ruang Lingkup Akustik.....	6
2.2 Konsep Dasar Tentang Bunyi	6
2.2.1 Gelombang Bunyi.....	7
2.2.2 Perambatan Bunyi.....	9
2.2.3 Frekuensi Bunyi.....	11
2.2.4 Intensitas Bunyi	11
2.2.5 Sifat Bunyi Dalam Ruangan	12
2.3 Jenis-Jenis Kebisingan dan Upaya Pengendaliannya.....	15
2.4 Material Akustik	18

2.4.1	Defenisi Polimer	21
2.4.2	Jenis-Jenis Plafon	23
2.4.3	Shunda Plafon PVC	23
2.5	Rasio Gelombang Tegak	24
2.6	Koefisien Serapan Bunyi	25
2.7	Impedansi Akustik	27
BAB III METODE PENELITIAN		
3.1	Waktu dan Lokasi Penelitian	31
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	31
3.2.1	Alat Penelitian	31
3.2.2	Bahan Penelitian	33
3.3	Teknik Penelitian	33
3.4	Pengujian dengan Metode Tabung	34
3.5	Teknik Pengambilan Data	36
3.6	Teknik Pengolahan dan Analisis Data	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Analisis Koefisien Absorpsi Bunyi (α) Terhadap Frekuensi	37
4.2	Analisis Impedansi Akustik (Z) Terhadap Frekuensi	39..
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	42
5.2	Saran	43
DAFTAR PUSTAKA		44
LAMPIRAN		46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Terjadinya Bunyi Dan Perambatannya.....	8
Gambar 2.2 Batas-Batas Audiogram Untuk Bunyi Yang Dapat Didengar	12
Gambar 2.3 Peristiwa Terjadinya Refleksi, Absorpsi Dan Transmisi Pada Bahan.....	13
Gambar 2.4 Distribusi Amplitudo Didalam Tabung Impedansi	30
Gambar 2.5 Rangkaian RLC	30
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	34
Gambar 3.2 Rangkaian Tabung Impedansi	35
Gambar 4.1 Koefisien Absorpsi Bunyi Terhadap Frekuensi	37
Gambar 4.2 Impedansi Akustik Terhadap Frekuensi.....	40



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kecepatan Rambat Bunyi Menurut Mediumnya	10
Tabel 2.2 Skala Intensitas Kebisingan Dan Sumbernya	16
Tabel 2.3 Koefisien Absorpsi Bahan Pada Berbagai Jangkauan Frekuensi.....	26



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Komponen Alat dan Bahan Penelitian.....	45
Lampiran B	Dokumen Penelitian.....	47
Lampiran C	Hasil dan Perhitungan	49



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan Surat Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No: Kep.Men-48/MEN.LH/11/1996, kebisingan adalah bunyi yang tidak diinginkan dari suatu usaha atau kegiatan dalam tingkat dan waktu tertentu yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan manusia dan kenyamanan lingkungan termasuk ternak, satwa, dan sistem alam (Kusuma, 1996). Menurut WHO (*World Health Organisation*) pada tahun 1995, polusi suara atau kebisingan dianggap sebagai jenis pencemaran lingkungan yang paling serius urutan ketiga sesudah polusi udara dan polusi air. Kebisingan menimbulkan berbagai dampak bagi kesehatan dimana orang yang hidupnya dalam kebisingan cenderung memiliki tekanan darah tinggi dari pada orang yang hidup ditempat yang tenang (Suandika, 2009), mudah marah dan mudah lelah (Nilson, 1990), dan menderita bunyi dengung permanen di telinga (*Tinitus*)(Agustian, 1995).

Untuk alasan kesehatan dan kenyamanan sebaiknya semua bangunan menerapkan siasat perancangan guna menekan masuknya kebisingan. Hal ini tidak saja ditujukan pada bangunan publik dengan persyaratan akustik tinggi, namun juga berlaku bagi bangunan pribadi seperti rumah tempat tinggal. Untuk mencapai kualitas bunyi yang diinginkan pertimbangan penggunaan material bangunan beserta faktor-faktor lainnya sangatlah penting untuk diperhatikan salah satunya adalah penggunaan material akustik. Material akustik adalah material

yang dapat meredam dan menyerap bunyi. Material akustik digunakan pada perancangan plafon, dinding, lantai dan interior lainnya (Doelle, 1986).

Kualitas material akustik bunyi ditentukan dari nilai koefisien absorpsi bunyi dan impedansi akustik. Koefisien absorpsi bunyi berfungsi untuk mengetahui kemampuan suatu material dalam menyerap bunyi (Doelle, 1986). Impedansi akustik berfungsi mengukur ukuran hambatan yang diberikan oleh suatu medium terhadap rambatan bunyi (Baranek, 1993). Cara menentukan koefisien absorpsi bunyi dan impedansi akustik ada dua yaitu metode tabung impedansi dan metode reverberasi sabine. Metode Tabung Impedansi adalah cara yang dapat menentukan koefisien absorpsi bunyi dan impedansi akustik dari suatu bahan dengan sederhana dan praktis, karena hanya menggunakan sampel seluas penampang tabung. Metode ini sangatlah sesuai dengan kajian-kajian teoritis (Baranek, 1993). Metode reverberasi sabine adalah cara yang dapat menentukan koefisien absorpsi bunyi dan impedansi akustik dari suatu bahan menggunakan banyak material akustik untuk menutupi seluruh ruangan yang dirancang. Metode ini sangatlah sesuai dengan keadaan yang real. (Doelle, 1986).

Salah satu jenis material akustik bunyi adalah shunda plafon. Struktur shunda plafon menyerupai penyerap panel berongga. Shunda plafon termasuk jenis plafon yang tidak membahayakan bagi kesehatan karena terbuat dari bahan polimer jika digunakan untuk plafon ruangan. Shunda plafon dibuat dari bahan PVC yang sangat ringan dan memiliki banyak keunggulan diantaranya tahan air, anti rayap dan tidak merambat api (*flame retardant*) dan juga merupakan jawaban

atas kekurangan dari material plafon lainnya yang tersedia saat ini (<http://shundaplafon-plafonshundapvc.blogspot.co.id/2015/06>).

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk menentukan koefisien absorpsi bunyi dari bahan polimer dan serat alam. Sriwigiyatno (2006), telah meneliti pengaruh kolom udara terhadap nilai koefisien absorpsi bunyi pada dinding partikel menggunakan metode tabung impedansi. Hasilnya nilai koefisien absorpsi akan meningkat pada rentang frekuensi 500 sampai 1000 Hz sejalan dengan bertambahnya diameter lubang dinding partisi dan bertambahnya ketebalan dari dinding partisi. Nurdiana (2011) telah meneliti tentang studi karakterisasi penyerapan suara pada komposit polimer dengan serat rookwool menggunakan metode reverberation room. Hasilnya nilai koefisien absorpsi terbesar terjadi pada frekuensi 100 Hz dan nilai koefisien terkecil terjadi pada frekuensi 315 Hz.

Sheng (2012) telah meneliti tentang tujuh lubang serat polyester berongga (SHPF) sebagai penguat dalam penyerapan bunyi pada komposit polietilena terklorinasi (CPE) menggunakan metode tabung impedansi. Hasil penelitiannya penambahan SHPF kedalam CPE membuat meningkatnya nilai koefisien absorpsi bunyi. Fatkhurrohman (2013), meneliti tentang tingkat redaman bunyi suatu bahan (triplek, gypsum dan Styrofoam). Hasil yang diperoleh yaitu koefisien absorpsi bunyi yang terbesar pada frekuensi 600 – 1000 Hz adalah gypsum.

Zhongbin (2015) telah meneliti tentang kemampuan penyerapan bunyi dari plastik multi layer film (MCF) dengan metode tabung impedansi. Hasil yang diperoleh bahwa plastik multi layer film (MCF) memiliki nilai koefisien absorpsi bunyi lebih baik dari bahan berpori dan panel berlubang pada frekuensi rendah.

Nilai koefisien absorpsi bunyi pada suatu material akustik sangatlah penting dalam perancangan sebuah ruangan. Dari sekian banyak penelitian yang telah dilakukan material yang digunakan sebagai sampel uji hanyalah berbahan dasar polimer belum ada yang menggunakan sampel plafon PVC. Plafon PVC yang ada di pasaran tidak ada yang mencantumkan nilai koefisien absorpsinya sebagai rujukan bagi konsumen terutama shunda plafon. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur nilai koefisien absorpsi dan impedansi akustik menggunakan metode tabung impedansi dari shunda plafon sebagai pertimbangan dalam perancangan ruangan.

1.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu menentukan karakteristik koefisien absorpsi dan impedansi akustik dari Shunda Plafon berdasarkan ukuran sisi penampang lintang rongga. Manfaat penelitian ini adalah dengan adanya nilai koefisien absorpsi bunyi dan impedansi akustik, Shunda Plafon dapat menjadi rujukan untuk perancangan ruangan dalam mengurangi kebisingan dalam sebuah ruangan.

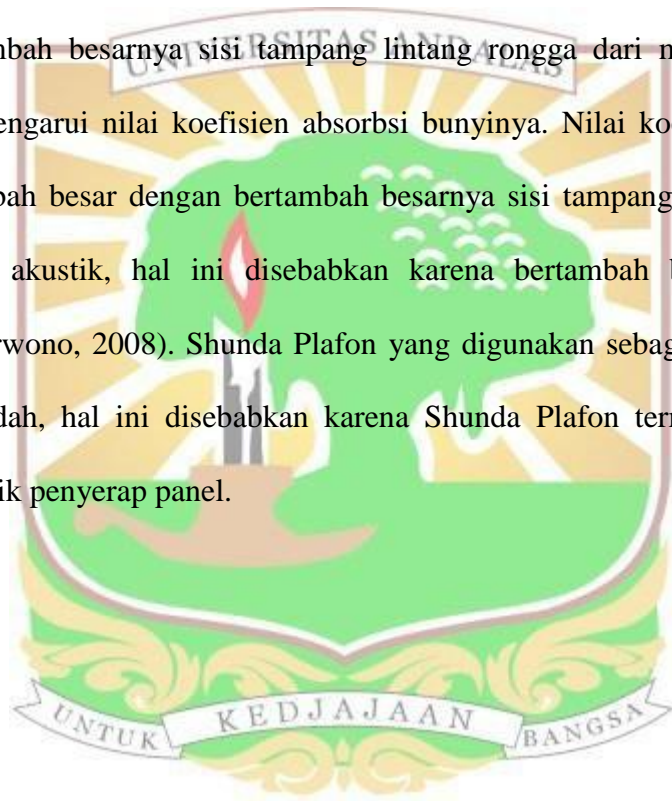
1.3 Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian

Penelitian ini menggunakan material Shunda Plafon yang di produksi oleh PT Shunda Sucai Indonesia. Material Shunda Plafon yang digunakan memiliki bentuk permukaan yang sama dan sisi tampang lintang rongga yang berbeda yaitu 5, 6, 7, 8, dan 9 mm. Ukuran ini dipilih karena yang banyak beredar di pasaran. Metode yang digunakan yaitu metode tabung impedansi bunyi dengan menggunakan frekuensi 1000, 2000, 4000, 8000, dan 16000 Hz. Frekuensi 1000

Hz dipilih karena frekuensi ini adalah frekuensi normal yang dapat didengar oleh telinga manusia, sedangkan frekuensi 16000 Hz adalah frekuensi ambang atas yang dapat didengar oleh telinga manusia dewasa (Latifah, 2015). Frekuensi 2000 Hz, 4000 Hz, 8000 Hz adalah frekuensi oktaf yang sering digunakan dalam penelitian tentang akustik lingkungan (Doelle, 1986).

1.4 Hipotesis

Bertambah besarnya sisi tampang lintang rongga dari material Shunda Plafon mempengaruhi nilai koefisien absorpsi bunyinya. Nilai koefisien absorpsi bunyi bertambah besar dengan bertambah besarnya sisi tampang lintang rongga dari material akustik, hal ini disebabkan karena bertambah besarnya ruang resonansi (Sarwono, 2008). Shunda Plafon yang digunakan sebagai sampel pada frekuensi rendah, hal ini disebabkan karena Shunda Plafon termasuk kedalam material akustik penyerap panel.



BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Ruang Lingkup Akustik

Kata akustik berasal dari bahasa Yunani yaitu *akoustikos*, yang artinya segala sesuatu yang bersangkutan dengan pendengaran pada suatu kondisi ruang yang dapat mempengaruhi mutu bunyi. Menurut Satwiko (2009), akustik adalah ilmu yang mempelajari tentang suara atau bunyi. Akustik dalam arsitektur sering dibagi menjadi akustika ruang (*room acoustic*) yang menangani bunyi yang dikehendaki dan kontrol kebisingan (*noise control*) yang menangani bunyi yang tak dikehendaki. Menurut Ganijanti (2011), akustik dapat dikelompokkan menjadi tiga macam yaitu:

- a. Akustik listrik, yang berhubungan dengan metode listrik dari bunyi untuk merancang instrumen akustikal misalnya mikrofon, pengeras suara, amplifier.
- b. Akustik bangunan, yang berhubungan dengan rancangan dan konstruksi ruangan kedap suara, gedung dan ruang-ruang tertutup lainnya seperti studio.
- c. Akustik musik, yang berhubungan langsung dengan bunyi yang berasal dari alat-alat musik seperti pada gedung untuk konser.

2.2 Konsep Dasar Tentang Bunyi

Bunyi secara harfiah dapat diartikan sebagai sesuatu yang kita dengar. Bunyi merupakan hasil getaran dari partikel-partikel yang berada di udara dan energi yang terkandung dalam bunyi dapat meningkat secara cepat dan dapat menempuh jarak yang sangat jauh (Egan, 1976).

Menurut Doelle, 1986 kata bunyi mempunyai dua definisi :

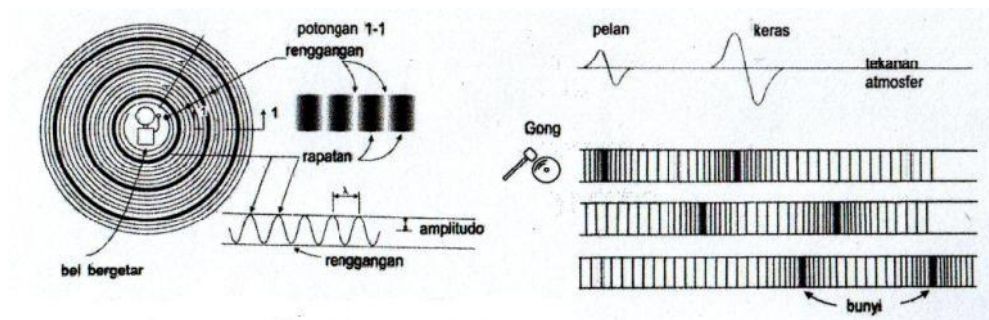
- a. Secara fisis, bunyi adalah penyimpangan tekanan, pergeseran partikel dalam medium elastik seperti udara, yang disebut juga bunyi obyektif.
- b. Secara fisiologis, bunyi adalah sensasi pendengaran yang disebabkan penyimpangan fisis yang disebut juga bunyi subyektif .

Secara psikologi, bunyi didefinisikan sebagai hasil dari variasi-variasi tekanan udara yang berlaku pada permukaan gendang telinga mengubah tekanan ini menjadi sinyal-sinyal elektrik dan diterima otak sebagai bunyi. Bunyi juga dapat didefinisikan sebagai gangguan fisik dalam media yang dapat dideteksi oleh telinga manusia. Pengertian ini menetapkan kebutuhan akan adanya media yang memiliki tekanan dan elastisitas sebagai media pemindah gelombang bunyi (Giancoli, 2001).

2.2.1 Gelombang Bunyi

Gelombang bunyi adalah gelombang yang dirambatkan sebagai gelombang mekanik longitudinal yang dapat menjalar dalam medium padat, cair dan gas. Medium gelombang bunyi ini adalah molekul yang membentuk bahan medium mekanik ini (Sutrisno, 1988). Gelombang bunyi ini merupakan getaran molekul-molekul zat dan saling beradu satu sama lain namun demikian zat tersebut terkordinasi menghasilkan gelombang serta mentransmisikan energi bahkan tidak pernah terjadi perpindahan partikel (Halliday , 1992). Bunyi terjadi karena adanya benda yang bergetar yang menimbulkan gesekan dengan zat di sekitarnya. Getaran atau gerakan objek tersebut kemudian menyentuh partikel zat yang ada di dekatnya, zat ini dapat berupa gas, cair atau padat tergantung dari

letak objek yang bergetar. Partikel zat yang pertama tersentuh atau yang paling dekat dengan objek, akan meneruskan energi yang diterimanya ke partikel di sebelahnya, demikian seterusnya partikel-partikel zat akan saling bersentuhan sehingga membentuk rapatan dan renggangan yang dapat digambarkan sebagai gelombang yang merambat seperti yang disajikan pada Gambar 2.1 (Stein, 1986).



Gambar 2.1 Terjadinya bunyi dan perambatannya
(Sumber : Stein, 1986).

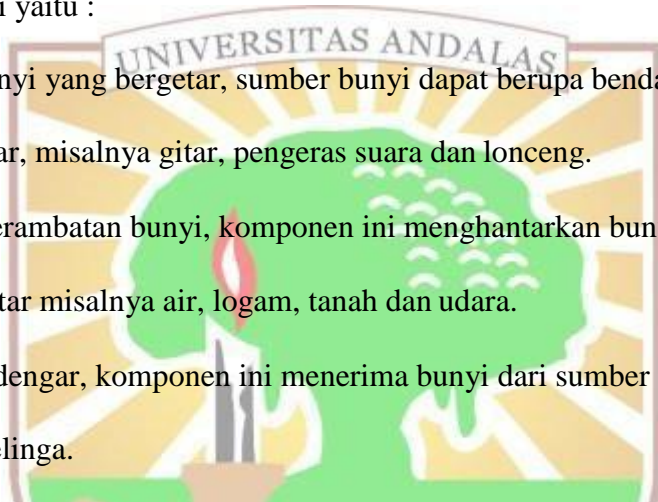
Gelombang bunyi merupakan gelombang longitudinal, yaitu gelombang yang terdiri atas partikel-partikel yang berosilasi searah dengan gerak gelombang tersebut, membentuk daerah bertekanan tinggi dan rendah atau rapatan dan renggangan. Partikel yang saling berdesakan akan menghasilkan gelombang bertekanan tinggi, sedangkan molekul yang meregang akan menghasilkan gelombang bertekanan rendah. Kedua jenis gelombang ini menyebar dari sumber bunyi dan bergerak secara bergantian pada medium. Gelombang bunyi dapat bergerak melalui zat padat, zat cair, dan gas, tetapi tidak bisa melalui vakum, karena di tempat vakum tidak ada partikel zat yang akan mentransmisikan getaran (Sear dan Zemansky 2001).

Gelombang bunyi berdasarkan daya pendengaran manusia dibedakan menjadi menjadi tiga, yaitu infrasonik, audiosonik dan ultrasonik. Infrasonik yaitu

gelombang bunyi yang memiliki frekuensi di bawah 20 Hz. Audiosonik yaitu daerah gelombang bunyi yang dapat didengar oleh telinga manusia yang memiliki frekuensi berkisar antara 20 hingga 20.000 Hz. Ultrasonik yaitu gelombang bunyi yang memiliki frekuensi di atas 20.000 Hz. Baik gelombang infrasonik maupun ultrasonik tidak dapat didengar oleh telinga manusia (Sutrisno, 1988).

Menurut Latifah (2015), agar bunyi terdengar ada tiga komponen yang harus terpenuhi yaitu :

- a. Sumber bunyi yang bergetar, sumber bunyi dapat berupa benda-benda yang ada disekitar, misalnya gitar, pengeras suara dan lonceng.
- b. Medium perambatan bunyi, komponen ini menghantarkan bunyi dari sumber yang bergetar misalnya air, logam, tanah dan udara.
- c. Indera pendengar, komponen ini menerima bunyi dari sumber yang bergetar misalnya telinga.



Pada umumnya, bunyi memiliki tiga sifat, yaitu tinggi rendah bunyi, kuat lemah bunyi, dan warna bunyi. Tinggi rendah bunyi adalah kondisi gelombang bunyi yang diterima oleh telinga manusia berdasarkan frekuensi atau jumlah getaran per detik. Kuat lemah atau intensitas bunyi adalah kondisi gelombang bunyi yang diterima oleh telinga manusia berdasarkan amplitudo dari gelombang tersebut. Warna bunyi adalah bunyi yang diterima oleh alat pendengaran berdasarkan sumber getarannya (Mediastika, 2005).

2.2.2 Perambatan Bunyi

Getaran objek yang menjadi sumber bunyi akan menyentuh atau menekan molekul- molekul di udara yang ada disekitarnya sehingga terjadi perubahan

tekanan yang cepat di udara. Kejadian ini dapat disebut sebagai perambatan gelombang bunyi. Peristiwa perambatan gelombang bunyi dapat diukur kecepatannya. Kecepatan rambat yang umum digunakan adalah 340 m/det, yaitu kecepatan rambat bunyi pada medium udara pada suhu berkisar 16°C. kecepatan ini sangat bergantung pada jenis atau susunan medium perambatan sumber bunyi serta suhu medium tersebut seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1 (Mediastika, 2009).

Tabel 2.1 Kecepatan rambat bunyi menurut medium rambatnya

Medium	Kecepatan Rambat Bunyi (v)
Udara pada temperatur -20°C	319,3 m/det
Udara pada temperatur 0°C	331,8 m/det
Udara pada temperatur 10°C	337,4 m/det
Udara pada temperatur 20°C	343,8 m/det
Udara pada temperatur 30°C	349,6 m/det
Gas O ₂	316 m/det
Gas CO ₂	259 m/det
Gas Hidrogen	1284 m/det
Air murni	1437 m/det
Air laut	1541 m/det
Baja	6100 m/det

(Sumber : Mediastika, 2009)

Bunyi merambat lebih cepat pada medium yang molekulnya lebih stabil pada suhu yang lebih tinggi. Kecepatan rambat gelombang ditentukan oleh frekuensi dan panjang gelombangnya, yang ditunjukkan pada Persamaan 2.1.

$$v = f \cdot \lambda \quad (2.1)$$

Dengan f adalah frekuensi (Hz), λ adalah panjang gelombang (m) dan v adalah kecepatan (m/det). Pada lokasi tertentu digunakan nilai v yang tetap, sebagai contoh 340 m/det, hal ini menunjukkan bahwa ketika suatu sumber bunyi memiliki frekuensi rendah maka panjang gelombangnya akan besar. Sebaliknya

bila frekuensi tinggi maka panjang gelombang menjadi kecil, hal ini disebabkan karena v yang tetap.

2.2.3 Frekuensi Bunyi

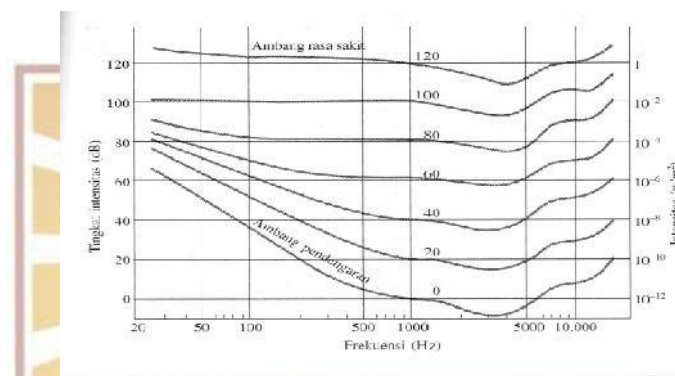
Ketika sumber bunyi bergetar, maka getaran yang terjadi setiap detik disebut frekuensi dan diukur dalam satuan Hertz (Hz). Telinga manusia umumnya mampu mendengarkan bunyi pada jangkauan 20 Hz sebagai frekuensi terendah dan 20000 Hz sebagai frekuensi tertinggi. Telinga manusia sangat peka atau sensitif pada bunyi dengan frekuensi 1000 Hz s/d 5000 Hz, sementara itu telinga kurang peka pada bunyi berfrekuensi rendah. Bunyi terdiri dari frekuensi komponen-komponen frekuensi rendah, tengah dan tinggi. Frekuensi yang digunakan dalam akustik yaitu frekuensi oktaf-band yang terdiri dari 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz dan seterusnya. Dengan demikian material akustik dan teknik perancangan pengendalian bunyi memberikan perilaku yang berbeda untuk tiap-tiap frekuensi bunyi (Doelle, 1986).

2.2.4 Intensitas Bunyi

Intensitas adalah sesuatu yang dapat dinyatakan secara matematis dan merupakan suatu besaran fisis gelombang. Intensitas dapat mempengaruhi kuat-lemahnya bunyi yang terdengar. Dengan kata lain, semakin besar intensitas bunyi maka suara yang terdengar pun akan semakin keras. Intensitas gelombang bunyi tersebut dapat dihitung dengan persamaan (2.2) sebagai berikut:

$$I = \frac{P_o^2}{2\rho_o v} \quad (2.2)$$

Dengan I adalah intensitas bunyi, P_0 adalah amplitudo tekanan, v adalah cepat rambat bunyi dan ρ adalah massa jenis. Amplitudo dapat menentukan intensitas dan dapat menyatakan kuat-lemahnya bunyi. Bunyi yang nyaman ialah bunyi dengan frekuensi diantara frekuensi ambang batas dengar, jika lebih maka bunyi tersebut dapat merusak fungsi gendang telinga. Batas-batas audiogram bunyi yang dapat di dengar dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut :



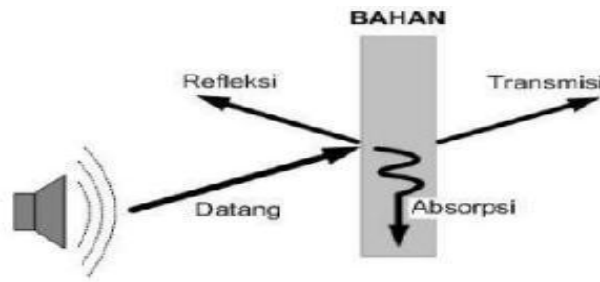
Gambar 2.2. Batas-batas audiogram untuk bunyi yang dapat didengar
(Sumber : Giancoli, 2001)

Dari gambar dapat dilihat bahwa suatu bunyi dapat didengar pada saat :

Frekuensi	16 - 20000 Hz
Intensitas	$10^{-12} - 10^0 \text{ W m}^{-2}$
Tingkat intensitas desibel	0 - 120 dB
Tekanan	$2 \cdot 10^{-5} - 20 \text{ N m}^{-2}$

2.2.5 Sifat Bunyi Dalam Ruangan

Ketika gelombang bunyi menumbuk suatu permukaan atau merambat dari medium 1 ke medium 2 yang berbeda jenisnya, maka secara umum gelombang tersebut akan dipantulkan (*Reflection*), diserap (*Absorbtion*) dan diteruskan (*transmission*), seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.3



Gambar 2.3 Peristiwa terjadinya refleksi, absorpsi dan transmisi pada suatu benda. (Sumber: Rujigrok, 1993)

- a. Pemantulan Bunyi (*Sound Reflection*) adalah pemantulan kembali dari gelombang bunyi yang menumbuk pada suatu permukaan, dimana sudut datang sama besar dengan sudut pantul. Sifat dan bentuk permukaan pemantulan menentukan gejala pemantulan bunyi. Permukaan yang keras, tegar dan rata memantulkan hampir semua energi atau daya yang jatuh padanya.
- b. Penyerapan Bunyi (*Sound Absorption*) adalah peristiwa terjadinya penyerapan suara oleh suatu bidang permukaan. Besarnya nilai absorpsi sangat bergantung pada kepejalan atau kepadatan benda tersebut. Makin berpori atau makin kurang kepejalannya benda tersebut maka makin besar nilai absorpsinya.
- c. Transmisi Bunyi adalah peristiwa penerusan dari berkas suara yang datang pada suatu bidang permukaan menuju ke bagian sebaliknya dari arah datangnya berkas suara tersebut. Umumnya transmisi suara terjadi karena adanya celah, retak, cacat pada material bidang batas yang menyebabkan material tidak homogen. Kemungkinan lain transmisi juga terjadi ketika bidang batas cukup ringan, tipis dan tidak dipasang permanen.

Menurut Mediastika (2005), apabila gelombang bunyi menumbuk dinding-dinding suatu ruangan, selain mengalami peristiwa refleksi, absorpsi dan transmisi bunyi juga bisa mengalami peristiwa lain seperti refraksi, difusi, difraksi, resonansi, dan reverberasi atau dengung.

- a Refraksi adalah peristiwa terjadinya pembelokan atau penyimpangan dari berkas bunyi yang di transmisikan melalui bidang permukaan. Penyimpangan bunyi tersebut dapat mendekati atau menjauhi garis normal, tergantung pada perbedaan jenis kepejalan atau kepadatan dari zat perantaranya.
- b Difusi adalah gejala terjadinya pemantulan yang menyebar, karena gelombang bunyi menimpa permukaan yang tidak rata. Gejala ini dipakai untuk menghilangkan terjadinya *flutter-echoes* atau pemantulan berulang-ulang ketika bunyi memantul mengikuti hukum sudut pantul sama dengan sudut datang.
- c Difraksi adalah peristiwa pembelokan atau penyimpangan arah dari suatu berkas bunyi yang lewat melalui celah sempit atau lubang pada suatu permukaan dimana berkas suara tersebut diterima.
- d Resonansi adalah peristiwa ikut bergetarnya objek yang berada pada jarak tertentu dari sebuah sumber bunyi yang bergetar karena objek yang ikut bergetar tersebut memiliki kesamaan atau kemiripan frekuensi dengan objek sumber bunyi yang bergetar.
- e Reverberation adalah perpanjangan bunyi yang disebut dengan dengung. Bila suatu sumber bunyi di dalam ruangan yang tengah berbunyi dihentikan secara tiba-tiba, bunyi yang telah tersebar ke dalam ruangan tersebut tidak serta

merta ikut berhenti. Hal ini disebabkan oleh sifat-sifat permukaan bidang batas pembentuk ruangan yang cenderung memiliki kemampuan memantulkan bunyi yang muncul dari sumber.

2.3 Jenis - Jenis Kebisingan dan Upaya Pengendalian Kebisingan

Kebisingan adalah bunyi atau suara yang tidak dikehendaki dan dapat mengganggu kesehatan serta kenyamanan lingkungan yang dinyatakan dalam satuan desibel (dB). Kebisingan juga dapat didefinisikan sebagai bunyi yang tidak disukai, suara yang mengganggu atau bunyi yang menjengkelkan. Berdasarkan Keputusan Menteri Tenaga Kerja, kebisingan adalah suara yang tidak dikehendaki yang bersumber dari alat-alat, proses produksi yang pada tingkat tertentu dapat menimbulkan gangguan kesehatan dan pendengaran (Suma'mur, 2009). Bunyi yang menimbulkan kebisingan disebabkan oleh sumber suara yang bergetar. Getaran sumber suara ini mengganggu keseimbangan molekul udara sekitarnya sehingga molekul-molekul udara ikut bergetar. Getaran sumber ini menyebabkan terjadinya gelombang rambatan energi mekanis dalam medium udara (Giancoli, 2001).

Kebisingan diatas tingkat yang aman dapat menyebabkan sejumlah dampak bagi kesehatan, yaitu: gangguan psikologi, meningkatkan emosi, tidur terganggu, ketidak mampuan untuk berkonsentrasi dan hilangnya produktivitas. Selain mempengaruhi kesehatan, faktor kebisingan tersebut dapat mempengaruhi proses kerja maupun hasil kerja pada suatu perusahaan. Terlebih lagi apabila sedang turun hujan, tentu kebisingan dapat mempengaruhi kualitas pembicaraan

dalam ruang (Suma'mur, 2009). Selain hujan, kebisingan dapat ditimbulkan oleh getaran dari berbagai sumber seperti yang terdapat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Skala Taraf Intensitas Kebisingan dan Sumbernya

Skala	Taraf Intensitas (dB)	Sumber Kebisingan
Kerusakan alat pendengaran	120	Batas dengar tertinggi
Menyebabkan tuli	100 – 110	Halilintar, meriam, mesin uap
Sangat hiruk	80 – 90	Hiruk pikuk jalan raya, perusahaan sangat gaduh, peluit polisi
Kuat	60 – 70	Kantor bising, jalanan pada umumnya, radio, perusahaan
Sedang	40 – 50	Rumah gaduh, kantor pada umumnya, percakapan kuat, radio perlahan
Tenang	20 – 30	Rumah tenang, kantor perorangan, Auditorium, percakapan
Sangat tenang	10 – 20	Suara daun berbisik (batas pendengaran terendah)

(Sumber : Suma'mur, 2009)

Menurut Sutanto (2015), jenis bising pada ruangan secara umum terbagi atas dua yaitu:

- Bising internal adalah bising yang berasal dari aktivitas manusia yang dilakukan dalam ruangan, sumber bisingnya antara lain percakapan antar manusia, batuk, bersin, dan pergeseran perabotan yang ada didalam ruangan.
- Bising eksternal adalah bising yang berasal luar ruangan, sumber bisingnya antara lain suara dari alat-alat transportasi, aliran air hujan, deru angin, dan suara binatang.

Menurut Latifah (2015) jenis perambatan kebisingan dapat dibedakan menurut medium yang dilalui gelombang bunyi, yaitu:

- Airborne Sound*, adalah perambatan gelombang bunyi melalui medium udara.

- b. *Structureborne Sound*, adalah istilah yang secara umum dipakai untuk proses perambatan bunyi melalui benda padat dalam hal ini struktur bangunan seperti komponen plafon, dinding dan lantai.

Bunyi yang merambat secara *airborne* dapat berubah menjadi *structureborne* ketika terjadi resonansi pada elemen bangunan yang disebabkan oleh dua kemungkinan, yaitu kalau elemen bangunan memiliki frekuensi yang sama atau hampir sama dengan frekuensi bunyi yang merambat atau kalau sumber bunyi memiliki frekuensi amat rendah yang memiliki getaran sangat hebat. Resonansi yang hebat memungkinkan perambatan berubah lagi secara *airborne* (Latifah, 2015).

Solusi agar dapat mengurangi kebisingan bunyi di dalam yang merambat secara *Airborne* ialah memakai material akustik yang berfungsi sebagai material penghalang bunyi, yang memiliki karakteristik yaitu tebal, berat, dan mempunyai permukaan sempurna tanpa cacat. Sedangkan untuk mengatasi kebisingan yang merambat secara *structureborne* ialah menggunakan material akustik yang berfungsi sebagai material penyerap bunyi seperti bahan berpori, penyerap panel dan resonator rongga. Selain dengan sistem diskontinu, perambatan secara *structureborne* juga dapat diminimalkan dengan penggunaan elemen pembatas ruangan yang disusun berganda, seperti misalnya dinding ganda, lantai ganda, atau plafon gantung (Latifah, 2015).

Solusi lain untuk menanggulangi kebisingan secara *airborne* maupun *structureborne* adalah dengan cara insulasi. Prinsip ini merupakan penggabungan dari refleksi, absorpsi, dan peredaman getaran yang mengikuti kebisingan. Pada

prinsip insulasi terjadi penyebaran gelombang bunyi yang jauh lebih besar dari pada proses absorpsi (Sutanto, 2015)

Menurut Doelle (1986), material insulasi harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

- a. Berat, material berat mampu meredam getaran yang menyimpannya berkat beratnya sendiri.
- b. Keutuhan material, sangat bergantung pada kerapatan bahan dan keseragaman material sehingga akan memiliki tingkat insulasi yang tetap dan stabil.
- c. Elastisitas, material yang memiliki elastisitas tinggi akan mengurangi timbulnya resonansi. Namun kurang cocok dipakai sebagai konstruksi bangunan yang kuat

2.4 Material Akustik

Material akustik adalah suatu bahan yang dapat menyerap bunyi yang datang dari sumber bunyi. Besarnya bunyi yang diserap pada setiap bahan berbeda-beda tergantung dari penyusun bahan tersebut. Menurut Lewis dan Douglas (1993) material akustik dapat dibagi menjadi tiga kelompok dasar yaitu: material penyerap (*absorbing material*), material penghalang (*barrier material*), material peredam (*damping material*).

Material penyerap bunyi adalah material yang dapat menyerap bunyi yang datang ketika gelombang bunyi mengenai material tersebut. Ketika gelombang bunyi mengenai partikel-partikel didalam material, maka sebagian bunyi akan diserap dan sebagian lagi akan dipantulkan. Material penyerap bunyi terdiri dari material berpori, material penyerap panel dan material resonator rongga (Lewis

dan Douglas, 1993). Suatu material dapat dikategorikan sebagai penyerap bunyi apabila material tersebut memiliki nilai koefisien absorpsi bunyi minimum sebesar 0.15 (ISO 11654, 1997). Salah satu ciri penyerap bunyi yang baik pada frekuensi rendah adalah memiliki ruang resonansi yang besar (Sarwono, 2008).

Bahan atau material penyerapan bunyi dapat dipasang pada dinding, lantai dan plafon dari sebuah ruangan. Menurut Doelle, (1986) bahan-bahan tersebut dapat diklasifikasikan menjadi tiga yaitu :

a. Bahan berpori

Bahan berpori adalah sebuah material yang memiliki pori-pori yang saling berhubungan. Penyerap yang terbuat dari material berpori bermanfaat untuk menyerap bunyi yang berfrekuensi tinggi. Adapun contoh bahan berpori seperti papan serat (*fiber board*), plesteran lembut (*soft plaster*), mineral wools, dan selimut isolasi. Sebagian energi bunyi datang diubah menjadi energi panas di dalam pori-pori lalu diserap oleh bahan berpori dan sebagian lagi dipantulkan (Doelle, 1986).

b. Penyerap panel

Penyerap panel terbuat dari lembaran-lembaran atau papan tipis yang mungkin saja tidak memiliki permukaan yang berpori. Penyerap panel ini cocok untuk menyerap bunyi yang berfrekuensi rendah. Penyerap panel dipasang pada dinding dan plafon, pemasangannya tidak menempel pada elemen ruang secara langsung tetapi pada jarak tertentu berisi udara. Pada saat gelombang bunyi datang menumbuk panel, panel akan ikut bergetar sesuai dengan

frekuensi gelombang bunyi yang datang dan selanjutnya meneruskan getaran tersebut pada ruang berisi udara di belakangnya (Mediastika, 2005).

c. Resonator rongga atau Helmholtz

Resonator rongga adalah rongga penyerap yang bermanfaat untuk menyerap bunyi pada frekuensi khusus yang telah diketahui sebelumnya. Resonator rongga terdiri atas sebuah lubang sempit yang diikuti dengan ruang tertutup di belakangnya. Penyerapan semacam ini sangat efektif bekerja dengan cara menyerap atau menangkap bunyi yang datang masuk kedalam rongga tersebut (Mediastika, 2005).

Material penghalang bunyi adalah material yang dapat menghalangi bunyi yang masuk kedalam material. Sifat dasar dari material penghalang adalah massanya yang padat. Parameter yang digunakan untuk menjelaskan sifat isolasi bunyi atau kemampuan menghentikan bunyi adalah koefisien transmisi (τ). Koefisien transmisi merupakan perbandingan dari bunyi yang ditransmisikan melalui suatu material terhadap daya bunyi yang datang. Semakin kecil nilai transmisinya semakin bagus sifat isolasinya (Lewis dan Douglas, 1993).

Material Peredam bunyi adalah material yang mempunyai sifat dapat meredam gelombang bunyi. Material redaman ini merupakan salah satu material yang sangat dibutuhkan dalam desain akustik sebuah ruangan. Material yang dapat digunakan sebagai peredam adalah lapisan plastik, polimer, logam, apoxy atau lem yang relatif tipis yang dapat digunakan untuk melapisi suatu benda (Lewis dan Douglas, 1993).

Berdasarkan fungsinya, Doelle (1986) membedakan material akustik sebagai peredam menjadi dua bagian yaitu Peredam insulasi bunyi (*sound insulation*) dan Peredam serap bunyi (*sound absorbing*).

Peredam insulasi bunyi (*sound insulation*) berfungsi untuk mengurangi kebocoran suara dari satu ruangan ke ruangan lainnya. Peredam insulasi suara merupakan bahan yang dapat menginsulasi perpindahan suara. Material peredam insulasi bunyi umumnya memiliki karakteristik yaitu berat, tidak berpori, permukaan utuh tanpa cacat, dan elastik (Mediastika, 2005),.

Peredam serap bunyi (*sound absorbing*) berfungsi untuk mengurangi pantulan yang menyebabkan gema pada sebuah ruangan. Bahan ini mampu menyerap energi suara. Doelle (1986) mengemukakan bahwa material peredam serap bunyi umumnya bersifat ringan, berpori atau berongga, memiliki permukaan lunak atau berselaput, dan tidak dapat meredam getaran.

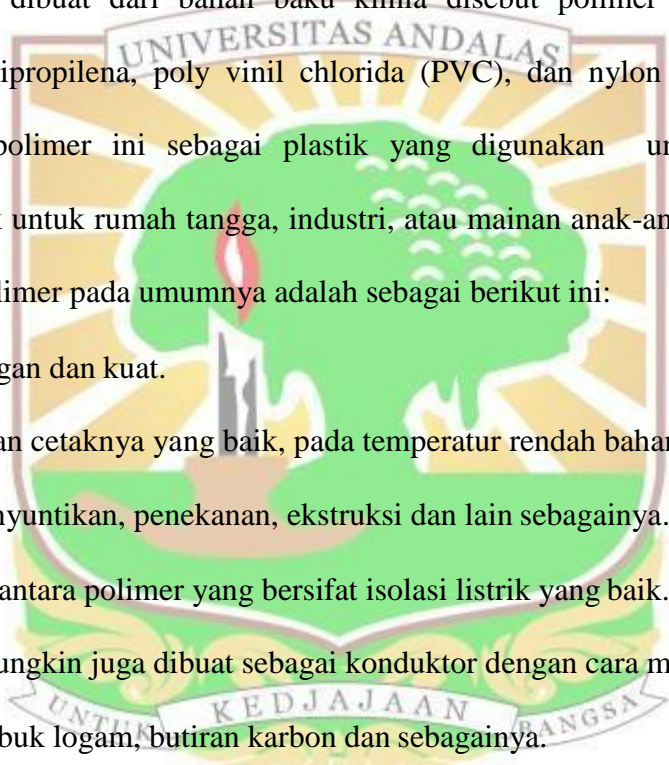
2.4.1 Defenisi Polimer

Polimer adalah molekul raksasa atau makromolekul yang tersusun dari satuan-satuan kimia sederhana yang disebut *monomer*. penggolongan polimer berdasarkan asalnya , yaitu yang berasal dari alam atau polimer alam dan di polimer yang sengaja dibuat oleh manusia atau polimer sintetis (Kumar, 1998)

Polimer alam adalah senyawa yang dihasilkan dari proses metabolisme makhluk hidup. jumlahnya yang terbatas dan sifat polimer alam yang kurang stabil, mudah menyerap air, tidak stabil karena pemanasan dan sukar dibentuk menyebabkan penggunaanya amat terbatas. Contoh sederhana polimer alam seperti ; Amilum dalam beras, jagung dan kentang, pati, selulosa dalam kayu,

protein terdapat dalam daging dan karet alam diperoleh dari getah atau lateks pohon karet.

Polimer buatan dapat berupa polimer regenerasi dan polimer sintetis. Polimer regenerasi adalah polimer alam yang dimodifikasi. Contohnya rayon, yaitu serat sintetis yang dibuat dari kayu (selulosa). Polimer sintetis adalah polimer yang dibuat dari molekul sederhana (monomer) dalam pabrik atau polimer yang dibuat dari bahan baku kimia disebut polimer sintetis seperti polyetena, polipropilena, poly vinil chlorida (PVC), dan nylon (Smith, 1986). Kebanyakan polimer ini sebagai plastik yang digunakan untuk berbagai keperluan baik untuk rumah tangga, industri, atau mainan anak-anak. Sifat – sifat khas bahan polimer pada umumnya adalah sebagai berikut ini:

- 
- a Produk ringan dan kuat.
 - b Kemampuan cetaknya yang baik, pada temperatur rendah bahan dapat dicetak dengan penyuntikan, penekanan, ekstruksi dan lain sebagainya.
 - c Banyak di antara polimer yang bersifat isolasi listrik yang baik.
 - d Polimer mungkin juga dibuat sebagai konduktor dengan cara mencampurnya dengan serbuk logam, butiran karbon dan sebagainya.
 - e Memiliki ketahanan yang baik terhadap air dan zat kimia.
 - f Produk – produk dengan sifat yang cukup berbeda dapat dibuat tergantung pada cara pembuatannya.
 - g Umumnya bahan polimer memiliki harga yang lebih murah.

2.4.2 Jenis-jenis Plafon

Plafon merupakan daerah pembatas antara atap dengan ruangan di bawahnya atau bisa dikatakan sebagai langit-langit rumah. Fungsi utama plafon adalah menjaga kondisi suhu di dalam ruangan agar tidak terlalu panas dan juga bisa melindungi ruangan dari rembesan air yang masuk dari atap rumah. Selain fungsi utama tersebut dengan menggunakan plafon juga juga dapat dijadikan sebagai acuan nilai akustik yang ada pada suatu ruangan (Sarwono, 2008).

Adapun jenis-jenis plafon terdiri dari berbagai macam seperti: plafon akustik, tripleks, GRC (*Glassfiber Reinforced Cement Board*), kayu (*Lambersering*), Eternit atau Asbes, Fiber, Gypsum, dan PVC (*Polivinil klorida*).

2.4.3 Shunda plafon PVC

Shunda plafon adalah jenis plafon yang di buat dari bahan PVC. Bahan PVC adalah bahan yang sering dipergunakan dalam pembuatan material pipa saluran air. Salah satu produsen plafon berbahan dasar PVC di Indonesia adalah PT. Shunda Sucai Indonesia. Shunda plafon merupakan jenis plafon yang dibuat dengan system aplikasi praktis (*knock down*) sehingga shunda plafon mudah dibongkar pasang dan dapat dirancang sesuai keinginan (<http://shundaplafon-plafonshundapvc.blogspot.co.id/2015/06>).

Shunda plafon termasuk kedalam bahan insulasi bunyi yang bentuknya menyerupai penyerap panel berongga, bahan insulasi bunyi berfungsi sebagai pengendali bising. Bahan insulasi bunyi mempunyai sifat: padat, keras, kaku, permukaannya licin, dapat menyerap bunyi, meneruskan bunyi dan memantulkan bunyi. Prinsip kerja material penyerap panel berongga adalah pada saat bunyi

datang menumbuk permukaan panel yang licin dan tidak berpori, maka permukaan panel akan ikut bergetar, selanjutnya meneruskan getaran tersebut pada rongga yang dibelakangnya. Energi bunyi yang diterima akan diserap atau diredam oleh panel dan diubah menjadi energi panas. Ruang udara yang terbentuk sebagai akibat dari sistem konstruksi nantinya akan berfungsi sebagai insulator bunyi dan penyalur panas yang baik.

2.5 Rasio Gelombang Tegak

Gelombang stasioner disebut juga gelombang berdiri atau gelombang tegak, merupakan jenis gelombang yang bentuk gelombangnya tidak bergerak melalui medium, namun tetap diam. Gelombang stasioner berlawanan dengan gelombang berjalan, yang bentuk gelombangnya bergerak melalui medium dengan kelajuan gelombang. Gelombang diam dihasilkan bila suatu gelombang berjalan dipantulkan kembali sepanjang lintasanya sendiri. Pada dua deret gelombang dengan frekuensi sama, memiliki kelajuan dan amplitudo yang sama, berjalan dalam arah yang berlawanan sepanjang sebuah tali.

Gelombang bunyi yang berada didalam tabung merambat sepanjang sumbu x dapat dikatakan sebagai gelombang bidang, dan secara matematis dapat dinyatakan pada Persamaan (2.3)

$$P = Ae^{i(\omega t - kx)} + Be^{i(\omega t + kx)} \quad (2.3)$$

Dengan A adalah amplitudo gelombang datang, B adalah amplitudo gelombang pantul, P adalah tekanan amplitudo, ω adalah frekuensi angular, t adalah waktu dan k adalah bilangan gelombang. Suku pertama dari persamaan (2.3) menyatakan gelombang yang merambat menuju arah sumbu x negatif

disebut sebagai gelombang datang pada permukaan material dan suku kedua menyatakan gelombang yang merambat ke arah sumbu x positif disebut sebagai gelombang pantul pada bidang material. Hasil interferensi akan membentuk gelombang tegak dengan titik amplitudo tekanan minimum atau simpul dan titik amplitudo tekanan maksimum atau perut.

Amplitudo tekanan maksimum dinyatakan dengan $A+B$ dan amplitudo tekanan minimum dinyatakan dengan $A-B$. Perbandingan amplitudo tekanan maksimum dengan tekanan minimum disebut dengan rasio gelombang tegak (*Standing Wave Ratio*) yang dinotasikan dengan SWR , secara matematis dinyatakan dengan Persamaan (2.4)

$$SWR = \frac{A+B}{A-B} \quad (2.4)$$

2.6 Koefisien Absorpsi bunyi

Koefisien absorpsi bunyi (α) adalah angka yang menunjukkan kemampuan material menyerap energi bunyi, yang besarnya dinyatakan dengan nilai 0 dan 1 . Jika koefisien absorpsi bunyi bernilai 0 artinya tidak ada bunyi yang diserap sedangkan jika koefisien absorpsi bunyi bernilai 1 artinya bunyi yang datang diserap sempurna oleh bahan, apabila nilai koefisien absorpsi bunyi tinggi maka material tersebut semakin baik digunakan sebagai penyerap di bidang akustik. Penyerapan energi bunyi oleh material berarti perubahan energi bunyi menjadi energi kinetik dan energi kalor. Energi kalor terbentuk karena adanya gesekan antar molekul saat bergetar (Doelle, 1986). Koefisien absorpsi bunyi disajikan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Koefisien Absorpsi bahan pada berbagai jangkauan frekuensi

Jenis Produk	Ketebalan panel (cm)	Kerapatan panel (g/cm ³)	Koefisien Absorpsi (α)			
			250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
Glasswool ^a	5	0,05	0,45	0,65	0,75	0,8
Rockwool ^a	5	0,08	0,29	0,52	0,83	0,91
Komersial Yumen Board ^b	1,5	0,5	0,17	0,12	0,27	-
Solid wood (<i>Maesopsis eminii</i> Engll) ^b	1,5	0,5	0,23	0,11	0,28	-

(Sumber : F. Asdrubali, 2007)

Koefisien absorpsi bunyi (α) dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.5

(Doelle, 1986).

$$\alpha = 1 - \left[\frac{SWR-1}{SWR+1} \right]^2 \quad (2.5)$$

Dalam mengukur nilai koefisien absorpsi bunyi dari sebuah materi dapat dilakukan dengan beberapa metode, antara lain :

a. Metode tabung impedansi (*Impedance Tube*)

Metode ini digunakan untuk mengukur koefisien absorpsi bunyi dari material-material akustik dengan praktis karena sampel berukuran kecil. Gelombang bunyi merambat tegak lurus pada permukaan material dengan jangkauan yang berbeda-beda frekuensi sesuai yang dibutuhkan. Metode ini sangat tepat untuk pekerjaan teoritik. Tabung impedansi adalah suatu tabung yang dirancang untuk mengukur parameter akustik suatu material dengan ukuran material uji yang kecil sesuai dengan ukuran tabung. Permukaan tabung yang halus mengakibatkan nilai atenuasi permukaan tabung akustik sangat kecil dan dapat diabaikan (Baranek, 1993).

b. Metode ruang dengung (*Reverbansi Sabine*)

Metode ini dilakukan di dalam ruang dengung (*reverberation chamber*). Ruang dengung adalah ruang khusus yang seluruh permukaannya bersifat sangat memantulkan dan menyebar. Metode ini, dilakukan 2 kali pengukuran RT (*Reverberation Time*) yaitu dalam kondisi ruang dengung kosong dan setelah bahan yang diukur dipasangkan pada salah satu permukaan ruang dengung misalnya pada lantai. Perbedaan RT ini kemudian dihitung harga koefisien absorpsi bunyi. Koefisien yang terukur tentu saja bukan hanya arah tegak lurus, tetapi arah datang suara secara keseluruhan (*random*). Harga koefisien absorpsi bunyi yang diukur dengan cara inilah yang biasanya digunakan sebagai standar koefisien absorpsi bahan akustik (Doelle, 1986).

2.7 Impedansi Akustik

Teori impedansi dalam bidang akustik pertama kali dikenalkan oleh ahli akustik A.G.Webster pada tahun 1919. Impedansi akustik dapat digunakan untuk menentukan jenis atau karakteristik medium yang dilalui oleh suatu gelombang. Selain itu impedansi gelombang akustik juga menentukan peristiwa-peristiwa suatu gelombang yang terjadi apabila suatu gelombang melewati bidang batas antara dua medium yang berbeda. Amplitudo gelombang yang dipantulkan maupun yang diteruskan tergantung pada impedansi akustik dari dua medium. Semakin besar perbedaan impedansi akustiknya, maka semakin besar pula amplitudo yang di pantulkan (Baranek, 1993).

Pada perkembangannya impedansi akustik ini berhasil mengaplikasikan secara analog dengan analisis dari rangkaian listrik. Menurut ilmu kelistrikan kita

mengenal istilah tegangan listrik (V) dan arus listrik (I). Perbandingan antara kedua besaran ini disebut dengan impedansi akustik. Seperti yang diperoleh oleh Persamaan (2.6)

$$Z = \frac{V}{I} \quad (2.6)$$

Secara umum impedansi akustik dari suatu zat alir yang sedang bergerak melalui suatu daerah seluas S merupakan hasil bagi dari tekanan akustik pada permukaan dengan kecepatan bunyi dalam volume tertentu, yaitu kecepatan disaat gelombang bunyi mengenai medium sehingga partikel bergetar dan kemudian mempengaruhi partikel berikutnya . secara matematis dinyatakan pada Persamaan (2.7) (Baranek, 1993).

$$Z_s = \frac{P_{(x)}}{U_{(x)}} \quad (2.7)$$

Dengan Z_s adalah impedansi akustik spesifik, $P_{(x)}$ adalah tekanan akustik pada jarak x (Pa) dan $U_{(x)}$ adalah kecepatan gelombang pada jarak x (m/s). Impedansi akustik dari gelombang yang merambat di dalam tabung dapat diketahui dengan cara meletakkan sebuah sumber bunyi pada salah satu ujung tabung dan sebuah reflektor pada ujung lainnya dengan koordinat $x = 0$. Jika dimensi penampang tabung cukup kecil, maka gelombang yang merambat dalam tabung dapat dianggap sebagai gelombang datang. Gelombang datang dari sumber dengan gelombang pantul dari sampel uji akan berinterferensi dan menghasilkan gelombang tegak. Tekanan $P_{(x)}$ pada suatu titik dalam tabung yang berjarak x dari permukaan sampel seperti pada Persamaan (2.8) (Baranek, 1993).

$$P_{(x)} = P_0 e^{-\psi + i\omega t} \cosh [-(\alpha(t) + ik)x + \psi_1 + i\psi_2] \quad (2.8)$$

dengan $\psi_1 + i\psi_2$ merupakan besaran kompleks yang berasosiasi dengan kondisi refleksi pada permukaan sampel uji, $\alpha(t)$ merupakan konstanta atenuasi sebagai akibat hilangnya energi pada dinding samping tabung dan udara, dan $k = \frac{\omega}{c}$ dengan ω adalah frekuensi angular dan c adalah kecepatan bunyi sedangkan P_0 merupakan tekanan akustik pada $x = 0$. Fungsi kecepatan osilasi partikel dinyatakan oleh Persamaan (2.9).

$$U(x) = \frac{P_0 e^{-\psi_1 + i\psi_2 t}}{\rho c} \left[1 - i \frac{\alpha(t)}{k} \right] \sinh [-(\alpha(t) + ik)x + \psi_1 + i\psi_2] \quad (2.9)$$

Berdasarkan definisi impedansi pada Persamaan 2.7, maka untuk mencari impedansi akustik dapat menggunakan Persamaan 2.8 dan 2.9 sehingga diperoleh Persamaan (2.10).

$$Z_s = \frac{\rho c \coth [-(\alpha(t) + ik)x + \psi_1 + i\psi_2]}{\left[1 - i \frac{\alpha(t)}{k} \right]} \quad (2.10)$$

Pada saat $x = 0$ yaitu pada permukaan sampel uji maka diperoleh Persamaan (2.11).

$$Z_s = \frac{\rho c}{\left[1 - i \frac{\alpha(t)}{k} \right]} \coth (\psi_1 + i\psi_2) \quad (2.11)$$

Pada umumnya $[\alpha(t)/k] \ll 1$, sehingga Persamaan 2.11 dapat disederhanakan menjadi Persamaan (2.12).

$$Z_s = \coth (\psi_1 + i\psi_2) \rho c \quad (2.12)$$

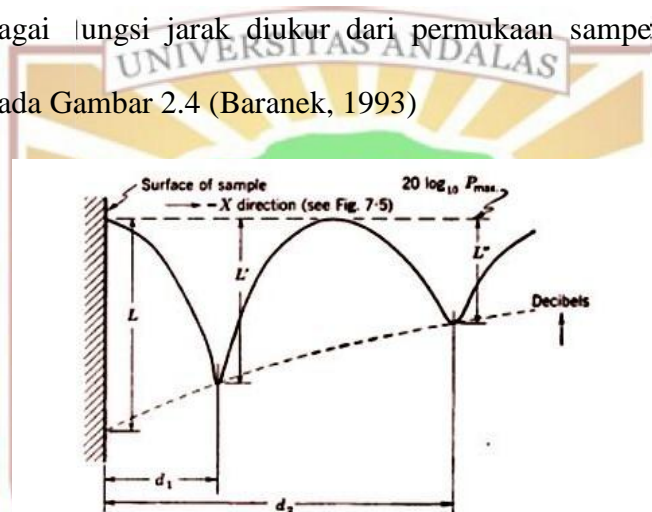
Untuk dapat menentukan impedansi sampel uji terlebih dahulu harus ditentukan nilai ψ_1 dan ψ_2 . Nilai ψ_1 adalah nilai real dari impedansi atau disebut juga nilai dari resistansinya. Nilai ψ_1 menunjukkan peristiwa interferensi yang terjadi didalam tabung. ψ_2 adalah nilai imajiner dari impedansi atau disebut juga nilai dari reaktansinya. Nilai ψ_2 menunjukkan besarnya energi yang hilang dari

sumber gelombang bunyi datang (Baranek, 1993). ψ_1 dan ψ_2 dapat dinyatakan seperti pada persamaan (2.13) dan (2.14) .

$$\psi_1 = \coth^{-1} (\log_{10} (SWR / 20)) \quad (2.13)$$

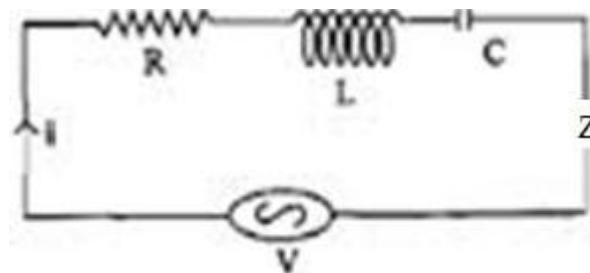
$$\psi_2 = \pi \left(\frac{1}{2} - \frac{d_1}{d_2} \right) \quad (2.14)$$

Dengan d_1 adalah jarak minimum pertama (cm) dari sampel dan d_2 adalah jarak minimum kedua (cm) dari sampel. Distribusi amplitudo di dalam tabung impedansi sebagai fungsi jarak diukur dari permukaan sampel seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.4 (Baranek, 1993)



Gambar 2.4 Distribusi amplitude didalam tabung impedansi
(Sumber : Baranek, 1993)

Besaran gelombang diubah menjadi besaran listrik melalui mikrofon dan amplifier. Impedansi mempunyai variabel resistansi (R), induktansi (L) dan kapasitansi (C), seperti diperlihatkan pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Rangkaian RLC
(Sumber: Baranek, 1993).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Januari 2016 sampai Juli 2016 di Laboratorium Fisika Material, Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat Penelitian

Pada penelitian ini digunakan beberapa peralatan, diantaranya yaitu :

1. Tabung Impedansi

Tabung impedansi adalah suatu tabung yang dirancang untuk mengukur parameter akustik suatu bahan dengan ukuran material uji yang kecil sesuai dengan ukuran diameter tabung. Tabung impedansi yang digunakan pada penelitian ini terbuat dari pipa besi yang berdiameter 8 cm, dan panjang 125 cm. Tabung ini berfungsi untuk merambatnya gelombang bunyi yang berasal dari sumber bunyi (*loudspeaker*) ke material agar gelombang yang dirambatkan tidak mendapatkan gangguan dari luar. Gambar tabung Impedansi diperlihatkan pada Lampiran A

2. Mikrofon

Mikrofon merupakan suatu transduser yang menghasilkan suatu isyarat elektrik saat digerakkan oleh gelombang suara. Mikrofon ini berfungsi sebagai

penangkap gelombang suara yang berinterferensi dalam tabung. Mikrofon yang digunakan adalah dengan spesifikasi impedansi 600 ohm, dengan frekuensi respon 10 Hz -10.000 Hz. Ukuran mikrofon yang digunakan adalah yang berdiameter 1 inci (2,58 cm), ditunjukkan pada Lampiran A

3. Penguatan (*Amplifier*)

Amplifier digunakan untuk dapat menguatkan sinyal yang diterima oleh mikrofon. *Amplifier* yang digunakan adalah *amplifier* hasil rakitan laboratorium instrumentasi dengan menggunakan catu daya 12 Volt, seperti yang ditunjukkan pada Lampiran A

4. Osiloskop

Osiloskop berfungsi sebagai menampilkan bentuk keluaran berupa gelombang yang menunjukkan amplitudo tekanan maksimum atau amplitudo tekanan minimum. Osiloskop yang digunakan adalah osiloskop merek GOS-65, manual 20 MHz seperti yang ditunjukkan pada Lampiran A.

5. Sinyal Generator

Generator berfungsi sebagai penghasil sinyal yang dihubungkan dengan *loudspeaker* sehingga menghasilkan sumber bunyi dengan berbagai frekuensi. Generator sinyal yang digunakan adalah generator merek Pintek model FG-52 seperti ditunjukkan pada Lampiran A.

6. Sumber Suara (*Loudspeaker*)

Loudspeaker merupakan sumber bunyi yang dibangkitkan dari generator sinyal. *Loudspeaker* yang digunakan adalah *Loudspeaker* 8 Ohm 1,5-2 W dengan diameter 8 cm, seperti yang ditunjukkan pada Lampiran A.

7. Sumber Tegangan (*Power Supply*)

Power Supply berfungsi sebagai sumber tegangan input. Sumber tegangan yang digunakan adalah spesifikasi Pintex 0 Volt sampai 30 Volt, 3 A/ 5 A, 3A PW-3032R, seperti yang ditunjukkan pada Lampiran A.

8. Meteran

Fungsi meteran adalah untuk menghitung jarak amplitudo tekanan minimum pertama (d_1) dan jarak amplitudo tekanan minimum kedua (d_2) dari bidang pantul, seperti diperlihatkan pada Lampiran A.

9. Jangka Sorong

Fungsi jangka sorong adalah untuk mengukur ketebalan rongga yang terdapat dari tiap sampel, seperti yang diperlihatkan pada Lampiran A.

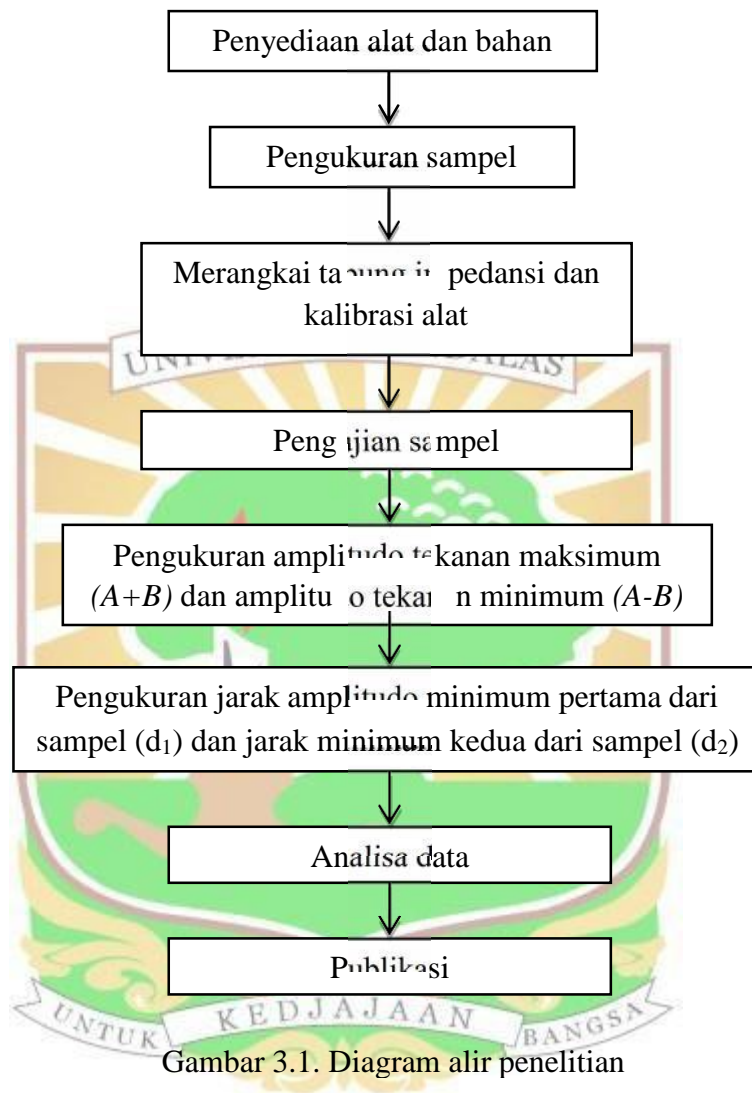
3.2.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah plafon PVC yang diproduksi PT Shunda Sucai Indonesia yang bermerek shunda plafon dengan permukaan yang rata dan licin dengan lima variasi ketebalan rongga yaitu 5 mm, 6 mm, 7 mm, 8 mm dan 9 mm seperti yang ditunjukkan pada Lampiran A.

3.3 Teknik Penelitian

Penelitian ini diawali dengan menyediakan alat dan bahan, sampel terlebih dahulu disesuaikan ukurannya dengan diameter tabung impedansi dan dipastikan sampel dalam keadaan tegak menempel pada penampang tabung. Setelah itu dilanjutkan dengan merangkai tabung impedansi yang diawali dengan mengkalibrasikan semua peralatan yang akan digunakan untuk menguji sampel

agar data yang didapat lebih akurat. Adapun diagram alir dari penelitian ini seperti pada Gambar 3.1

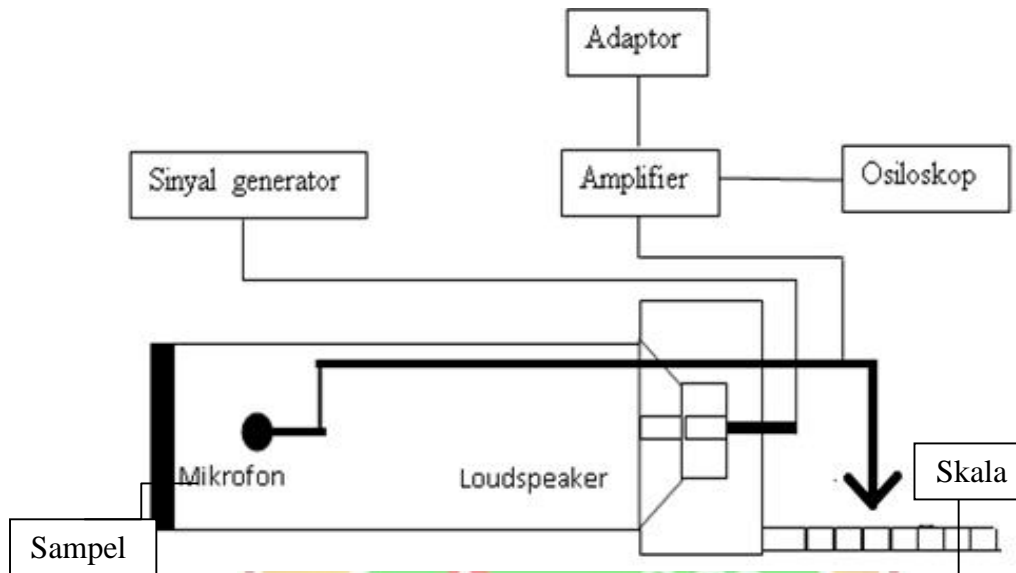


Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

3.4 Pengujian dengan Metode Tabung

Pengujian untuk mengetahui kemampuan material dalam menyerap bunyi dapat dilakukan dengan menggunakan tabung impedansi. Tabung impedansi yang akan digunakan yaitu terbuat dari besi yang dirangkai sedemikian rupa. Pengoperasian tabung impedansi ini dihubungkan dengan beberapa alat yaitu:

amplifier, osiloskop, generator sinyal, catu daya, mikrofon dan *loudspeaker*, seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Rangkaian tabung impedansi

Sinyal generator yang dihubungkan dengan *loudspeaker* menghasilkan output berupa bunyi yang memiliki frekuensi yang berbeda-beda. Pada salah satu ujung tabung diletakkan *loudspeaker*, dan pada ujung tabung yang lain diletakkan sampel yang akan diuji nilai koefisien absorpsinya. Mikrofon diletakkan di tengah-tengah diameter tabung menghadap ke sampel. Mikrofon diletakkan di ujung sebuah kawat sehingga dapat digeser untuk menentukan amplitudo tekanan maksimum dan minimumnya. Mikrofon diperkuat dengan *amplifier* dan dihubungkan ke osiloskop untuk menampilkan bentuk gelombang yang akan dihitung amplitudo tekanan maksimum dan minimumnya serta jarak minimum pertama (d_1) dan jarak minimum kedua (d_2). Frekuensi yang digunakan dalam penelitian ini adalah frekuensi pada rentang oktaf-band, yaitu 1000 Hz, 2000 Hz, 4000Hz dan 8000 Hz dan 16000 (Doelle, 1986).

3.5 Teknik Pengambilan Data

Prosedur pengambilan data adalah sebagai berikut :

1. Mikrofon digeser menjauhi sampel sehingga tampilan pada osiloskop menunjukkan amplitudo tekanan maksimum ($A+B$), kemudian dilakukan penggeseran mikrofon lagi sehingga tampilan osiloskop menunjukkan amplitudo tekanan minimum ($A-B$) kemudian dilakukan pengukuran.
2. Mikrofon digeser dari sampel hingga menunjukkan jarak amplitudo minimum pertama (d_1), kemudian dilakukan penggeseran mikrofon lagi sehingga osiloskop menampilkan jarak amplitudo tekanan minimum kedua (d_2) yang diukur pada skala jarak.
3. Pengukuran koefisien absorpsi bunyi dan impedansi akustik untuk masing-masing frekuensi dilakukan sebanyak 3 kali pengambilan data pada setiap sampel uji.

3.6 Teknik Pengolahan dan Analisis Data

Data yang diperoleh setelah melakukan pengujian dengan menggunakan metode tabung setelah itu dilakukan analisis data. Nilai yang akan dihitung adalah sebagai berikut :

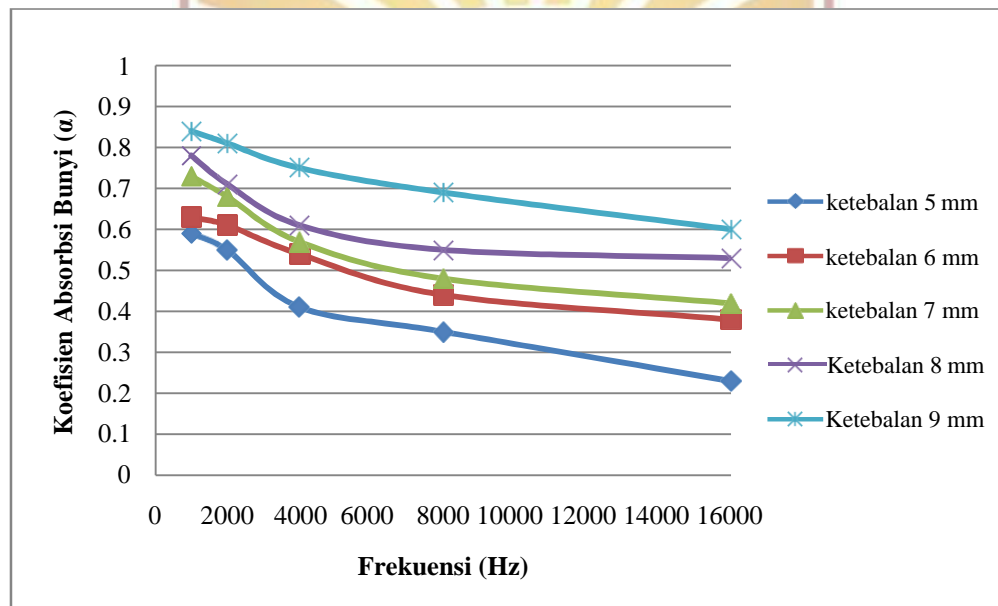
1. Data pengukuran amplitudo tekanan maksimum dan amplitudo tekanan minimum yang diperoleh dapat menentukan nilai koefisien absorpsi bunyi menggunakan Persamaan (2.4) dan Persamaan (2.5).
2. Data pengukuran dari d_1 dan d_2 dapat menentukan impedansi akustik menggunakan Persamaan (2.12) dan Persamaan (2.14)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN.

4.1 Analisis Koefisien Absorpsi Bunyi (α) Terhadap Frekuensi (Hz)

Dari hasil pengukuran yang dilakukan untuk menentukan koefisien absorpsi bunyi material akustik berongga plafon PVC diperoleh nilai koefisien absorpsi bunyi yang berbeda-beda untuk masing-masing sampel seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Koefisien absorpsi bunyi (α) terhadap frekuensi (Hz)

Dari Gambar 4.1 terlihat bahwa pada semua frekuensi yang digunakan nilai koefisien absorpsi bunyi meningkat jika sisi tampang lintang rongga bertambah. Karakteristik ini disebabkan oleh gelombang yang masuk ke rongga terjadi resonansi sebelum dipantulkan sehingga banyak kehilangan energi. Akibatnya amplitudo gelombang pantul (B) melemah sehingga SWR juga mengecil dan sesuai Persamaan (2.5) maka koefisien absorpsi bunyi meningkat.

Koefisien absorpsi bunyi tertinggi di dapatkan 0.84 pada material Shunda Plafon dengan sisi tampang lintang rongga 9 mm pada frekuensi 1000 Hz. Hal ini disebabkan karena kemungkinan frekuensi alamiah yang dimiliki oleh material Shunda Plafon mendekati frekuensi 1000 Hz sehingga setelah masuk ke dalam rongga terjadi resonansi sebagian gelombang bunyi tidak mampu keluar dari rongga sehingga amplitudo gelombang pantul menjadi kecil. Koefisien absorpsi bunyi semakin besar disebabkan juga karena ukuran rongga yang semakin besar sehingga energi gelombang bunyi sebagian besar dihabiskan oleh peristiwa resonansi dalam rongga (Sarwono, 2008).

Koefisien absorpsi bunyi terendah didapatkan 0.23 pada material Shunda Plafon dengan sisi tampang lintang rongga 5 mm pada frekuensi 16000 Hz. Hal ini disebabkan dua yaitu frekuensi tinggi dan ukuran rongga yang kecil. Frekuensi tinggi atau diatas 1000 Hz adalah frekuensi yang lebih besar dari frekuensi alamiah yang dimiliki oleh Shunda Plafon, maka ketika gelombang bunyi datang memasuki rongga hanya sebagian kecil energi yang beresonansi didalam rongga menyebabkan amplitudo gelombang pantul (B) masih besar sehingga nilai koefisien absorpsi bunyi menjadi rendah. Sisi tampang lintang rongga yang kecil menyebabkan resonansi yang terjadi masih mampu mengeluarkan sebagian besar gelombang bunyi dari rongga mengakibatkan amplitudo gelombang pantul (B) masih besar sehingga nilai koefisien absorpsinya rendah.

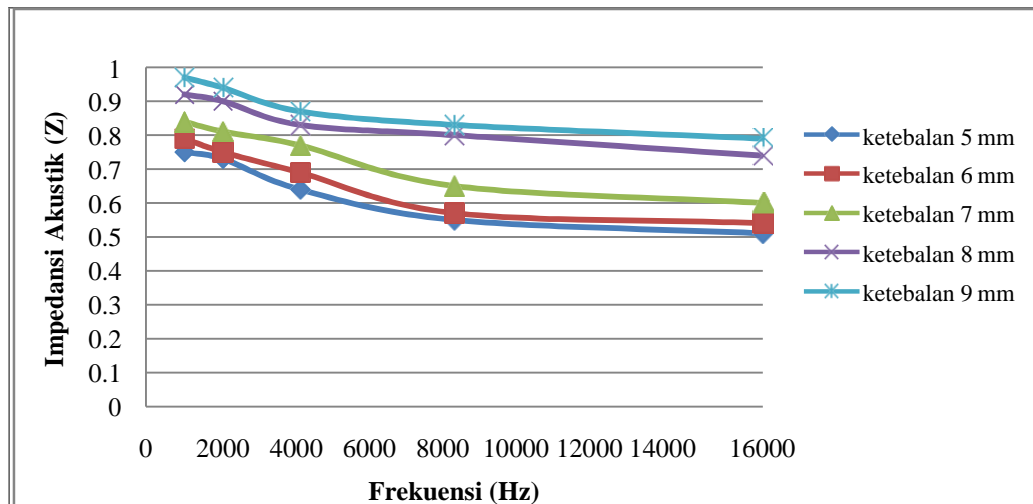
Berdasarkan Tabel 2.3 pada frekuensi 1000 Hz, material Shunda plafon dengan sisi tampang lintang rongga 9 mm memiliki nilai koefisien absorpsi bunyi

mendekati material Rockwool, koefisien absorpsi bunyi material shunda plafon dengan sisi tampang lintang rongga 8 mm lebih baik dari pada *Glasswool*. Seluruh material akustik dalam penelitian ini memiliki nilai koefisien absorpsi bunyi yang lebih tinggi dibandingkan produk Yumen *Board* dan *solid wood* pada frekuensi 1000 Hz (Asdrubali, 2007)

Suatu material dapat dikategorikan sebagai bahan penyerap bunyi apabila material tersebut memiliki nilai koefisien absorpsi bunyi minimum sebesar 0.15 (ISO 11654, 1997). Semua material Shunda Plafon yang terdapat pada penelitian ini dapat dikategorikan sebagai material penyerap bunyi yang baik karena memiliki nilai koefisien absorpsi bunyi minimum diatas 0.15. Salah satu ciri penyerap bunyi yang baik pada frekuensi rendah adalah memiliki ruang resonansi yang besar (Sarwono, 2008). Hal ini sesuai dengan hasil penelitian bahwa nilai koefisien absorpsi bunyi yang besar dimiliki oleh material Shunda Plafon dengan sisi tampang lintang rongga yang besar yaitu 9 mm.

4.2 Analisis Nilai Impedansi Akustik (Z) Terhadap Frekuensi (Hz)

Nilai impedansi akustik (Z) pada material akustik dapat dihitung setelah diperoleh nilai *standing wave ratio* (SWR), jarak minimum pertama (d_1) dan jarak dari minimum pertama ke minimum kedua (d_2) pada material tersebut. Setelah dilakukan pengukuran dan perhitungan maka diperoleh data seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2



Gambar 4.2 Impedansi akustik terhadap frekuensi (Hz)

Berdasarkan Gambar 4.2 diperoleh semakin tinggi frekuensi didapatkan impedansi akustik semakin rendah. Hal ini disebabkan karena frekuensi yang tinggi mampu mengatasi material dan udara yang ada didalam rongga sehingga sebagian besar gelombang bunyi dipantulkan kembali mengakibatkan impedansi akustik menurun. Semakin besar ukuran tinggi rongga material Shunda Plafon maka semakin banyak gelombang bunyi yang beresonansi didalamnya menyebabkan semakin tinggi impedansi akustik (Sarwono, 2008). Hal ini disebabkan oleh dua hal yaitu pertama dengan bertambahnya ukuran tinggi rongga maka bertambah pula masa material. Impedansi berbanding lurus dengan induktansi dimana pada material akustik analog dengan massa. Kedua adanya udara dalam rongga mampu mereduksi gelombang bunyi atau analog dengan resistansi. Impedansi berbanding lurus dengan resistansi sehingga resistansi besar impedansi juga besar.

Dari Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 terlihat bahwa nilai impedansi akustik suatu bahan berhubungan dengan koefisien absorpsi bunyi bahan tersebut.

Menurut teori hubungan, koefisien absorpsi bunyi dan impedansi akustik itu sebanding karena dilihat dari rumus nilai koefisien absorpsi bunyi dan impedansi akustik ditentukan setelah diperoleh nilai *standing wave ratio* (SWR) (Baranek, 1993). Dari data yang diperoleh dapat dilihat bahwa nilai impedansi akustik dari bahan shunda plafon sesuai dengan teori yakni nilai impedansi sebanding dengan nilai koefisien absorpsi bunyinya.

Material Shunda Plafon dengan sisi tampang lintang rongga 9 mm mempunyai impedansi akustik tertinggi yaitu $0.97 + i 0.07$ pada frekuensi 1000 Hz. Maksudnya nilai real impedansi akustiknya sebesar 0.97 dan besarnya energi gelombang bunyi datang yang hilang didalam rongga sebesar 0.07. Hal ini disebabkan karena material Shunda Plafon dengan sisi tampang lintang rongga 9 mm memiliki volume rongga udara yang besar sehingga gelombang bunyi yang masuk terperangkap didalam rongga dan akhirnya habis, maksudnya berubah bentuk menjadi energi panas.

Material Shunda Plafon dengan ukuran tinggi rongga 5 mm mempunyai impedansi akustik terendah yaitu $0.51 + i 1.80$ pada frekuensi 16000 Hz. Maksudnya nilai real dari impedansi akustik sebesar 0.51 dan besarnya energi gelombang yang hilang adalah 1.80. Hal ini disebabkan karena frekuensi 16000 Hz mempunyai energi besar sehingga mampu mengatasi rongga yang kecil. Sisi tampang lintang rongga yang kecil dan volume udara rongga yang rendah dapat menurunkan impedansi akustik.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Shunda Plafon yang digunakan pada penelitian ini dapat dikategorikan sebagai penyerap bunyi yang baik karena mempunyai nilai koefisien absorpsi yang lebih besar dari 0.15 selain itu koefisien absorpsi bunyi bertambah besar dengan bertambah besarnya sisi penampang lintang rongga.
2. Koefisien absorpsi bunyi dan impedansi akustik tertinggi yaitu 0.84 dan $0.97 + i 0.07$ terdapat oleh material Shunda Plafon dengan sisi penampang lintang rongga 9 mm pada frekuensi 1000 Hz. Hal ini disebabkan karena kemungkinan frekuensi alamiah dari Shunda Plafon mendekati frekuensi 1000 Hz.
3. Koefisien absorpsi bunyi dan impedansi akustik terendah yaitu 0.23 dan $0.51 + i 1.80$ terdapat oleh material Shunda Plafon dengan sisi penampang lintang rongga 5 mm pada frekuensi 16000 Hz.
4. Dengan demikian material akustik terbaik adalah Shunda Plafon dengan sisi penampang lintang rongga 9 mm. Namun, penggunaan Shunda Plafon untuk penyerapan bunyi dapat disesuaikan dengan tingkat frekuensi kebisingan yang akan diserap, karena plafon dengan sisi penampang lintang rongga 5 mm juga menunjukkan koefisien absorpsi bunyi yang cukup baik.

5.2 Saran

Secara keseluruhan dari hasil penelitian ini disarankan untuk penelitian selanjutnya :

1. Diharapkan pada peneliti selanjutnya agar menambahkan jenis sampel uji dari plafon PVC agar dapat dibandingkan mana plafon PVC yang terbaik dalam mereduksi kebisingan
2. Diharapkan pada penelitian selanjutnya agar menambah parameter uji dari sampel seperti banyaknya jumlah rongga dan volume rongga pada Plafon PVC.



DAFTAR PUSTAKA

- Agustian, R, A., 1995. Anatomi Fisiologi dan Pemeriksaan pada Gangguan Pendengaran. *Proceeding Seminar Nasional Akustik*. Teknik Fisika ITB.
- Asdrubali, F., Pisello, A, L., Alessandro, F.D., Bianchi, F., 2015, Innovative Cardboard based panels with recycled material from the packaging industry : thermal and acoustic performance analysis, *Jounal Energy Procedia*, 78, 321-326
- Baranek, L., 1993, *Acoustis Measurement*, Jhon Wiley & Sons Inc., Newyork.
- Doelle, E.L., 1986, *Akustik Lingkungan*, Erlangga, Jakarta.
- Egan, M. David, 1976, *Concepts in Architectural Acoustic*, Prentice-Hall Inc : New-Jersey.
- Fatkhurrohman, Aji.M, Supriyadi.,2013, Tingkat Redaman Bunyi Suatu Bahan (Triplek, Gypsum dan Styrofoam), *Jurnal Fisika Vol 3 No 2:138-143*.
- Ganijanti, A.S., 2011, *Gelombang dan Optika*, SalembaTeknika, Jakarta. Giancoli, D.C., 2001, *Fisika, Jilid 2, Edisi Kelima*, (diterjemahkan oleh: Yuhilza), Erlangga, Jakarta.
- Halliday, R., 1992, *Fisika, Jilid 1, Edisi Ketiga*, (diterjemahkan oleh: Pantur Silaban dan Erwin Sucipto), Erlangga, ITB.
- <http://shundaplafon-plafonshundapvc.blogspot.co.id/2015/06/ukuran-shunda-plafon-spesifikasi-shunda.html>
- ISO 11654., 1997, *Acoustical Sound Absorbers for Use in Buildings-Rating of Sound Absorbtion*.
- Kumar A, Gupta RK., 1998, *Fundamental of Polymers*, Mc Graw-Hill International Book Company.
- Kusuma, atmadja, S., 1996, *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : Kep.Men-48/MEN.LH/11/1996 Tentang Baku Tingkat Kebisingan*. 1996, Mentri Negara Lingkungan Hidup.
- Latifah, L.Nur., 2015, *Fisika Bangunan 2*, Griya Kreasi, Jakarta.
- Lewis, H. dan Douglas, H., 1993, *Industrial Noise Control Fundamentals and Application, Reyised*, New York.
- Mediastika, C.E., 2005, *Akustika Bangunan : Prinsip-prinsip dan Penerapannya di Indonesia*, Edisi I, Earlangga, Jakarta.

- Mediastika, C. E., 2009, *Material Akustik, Pengendali Kualitas Bunyi pada Bangunan*, Edisi I, Andi, Yogyakarta
- Nilson, P.O.L., 1990. Noise Induced Hearing Loss, *Proceedings of the 5th International Congress on Noise as a Public Health Problem*. Volume 4, Swedish Council for Building Research: Stockholm.
- Nurdiana, I.Isranuri, 2011, Studi karakteristik penyerapan suara pada komposit polymer dengan serat rookwool, *Jurnal Dinamis*, Volume II, ISSN 0216-7492.
- Rujigrok GJJ., 1993, *Elemen of Aviation Acoustics*. Delft University Press. Young HD, Freedman OA. *Fisika Universitas, Jilid 2, Edisi Kesepuluh*, Alih Bahasa, Pantur Silaban, Erlangga, Jakarta.S
- Sarwono, J., *Wawancara Virtual tentang Absorpsi dan Refleksi Gelombang Suara dalam Ruang*. <http://jokosarwono.wordpress.com/2008/03/14/wawancara-virtual-tentang-absorpsi-dan-refleksi-gelombang-suara-dalam-ruang/>.
- Satwiko, P. 2009. *Fisika Bangunan*. Andi.Yogyakarta.
- Sear, dan Zemasky, 2001, *Fisika Universitas, Jilid II, Edisi Kesepuluh*, (diterjemahkan oleh: Pantur Silaban), Erlangga, ITB.
- Sheng, J.,Yunyan, X., Huiping, Z., Chris, B. W., Xiong, Y., 2012, Seven-hole polyester fibers as reinforcement in sound absorption chlorinated polyethylene composites, *Jounal Applied Acoustics*, 73, 243-247.
- Smith WF., 1986, *Principles of Material Science And Engineering*, Mc Graw-Hill Book Company.
- Sriwigiyatno, K., 2006. Analisis Pengaruh Kolom Udara terhadap nilai Koefisien Serapan Bunyi pada Dinding Partisi Menggunakan Metode Tabung Impedansi Dua Mikrofon. S1 Skripsi Fisika UNS.
- Stein, B., 1986, *Mechanical and Electrical Equipment for Buildings*, edisi tujuh, Jhon Wiley and Sons, Canada.
- Suandika, M., 2009, Pengaruh Biologis Efek Kebisingan Terhadap Makhluk Hidup, 3 : 27-29.
- Suma'mur., 2009, *Higiene Perusahaan dan Kesehatan Kerja (HIPERKES)*, Sagung Seto, Jakarta.
- Sutanto, Handoko., 2015, *Prinsip-prinsip Akustik dalam Arsitektur*, Yogyakarta.
- Sutrisno., 1979, *Fisika Dasar*, InstitutTeknologi Bandung, Bandung.
- Zhongbin, X., Baicun, W., Zhang, S., Rongjun, C., 2015, Design and acoustical performance investigation of sound absorption structure based on plastic micro-capillary films, *Journal Applied Acoustics*, 89, 1

LAMPIRAN A

Komponen Alat dan Bahan Penelitian

A.1 Alat Penelitian



1. Tabung impedansi



2. Mikrofon



3. Amplifier



4. Osiloskop



5. Sinyal Generator



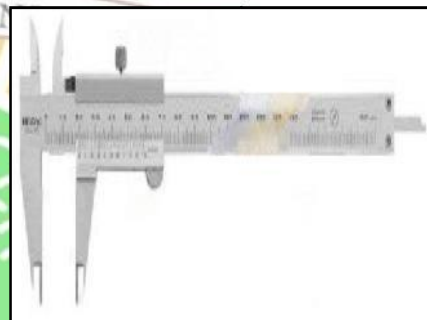
6. Sumber suara (*loudspeaker*)



7. Sumber tegangan

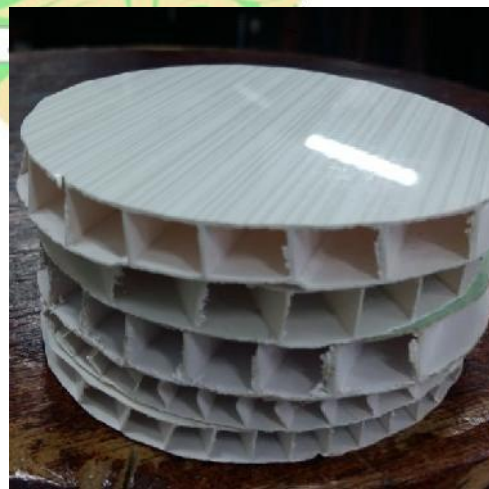


8. alat ukur panjang (meteran)



9. Jangka Sorong

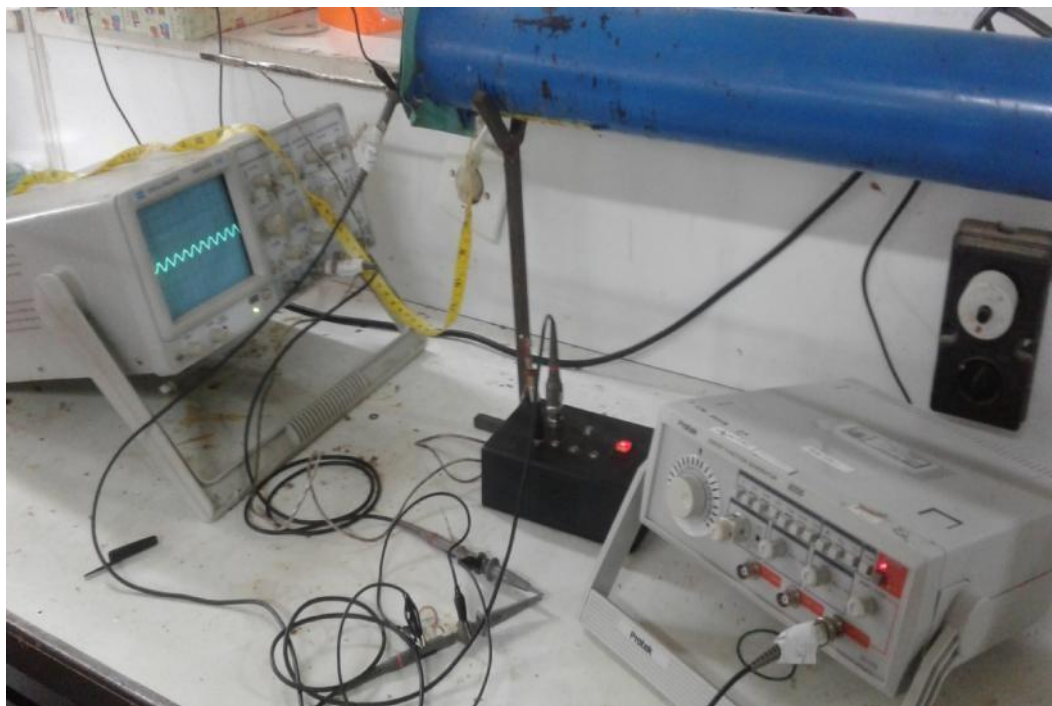
A.2. Bahan Penelitian



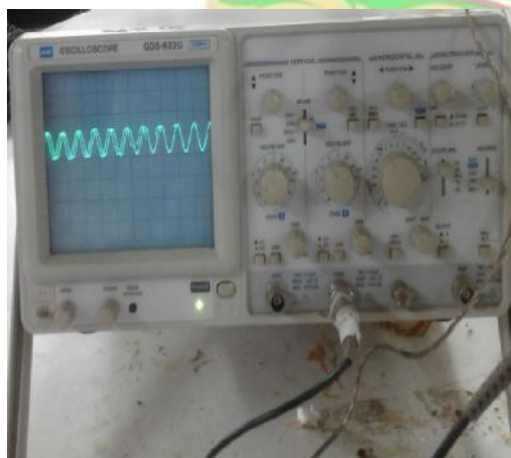
Material Shunda Plafon

LAMPIRAN B

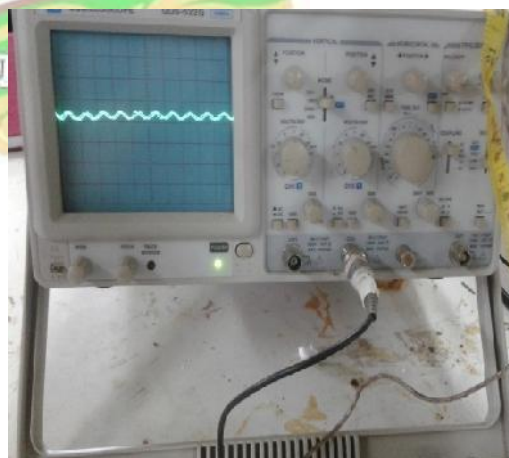
Dokumentasi Penelitian



Rangkaian alat penelitian



Amplitudo tekanan maksimum



Amplitudo tekanan minimum



Shunda Plafon dengan ketebalan rongga 5 mm



Shunda Plafon dengan ketebalan rongga 6 mm



Shunda Plafon dengan ketebalan rongga 7 mm



Shunda Plafon dengan ketebalan rongga 8 mm



Shunda Plafon dengan ketebalan rongga 9 mm

LAMPIRAN C

Hasil dan Perhitungan

C.1 Koefisien Absorpsi Bunyi

Tabel C.1.1 Sampel Shunda Plafon dengan ketebalan 5 mm

Frekuensi (Hz)	$A + B$ (Volt/div)	$A - B$ (Volt/div)	SWR	α	α	δ
1000	0.6	0.1	6	0.49	0.59	0.09
	0.4	0.1	4	0.64		
	0.4	0.1	4	0.64		
2000	1	0.25	4	0.64	0.55	0.09
	1	0.2	5	0.56		
	1.2	0.18	6.67	0.45		
4000	1.5	0.2	7.5	0.42	0.41	0.02
	1.52	0.2	7.6	0.41		
	1.5	0.2	7.5	0.42		
8000	1.8	0.2	9	0.36	0.35	0.01
	1.9	0.2	9.5	0.34		
	1.9	0.2	9.5	0.34		
16000	3.2	0.2	16	0.22	0.23	0.01
	3	0.2	15	0.23		
	3	0.2	15	0.23		

Tabel C.1.2 Sampel Shunda Plafon dengan ketebalan 6 mm

Frekuensi (Hz)	$A + B$ (Volt/div)	$A - B$ (Volt/div)	SWR	α	α	δ
1000	0.5	0.15	5	0.56	0.63	0.13
	0.55	0.2	2.75	0.78		
	0.5	0.1	5	0.56		
2000	0.4	0.1	4	0.64	0.61	0.05
	0.4	0.1	4	0.64		
	0.4	0.08	5	0.56		
4000	0.44	0.08	5.5	0.52	0.54	0.06
	0.48	0.08	6	0.49		
	0.52	0.12	4.33	0.61		
8000	0.6	0.1	6	0.49	0.44	0.05
	0.56	0.08	7	0.44		
	0.66	0.08	8.25	0.39		
16000	1.2	0.16	7.5	0.42	0.38	0.04
	1.16	0.12	9.67	0.34		
	1.18	0.14	8.43	0.38		

Tabel C.1.3 Sampel Shunda Plafon dengan ketebalan 7 mm

Frekuensi (Hz)	$A + B$ (Volt/div)	$A - B$ (Volt/div)	SWR	α	$\frac{A+B}{A-B}$	δ
1000	0.2	0.08	2.5	0.82	0.73	0.15
	0.4	0.08	5	0.56		
	0.2	0.08	2.5	0.82		
2000	0.4	0.1	4	0.64	0.68	0.06
	0.4	0.1	4	0.64		
	0.45	0.15	3	0.75		
4000	0.7	0.2	3.5	0.69	0.57	0.21
	0.7	0.2	3.5	0.69		
	1.00	0.1	10	0.33		
8000	0.7	0.1	7	0.44	0.48	0.06
	1	0.15	6.67	0.45		
	0.9	0.18	5	0.56		
16000	1	0.16	6.25	0.48	0.42	0.05
	1.2	0.15	8	0.40		
	1.2	0.15	8	0.40		

Tabel C.1.4 Sampel Shunda Plafon dengan ketebalan 8 mm

Frekuensi (Hz)	$A + B$ (Volt/div)	$A - B$ (Volt/div)	SWR	α	$\frac{A+B}{A-B}$	δ
1000	0.2	0.06	3.33	0.71	0.78	0.07
	0.22	0.08	2.75	0.78		
	0.18	0.08	2.25	0.85		
2000	0.2	0.06	3.33	0.71	0.71	0.07
	0.22	0.08	2.75	0.78		
	0.24	0.06	4	0.64		
4000	0.18	0.04	4.5	0.60	0.61	0.02
	0.16	0.036	4.44	0.60		
	0.16	0.04	4	0.64		
8000	0.24	0.04	6	0.49	0.55	0.05
	0.28	0.06	4.67	0.58		
	0.28	0.06	4.67	0.58		
16000	0.24	0.04	6	0.49	0.53	0.04
	0.2	0.04	4.67	0.56		
	0.2	0.04	4.67	0.56		

Tabel C.1.5 Sampel Shunda Plafon dengan ketebalan 9 mm

Frekuensi (Hz)	$A + B$ (Volt/div)	$A - B$ (Volt/div)	SWR	α	$\frac{\alpha}{\alpha_0}$	δ
1000	0.25	0.12	2.08	0.88	0.84	0.03
	0.25	0.1	2.5	0.82		
	0.25	0.12	2.08	0.88		
2000	0.44	0.16	2.75	0.78	0.81	0.04
	0.44	0.16	2.75	0.78		
	0.4	0.18	2.22	0.86		
4000	1.3	0.4	3.25	0.72	0.75	0.03
	1.2	0.4	3	0.75		
	1.25	0.45	2.78	0.78		
8000	1.6	0.4	4	0.64	0.69	0.07
	1.5	0.4	3.75	0.66		
	1.3	0.45	2.89	0.76		
16000	1.4	0.3	3.67	0.69	0.60	0.03
	1.2	0.3	3	0.699		
	1.4	0.3	3.67	0.609		

C.2 Impedansi Akustik

Tabel C.2.1 Sampel Shunda Plafon dengan ketebalan 5 mm

Frekuensi (Hz)	$\frac{1}{d^2}$ (cm)	$\frac{1}{d^2}$ (cm)	$\frac{1}{\phi^2}$	$\frac{1}{\phi^2}$	$\frac{1}{\phi^2}$	$\frac{1}{\phi^2}$
1000	4.2	5	0.58	-1.07	0.63 + i 0.37	0.75 + i 0.28
	4.2	5	0.87	-1.07	0.79 + i 0.24	
	4.2	5	0.87	-1.07	0.79 + i 0.24	
2000	6	7.3	0.87	-1.01	0.82 + i 0.349	0.73 + i 0.36
	6	7.5	0.70	-0.94	0.77 + i 0.39	
	5.8	7	0.52	-1.03	0.60 + i 0.43	
4000	7	9.2	0.46	-1.254	0.68 + i 0.67	0.64 + i 0.62
	6.5	8.2	0.45	-0.953	0.60 + i 0.57	
	6.2	8	0.46	-1.436	0.65 + i 0.62	
8000	7	9	0.36	-1.258	0.54 + i 0.68	0.55 + i 0.74
	6.7	9	0.34	-1.265	0.60 + i 0.83	
	7	9	0.34	-1.256	0.51 + i 0.70	
16000	7	11	0.10	-0.524	0.54 + i 2.07	0.51 + i 1.80
	7.3	11	0.13	-0.785	0.49 + i 1.66	
	7.3	11	0.13	-0.553	0.49 + i 1.66	

Tabel C.2.2 Sampel Shunda Plafon dengan ketebalan 6 mm

Frekuensi (Hz)	$\frac{u_{mf}}{d^1}$ (cm)	$\frac{u_{mf}}{d^2}$ (cm)	$\frac{u_{mf}}{\phi^1}$	$\frac{u_{mf}}{\phi^2}$	$\frac{6 \text{ mm}}{Z}$	$\frac{Z}{Z}$
1000	4.2	5	0.70	-1.07	$0.71 + i 0.31$	$0.79 + i 0.26$
	4.2	5	1.30	-1.07	$0.92 + i 0.11$	
	4.2	5.5	0.70	-1.00	$0.74 + i 0.36$	
2000	6	7	0.87	-1.13	$0.77 + i 0.22$	$0.75 + i 0.26$
	6	7	0.87	-1.00	$0.77 + i 0.22$	
	6	7.2	0.70	-1.06	$0.72 + i 0.33$	
4000	6.7	7.8	0.63	-1.00	$0.64 + i 0.30$	$0.69 + i 0.33$
	6.7	8.2	0.58	-1.05	$0.66 + i 0.42$	
	6.7	8	0.80	-1.06	$0.77 + i 0.27$	
8000	10	12.2	0.58	-0.88	$0.66 + i 0.42$	$0.57 + i 0.44$
	10	12	0.49	-0.96	$0.57 + i 0.43$	
	10	11.6	0.41	-0.96	$0.48 + i 0.44$	
16000	7.8	10	0.46	-1.14	$0.93 + i 0.07$	$0.54 + i 0.59$
	7.8	9.7	0.33	-1.19	$0.66 + i 0.24$	
	7.8	9.7	0.39	-1.19	$0.93 + i 0.06$	

Tabel C.2.3 Sampel Shunda Plafon dengan ketebalan 7 mm

Frekuensi (Hz)	$\frac{u_{mf}}{d^1}$ (cm)	$\frac{u_{mf}}{d^2}$ (cm)	$\frac{u_{mf}}{\phi^1}$	$\frac{u_{mf}}{\phi^2}$	$\frac{7 \text{ mm}}{Z}$	$\frac{Z}{Z}$
1000	9.5	11	1.49	-1.14	$0.93 + i 0.07$	$0.84 + i 0.12$
	9.5	10.8	0.70	-1.19	$0.66 + i 0.24$	
	9.5	10.8	1.49	-1.19	$0.93 + i 0.06$	
2000	10.2	11.8	0.87	-1.14	$0.77 + i 0.21$	$0.81 + i 0.19$
	10.2	11.8	0.87	-1.14	$0.77 + i 0.21$	
	10	12	1.17	-1.05	$0.90 + i 0.19$	
4000	5.5	6.5	0.99	-1.09	$0.83 + i 0.19$	$0.77 + i 0.44$
	5.2	6.5	0.99	-0.94	$0.88 + i 0.23$	
	5	6.8	0.31	-0.73	$0.60 + i 0.90$	
8000	5.2	6.5	0.49	-0.94	$0.63 + i 0.52$	$0.65 + i 0.42$
	5	6	0.52	-1.05	$0.59 + i 0.41$	
	5	6	0.70	-1.05	$0.72 + i 0.33$	
16000	7	9	0.56	-0.87	$0.73 + i 0.53$	$0.60 + i 0.56$
	7.2	9	0.42	-0.94	$0.56 + i 0.56$	
	7.4	9	0.42	-1.01	$0.52 + i 0.50$	

Tabel C.2.4 Sampel Shunda Plafon dengan ketebalan 8 mm

Frekuensi (Hz)	$\frac{1}{d^1}$ (cm)	$\frac{1}{d^2}$ (cm)	$\frac{1}{\varphi^1}$	$\frac{1}{\varphi^2}$	$\frac{1}{Z}$ mm	$\frac{1}{Z}$
1000	5.8	7	1.04	-1.03	$0.87 + i 0.19$	$0.92 + i 0.12$
	6	7.2	1.30	-1.05	$0.92 + i 0.12$	
	6	7	1.82	-1.12	$0.97 + i 0.04$	
2000	5.8	7	1.04	-1.03	$0.87 + i 0.19$	$0.90 + i 0.22$
	5.7	7.2	1.30	-0.92	$0.95 + i 0.14$	
	6	7.7	0.87	-0.88	$0.88 + i 0.32$	
4000	7.8	10	0.77	-0.88	$0.85 + i 0.37$	$0.83 + i 0.33$
	8	10	0.78	-0.94	$0.81 + i 0.34$	
	8.5	10.5	0.87	-0.97	$0.83 + i 0.28$	
8000	8	10	0.58	-0.94	$0.70 + i 0.46$	$0.80 + i 0.42$
	7.8	10	0.74	-0.88	$0.84 + i 0.39$	
	7.8	10.2	0.74	-0.83	$0.87 + i 0.41$	
16000	8.5	10.2	0.58	-1.05	$0.64 + i 0.38$	$0.74 + i 0.39$
	8.2	10	0.70	-1.01	$0.74 + i 0.35$	
	8	10.5	0.70	-0.82	$0.85 + i 0.45$	

Tabel C.2.5 Sampel Shunda Plafon dengan ketebalan 9 mm

Frekuensi (Hz)	$\frac{1}{d^1}$ (cm)	$\frac{1}{d^2}$ (cm)	$\frac{1}{\varphi^1}$	$\frac{1}{\varphi^2}$	$\frac{1}{Z}$ 9 mm	$\frac{1}{Z}$
1000	6.3	7.8	2.36	-0.97	$0.99 + i 0.02$	$0.97 + i 0.07$
	6.5	8	1.49	-0.98	$0.96 + i 0.09$	
	6.5	8	1.49	-0.98	$0.96 + i 0.09$	
2000	7.8	9.5	1.30	-1.01	$0.93 + i 0.13$	$0.94 + i 0.09$
	7.8	9.2	1.30	-1.09	$0.91 + i 0.11$	
	7.7	9	1.88	-1.12	$0.97 + i 0.04$	
4000	9.3	10.5	1.07	-1.21	$0.83 + i 0.13$	$0.87 + i 0.12$
	9.1	10.8	1.17	-1.08	$0.89 + i 0.14$	
	9.5	11	1.28	-1.14	$0.90 + i 0.10$	
8000	5.5	6.3	0.87	-1.17	$0.77 + i 0.20$	$0.83 + i 0.19$
	6	7.2	0.92	-1.05	$0.82 + i 0.23$	
	5.8	7	1.22	-1.03	$0.91 + i 0.14$	
16000	6.4	8	0.74	-0.94	$0.80 + i 0.36$	$0.79 + i 0.31$
	6.5	7.8	0.86	-1.05	$0.80 + i 0.25$	
	6.4	7.8	0.74	-1.01	$0.76 + i 0.33$	

C.3 Perhitungan

C.3.1 Menghitung koefisien absorpsi bunyi (α)

$$SWR = \frac{(A + B)}{(A - B)}$$

$$= \frac{(0.6)}{(0.1)}$$

$$= 6$$

$$\alpha = 1 - \left(\frac{SWR - 1}{SWR + 1} \right)^2$$

$$= 1 - \left(\frac{6 - 1}{6 + 1} \right)$$

$$= 0.49$$

C.3.2 Menghitung impedansi akustik (Z)

$$Z = \coth (\psi_1 + i\psi_2)$$

$$\psi_1 = \coth^{-1}(\log(SWR/2))$$

$$= \coth^{-1}(\log(6/2))$$

$$= \coth^{-1}(-3.1918)$$

$$= 0.58$$

$$\psi_2 = \pi \left(\frac{1}{2} - \frac{d_1}{d_2} \right)$$

$$= 3.14 \left(\frac{1}{2} - \frac{4.2}{5} \right)$$

$$= -1.07$$

$$Z = \coth (\psi_1 + i\psi_2)$$

$$>> \coth (0.58 + i-1.07)$$

$$= 0.63 + i 0.37$$

