

3100000011567

# PERANCANGAN SISTEM SPEAKER PADA SISTEM AUDIO MOBIL JENIS MOBIL MINIBUS

## TUGAS AKHIR

RSF  
621.382.84  
Sca  
P-1  
1998



PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	17-4-00
Terima Dari	
No. Agenda Prp.	#297

Oleh :

EDDY ROBIN NATANAEL SIANIPAR

NRP. 2493.100.037

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK FISIKA  
SURABAYA  
1998



# PERANCANGAN SISTEM SPEAKER PADA SISTEM AUDIO MOBIL JENIS MOBIL MINIBUS

## TUGAS AKHIR

Oleh :

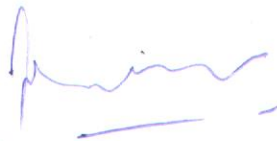
EDDY ROBIN NATANAEL SIANIPAR

NRP. 2493.100.037

Surabaya, Februari 1998

Mengetahui/Menyetujui

Dosen Pembimbing

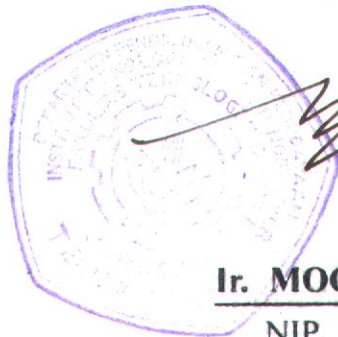


Ir. WIRATNO ARGO ASMORO, M.Sc.

NIP. 131 651 246

Ketua Jurusan

Teknik Fisika FTI ITS



Ir. MOCH. ILYAS HS.

NIP. 130 805 282

## ABSTRAK

Umumnya, pembuatan kabinet pada sistem audio mobil dilakukan hanya berdasarkan kebiasaan atau coba-coba. Tetapi dengan perhitungan yang tepat, pembuatan kabinet dapat dilakukan secara efisien.

Pada perancangan kabinet, khususnya kabinet bass-refleks ini, didasarkan pada nomograf yang didasarkan aturan 'Quasi-Butterworth 3' dan 'Sub-Chebychev 4' sehingga sistem mempunyai 'roll-off' 24 dB / oktaf.

Berdasarkan nomograf tersebut, dihasilkan kabinet bass-refleks yang mempunyai dimensi: ( $V_B$ ) = 23,6 liter = 0,833 ft<sup>3</sup>; Panjang : 42,73 cm.; Lebar : 29,73 cm; Kedalaman : 18,6 cm. Berdasarkan perhitungan, frekuensi resonansi kabinet sebesar 27 Hz dan frekuensi cut-off sistem sebesar 97,2 Hz.

## ABSTRACT

Generally, the making of enclosure at audio mobil system just based on trial and error. However, it could be efficient, with the right calculation.

For the designing of enclosure, especially bass-reflex enclosure using the nomograph, which based on 'Quasi-Butterworth 3' and 'Sub-Chebychev 4' alignments, the sistem have 24 dB / octave roll-off.

Dimensions of bass-reflex enclosure which based on the nomograph: box-volume ( $V_B$ ) = 23,6 litres = 0,833 ft<sup>3</sup>; length : 42,73 cm; width : 29,73 cm; and depth : 18,6 cm. The calculation of enclosure resonance is 27 Hz and the cut-off system is 97,2 Hz.



## DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	ii
Abstrak	iii
Daftar Isi	iv
Daftar Gambar	vi
Daftar Tabel	vii
Kata Pengantar	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	2
1.3 Permasalahan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi	3
BAB II DASAR TEORI	4
2.1 Gelombang Bunyi	4
2.2 Loudspeaker	13
2.3 Impedansi Akustik	19
2.4 Enclosure	22

BAB III PERANCANGAN KABINET BASS-REFLEKS	30
3.1 Parameter-parameter Loudspeaker	32
3.2 Perancangan bass-refleks	38
BAB IV ANALISA DATA	41
4.1 Data Pengukuran	41
4.2 Analisa data perancangan kabinet bass-refleks	48
BAB V KESIMPULAN	51
DAFTAR PUSTAKA	
Lampiran	

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Gerakan partikel	5
Gambar 2.2 Gelombang longitudinal mekanis	8
Gambar 2.3 Analogi akustik, elektrik, dan mekanik	21
Gambar 2.4 Kabinet Bass-Refleks	26
Gambar 2.5 Medan bunyi dalam ruangan	29
Gambar 3.1 Jenis-jenis kotak celah	31
Gambar 3.2 Rangkaian pengukuran parameter loudspeaker.	33
Gambar 3.3 Grafik massa loudspeaker terhadap diameter loudspeaker	35
Gambar 3.4 Grafik penentuan volume sistem kabinet Bass-Refleks	39
Gambar 3.5 Penentuan dimensi port	40

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Penentuan frekuensi resonansi melalui pengukuran frekuensi terhadap tegangan dengan nilai $R_1 = 220,6 \Omega$ dan $R_1 = 0,996 \text{ k}\Omega$	42
Tabel 4.2 Nilai-nilai parameter loudspeaker	43
Tabel 4.3 Hasil pengukuran kabinet bass-refleks dalam tingkat tekanan suara (dBA)	44
Tabel 4.4 Hasil pengukuran tingkat tekanan suara (dBA) dan bising lingkungan (dBA) dalam mobil dengan keadaan diam dan sistem penyejuk udara berfungsi.	46
Tabel 4.5 Hasil pengukuran tingkat tekanan suara (dBA) dan bising lingkungan (dBA) saat mobil menyala dan diam, serta kondisi jendela terbuka.	47

## KATA PENGANTAR

Salam sejahtera,

Syukur penyusun panjatkan pada Yesus Kristus atas selesainya penyusunan Tugas Akhir ini. Berkat bantuan dan bimbinganNya penyusun dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini. Adapun tugas akhir ini adalah sebagai syarat dalam meraih gelar strata 1 pada jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya Indonesia.

Tugas akhir ini diberi judul " **Perancangan Sistem Spaker pada Sistem Audio Mobil Jenis Mobil Minibus**". Penyusun dalam mengerjakan tugas akhir ini melakukan penelitian mengenai penentuan dalam perancangan dimensi kabinet bass-refleks dengan berdasarkan parameter-parameter loudspeaker yang disediakan. Pada kesempatan ini penyusun ingin mengucapkan rasa terima kasih sebesar besarnya pada pihak-pihak yang terkait dalam pengerjaan tugas akhir ini :

1. Bapak Ir. Wiratno Argo Asmoro M.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang memberi dorongan serta bimbingan selama pengerjaan tugas akhir ini.
2. Bapak Ir. Moch. Ilyas selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
3. Kedua orang tua dan saudara-saudara-ku yang berada di rumah.
4. Teman-teman dari Wise Pearl Band ( Andri 'JJ Bluesman' S, Damar, Norman, Ayi, Aditia 'Kempot' H, Ardi 'Bontang'), dan teman-teman musik yang membantu meringankan beban pikiran, dengan bermain musik selama menjalani masa perkuliahan.



5. Angkatan '93 Teknik Fisika, atas kebersamaannya selama ini dengan lelucon dan kegiatannya selama ini.
6. Teman-teman penghuni ruang Himpunan Teknik Fisika (Hanif, Djuned, Leo Santo, Tri Hapsoro, Hendarto, Salim M, Y. Sampang, Sutanto, Buchori, Badrus, Ishak 'Hanif Junior' Lambang, Ade, A.M.N 'Mek', dan lain-lain) yang membantu melewati masa kritis dalam pengerjaan tugas akhir ini.
7. Sahabat karibku, Andri 'J.J Bluesman' Setia Budi dan teman di Pucang Jajar Utara II / 7.
8. Staf pengajar dan karyawan tata usaha di Jurusan Teknik Fisika.
9. Teman-teman angkatan lain di Jurusan Teknik Fisika.
10. Pihak lain yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu yang telah banyak membantu.

Akhir kata penyusun menyadari bahwa masih terdapatnya kekurangan kekurangan pada tugas akhir ini, oleh karena itu penyusun sangat mengharapkan adanya saran saran dalam menyempurnakan tugas akhir ini.

Surabaya, Februari 1998.

E. Robin N.S

Penyusun

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang.

Audio mobil merupakan salah satu aplikasi pemakaian enclosure loudspeaker. Pemakaian enclosure dilakukan untuk meradiasikan suara secara efisien, yaitu dengan memperkuat energi suara yang diradiasikan oleh diaphragma. Umumnya, enclosure digunakan untuk daerah frekwensi rendah ( 30 Hz - 1 kHz ). Tipe enclosure yang banyak dipakai adalah tipe close-box.

Enclosure loudspeaker merupakan salah satu obyek yang kontroversial yang berhubungan dengan 'high-fidelity' modern. Hal ini karena kelakuan enclosure belum dipahami secara jelas, dan sebagian besar dari kesulitan pemilihan loudspeaker dan enclosure timbul dari kenyataan bahwa faktor 'psycoacoustic' yang berhubungan dalam reproduksi suara dan musik, tidak dapat dipahami. Kenyataan ini dapat dilihat suara yang dihasilkan loudspeaker seseorang, belum tentu cocok untuk orang lain. Pada kasus ini, respon frekwensi loudspeaker seolah-olah memainkan peranan kecil dalam opini seseorang.

Salah satu alternatif pemilihan loudspeaker adalah 'Bass-Reflex', yang memakai 'port' untuk meradiasikan energi suara bagian belakang diaphragma loudspeaker. Pada perancangan ini, penentuan volume enclosure dan luasan 'port' yang diperlukan, merupakan parameter penting dalam penentuan respon frekwensi keluaran loudspeaker.

Dengan latar belakang tersebut diatas, kami akan mengangkat tema **“Perancangan Sistem Speaker pada Sistem Audio Mobil Jenis Mobil Minibus”**, sebagai judul Tugas Akhir yang merupakan prasyarat kelulusan program strata satu (S-1) di Jurusan Teknik Fisika, FTI-ITS, Surabaya.

### **1.2 Permasalahan.**

Bagaimana mendapatkan respon frekwensi keluaran loudspeaker dengan menggunakan loudspeaker yang umum di pasaran, sehingga diperoleh harga respon frekwensi loudspeaker yang diinginkan.

### **1.3 Tujuan.**

Tujuan dari Perancangan sistem speaker pada sistem mobil ini adalah:

- Mendapatkan respon frekwensi keluaran loudspeaker, sesuai yang diharapkan.
- Mendapatkan data-data yang diperlukan untuk menganalisa enclosure loudspeaker dengan melakukan pengukuran tingkat tekanan bunyi keluaran dari loudspeaker terhadap frekwensi.

### **1.4 Batasan masalah.**

Batasan masalah yang digunakan pada perancangan sistem speaker pada sistem audio mobil ini adalah sebagai berikut:

- Tinjauan enclosure secara spesifik dibatasi pada loudspeaker dengan frekwensi rendah (woofer).

- Analisa cross-over, amplifier, pre-amp, dan masalah pengkabelan, diabaikan.
- Speaker yang digunakan umumnya dapat dicari di pasaran.
- Gelombang bunyi diasumsikan sebagai gelombang dua dimensi, yang merambat pada sumbu-x dan sumbu-y.

### 1.5 Metodologi.

- Studi literatur.

Studi literatur meliputi studi teori dasar gelombang bunyi, bunyi dalam enclosure dan pembuatan enclosure bass-reflex.

- Rancang bangun.

Rancang bangun enclosure meliputi penentuan volume dan luasan 'port' atau 'duct', dan pemilihan bahan untuk pembuatan enclosure bagi diameter loudspeaker yang digunakan.

- Pengukuran dan analisa data.

Pengukuran meliputi pengukuran frekuensi resonansi loudspeaker sebelum kabinet bass-refleks dirancang, pengukuran tingkat tekanan bunyi dari kabinet bass-refleks sebelum berada dalam mobil serta pengukuran tingkat tekanan bunyi dari bass-refleks setelah berada dalam bass-refleks, dalam kondisi-kondisi tertentu.

## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 Gelombang bunyi.

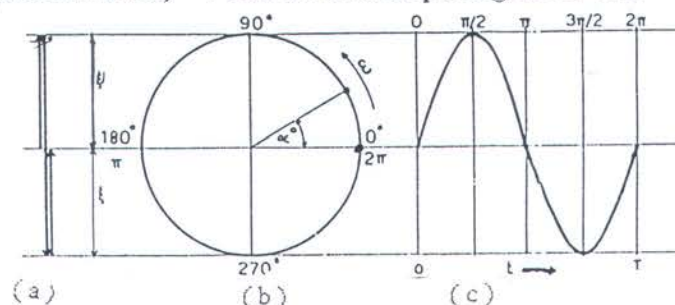
Gelombang bunyi merupakan gelombang mekanis longitudinal. Gelombang bunyi tersebut dapat dijalarkan melalui medium padat, cair, dan gas. Partikel-partikel bahan yang ditransmisikan sebuah gelombang seperti itu berosilasi di dalam arah penjalaran gelombang itu sendiri. Ada suatu jangkauan frekwensi yang besar dimana dihasilkan gelombang mekanis longitudinal, dan gelombang bunyi adalah dibatasi oleh jangkauan frekwensi yang dapat merangsang telinga dan otak manusia kepada sensasi pendengaran antara 20 Hz sampai 20 kHz dan dinamakan jangkauan suara yang dapat didengar (Audible Range).

Salah satu yang perlu diingat mengenai gelombang adalah gelombang dapat memindahkan energi dan informasi dari suatu titik ke titik lain melalui perantara (medium), tetapi medium itu sendiri tidak ikut dipindahkan. Gangguan dilewatkan dari satu titik ke titik lain sebagai penjalaran gelombang. Contoh, pada gelombang cahaya atau gelombang radio, gangguan adalah perubahan medan elektrik dan medan magnet; pada gelombang suara, adalah tekanan dan densitas. Semua bentuk gelombang di atas mempunyai kesamaan, misalnya dapat dipantulkan, dibiaskan atau diteruskan. Semua bentuk gelombang mempunyai energi, dan memindahkan energi dari satu titik ke titik lain. Tiap-tiap gelombang juga meyebar dengan kecepatan yang berbeda. Gelombang cahaya dan gelombang radio berkecepatan  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ; gelombang suara berkecepatan  $344 \text{ m/s}$ . Perbedaan gelombang cahaya-

radio dengan gelombang suara adalah pada kebutuhan medium. Pada gelombang cahaya dan radio, tidak memerlukan medium untuk penyebarannya, sedangkan gelombang suara memerlukan medium baik padat, cair, atau gas untuk menyebar.

### 2.11 Gerakan partikel bunyi.

Gerakan partikel gelombang bunyi bila ditinjau satu per satu, pertama partikel mengalami fase penekanan (kompresi), lalu kembali ke posisi sebelum penekanan, yang merupakan kondisi awal partikel dan kemudian mengalami fase perenggangan (rarefaction), dan kembali lagi ke posisi sebelum perenggangan(kondisi awal) <sup>[1]</sup>. Hal ini terlihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1.

Gerakan partikel (a) gerakan partikel secara longitudinal;  
(b) proyeksi terhadap lingkaran; (c) proyeksi terhadap kurva perubahan waktu.

Gambar 2.1 (a) merupakan penggambaran gerakan partikel gelombang bunyi secara longitudinal dengan perpindahan maksimum  $\xi$ . Gambar 2.1 (b) merupakan proyeksi gerakan partikel gelombang bunyi terhadap lingkaran, dengan kecepatan angular  $\omega = 2\pi f$  radian/detik. Gambar 2.1 (c) merupakan gerakan partikel gelombang bunyi satu lingkaran terhadap perubahan waktu dengan sudut fase  $\alpha^\circ$  dalam radian. Gerakan demikian mendekati getaran harmonik sederhana, dengan perpindahan partikel:

$$y = \xi \sin \omega t \quad \dots(2.1)$$

dimana:  $\xi$  = amplitudo simpangan maksimum.

$\omega$  = kecepatan angular dalam radian

$t$  = waktu dalam detik

Karena kecepatan merupakan perubahan simpangan terhadap waktu, didapat:

$$v = \left( \frac{dy}{dt} \right) = \xi \omega \cos \omega t \quad \dots(2.2)$$

dan percepatan partikel merupakan perubahan kecepatan terhadap waktu, didapat:

$$a = \left( \frac{d^2y}{dt^2} \right) = - \xi \omega^2 \sin \omega t, \text{ yang dapat disederhanakan:}$$

$$a = - \omega^2 y \quad \dots(2.3)$$

Tinjauan partikel di atas merupakan tinjauan terhadap medium secara riil, dimana partikel mempunyai massa dan gaya yang sebanding dengan massa  $\times$  percepatan:

$$F = - M \omega^2 y \quad \dots(2.4)$$

dimana :  $M$  = massa partikel

Energi partikel merupakan penjumlahan energi kinetik (berhubungan dengan kecepatan partikel) dan energi potensial (berhubungan dengan tekanan suara).

Energi kinetik dari partikel,

$$EK = \frac{1}{2} M v^2 = \frac{1}{2} M (\xi \omega \cos \omega t)^2 \quad \dots(2.5)$$

Harga maksimum energi kinetik:

$$EK_{MAX} = \frac{1}{2} M (\xi \omega)^2 \quad \dots(2.6)$$

Pada hukum kekekalan energi, energi kinetik + energi potensial adalah konstan. Bila energi kinetik maksimum, energi potensial bernilai nol sehingga total energi sebanding dengan energi kinetik maksimum.

Nilai energi rata-rata per volume medium ( $V$ ), merupakan kerapatan energi bunyi, yang diberikan dengan persamaan:

$$E = \frac{1}{2} M (\xi \omega)^2 / V \quad \dots(2.7)$$

Karena  $\rho = M / V$ , maka persamaan kerapatan energi bunyi adalah:

$$E = \frac{1}{2} \rho (\xi \omega)^2 \quad \dots(2.8)$$

## 2.12 Penyelesaian umum persamaan gelombang bunyi.

Seperti telah disebutkan diatas, gelombang bunyi merupakan gelombang longitudinal mekanis, yang dapat didekatkan dengan gambar 2.2 [2]. Pada gambar 2.2, arah rambatan dan arah gangguan yang terjadi diasumsikan hanya pada sumbu  $x$ . Gelombang longitudinal mengalami penekanan dan perenggangan sepanjang arah sumbu  $x$ . Elemen dengan tebal  $\delta x$  dibatasi dinding-dinding  $x$  dan  $x + \delta x$ . Setelah terjadi perpindahan,  $x$  berpindah ke  $\zeta$  dan  $x + \delta x$ , berpindah ke  $\zeta + \delta \zeta$ . Gaya per satuan luas yang terjadi pada tiap dinding :

$$\text{a. Pada dinding } x : \quad F = Y \frac{\delta \zeta}{\delta x} \quad \dots(2.9)$$

$$\text{b. Pada dinding } x + \delta x : \quad F = Y \left( \frac{\delta \zeta}{\delta x} + \frac{\delta^2 \zeta}{\delta x^2} \delta x \right) \quad \dots(2.10)$$

sehingga gaya total yang bekerja pada elemen dengan tebal  $\delta x$ , adalah :

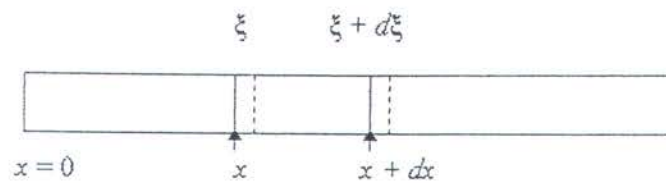


$$F = Y \cdot s \cdot \frac{\delta^2 \zeta}{\delta x^2} \cdot \delta x \quad \dots(2.11)$$

dimana:  $Y$  = modulus young

$$\frac{\delta \zeta}{\delta x} = \text{strain}$$

$s$  = luas penampang



Gambar 2.2 Gelombang longitudinal mekanis

Dengan menggunakan Hukum II Newton untuk persamaan 2.11 :

$$s \cdot \rho \cdot \delta x \cdot \frac{\delta^2 \zeta}{\delta t^2} = Y \cdot s \cdot \frac{\delta^2 \zeta}{\delta x^2} \cdot \delta x \quad \dots(2.12)$$

didapat persamaan gelombang untuk 1 dimensi :

$$\frac{\delta^2 \zeta}{\delta x^2} = (\rho / Y) \cdot \frac{\delta^2 \zeta}{\delta t^2} \quad \dots(2.13)$$

dimana :  $(\rho / Y) = \frac{1}{c^2}$

$$c = \text{koefisien propagasi} = (Y/\rho)^{1/2}$$

Dalam notasi umum persamaan gelombang ditulis :

$$\frac{\delta^2 \zeta}{\delta x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\delta^2 \zeta}{\delta t^2} \quad \dots(2.14)$$

Penyelesaian dari persamaan 2.14 adalah :

$$\zeta = f(x, t) \quad \text{atau} \quad \zeta = f(x) = a \cos mx$$

Jika gelombang merambat dengan kecepatan  $c$  dalam arah sumbu  $x$  positif, maka :

$$\zeta = f(x - ct) = a \cos m(x - ct) \quad \dots(2.15)$$

Karena  $\cos m(x - \omega t) = \cos m(x - ct + \frac{2\pi}{m})$  merupakan fungsi periodik, dan jarak

$\frac{2\pi}{m}$  disebut  $\lambda$ , persamaan 2.15 dapat ditulis:

$$\zeta = a \cos \frac{2\pi}{\lambda}(x - ct) = a \cos(kx - \omega t) \quad \dots(2.16)$$

dengan:  $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \text{nomer gelombang.}$

Persamaan gelombang (2.16) dalam bentuk kompleks dapat ditulis :

$$\zeta = a e^{I(kx - \omega t)} \quad \dots(2.17)$$

### 2.13 Intensitas bunyi.

Energi suara yang mengalir melalui medium bergantung pada kerapatan energi suara dan kecepatan gelombang suara dalam medium. Intensitas bunyi pada gelombang *unidirectional* didefinisikan sebagai flux energi bunyi melalui luasan normal sampai arah penyebaran, dibagi dengan luasan tersebut<sup>[1]</sup>, sehingga:

$$I = E \cdot c = \frac{1}{2} \rho (\xi \omega)^2 \cdot c \quad \dots(2.18)$$

Harga  $\rho$  dan  $c$  biasanya bergantung pada sifat dasar medium, sehingga sering disebut Impedansi Karakteristik Medium,  $Z = \rho c$ , dan kecepatan angular ( $\omega$ ) sebanding dengan  $2\pi f$ , maka persamaan 2.18 dapat diganti dengan :

$$I = \frac{1}{2} (\xi 2\pi f)^2 \cdot Z = 2 Z (\xi \pi f)^2 \quad \dots(2.19)$$

dimana:  $c = \text{kecepatan suara dalam medium}$

$\rho$  = kerapatan medium

$Z$  = Impedansi karakteristik medium

$f$  = frekwensi bunyi

Pada persamaan 2.19 terlihat bahwa intensitas bunyi dalam medium bergantung pada kuadrat amplitudo simpangan partikel, kuadrat frekwensi bunyi serta kerapatan dan kecepatan bunyi dalam medium. Satuan intensitas adalah watt / meter<sup>2</sup>.

#### 2.14 Tekanan bunyi.

Pengukuran energi yang biasa dilakukan, merupakan perubahan tekanan pada suatu titik dalam medium, yang menggambarkan penekanan dan perenggangan partikel dalam medium tersebut. Pada gelombang bebas berjalan, perbandingan tekanan bunyi,  $p$  dan kecepatan partikel,  $v$  adalah konstan, karena ketika tekanan suara mencapai maksimum, perpindahan partikel mencapai maksimum pula dan kecepatan partikel bernilai nol<sup>[1]</sup>. Sebaliknya, perpindahan partikel bernilai nol, kecepatan partikel mencapai maksimum, sehingga  $(p/v)$  selalu konstan. Konstanta ini sebanding dengan impedansi karakteristik medium,  $Z$  pada bagian 2.12.

Intensitas suara pada gelombang bebas berjalan dapat dinyatakan dengan:

$$I = v \cdot p \cdot \cos \varphi \quad \dots(2.20)$$

dimana:  $v$  = kecepatan rms partikel

$p$  = tekanan rms partikel

$\varphi$  = beda fase antara kecepatan partikel dan tekanan suara.

Pada kenyataannya, kedua faktor  $v$  dan  $p$  bergerak pada fase yang sama, sehingga  $\cos \varphi = 1$ .

Tekanan suara sebanding dengan akar kuadrat intensitas, dan biasanya dinyatakan dengan satuan logaritma sebagai tingkat tekanan suara rms,  $L_p$  dalam desibel.

$$L_p = 10 \log \left( \frac{p^2}{p_0^2} \right) \quad \dots(2.21)$$

atau: 
$$L_p = 20 \log \left( \frac{p}{p_0} \right) \quad \dots(2.22)$$

dimana:  $p$  = tekanan bunyi rms dalam Newton / meter<sup>2</sup>.

$$p_0 = \text{tekanan referensi} = 2 \times 10^{-5} \text{ N / m}^2$$

sehingga persamaan 2.22, dengan tekanan referensi  $2 \times 10^{-5} \text{ N / m}^2$  dapat disederhanakan:

$$L_p = 20 \log p + 94 \quad (\text{dB}) \quad \dots(2.23)$$

Karena tekanan bunyi rms adalah kecil bila dibandingkan dengan tekanan atmosfer, perlu untuk menggunakan alat ukur yang telah diseimbangkan dengan memperhatikan tekanan atmosfer (sesuai dengan telinga manusia).

### 2.15 Daya bunyi.

Tekanan suara dalam medium berhubungan dengan daya sumber bunyi, yang diukur dengan satuan watt (W) <sup>[1]</sup>. Karena jangkauan daya sangat besar, maka digunakan skala logaritma untuk daya bunyi, yang didefinisikan sebagai tingkat daya bunyi:

$$L_w = 10 \log \frac{W}{W_{ref}} \quad (\text{dB}) \quad \dots(2.24)$$

dimana:  $W$  = daya bunyi dalam watt

$$W_{ref} = \text{daya bunyi referensi, } 10^{-12} \text{ W}$$

Untuk pengukuran, tidak ada alat yang dapat mengukur langsung tingkat daya bunyi, tetapi melalui tingkat tekanan bunyi

### 2.16 Kecepatan bunyi.

Kecepatan bunyi adalah laju perambatan gelombang bunyi. Kecepatan bunyi dalam gas didapatkan melalui persamaan [3]:

$$c = \sqrt{\frac{RT\gamma}{M}}, \quad \dots (2.25)$$

dimana :  $T$  = suhu absolut dalam derajat Kelvin.

$R$  dan  $\gamma$  = konstanta gas.

$M$  = berat molekul gas.

Untuk udara,  $M = 2,88 \times 10^{-2}$ ;  $R = 8,31$ ; dan  $\gamma = 1,4$  sehingga persamaan diatas dapat ditulis:

$$c = 20,1 \sqrt{T} \quad \dots (2.26)$$

Untuk suhu absolut  $T$ , didapat dengan menambah 273 untuk skala Celcius. Pada suhu  $21^{\circ}\text{C}$ ,  $T = 294^{\circ}\text{K}$ , sehingga  $c = 344 \text{ m/s}$ . Pada suhu  $0^{\circ}\text{C}$ , kecepatan suara didapat  $332 \text{ m/s}$ . Jadi persamaan kecepatan bunyi dalam udara secara umum dapat ditulis:

$$c = 331,5 + 0,6t \text{ m/s} \quad \dots (2.27)$$

dimana  $t$  = suhu dalam derajat Celcius.

### 2.17 Frekwensi bunyi.

Frekwensi adalah jumlah perubahan atau osilasi yang dilakukan oleh sebuah partikel media dalam satu detik. Tiap osilasi lengkap disebut satu siklus (putaran). Frekwensi dinyatakan dalam satuan Hertz (Hz) yang secara numerik sama dengan siklus (putaran) per detik. Frekwensi adalah gejala fisis obyektif yang dapat diukur oleh instrumen akustik.

Bila osilasi yang dilakukan partikel sebanyak 20 putaran tiap detik, maka osilasi tersebut dapat didengar oleh telinga manusia sebagai bunyi. Jumlah osilasi per detik disebut frekwensi bunyi, yang oleh telinga manusia mempunyai jangkauan antara 20 Hz sampai 20 kHz.

### 2.2 Loudspeaker

Loudspeaker merupakan transduser elektromagnetik yang mengubah sinyal listrik ke dalam suara. Perubahan ini memerlukan 2 langkah <sup>[4]</sup>:

1. Sinyal elektrik, menyebabkan gerakan mekanik dari diaphragma speaker.
2. Gerakan mekanik diaphragma speaker menyebabkan gerakan partikel udara, yang kita sebut bunyi.

Idealnya, loudspeaker harus mampu menghasilkan semua daerah frekwensi secara linier, sehingga keluaran yang dihasilkan harus berubah secara proporsional dengan perubahan masukannya. Kenyataannya, loudspeaker yang cukup besar untuk membangkitkan gelombang suara frekwensi rendah, umumnya tidak mampu menghasilkan frekwensi tinggi. Sebaliknya, loudspeaker berkemampuan menyebar gelombang pendek, mempunyai respon yang jelek terhadap gelombang panjang.

Ada dua tipe dasar loudspeaker :

1. Tipe yang mempunyai permukaan getar (disebut diaphragma) yang menyebarkan suara secara langsung ke udara.
2. Tipe horn, yang menyebarkan suara melalui ruang yang disebut horn diantara diaphragma dan udara.

Tipe pertama sering disebut loudspeaker pengarah langsung (direct loudspeaker). Tipe ini sering dipakai pada phonographs, alat penghubung umum yang kecil, dan perlengkapan audio yang ada di rumah. Tipe kedua disebut loudspeaker horn, yang digunakan pada sistem high-fidelity pereproduksiian suara, sistem suara pada theater dan auditorium, sistem musik pada udara terbuka.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dari loudspeaker, yaitu <sup>[4]</sup>:

### 2.21 Faktor Arah / Directivity Factor (Q).

Definisi faktor arah adalah perbandingan antara intensitas suatu sumber suara pada titik dan arah tertentu terhadap intensitas sumber suara titik ideal pada posisi dan arah yang sama dengan masukan daya yang sama.

$$Q = \left[ \frac{I_A}{I_{ideal}} \right]_r \quad \dots (2.28)$$

dengan :  $I = \frac{p^2}{\rho_0 c}$

sehingga :  $Q = \left[ \frac{I_\theta}{I} \right]_r = \left[ \frac{p_\theta^2}{p^2} \right]_r \quad \dots(2.29)$

dimana : Q = faktor arah

$I_A$  = intensitas sumber suara pada suatu titik dan arah tertentu

$p$  = tekanan suara

$\rho_0 c$  = karakteristik impedansi medium.

## 2.22 Index Pengarahan / Directivity Index (DI).

Index arah merupakan perbandingan logaritmis antara faktor arah loudspeaker terhadap faktor arah loudspeaker referensi (loudspeaker omni). Semakin besar harga DI, menunjukkan semakin besar konsentrasi energi yang dipancarkan pada sumbu loudspeaker. Umumnya, semakin besar harga index arah suatu loudspeaker maka sudut cakupan loudspeaker semakin kecil. Index arah didefinisikan sebagai :

$$DI = 10 \log Q \quad \dots(2.30)$$

Dari (2.29), 
$$DI = 10 \log \left[ \frac{P_{\theta}^2}{P^2} \right]_r$$

$$DI = 10 \log \frac{P_{\theta}^2}{P_{ref}^2} - 10 \log \frac{P^2}{P_{ref}^2}$$

$$DI = [SPL_{\theta}]_r - [SPL]_r \quad \text{dB} \quad \dots (2.31)$$

Dari (2.31), nilai Q dapat juga diperoleh :

$$Q = \text{anti log} \left\{ \frac{[SPL_{\theta}]_r - [SPL]_r}{10} \right\} \quad \dots(2.32)$$

dimana:  $DI$  = indeks pengarahan

$SPL$  = tingkat tekanan suara.



### 2.23 Sudut Cakupan / Coverage Angel ( $C \angle$ ).

Besarnya sudut cakupan sebuah loudspeaker didefinisikan sebagai besarnya sudut sebuah bidang polar yang teradiasi energi suara hingga berkurang sebesar 6 dB dari sudut energi maximum.

### 2.24 Tingkat Tekanan Suara Keluaran dari Loudspeaker ( $L_{p \text{ out}}$ ).

Tingkat tekanan suara yang dihasilkan suatu loudspeaker ditentukan oleh faktor arah, daya akustik dan jarak terhadap sumber. Besarnya tingkat tekanan suara dari keluaran loudspeaker untuk suara langsung, dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$L_p \text{ (dB)} = L_w + 10 \log \left[ \frac{Q}{4\pi r^2} \right] \quad \dots(2.33)$$

Sedangkan untuk suara pantul dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$L_p \text{ (dB)} = L_w + 10 \log \left[ \frac{4}{R} \right] \quad \dots(2.34)$$

Sehingga  $L_p$  pada suatu titik karena pengaruh suara langsung dan suara pantul,

$$\text{adalah} \quad L_p \text{ (dB)} = L_w + 10 \log \left[ \frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right] \quad \dots (2.35)$$

dimana :  $Q$  = faktor arah loudspeaker.

$L_w$  = tingkat daya sumber suara.

$R$  = konstanta ruang

$$= (S \cdot \alpha) / (1 - \alpha)$$

$r$  = jarak titik ukur dari sumber suara.

$L_w$  dari sebuah loudspeaker merupakan daya akustik yang diperoleh dari konversi daya listrik ke daya akustik dengan mengalikan faktor efisiensi loudspeaker.

$L_w$  dari sebuah loudspeaker merupakan daya akustik yang diperoleh dari konversi daya listrik ke daya akustik dengan mengalikan faktor efisiensi loudspeaker.

$$L_w \text{ (dB)} = 10 \log (W_L \times \% \text{ eff}) + 120 \text{ dB} \quad \dots(2.36)$$

dimana :  $W_L$  = daya listrik.

Persamaan untuk menentukan harga tingkat tekanan suara pada suatu posisi tertentu dalam ruang untuk  $n$  buah loudspeaker dinyatakan dengan persamaan berikut

$$L_p \text{ (dB)} = 10 \log \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_{pi}} \right\} \quad \dots (2.37)$$

dimana :  $n$  = jumlah loudspeaker.

$L_{pi}$  = tingkat tekanan suara dari loudspeaker ke- $i$ .

### 2.25 Sensitivitas Loudspeaker ( $L_{sens}$ ).

Sensitivitas loudspeaker adalah suatu angka yang menunjukkan kemampuan loudspeaker untuk menghasilkan suatu tekanan suara akibat daya sebesar 1 Watt pada jarak 1 meter. Sensitivitas ini sering ditulis dalam bentuk  $L_p$  [ 1 Watt, 1 m ]. Untuk mengetahui tingkat tekanan suara akibat suatu loudspeaker pada jarak tertentu maka digunakan rumus sebagai berikut :

$$L_p (r) = L_p (r_{ref}) - 20 \log [ r / r_{ref} ]$$

atau,

$$L_p (r) = L_{sens} (1 \text{ Watt}, 1 \text{ m}) - 20 \log r \quad \dots(2.38)$$

### 2.26 Efisiensi Loudspeaker (% eff).

Seperti telah disebutkan di atas, efisiensi loudspeaker mempengaruhi daya keluaran dari loudspeaker. Loudspeaker dengan bentuk pancaran yang lebih melebar ( $Q$  kecil), cenderung memiliki efisiensi yang lebih baik. Umumnya terdapat pada loudspeaker frekwensi rendah. Hubungan sensitivitas loudspeaker dan efisiensi dapat dilihat dari persamaan berikut :

$$\% \text{eff} = 10 \exp \left[ \frac{L_{\text{sens}} - 10 \log Q + 20 \log \frac{r}{0,828} - 10 \log \frac{W_{\text{ref}}}{10 \exp^{-10r}}}{10} \right] \times 100\% \quad \dots (2.39)$$

- dimana :
- $L_{\text{sens}}$  = sensitivitas loudspeaker (dB)
  - $W_{\text{ref}}$  = daya loudspeaker untuk menghasilkan  $L_{\text{sens}}$ .
  - $Q$  = faktor arah loudspeaker.
  - $r$  = jarak referensi sensitivitas loudspeaker (1m )

### 2.27 Daya Masukan Loudspeaker / Electrical Power Required (EPR).

Daya listrik masukan yang diperlukan suatu loudspeaker untuk menghasilkan tingkat tekanan suara pada suatu jarak tertentu, dapat dituliskan dengan rumus berikut:

$$\text{EPR} = 10 \cdot \exp \left[ \frac{(L_p + 10) + \Delta D_2 - \Delta D_{\text{ref}} - L_{\text{sens}}}{10} \right] \times W_{\text{ref}} \quad \dots (2.40)$$

- dimana :
- $L_p$  = tingkat tekanan suara yang diinginkan (dB)
  - $\Delta D_2$  = attenuasi SPL jarak sumber ke pendengar terjauh (dB)
  - $\Delta D_{\text{ref}}$  = attenuasi jarak pada sensitivitas loudspeaker yang diukur (dB)

$L_{sens}$  = sensitivitas loudspeaker (dB)

$W_{ref}$  = daya loudspeaker untuk menghasilkan  $L_{sens}$  (1 Watt, 1m)

$\Delta D_x$  merupakan suatu konversi dari jarak ke dB yang dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\Delta D_x = 10 \cdot \log \left[ \frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right] \quad \dots(2.41)$$

dimana :  $Q$  = faktor arah loudspeaker

$R$  = konstanta ruang =  $(S \cdot \alpha) / (1 - \alpha)$

### 2.3 IMPEDANSI AKUSTIK

Banyak sistem sederhana yang dapat dianalogikan ke sistem mekanik dan dapat pula dianalogikan ke sistem elektrik, dimana gerakan fluida sebanding dengan kelakuan arus pada sirkuit elektrik yang mempunyai elemen tahanan, induktansi dan kapasitansi. Analogi kecepatan volume  $U$  pada fluida yang berhubungan dengan elemen akustik, adalah arus pada sirkuit elektrik <sup>[2]</sup>.

Umumnya, impedansi akustik,  $Z$  dari fluida yang terjadi pada luasan permukaan  $S$ , didefinisikan sebagai perbandingan tekanan akustik pada permukaan dengan kecepatan volume pada permukaan:

$$Z = p / U \quad \dots(2.42)$$

Ada 3 jenis impedansi, yang berguna untuk perhitungan yang berbeda:

1. *Impedansi akustik spesifik,  $z$*  (tahanan / kecepatan partikel), adalah karakteristik sifat medium dan tipe gelombang yang disebarkan. Impedansi jenis ini berguna untuk perhitungan transmisi gelombang akustik dari satu medium ke medium lainnya.

2. *Impedansi akustik,  $Z$*  (tekanan / kecepatan volume). Impedansi ini berguna pada pembahasan penyebaran akustik dari permukaan yang bergetar, dan transmisi dari penyebaran (radiation) tersebut, melalui elemen-elemen akustik terpusat (lumped acoustic elemen). Hubungan antara impedansi akustik dengan impedansi akustik spesifik, dinyatakan dengan persamaan :

$$Z = z / S \quad \dots(2.43)$$

3. *Impedansi penyebaran,  $Z_r$*  (gaya / kecepatan), digunakan pada perhitungan kopling antara gelombang akustik dan sumber pengendali. Impedansi ini merupakan bagian dari impedansi mekanikal,  $Z_m$  dari sistem yang bergetar pada peradiasian (penyebaran) suara. Hubungan impedansi penyebaran dengan impedansi akustik spesifik dinyatakan dengan persamaan:

$$Z_r = S.z \quad \dots(2.44)$$

### 2.31 Impedansi Akustik Terpusat :

Sistem akustik diperlakukan sebagai sistem akustik terpusat (lumped) bila ukuran-ukuran (dimensi) sistem akustik lebih kecil dibanding panjang gelombang. Impedansi dari sistem akustik didefinisikan sebagai perbandingan antara perbedaan tekanan,  $p$  dengan kecepatan volume  $U$ .

Satuan impedansi akustik adalah  $\text{Pa} \cdot \text{s}/\text{m}^3$  yang juga disebut sebagai *ohm akustik*. Salah satu contoh impedansi akustik terpusat adalah Resonator Helmholtz. Pada persamaan differensial yang dihasilkan untuk perpindahan  $\xi$  fluida ke dalam leher adalah:

$$m \frac{d^2 \xi}{dt^2} + R_r \frac{d\xi}{dt} + s = S P e^{j\omega t} \quad \dots(2.45)$$

dengan  $U = (d\xi/dt)S$  didapatkan :

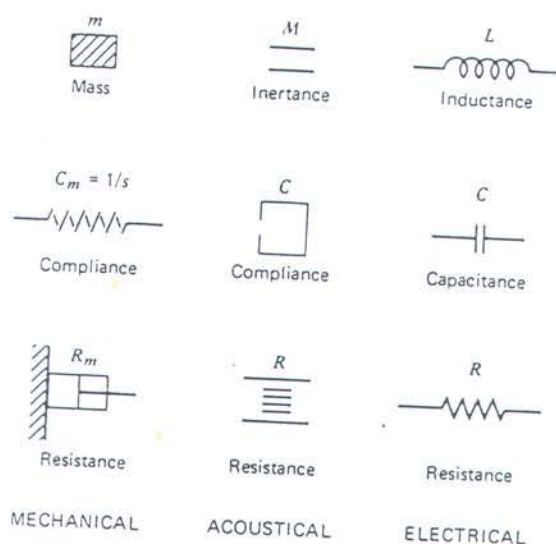
$$p/U = Z = R + j(\omega M - 1/\omega C) \quad \dots(2.46)$$

dimana :  $R = R_r / S^2 = \rho_o c k^2 / 2\pi$  (untuk 'flanged')

$$M = m / S^2 = \rho_o L' / S$$

$$C = S^2 / s = V / (\rho_o c^2)$$

Tiga elemen dasar dari sistem mekanikal, akustik dan elektrik, digambarkan seperti gambar 2.3. Inertansi  $M$  dari sistem akustik mewakili fluida yang berada pada penyempitan yang pendek, sehingga semua partikel dapat dianggap bergerak sefase ketika digerakkan oleh tekanan suara.



Gambar 2.3 Analogi akustik, elektrik, dan mekanik.

Kompliansi  $C$  dari sistem mewakili volume tertutup, yang diasosiasikan dengan kekakuan (stiffness). Sedangkan resistansi  $R$  pada umumnya mewakili celah sempit dari pipa.

### 2.32 Impedansi Akustik Terdistribusi :

Apabila salah satu dari dimensi (ukuran) dari sistem akustik tidak lebih kecil dari panjang gelombang, sistem tidak lagi dapat dianggap sebagai sistem terpusat melainkan sebagai sistem terdistribusi. Sistem paling sederhana dari tipe ini sistem dimana bidang gelombang frekwensi rendah disebarkan melalui pipa. Bila gelombang disebarkan pada arah sumbu  $x$  positif, perbandingan tekanan akustik dengan kecepatan partikel didapat dari karakteristik impedansi ( $\rho_0 c$ ) medium. Impedansi akustik pada luasan  $S$  dari pipa adalah :

$$Z = p / U = p / S \cdot u = \rho_0 c / S \quad \dots(2.47)$$

### 2.4 Enclosure.

Pada loudspeaker, untuk meradiasikan suara secara efisien, khususnya pada frekwensi rendah, maka loudspeaker harus dibangun pada *baffle*. *Baffle* merupakan pembatas yang dapat digunakan untuk meningkatkan panjang efektif dari lintasan transmisi akustik antara bagian depan dan bagian belakang cone (diaphragma). Istilah *baffle* umumnya digunakan pada permukaan bidang. Untuk mengerti mengapa *baffle* penting, yang harus diingat adalah bila cone loudspeaker bergetar, akan terjadi beda phase  $180^\circ$  antara bagian depan dan bagian belakang diaphragma. Gelombang dengan tekanan yang diperbesar dibangkitkan pada sisi depan, tetapi gelombang dengan tekanan yang berkurang dibangkitkan pada sisi belakang cone. Bila tanpa *baffle*, maka akan terjadi lintasan '*short-circuit*' pada ujung cone, sehingga suara yang ditangkap oleh telinga mempunyai tekanan suara yang lemah.

### 2.41 Resonator Helmholtz.

Alat ini terdiri dari rongga dengan dinding keras, bervolume  $V$ , luasan leher  $S$  dengan panjang  $L$  [2]. Bila  $\chi \gg L$ , fluida dalam leher bergerak sebagai unit yang mengadakan elemen massa. Bila  $\chi \gg V^{1/3}$ , tekanan akustik dalam rongga memberikan elemen kekakuan. Bila  $\chi \gg S^{1/2}$ , suara yang diradiasikan berlaku sebagai sumber sederhana, yang memberikan elemen tahanan. Perhitungan untuk analisa resistor Helmholtz :

Fluida dalam leher mempunyai total efektif massa :

$$m = \rho_0 S L' \quad \dots(2.48)$$

dimana :  $L'$  = panjang efektif leher.

$L'$  lebih panjang dari panjang fisik karena pembebanan penyebaran massa. Pada frekwensi rendah, dengan jari-jari lingkaran terbuka  $a$ , dengan luasan silinder  $\pi a^2$  dan panjang  $0,85a$  bila dianggap 'flanged', dan  $0,6a$  bila dianggap 'unflanged'.

$$L' = L + 2(0,85a) = L + 1,7a \quad (\text{untuk 'flanged'}) \quad \dots (2.49)$$

$$L' = L + (0,85 + 0,6)a = L + 1,5a \quad (\text{untuk 'unflanged'}) \quad \dots(2.50)$$

Untuk menentukan kekakuan sistem, dianggap leher berhubungan dengan piston 'air-tight'. Bila piston ditekan dengan jarak  $\xi$ , volume rongga diubah menjadi  $\nabla V = -S\xi$ , mengakibatkan kondensasi  $\nabla \rho / \rho = \nabla V / V = S\xi / V$ . Peningkatan tekanan (dengan pendekatan secara akustik) adalah :

$$p = \rho_0 c^2 (\nabla \rho / \rho) \quad \dots(2.51)$$

atau 
$$p = \frac{\rho_0 c^2}{V} S\xi \quad \dots (2.52)$$



Gaya yang dibutuhkan untuk perpindahan adalah

$$f = pS = \left( \frac{\rho_0 c^2 S^2}{V} \right) \xi \quad \dots (2.53)$$

dan kekakuan efektif  $s$  adalah

$$s = \rho_0 c^2 S^2 / V \quad \dots (2.54)$$

Bila diasumsikan, fluida yang digerakkan dalam leher meradiasikan suara ke medium sekelilingnya sama dengan kejadian pada pipa ujung terbuka, maka untuk  $\lambda \gg a$ , resistansi peradiasian :

$$R_r = \rho_0 c k^2 S^2 / 2\pi \quad (\text{untuk 'flanged'}) \quad \dots (2.55)$$

$$R_r = \rho_0 c k^2 S^2 / 4\pi \quad (\text{untuk 'unflanged'}) \quad \dots (2.56)$$

Gaya pengendali yang terjadi oleh gelombang suara dengan amplitudo  $P$  yang menyentuh ujung terbuka resonator adalah :

$$f = SPe^{j\omega t} \quad \dots (2.57)$$

Pada (2.45), persamaan differensial yang dihasilkan untuk perpindahan  $\xi$  fluida ke dalam leher adalah:

$$m \frac{d^2 \xi}{dt^2} + R_r \frac{d\xi}{dt} + s = SPe^{j\omega t}$$

Karena persamaan tersebut merupakan analogi untuk menggerakkan osilator, impedansi mekanik dari resonator Helmholtz adalah:

$$Z_m = R_r + j(\omega m - s/\omega) \quad \dots (2.58)$$

dan resonansi terjadi ketika reaktansi = 0 :

$$\omega_0 = c (S / L^3 V)^{1/2} \quad \dots (2.59)$$

Untuk persamaan diatas, bentuk rongga tidak dipermasalahkan, tetapi yang penting adalah ukuran volume rongga.

Ketajaman resonansi dari pengendali resonator Helmholtz, diukur dengan faktor kualitas:

$$Q = \frac{m\omega_0}{R_r} \text{ atau } Q = 2\pi\sqrt{V(L'/S)^3} \quad \dots (2.60)$$

Pernyataan ini didapat dengan anggapan tidak terjadi kerugian (losses), kecuali yang dihasilkan dari peradiasian akustikal dan peradiasian ini serupa dengan keadaan untuk ujung 'flanged'.

Penguatan tekanan yang terjadi didefinisikan sebagai perbandingan antara penguatan tekanan akustik  $P_c$  dalam rongga, dengan penguatan tekanan pengendali luar  $P$  dari gelombang suara datang (incident).  $P_c$  dinyatakan seperti pada persamaan (2.52),  $P_c = \frac{\rho_0 c^2}{V} S\xi$ . Kemudian impedansi mekanikal:

$$Z_m = F / (d\xi / dt) \quad \dots (2.61)$$

dimana:  $|\xi| = PS / (\omega R_r)$  dan dikombinasikan dengan persamaan (2.54),

$s = \rho_0 c^2 S^2 / V$ , akan diperoleh :

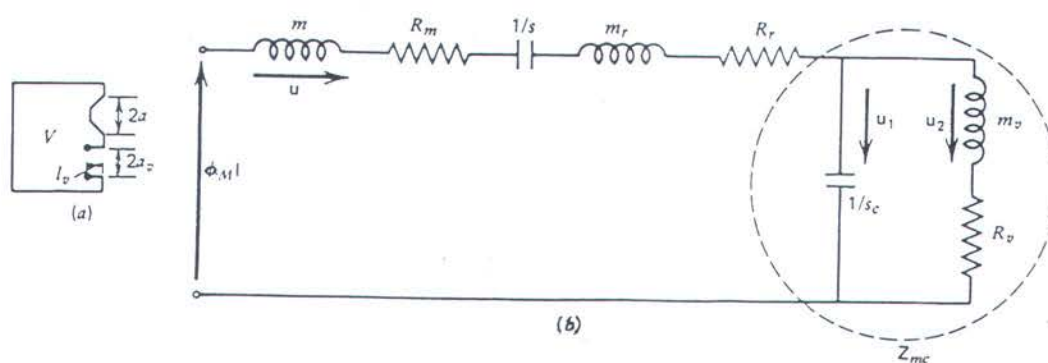
$$P_c / P = Q. \quad \dots (2.62)$$

Karena itu, resonator Helmholtz dapat dianggap sebagai amplifier (penguat) dengan faktor penguatan  $Q$ .

#### 2.42 Kabinet Bass-Refleks.

Satu faktor yang membatasi keluaran frekwensi rendah dari loudspeaker adalah ketidakefisiensian kopling antara cone (diaphragma) dan udara. Penggunaan cone yang besar meningkatkan resistansi peradiasian sehingga meningkatkan kopling. Tetapi hal ini meningkatkan pengarahannya. Salah satu jalan alternatif adalah

dengan membangun speaker dalam kabinet pembalik phase, yang memungkinkan peradiasian dari belakang cone untuk ditambahkan pada phase keluaran dari depan, sehingga secara efektif meningkatkan total resistansi radiasi. Salah satu tipe dari kabinet pembalik phase ini adalah kabinet bass-reflex [2].



Gambar 2.4 Kabinet bass-refleks  
(a)Skema (b) Rangkaian ekivalen mekanikal

Rangkaian yang sebanding dengan sistem kabinet bass-reflex adalah gambar 2.4.  $Z_{mc}$  adalah impedansi mekanikal. Untuk frekwensi rendah, kompliansi  $1/s_c$  dari rongga, pararel dengan kombinasi seri dari inertansi  $m_v$  dan resistansi  $R_v$  dari vent. Impedansi akustik dari elemen-elemen diperoleh dari Resonator Helmholtz, yang mempunyai vent berupa pipa. Impedansi mekanik dari cone speaker:

$$\frac{1}{Z_{mc}} = j \frac{\omega}{s_c} + \frac{1}{R_v + jm_v \omega} \quad \dots (2.63)$$

dengan :

$$\frac{1}{s_c} = \frac{1}{(\pi \cdot a^2)^2} \frac{V}{\rho_o c^2}$$

$$R_v = (\pi \cdot a^2)^2 \frac{\rho_o \cdot c k^2}{2\pi}$$

$$m_v = (\pi \cdot a^2)^2 \frac{\rho_o \cdot (L_v + 1,7a_v)}{\pi \cdot a_v^2}$$

dimana:  $a_v$  = jari-jari vent (pipa).

### 2.43 Bunyi dalam ruang.

Bunyi dalam ruang dapat dikategorikan menjadi 2 bagian, pertama untuk ruang kecil dengan bentuk sederhana, seperti bentuk persegi dan silinder<sup>[5]</sup>. Tipe yang kedua untuk ruang besar dengan bentuk tidak teratur, misalnya untuk auditorium, gereja, ruang konser musik dan lain-lain. Tinjauan bunyi dalam ruang pada pembahasan ini dibatasi untuk ruang kecil dengan bentuk sederhana.

Pada perambatan bunyi, dibatasi sepanjang sumbu  $x$ , medan bunyi dapat digambarkan sebagai kombinasi gelombang datang dan gelombang pantul. Gelombang datang merupakan jumlahan dari gelombang medan bebas yang dipancarkan sumber bunyi, dengan gelombang kedua, ketiga dan seterusnya. Demikian pula halnya dengan gelombang pantul. Jumlah besaran gelombang datang dan gelombang pantul ini menghasilkan gelombang stasioner. Jadi gelombang stasioner adalah interferensi gelombang dengan frekwensi sama. Intensitas gelombang stasioner sepanjang sumbu  $x$  bernilai nol. Bila terjadi penyerapan pada ujung, sehingga daya mengalir sepanjang sumbu  $x$  dan intensitas tidak sama dengan nol, maka gelombang yang terjadi disebut gelombang berdiri.

Untuk bentuk tabung, pada persamaan 2.16, agar tekanan mencapai nilai yang besar, maka:

$$kl = n\pi \quad \dots (2.64)$$

karena: 
$$k = \frac{2\pi f}{c} = \frac{2\pi}{\lambda}$$

maka: 
$$f_n = \frac{n \cdot c}{2 \cdot l} \quad \dots (2.65)$$

$$\text{atau : } \frac{l}{\lambda_n} = \frac{n}{2} \quad \dots (2.66)$$

dimana:  $n = 1, 2, 3, 4$ , dan seterusnya.

$f_n$  = frekwensi resonansi ke-n dalam enclosure.

$\lambda_n = c / f_n$  = panjang gelombang resonansi ke-n.

Persamaan 2.66 menunjukkan tekanan berharga besar bila panjang ruang sebanding dengan setengah panjang gelombang. Kondisi dimana frekwensi sama dengan  $\frac{n \cdot c}{2 \cdot l}$  sehingga tekanan menjadi besar disebut kondisi resonansi atau mode normal getaran udara dalam ruang.

Untuk bentuk persegi, jumlah mode getaran dalam ruang persegi lebih banyak dibanding dengan tabung dengan diameter lebih kecil dari panjang gelombang. Persamaan frekwensi normal dalam ruang:

$$f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{n_x}{l_x}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{l_y}\right)^2 + \left(\frac{n_z}{l_z}\right)^2} \quad \dots (2.67)$$

dimana:  $f_n$  = frekwensi resonansi ke-n dalam Hz.

$n_x; n_y; n_z$  = konstanta antara 0 sampai  $\infty$ .

$l_x; l_y; l_z$  = ukuran ruangan dalam meter.

$c$  = kecepatan bunyi dalam meter per detik.

#### 2.44 Medan Suara di dalam Ruangan.

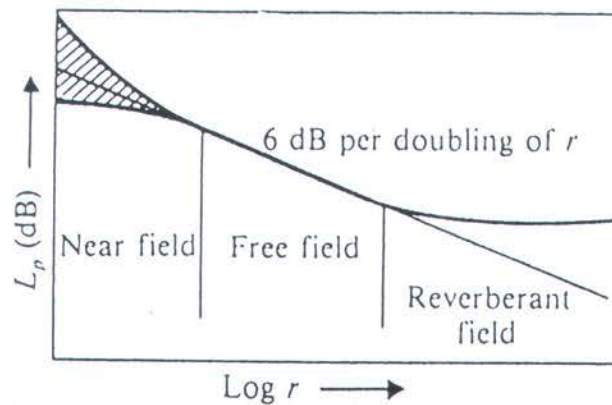
Medan Suara Langsung dan Medan Suara Dengung<sup>[4]</sup>.

Seorang pendengar di suatu titik akan mendengarkan gelombang suara yang dibangkitkan oleh sebuah sumber suara sebagai suara langsung ataupun suara

dengung, Medan suara dalam ruangan digambarkan seperti gambar 2.5. Apabila pendengar hanya menerima suara langsung dari sumber suara, maka daerah pendengar tadi disebut medan suara langsung. Medan suara langsung di dapat bila sumber suara dan posisi permukaan reflektor cukup jauh atau ketika permukaan sekelilingnya memiliki absorpsivitas tinggi. Sedangkan medan suara dengung adalah medan suara yang merupakan kombinasi suara pantul. Pada ruangan kecil, maka suara yang terbentuk selalu merupakan campuran antara kedua suara tadi.

Jarak dimana besarnya tingkat tekanan suara langsung sama dengan tingkat tekanan suara pantul disebut jarak kritis ( $D_c$ ).

$$D_c = \sqrt{\frac{Q.S.\alpha}{16.\pi}} \text{ meter.} \quad \dots (2.68)$$



Gambar 2.5 Medan bunyi dalam ruangan.

Dengan kata lain, bila jarak kurang dari  $D_c$ , pendengar berada pada medan suara langsung, sedangkan pada jarak lebih besar dari  $D_c$ , maka pendengar berada pada medan dengung. Dari persamaan tersebut juga terlihat, bila terjadi penambahan absorpsi total ruangan, maka jarak kritis juga bertambah.

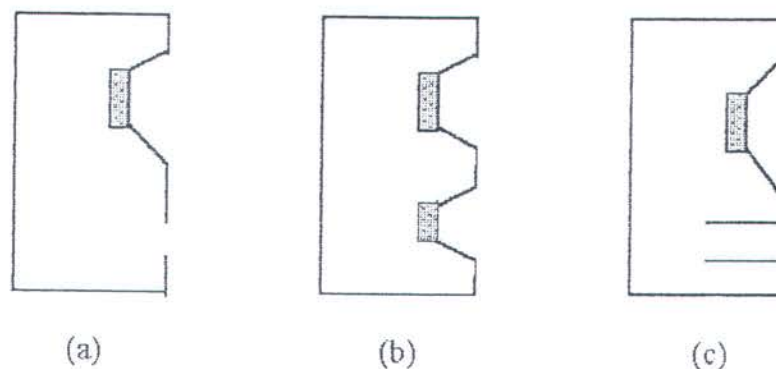
#### Medan Dekat dan Medan Jauh <sup>[4]</sup>.

Di daerah sekitar sumber suara, kecepatan partikel tidak selalu searah dengan arah perambatan gelombang suara, sehingga akan selalu ada partikel yang mempunyai komponen kecepatan tangensial. Daerah ini disebut juga sebagai daerah medan dekat. Pada daerah ini terjadi fluktuasi tingkat tekanan suara terhadap posisi yang berjarak sama terhadap sumber. Lebar daerah medan dekat dari sumber bergantung pada frekwensi dan karakteristik dimensi suara.

Menjauhi medan dekat dari sumber suara disebut dengan medan jauh. Di daerah medan bebas dari medan jauh, setiap penambahan kelipatan jarak arah sferis terhadap sumber suara omnispeaker mengakibatkan pengurangan intensitas suara sebesar 6 dB. Di daerah ini kecepatan partikel searah dengan perambatan gelombang suara dan intensitasnya berbanding lurus dengan tekanan. Lebih jauh dari medan bebas (menjauhi sumber suara) didapatkan medan dengung, dimana tingkat tekanan suara berfluktuasi terhadap posisi.

BAB III  
PERANCANGAN KABINET  
BASS-REFLEKS

Ada 3 macam sistem kotak celah yang pokok, yaitu: kotak celah dengan lubang sederhana pada papan speaker sebagai celah; kotak celah dengan tabung atau pipa di balik celah; dan kotak celah dengan diaphragma suspensi atau radiator pasif sebagai celah. Ketiga jenis kotak celah tersebut diatas, seperti pada gambar 3.1<sup>[6]</sup>.



Gambar 3.1 Jenis-jenis kotak celah (a) dengan lubang sederhana  
(b) dengan diaphragma suspensi (c) dengan tabung

Pada kotak celah dengan lubang sederhana (gambar 3.1a), frekwensi tala maksimum dapat dilakukan dengan membuat celah sempit, tetapi hal ini dapat menimbulkan desah bukan musik. Dapat pula dilakukan dengan celah yang besar, tetapi hal ini juga dapat menimbulkan tanggapan bass yang terlalu berat, sehingga membuat kuping tidak nyaman. Pada jenis kotak disertai radiator pasif (gambar 3.1b), penalaan dilakukan dengan menambahkan konus speaker tetapi tidak disertai magnet. Penalaan dapat dilakukan karena diaphragma memiliki massa yang lebih



besar daripada udara dalam celah. Untuk penalaan dapat dilakukan dengan memasang lempengan tipis yang dilekatkan pada bagian tengahnya. Cara lain, dengan memasang cincin penutup pada konus. Radiator pasif memiliki pemenuhan (kompliansi) yang tinggi serta luas konus lebih besar daripada woofer. Pada kotak yang disertai radiator pasif, kecepatan udara pada frekwensi tinggi dapat berkurang.

Metode yang umum untuk menala kotak adalah dengan memakai pipa (gambar 3.1c). Pipa ini akan meningkatkan jumlah udara getar, sehingga memungkinkan penalaan pada frekwensi yang lebih rendah. Celah atau pipa dengan permukaan yang halus lebih disukai karena memudahkan aliran udara.

### 3.1 Parameter-parameter loudspeaker.

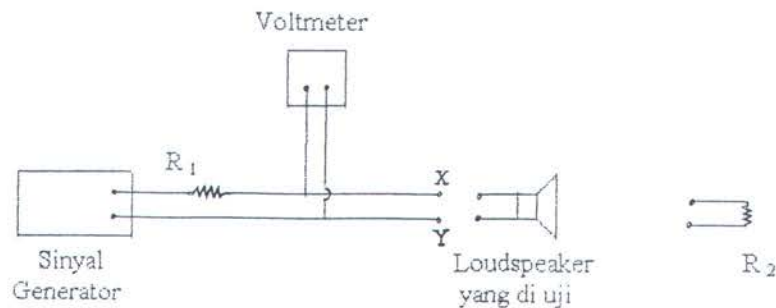
Untuk perancangan kabinet bass-refleks, perlu diketahui beberapa harga parameter dari loudspeaker itu sendiri. Parameter-parameter tersebut biasanya tidak diberikan oleh pabrik.

#### 1. Frekwensi resonansi loudspeaker.

Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut <sup>[6]</sup>:

- a. Merangkai seperti gambar 3.2
- b. Memberi nilai  $R_1$  antara 200 sampai 1000  $k\Omega$ .
- c. Titik X dan Y duhubungkan dengan  $R_2$  dengan menggunakan resistor presisi 10  $\Omega$ , 1%,  $\frac{1}{4}$  W.

- d. Titik pembacaan voltmeter dengan skala 10 %.



Gambar 3.2 Rangkaian pengukuran parameter loudspeaker

- e. Keluaran generator diatur sehingga pembacaan pada voltmeter 0,045 volt.
- f. Mengganti  $R_2$  titik X dan Y kemudian dihubungkan dengan loudspeaker yang akan diuji.
- g. Memberi sinyal dari generator, dengan frekwensi berbeda dan mencatat tegangan yang terbaca pada voltmeter. Frekwensi resonansi loudspeaker didapat dari grafik tegangan vs frekwensi generator, dengan lonjakan yang tertinggi.
2. Faktor kualitas loudspeaker,  $Q$ .

Faktor kualitas ini merupakan perbesaran resonansi, karena pada frekuensi resonansi terdapat kecenderungan tanggapan bass makin besar<sup>[6]</sup>. Harga  $Q$  berkisar antara 0,2 sampai 3 atau lebih.

Langkah-langkah yang dilakukan adalah :

- a. Mengukur resistansi d.c kumparan suara. Nilai ini sebanding dengan  $R_E$ .

- b. Memasang generator gelombang sinusoidal pada frekwensi,  $f_s$  dan mendapatkan nilai impedansinya dan mencatat harga tersebut yang merupakan impedansi maksimum ( $Z_{MAX}$ ).
- c. Pada  $Z_{MAX}$ ,  $r_0 = Z_{MAX} / R_E$ .
- d. Mendapatkan nilai  $Z_{eff}$  yang besarnya sebanding dengan:

$$Z_{eff} = \sqrt{r_0} \cdot R_E \quad \dots(3.1)$$

- e. Pada impedansi efektif loudspeaker ( $Z_{eff}$ ), mencatat frekwensi yang didapat dengan kurva tegangan vs frekwensi, merupakan frekwensi diatas ( $f_1$ ) dan frekwensi dibawah ( $f_2$ ) frekwensi resonansi.
- f. Untuk mendapatkan faktor kualitas ( $Q$ ) mekanik loudspeaker:

$$Q_{ms} = \frac{f_s \cdot \sqrt{r_0}}{f_1 - f_2} \quad \dots(3.2)$$

- g. Untuk mendapatkan faktor kualitas ( $Q$ ) listrik loudspeaker:

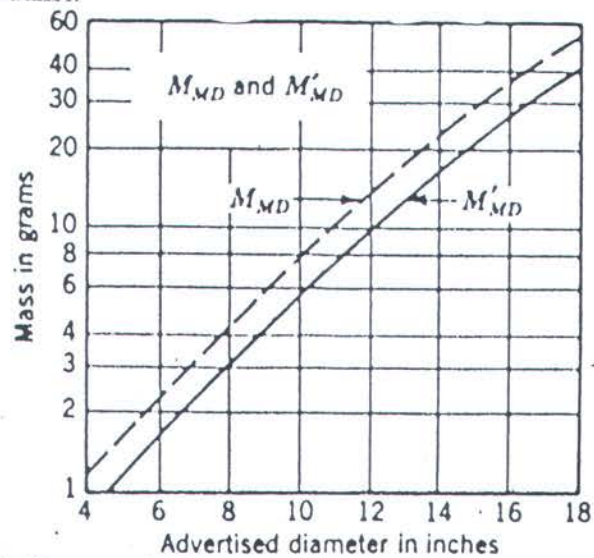
$$Q_{es} = Q_{ms} / (r_0 - 1) \quad \dots(3.3)$$

- h. Untuk mendapatkan faktor kualitas total loudspeaker:

$$Q_{ts} = (Q_{es} \cdot Q_{ms}) / (Q_{es} + Q_{ms}) \quad \dots(3.4)$$

### 3. Massa loudspeaker yang bergerak, $M_{MD}$ .

Parameter  $M_{MD}$  merupakan jumlah massa diaphragma termasuk beban udara yang dipindahkan. Parameter  $M_{MD}$  didapat dari frekwensi resonansi dasar,  $f_0$  yang diambil dari puncak impedansi.



Gambar 3.3 Grafik massa loudspeaker terhadap diameter loudspeaker [5]

Setelah memperkirakan luas diaphragma dengan pengukuran, jari-jari,  $a$

maka:

$$M_{MD} = \frac{1}{C_{MS}(2\pi f_0)^2} - 3,15a^3 \quad \dots(3.5)$$

Pendekatan harga parameter ini didapat dari gambar 3.3.

### 4. Pemenuhan suspensi mekanikal, $C_{MS}$ (m/N).

Untuk mendapatkan pemenuhan mekanikal, terdiri dari pencatatan resonansi udara bebas,  $f_0$  dan resonansi dalam kotak,  $f_c$  yang didapat dengan membangun speaker pada kotak rapat, yang volumenya diketahui ( $V_B$ ). Volume udara dari kotak mempunyai pemenuhan, yang disimbolkan  $C_{eB}$ . Pemenuhan udara ini kemudian dihubungkan dengan  $C_{MS}$  oleh luasan piston,  $S_D$  [6]:

$$C_{MS} = \frac{C_{AS}}{S_D^2}; \quad \dots(3.6a)$$

dengan: 
$$\frac{C_{AS}}{C_{AB}} = 1,15 \cdot \left(\frac{f_c}{f_0}\right)^2 - 1 \quad \dots(3.6b)$$

Faktor 1,15 adalah pendekatan umum dan dipengaruhi oleh ukuran kotak.

$$C_{AB} = \frac{V_B}{1,4 \cdot 10^5}, \quad \dots(3.6c)$$

sehingga harga pemenuhan suspensi mekanikal loudspeaker didapat:

$$C_{MS} = \frac{V_B}{S_D^2} = \left[ 1,15 \left(\frac{f_c}{f_0}\right)^2 - 1 \right] \cdot \frac{10^{-5}}{1,4} \quad \dots(3.7)$$

dimana:  $C_{MS}$  = pemenuhan suspensi mekanikal loudspeaker

$V_B$  = volume kotak

$S_D^2$  = luasan piston penggerak (diaphragma)

$C_{AS}$  = pemenuhan akustik loudspeaker

$C_{AB}$  = pemenuhan udara dalam kotak

$f_c$  = frekwensi resonansi udara dalam kotak

$f_0$  = frekwensi resonansi udara bebas

Untuk penentuan parameter ini, dapat dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mendapatkan harga parameter  $M_{MD}$ .
2. Mendapatkan harga parameter  $C_{MS}$  melalui hubungan dengan parameter  $M_{MD}$ ,

sebagai berikut: 
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{(M_{MD} + M_{M1}) \cdot C_{MS}}} \quad \dots(3.8)$$

dengan:  $\omega_0$  = frekwensi resonansi louspeaker

$$M_{MI} = \text{massa beban udara pada kedua sisi diaphragma loudspeaker} \\ = 2,67 a^3 \rho_0.$$

$a$  = jari-jari diaphragma.

$M_{MD}$  = massa loudspeaker (jumlahan massa diaphragma dan kumparan suara).

#### 5. Luasan diaphragma, $S_D$ ( $m^2$ ).

Luas efektif diaphragma didapat dengan pengkoplingan sisi depan diaphragma pada kotak tertutup. Volume udara ( $V_0$ ), dan sisi kotak harus diperhitungkan. Manometer dihubungkan untuk perhitungan tekanan udara. Diaphragma kemudian dipindahkan sejauh  $\xi$  meter, lalu mencatat penunjukan manometer, dan peningkatan tekanan  $p$  didapat [7].

$$p = \frac{P_0}{V_0} \xi S_D \quad \dots(3.9)$$

atau,

$$S_D = \frac{V_0}{P_0} \frac{p}{\xi} \quad (m^2) \quad \dots(3.10)$$

dimana:  $P_0$  = tekanan ambien.

$p$  = peningkatan tekanan

$\xi$  = perpindahan diaphragma.

$V_0$  = volume kotak.

Cara lain,  $S_D$  dapat ditentukan secara akurat dengan pendekatan,  $S_D = \pi a^2$  dengan  $a$  adalah jari-jari diaphragma loudspeaker.

### 3.2 Perancangan Bass-Refleks.

Pada perancangan bass-reflex, penentuan volume kotak dan luasan port faktor yang menentukan keluaran bass yang dihasilkan. Untuk itu, ada tiga spesifikasi loudspeaker yang harus diperhatikan <sup>[6]</sup>:

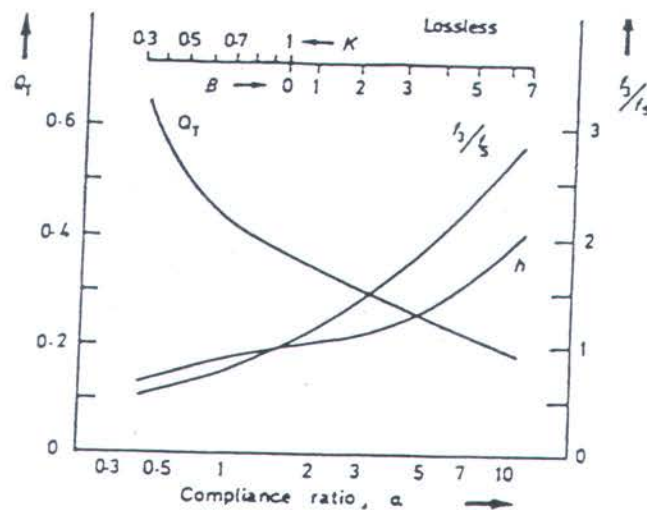
1.  $f_0$  — Frekwensi udara bebas loudspeaker.
2.  $Q$  — Faktor kualitas dari loudspeaker, yang merupakan perbesaran resonansi udara bebas loudspeaker.
3.  $V_{as}$  — keandalan loudspeaker, yang dinyatakan dalam pengertian volume udara yang setara dengan loudspeaker.

Bila ketiga spesifikasi diatas telah didapatkan, maka dapat ditentukan tiga aspek kritis dalam merancang bass-refleks, yaitu:

1. Volume kotak,  $V_B$ .
2. Frekwensi resonansi kotak,  $f_B$ .
3. Frekwensi cut-off sistem,

Keandalan loudspeaker,  $V_{AS}$  setara dengan pemenuhan akustik loudspeaker,  $C_{AS}$ . Untuk langkah awal, penentuan parameter yang dilakukan sesuai dengan 3.2 bagian 1 (frekuensi resonansi) sampai dengan 3.2 bagian 3. Harga pemenuhan akustik loudspeaker,  $C_{AS}$  dihubungkan dengan pemenuhan suspensi mekanikal,  $C_{MS}$  oleh luasan diaphragma,  $S_D$  diberikan pada persamaan 3.2a

Pada gambar 3.4, diberikan grafik nilai  $k$  dan  $B$  yang mewakili aturan C4 dan QB3. Frekwensi resonansi kabinet dinyatakan dengan  $f_B$ ; frekwensi resonansi loudspeaker dinyatakan dengan  $f_0$ ; perbandingan penalaan  $f_B/f_0$ , dinyatakan dengan  $h$  dan faktor kualitas total loudspeaker dinyatakan dengan  $Q_T$  [7].



Gambar 3.4 Grafik penentuan volume sistem kabinet bass-refleks

Untuk penalaan dengan menggunakan pipa, diberikan dengan nomogram pada gambar 3.5 [7]. Setelah volume kabinet didapatkan, hubungkan dengan titik frekwensi kotak,  $f_B$  hingga menyentuh garis  $L_V, S_V$  kemudian tarik garis horizontal ke kanan. Titik yang menyentuh garis lengkungan, merupakan diameter pipa. Untuk panjang pipa, tarik garis vertikal dari titik terakhir.

Pada kabinet bass-refleks, kemungkinan terjadinya gelombang berdiri (standing waves). Gelombang berdiri ini, seperti persamaan 2.67:

$$f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{n_x}{l_x}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{l_y}\right)^2 + \left(\frac{n_z}{l_z}\right)^2}$$

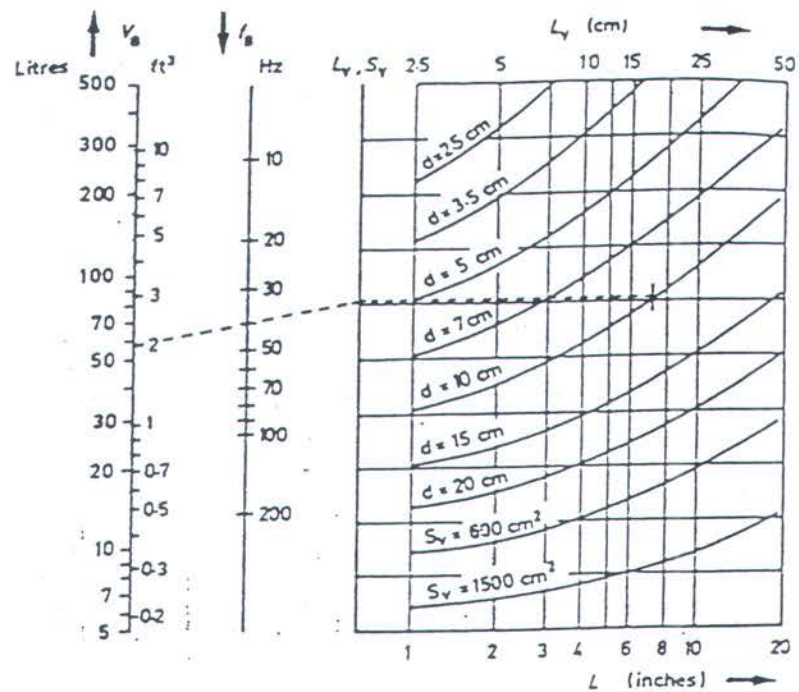


dimana:  $f_n$  = frekwensi resonansi ke-n dalam Hz.

$n_x, n_y, n_z$  = konstanta antara 0 sampai  $\infty$ .

$l_x, l_y, l_z$  = ukuran ruangan dalam meter.

$c$  = kecepatan bunyi dalam meter per detik.



Gambar 3.5 Penentuan dimensi port <sup>(7)</sup>.

Beberapa cara dilakukan untuk mengurangi atau mengatur gelombang berdiri ini. Salah satu cara adalah dengan menghindari ukuran simetri dari kabinet (semua ukuran panjang, lebar dan tinggi mempunyai nilai yang sama). Pada medan akustik ruangan, perbandingan yang telah ditentukan agar mode gelombang berdiri yang terjadi adalah minimum, ukuran ruang adalah: 2,3 : 1,6 : 1,0 <sup>(7)</sup>. Selain itu, pada kabinet juga dapat ditambahkan bahan penyerap. Penempatan bahan ini, sebaiknya berada pada 'ruang' dalam kabinet, daripada diletakkan pada dinding-dinding

dalam kabinet. Hal ini dapat dipahami, karena, pada daerah 'ruang' tersebut kemungkinan terjadinya gelombang berdiri lebih banyak terjadi .

## BAB IV

### ANALISA DATA

Pada bab ini akan dibahas data pengukuran yang meliputi pengukuran frekuensi natural loudspeaker woofer dan respon frekuensi keluaran dari kabinet bass-refleks yang dibangun.

#### 4.1 Data Pengukuran.

Dengan melakukan percobaan untuk penentuan frekuensi resonansi loudspeaker, perhitungan bagi penentuan dimensi kabinet bass-refleks dan dimensi port (pipa), serta pengukuran tingkat tekanan suara sebelum dan sesudah diletakkan dalam mobil, maka didapat data-data sebagai berikut:

#### 4.11 Penentuan Frekuensi Resonansi Loudspeaker, $f_0$ .

Dari hasil pengukuran untuk penentuan frekuensi natural subwoofer, dilakukan dengan memakai tahanan sebesar  $0,996 \Omega$  dan  $220,6 \text{ k}\Omega$ , didapat hasil seperti pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Penentuan frekuensi resonansi melalui pengukuran frekuensi terhadap tegangan dengan nilai  $R_1 = 220,6 \Omega$  dan  $R_1 = 0,996 \text{ k}\Omega$

Frekuensi (Hz)	Tegangan (mV)	
	$R_1 = 220,6 \Omega$	$R_1 = 0,996 \text{ k}\Omega$
25	79	81
26	86	87
27	93	94
28	101	103
29	110	111
30	122	120
31	134	131

Frekuensi (Hz)	Tegangan mV	
	$R_1 = 220,6 \Omega$	$R_1 = 0,996 \text{ k}\Omega$
32	146	145
33	161	157
34	173	170
35	181	177
36	186	179
37	183	177
38	176	171
39	166	163
40	154	154
41	141	145
42	132	135
43	124	127
44	118	119
45	113	114

Dari tabel 4.1 tersebut diatas, didapat frekuensi resonansi loudspeaker woofer yang dipakai adalah 36 Hz.

#### 4.12 Penentuan Harga Parameter Loudspeaker.

Dari pengukuran loudspeaker woofer yang dilakukan, didapatkan nilai parameter sebagai berikut:

Tabel 4.2 Nilai-nilai parameter loudspeaker.

Parameter	Nilai
Jari-jari diaphragma loudspeaker (cm)	10,16
$R_E (\Omega)$	7,4
$Z_{max} (\Omega)$	41,77
$r_o$	5,645
$Z' (\Omega)$	17,58
$f_1$ (Hz)	53
$f_2$ (Hz)	24,5
$M_{MD}$ (gr)	4,5

Parameter	Nilai
$C_{MS}$ (dyne/cm)	$5,0925 \cdot 10^{-7}$
$V_{AS}$ (cm <sup>3</sup> )	14158,28
$S_D^2$ (cm <sup>4</sup> )	105165,81
$Q_{ms}$	3
$Q_{es}$	0,646
$Q_{ts}$	0,532

Dengan menggunakan gambar 3.4, diperoleh:  $\alpha = 0,6$  sehingga volume kabinet ( $V_B$ ) = 23,6 liter =  $0,833 \text{ ft}^3$ ,  $h = 0,75$  sehingga frekuensi resonansi kabinet ( $f_B$ ) = 27 Hz. Frekuensi cut-off ( $f_3$ ) sistem diperoleh dari perbandingan  $f_3 / f_0 = 2,7$  sehingga  $f_3 = 97,2$  Hz. Dimensi kabinet, dengan menggunakan perbandingan pada bab tiga, diperoleh: panjang : 42,73 cm, lebar : 29,73 cm, kedalaman : 18,6 cm.

#### 4.13 Pengukuran Tingkat Tekanan Suara Kabinet Bass-Refleks.

Pengukuran tingkat tekanan suara sistem kabinet bass-refleks yang dirancang, dilakukan dengan menempatkan SLM (Sound Level Meter) pada jarak 1 meter dari kabinet<sup>[8]</sup>, dalam lingkungan luar ruangan, dengan tingkat kebisingan sebesar 59,5 dBA. Adapun hasil pengukuran yang didapat seperti tertera pada tabel 4.3 sebagai berikut:

Tabel 4.3 Hasil pengukuran kabinet bass-refleks dalam tingkat tekanan suara (dBA).

Frekuensi (Hz)	Tingkat Tekanan Suara Kabinet (dBA)
16	56,1
31,5	64,3
63	72,7
125	82,7
250	87,1
500	91,4
1000	95,7

Frekuensi (Hz)	Tingkat Tekanan Suara Kabinet (dBA)
2000	85
4000	88,8
8000	73,6
Rata-rata	98,39
S / N	38,89

Kemudian, pengukuran tingkat tekanan suara dilakukan dalam kondisi terpasang dalam mobil.

#### 4.14 Pengukuran tekanan suara kabinet bass-refleks dalam mobil keadaan

**diam, dengan mesin penyejuk berfungsi.**

Dalam pengambilan data, baik itu tingkat tekanan suara yang dihasilkan oleh beberapa sumber bunyi maupun tingkat kebisingan lingkungan (ambient noise) akan digunakan beberapa titik ukur yang dianggap mewakili pengamat. Posisi dari titik ukur diusahakan ada pada level ketinggian dan posisi indera pendengaran manusia dewasa, sehingga diharapkan data data yang didapat pada proses pengukuran akan mampu mewakili kesan yang ditangkap oleh indera pendengaran pengamat pada keadaan sebenarnya. Jenis mobil yang dipakai dalam pengukuran ini adalah Toyota Kijang.

Titik ukur yang dipergunakan disini dihitung dalam koordinat x, y dan z, dan dihitung dalam centimeter (cm). Koordinat ( 0, 0, 0 ) yang dianggap sebagai koordinat referensi terletak pada pojok kiri bawah ruangan interior kendaraan yang digunakan. Dalam hal ini koordinat x dianggap mewakili lebar mobil, sedang

sedang koordinat y dianggap mewakili panjang mobil dan koordinat z dianggap mewakili tinggi mobil.

Titik ukur yang dipergunakan dalam proses pengukuran pada penelitian ini ada enam buah titik ukur, sesuai dengan letak daripada tempat duduk yang tersedia pada ruangan. Dua buah titik ukur berada didepan pada posisi kanan dan kiri, dua buah titik ukur di tengah ruangan juga dengan posisi kanan dan kiri dan dua buah titik ukur yang terakhir berada pada bagian belakang ruangan dengan posisi kanan dan kiri. Adapun koordinat titik ukur yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah:

$$\text{Titik Ukur 1 (TU 1)} = ( 30, 90, 90 )$$

$$\text{Titik Ukur 2 (TU 2)} = ( 100, 90, 90 )$$

$$\text{Titik Ukur 3 (TU 3)} = ( 30, 180, 90 )$$

$$\text{Titik Ukur 4 (TU 4)} = ( 100, 180, 90 )$$

$$\text{Titik Ukur 5 (TU 5)} = ( 20, 250, 90 )$$

$$\text{Titik Ukur 6 (TU 6)} = ( 110, 250, 90 )$$

Tabel 4.4 Hasil pengukuran tingkat tekanan suara (dBA) dan bising lingkungan (dBA) dalam mobil dengan keadaan diam dan sistem penyejuk udara berfungsi.

Frekuensi (Hz)	Tingkat Tekanan Suara Kabinet (dBA)					
	T.U 1	T.U 2	T.U 3	T.U 4	T.U 5	T.U 6
16	67	64,2	54,8	65,5	67,6	67
31,5	67,8	64,7	68,9	68,5	69,8	70
63	72,8	72,2	71,2	75	79,8	79,2
125	76,3	76	72,8	79,6	83,2	83,2
250	74,7	75,4	85,2	78,8	84,8	84,1
500	77,8	77,7	77,1	85,9	88,9	88,6
1000	83,9	79,7	88,2	88,4	99,2	88
2000	71,2	85,1	76,2	74,4	75,5	77,8

Frekuensi (Hz)	Tingkat Tekanan Suara Kabinet (dBA)					
	T.U 1	T.U 2	T.U 3	T.U 4	T.U 5	T.U 6
4000	65,5	71,5	83,2	69,9	82	76,6
8000	64,1	64,2	82,2	63,4	75,9	70
Rata-rata	86,31	87,7	91,76	91,24	99,98	93,08
Bising Lingkungan (dBA)	60,8	60,3	61	54,4	55,1	63,5
S / N	25,51	37,4	30,76	36,84	44,88	29,58

**4.15 Pengukuran tekanan suara kabinet bass-refleks saat mobil menyala dan diam, serta kondisi jendela terbuka seluruhnya.**

Pengukuran yang dilakukan, dengan kondisi mobil menyala dan diam, serta kondisi jendela terbuka seluruhnya, hasil yang didapat, sebagai berikut:

Tabel 4.5 Hasil pengukuran tingkat tekanan suara (dBA) dan bising lingkungan (dBA) saat mobil menyala dan diam, serta kondisi jendela terbuka.

Frekuensi (Hz)	Tingkat Tekanan Suara Kabinet (dBA)					
	T.U 1	T.U 2	T.U 3	T.U 4	T.U 5	T.U 6
16	62,4	61,3	70,1	64,3	68,4	67,9
31,5	62,1	62,5	70,2	69,2	70,3	70,4
63	72,2	70,5	71,1	74,3	80	79,5
125	74,9	75,7	72,8	76,9	83,4	83,3
250	72,3	74,4	73,8	76,2	84,9	85,4
500	74,6	75	75,4	85,5	87,5	91,7
1000	83,5	81,5	85,3	87,9	98,4	90,2
2000	74,0	72,1	73,5	84,9	79,4	83,5
4000	62,3	70,6	69	70,3	85,1	73,5
8000	54,2	60,4	57,8	60,6	66,2	63,1
Rata-rata	85,4	83,1	86,82	91,52	99,31	95,36
Bising Lingkungan (dBA)	55,4	54,3	50,1	48,2	45,6	45,9
S / N	30,0	28,75	35,72	43,32	53,71	50,36



#### 4.2 Analisa data perancangan kabinet bass-refleks.

Dari data pengukuran untuk kedua nilai tahanan  $220,6 \Omega$  dan  $0,996 \text{ k}\Omega$  tersebut diatas, frekuensi natural dari loudspeaker woofer yang diukur tersebut mempunyai nilai  $36 \text{ Hz}$ . Grafik untuk penentuan frekuensi resonansi loudspeaker dengan menggunakan nilai tahanan  $(R_1) = 220,6 \Omega$ , dan grafik untuk penentuan frekuensi resonansi loudspeaker dengan nilai tahanan  $(R_1) = 0,996 \text{ k}\Omega$ , seperti terlampir .

Frekuensi resonansi kabinet bass-refleks yang dirancang, melalui nomograf pada gambar 3.4 diperoleh  $27 \text{ Hz}$ . Bila nilai ini dibandingkan dengan menggunakan persamaan frekuensi resonansi pada resonator Helmholtz:

$\omega_0 = c (S / L' V)^{1/2}$  dengan menggunakan nilai-nilai sebagai berikut:  $c = 344 \text{ m/dt} = 34400 \text{ cm/dt}$ ,  $S = \pi a_v^2 = 10,752 \text{ cm}^2$ ,  $L' = L + 1,7 a_v = 19,145 \text{ cm}$ ,  $V = 23600 \text{ cm}^3$ , maka diperoleh frekuensi resonansi kabinet sebesar  $26,7 \text{ Hz}$ . Frekuensi cut-off kabinet refleks melalui perhitungan yang didapat dari perbandingan antara frekuensi cut-off terhadap frekuensi resonansi loudspeaker, sebesar  $2,7$  maka frekuensi cut-off sistem sebesar  $97,2 \text{ Hz}$ .

Bahan yang digunakan pada kabinet bass-refleks yang dirancang adalah MDF (Medium Density Fibreboard) atau yang lebih dikenal dengan papan keras (hardboard). Bahan ini mempunyai keuntungan dapat meredam frekuensi tinggi, dibanding dengan bahan lain, misalnya plywood. Ketebalan bahan, untuk bagian depan menggunakan ketebalan  $1,8 \text{ cm}$  dan bagian yang lainnya menggunakan ketebalan  $1,3 \text{ cm}$ . Untuk ketentuan ketebalan, bila volume kabinet dibawah  $30 \text{ liter}$  maka ketebalan minimal adalah  $1,2 \text{ cm}$ . Bila volume kabinet antara  $30$  sampai  $60$

liter maka ketebalan minimal adalah 1,8 cm dan untuk volume yang lebih besar maka ketebalan minimal adalah 2,5 cm. Pada perancangan, volume kabinet diperoleh sebesar 23,6 liter. Dengan mengacu pada ketentuan diatas, ketebalan bahan yang digunakan telah memenuhi ketebalan minimal. Ketebalan bahan mempengaruhi suara yang dikeluarkan, hal ini karena getaran dari loudspeaker harus mampu ditahan oleh dinding kabinet agar tidak merusak suara yang dihasilkan.

Untuk meminimalkan gelombang berdiri yang terjadi, maka bagian kabinet ditambahkan bahan penyerap. Karena gelombang berdiri maksimum yang terjadi lebih dijumpai berada pada daerah 'ruang' daripada permukaan dinding dalam, maka bahan penyerap idealnya ditempatkan pada 'ruang' dibandingkan menempel pada permukaan dalam. Bahan penyerap yang dipakai pada perancangan adalah glasswool, yang umum dipakai pada sistem audio.

Kedudukan pipa, tidak terlalu penting, dengan jarak sekurang-kurangnya 3 inchi dari loudspeaker. Pipa dengan permukaan bagian dalam yang halus lebih baik karena memudahkan aliran udara. Pipa yang dipakai pada perancangan kabinet bass-refleks adalah jenis PVC dengan diameter 3,7 cm. Melalui gambar 3.5, dengan menarik garis dari  $V_B$  ke  $f_B$  hingga menyentuh skala  $L_V, S_V$  kemudian membuat garis horizontal ke kanan, sampai menyentuh lengkungan dengan  $d_v = 3,7$  maka diperoleh panjang pipa sebesar 16 cm.

Pada pengukuran tingkat tekanan suara sistem kabinet bass-refleks, dengan pengukuran yang dilakukan pada lingkungan luar (outdoor) malam hari, perbandingan pengukuran tingkat tekanan suara dari kabinet terhadap bising lingkungan, diperoleh harga  $S/N$  sebesar 38,89 dBA. Berdasarkan hasil tersebut, kabinet bass-refleks yang dirancang telah memenuhi harga minimal  $S/N$  yang

berharga 25 dB <sup>[4]</sup>. Setelah pengukuran tingkat tekanan suara kabinet bass-refleks tersebut diatas, kemudian dilakukan pengukuran tingkat tekanan suara setelah kabinet dipasang dalam mobil dengan 2 kondisi yang berbeda.

Kondisi pengukuran pertama, pada waktu kendaraan diam dan mesin penyejuk berfungsi. Berdasarkan pengukuran, perbandingan tingkat tekanan suara kabinet terhadap bising lingkungan diperoleh nilai  $S / N$  seperti pada tabel 4.4. Berdasarkan hasil tersebut diatas, suara yang dihasilkan oleh kabinet bass-refleks mampu untuk mengatasi bising lingkungan, dengan nilai  $S / N$  rata-rata diatas 25 dB.

Kondisi kedua dari pengukuran tingkat tekanan bunyi kabinet bass-refleks adalah saat kendaraan menyala dan diam, serta kondisi jendela terbuka. Berdasarkan pengukuran tersebut, perbandingan tingkat tekanan suara kabinet terhadap bising lingkungan diperoleh nilai  $S / N$  seperti pada tabel 4.5. Berdasarkan hasil tersebut diatas, suara yang dihasilkan oleh kabinet bass-refleks mampu untuk mengatasi bising lingkungan, dengan nilai  $S / N$  rata-rata diatas 25 dB. Sehingga, kabinet bass-refleks yang dirancang, berdasarkan pengukuran tingkat tekanan bunyi yang telah dilakukan, mampu mengatasi bising lingkungan disekitarnya.

## BAB V

### KESIMPULAN

Respon frekuensi loudspeaker dari pengukuran untuk penentuan frekwensi resonansi loudspeaker yang telah dilakukan, didapat hasil 36 Hz. Hal ini membuktikan loudspeaker bekerja pada daerah nada-nada rendah (woofer) yang berkisar antara 20 Hz sampai 1 kHz.

Untuk perancangan kabinet bass-refleks yang telah dilakukan, dengan menggunakan parameter-parameter loudspeaker, dihasilkan kabinet bass-refleks yang mempunyai dimensi: ( $V_B$ ) = 23,6 liter = 0,833 ft<sup>3</sup>; Panjang : 42,73 cm.; Lebar : 29,73 cm; Kedalaman : 18,6 cm. Berdasarkan perhitungan, frekuensi resonansi kabinet sebesar 27 Hz dan frekuensi cut-off sistem sebesar 97,2 Hz.

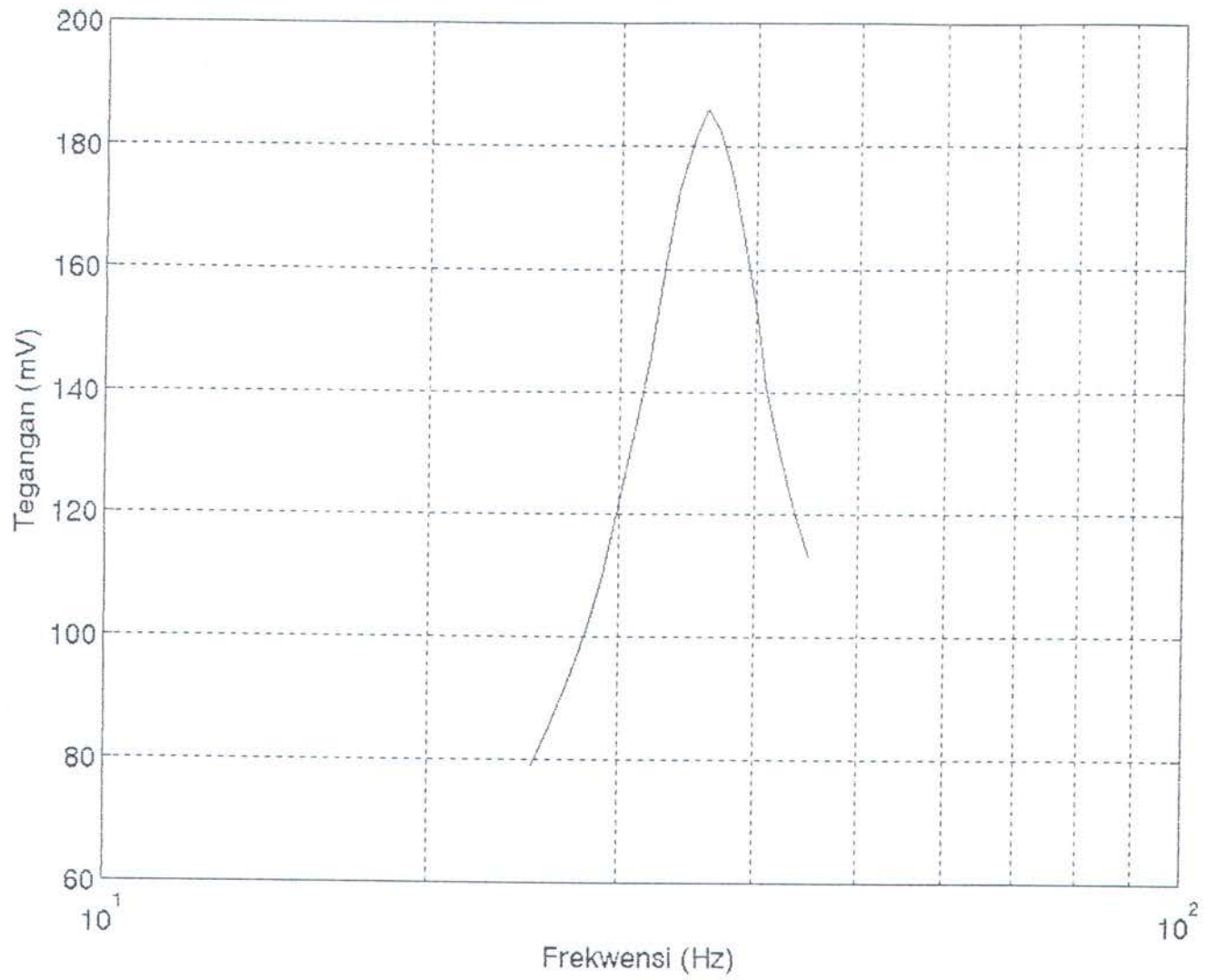
Pengukuran yang dilakukan pada kabinet bass-refleks tersebut, adalah pengukuran tingkat tekanan bunyi. Pengukuran tingkat tekanan suara pada kondisi lingkungan luar (outdoor), menghasilkan perbandingan bunyi terhadap bising lingkungan ( $S / N$ ) sebesar 38,89 dBA. Pengukuran tingkat tekanan bunyi setelah dipasang pada mobil dilakukan pada enam titik ukur yang didasarkan posisi duduk orang dewasa. Kondisi yang dipilih adalah kondisi mobil diam, mesin penyejuk berfungsi dan kondisi kedua adalah saat mobil diam, menyala serta jendela terbuka seluruhnya. Keseluruhan pengukuran tingkat tekanan bunyi dalam mobil tersebut mempunyai harga  $S / N$  diatas 25 dBA. Dengan demikian, kabinet bass-refleks yang telah dirancang dapat digunakan untuk aplikasi audio mobil khususnya mobil jenis minibus.

## DAFTAR PUSTAKA

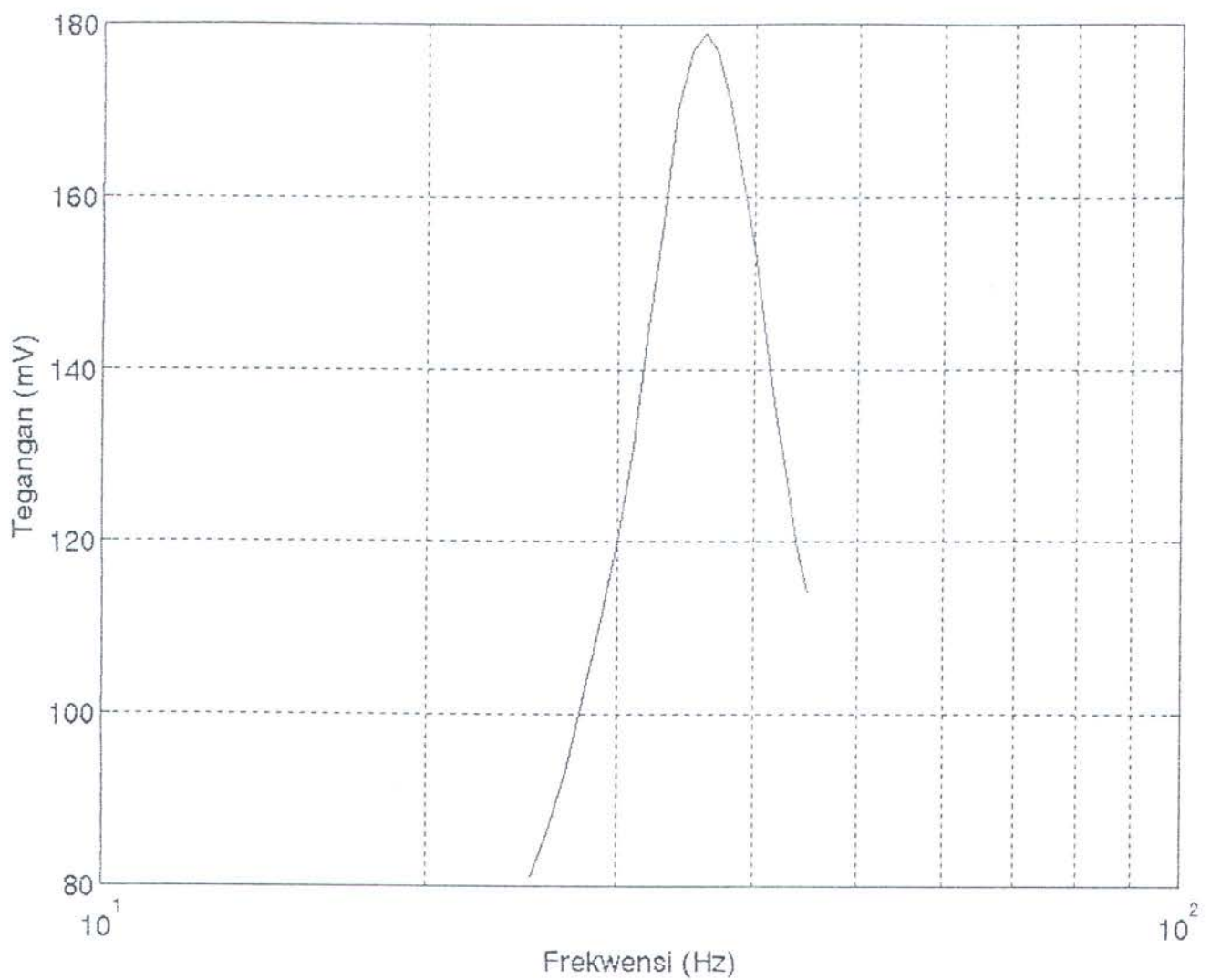
- [1]. Anita Lawrence, "Architectural acoustics", Applied Science Publishers Limited, 1984
- [2]. Lawrence E. Kinsler, "Fundamental of acoustics", John Wiley and Sons, 1982
- [3]. Thomas d. Rossing, "Science of sounds", Addison-Wesley Publishing Company, 1982
- [4]. Don and Carolyn Davis, "Sound System Engineering", Howard W. Sams & Co, 1984
- [5]. Leo L. Beranek, "Acoustics", Mc Graw Hill Company, 1954
- [6]. David B. Weems, "Designing, building, and testing your own speaker system", TAB BOOKS Inc, 1984
- [7]. Marti Colloms, "High performance loudspeaker", John Wiley and Sons, 1991
- [8]. J.D Irwin and E.R Graf, "Industrial noise and vibration control", Prentice-Hall, 1979

### LAMPIRAN

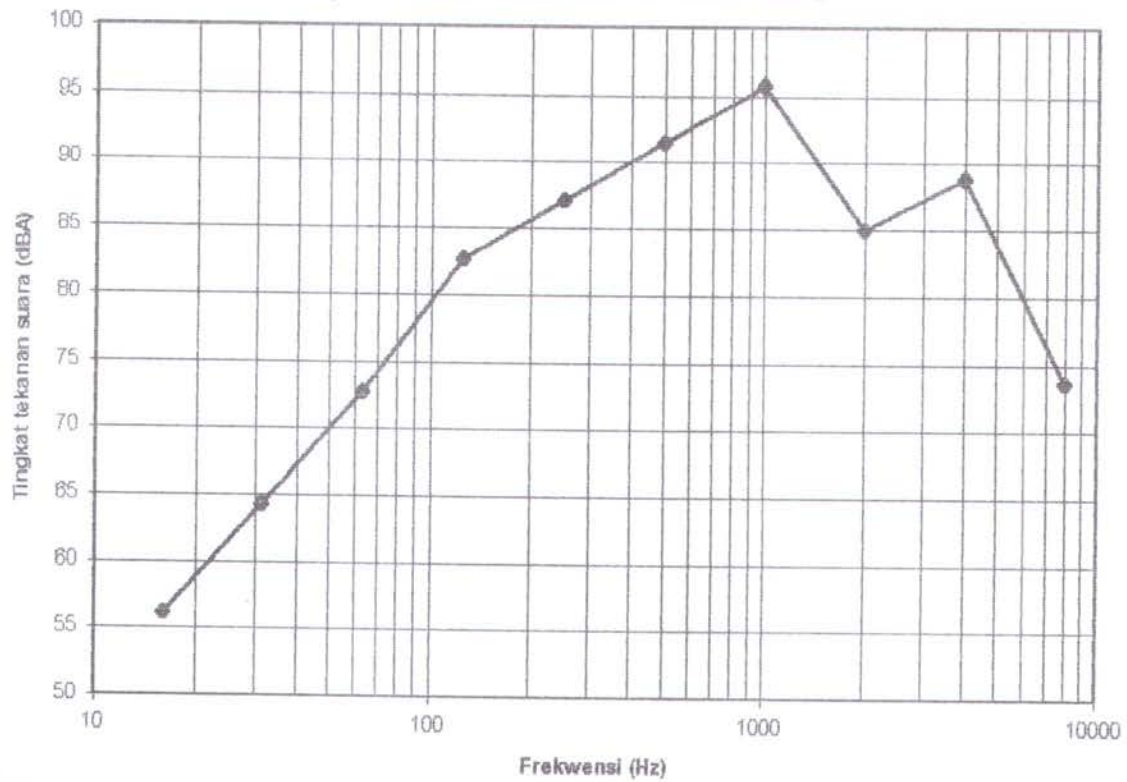
Grafik respon frekuensi resonansi loudspeaker dengan nilai tahanan  $R_1 = 220,6 \Omega$



Grafik respon frekuensi resonansi loudspeaker dengan nilai tahanan  $R_1 = 0,996 \text{ k}\Omega$

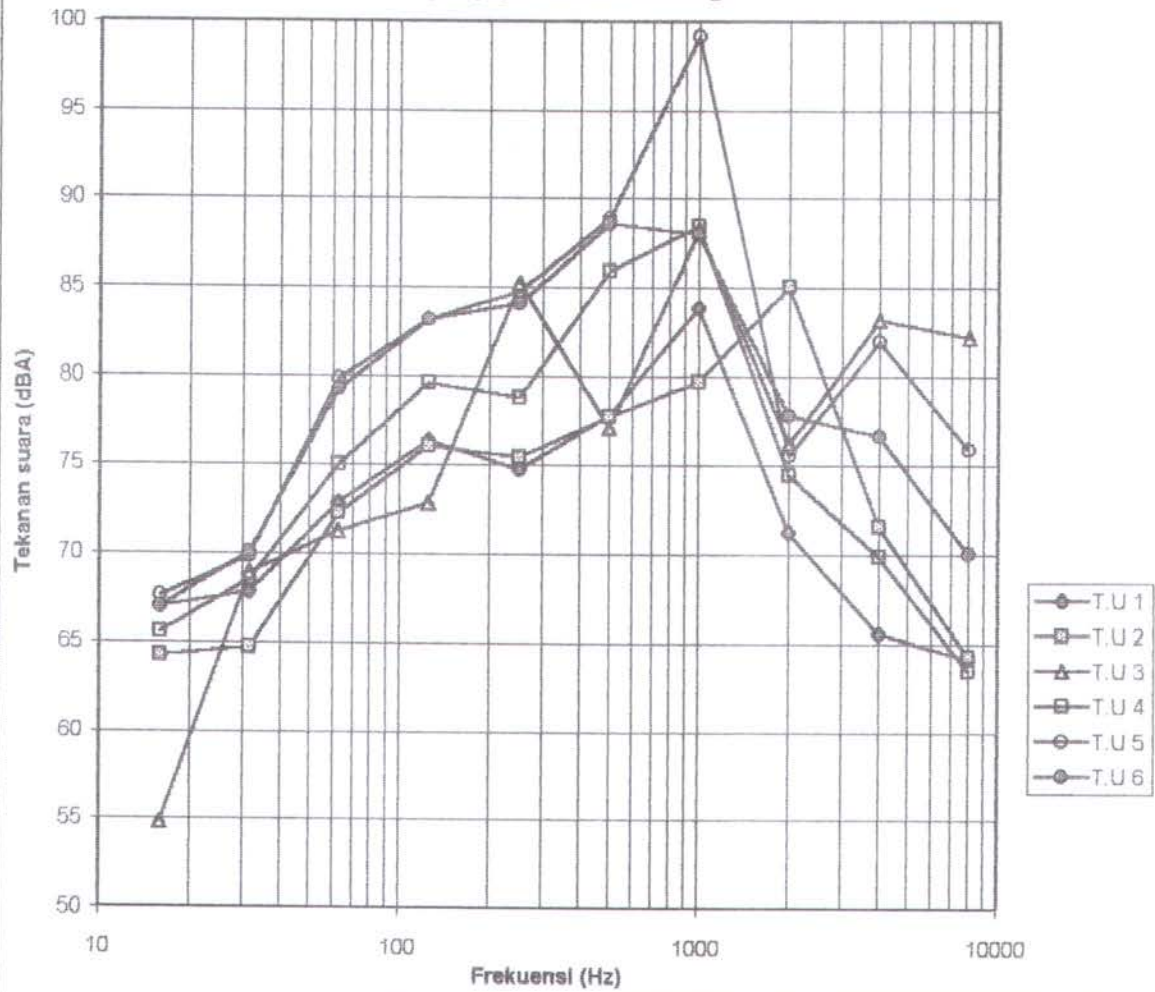


Tingkat tekanan suara kabinet bass-refleks

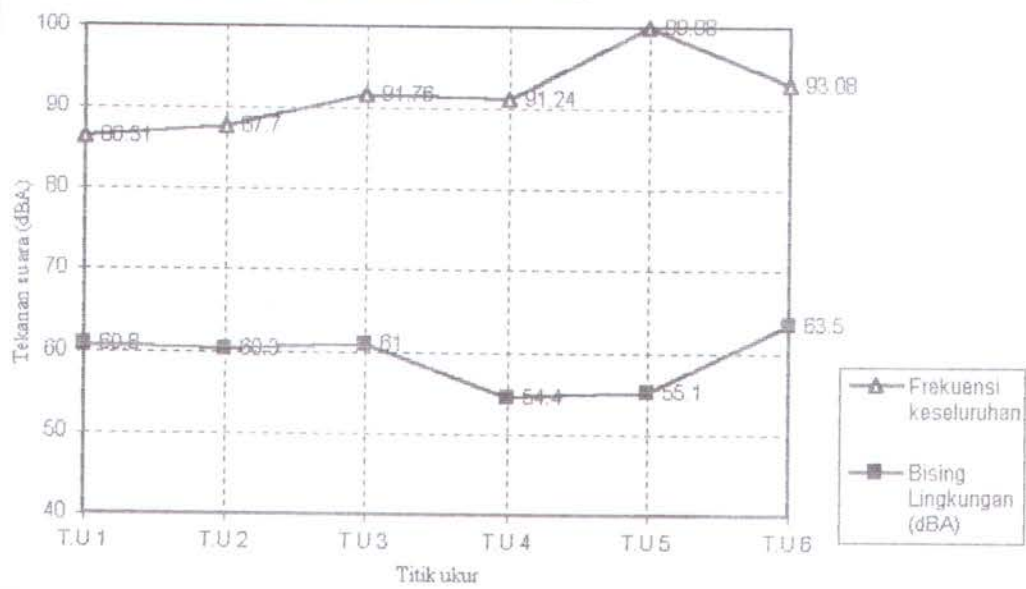




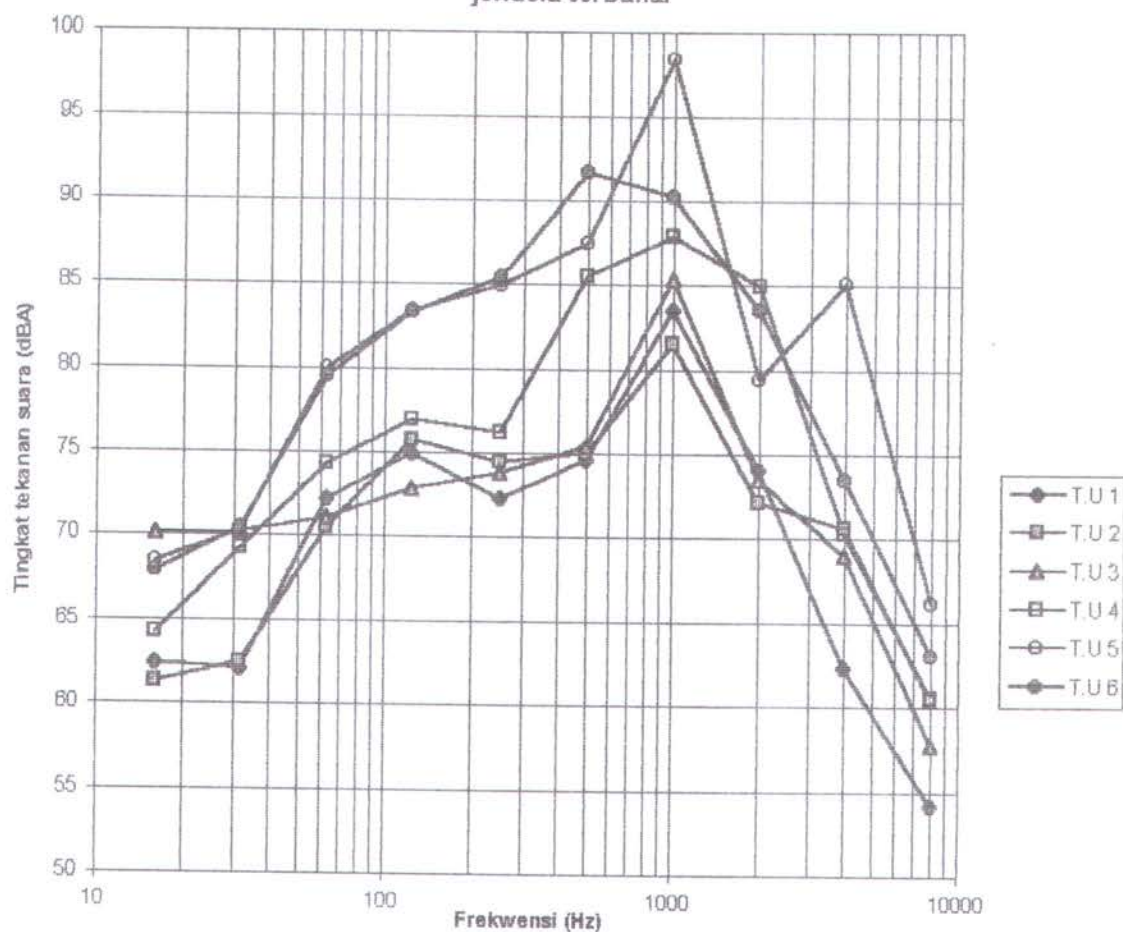
Pengukuran Tingkat Tekanan Suara (dBA) dalam mobil dengan sistem penyejuk udara berfungsi



S/N (dBA) tingkat tekanan suara pada kondisi mobil diam,  
menyala dan sistem penyejuk udara berfungsi.



Pengukuran tingkat tekanan suara (dBA) saat mobil menyala, diam dan jendela terbuka.



S/N (dBA) tingkat tekanan suara pada kondisi mobil menyala,  
diam dan jendela terbuka.

