

BORANG PENGESAHAN STATUS TESIS[♦]JUDUL: KAJIAN PRESTASI PEMBESAR SUARASESI PENGAJIAN: 1996/97Saya ZABIDAH BINTI MUDA

(HURUF BESAR)

mengaku membenarkan tesis (PSM/Sarjana/Doktor-Falsafah)* ini disimpan di Perpustakaan Universiti Teknologi Malaysia dengan syarat-syarat kegunaan seperti berikut:

1. Tesis adalah hakmilik Universiti Teknologi Malaysia.
2. Perpustakaan Universiti Teknologi Malaysia dibenarkan membuat salinan untuk tujuan pengajian sahaja.
3. Perpustakaan dibenarkan membuat salinan tesis ini sebagai bahan pertukaran antara institusi pengajian tinggi.
4. **Sila tandakan (✓)

SULIT

(Mengandungi maklumat yang berdarjah keselamatan atau kepentingan Malaysia seperti yang termaktub di dalam AKTA RAHSIA RASMI 1972)

TERHAD

(Mengandungi maklumat TERHAD yang telah ditentukan oleh organisasi/badan di mana penyelidikan dijalankan)

TIDAK TERHAD

Disahkan oleh

3
(TANDATANGAN PENULIS)

Maw
(TANDATANGAN PENYELIA)

Alamat Tetap: 41-8 JALANABDULLAH, 86800 MERSING,JOHOR, 07

EN. SHAIKH NASIR B.

SHAIKH ABD. RAHMAN

Nama Penyelia

Tarikh: 3/4/97Tarikh: 3/4/97

- CATATAN: *
- * Potong yang tidak berkenaan.
 - ** Jika tesis ini SULIT atau TERHAD, sila lampirkan surat daripada pihak berkuasa/organisasi berkenaan dengan menyatakan sekali sebab dan tempoh tesis ini perlu dikelaskan sebagai SULIT atau TERHAD.
 - ♦ Tesis dimaksudkan sebagai tesis bagi Ijazah Doktor Falsafah dan Sarjana secara penyelidikan, atau disertasi bagi pengajian secara kerja kursus dan penyelidikan, atau Laporan Projek Sarjana Muda (PSM).

KAJIAN PRESTASI PEMBESAR SUARA


ZABIDAH BINTI MUDA

**LAPORAN PROJEK INI DIKEMUKAKAN SEBAGAI
MEMENUHI SEBAHAGIAN DARIPADA SYARAT
PENGANUGERAHAN IJAZAH SARJANA MUDA
KEJURUTERAAN ELEKTRIK.**

**FAKULTI KEJURUTERAAN ELEKTRIK
UNIVERSITI TEKNOLOGI MALAYSIA**

1997

“ Saya akui karya ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali nukilan dan ringkasan yang tiap-tiap satunya telah saya jelaskan sumbernya “.

Tandatangan : 
Nama Penulis : ZABIDAH BINTI MUDA
Tarikh : 3/4/97

buat,

Mak, Abang Su, Kak Mah, Azlan dan ahli keluarga yang lain; sokongan dan galakan semua selama ini tidak ternilai harganya.

PENGHARGAAN

Ucapan ribuan terimakasih diucapkan kepada penyelia projek, En. Shaikh Nasir B. Shaikh Abd. Rahman yang banyak membantu saya dengan memberikan tunjukajar dan meluangkan masa untuk berbincang tentang masalah yang saya hadapi sepanjang melaksanakan projek ini.

Terimakasih juga kepada kakitangan Makmal Akustik dan juga kepada sesiapa sahaja yang terlibat sama ada secara langsung atau tidak langsung dalam menjayakan projek ini.

Akhir sekali, harapan saya semoga hidup kita diberkati Allah dan apa jua yang kita lakukan akan mendapat keredhaanNya.

ABSTRAK

Projek ini bertujuan untuk mengkaji prestasi pembesar suara dan skop kajiannya hanya tertumpu pada sambutan frekuensi, pola pengarahannya, herotan dan galangan bagi pembesar suara tersebut. Kajian ini dibuat ke atas beberapa buah pembesar suara yang berbeza di dalam bilik tanpa gema. Jenis pembesar suara yang digunakan ialah pembesar suara *Labyrinth*, Pengepong Tertutup, Kolum dan Hon.

Kajian ini telah dijalankan dengan menggunakan Penganalisis Audio yang mana pengukurannya telah diprogramkan. Dalam ujian pola pengarahannya, kedudukan pembesar suara diubah dengan menggunakan *Turntable*, dimana sebelum ini kedudukan pembesar suara tersebut diubah secara manual. Oleh itu, dengan menggunakan alat ini, pengukuran boleh dibuat dengan mudah dan cepat.

ABSTRACT

The objective of this project is to study the performance of loudspeakers. The scopes of the study are limited to the frequency response, polar pattern, distortion and impedance of the loudspeakers. Measurements were done on different types of loudspeaker in anechoic chamber. The types of loudspeaker used were Labyrinth, Sealed Box, Column and Horn speakers.

A programmable Audio Analyzer was used in the measurement process. Also, a turntable was used to rotate the loudspeaker during polar pattern measurement. Previously, the loudspeaker was turned manually. Using this set-up, the measurement can be easily done at a shorter time.

KANDUNGAN

Judul Projek	i
Pengakuan	ii
Dedikasi	iii
Penghargaan	iv
Abstrak	v
Abstract	vi
Kandungan	vii
Senarai Rajah	xi
Senarai Jadual	xiv
Senarai Istilah	xv
Lampiran Rajah	47
Lampiran Jadual	87

BAB I : SISTEM PEMBESAR SUARA

1.1	Pengenalan	1
1.2	Fungsi Utama Sistem Pembesar Suara	2
	1.2.1 Meningkatkan Aras Bunyi	2
	1.2.2 Menyelaraskan Gerak-geri	2
1.3	Fungsi Khusus Pembesar Suara	3
1.4	Ciri-ciri Sistem Pembesar Suara yang Baik	4

BAB II : KOMPONEN DAN JENIS PEMBESAR SUARA

2.1	Pengenalan	8
2.2	Jenis-jenis Pembesar Suara	9
2.2.1	Pembesar Suara Gegelung Bergerak	9
2.3	Sistem Radiator Pembesar Suara	12
2.4	Sistem Radiator Terus	12
2.4.1	Penyekat Dan Pengepong	12
2.4.2	Jenis-jenis Penyekat Dan Pengepong	13
2.5	Sistem Radiator Tidak Terus	15
2.5.1	Sistem Berbeban Hon	15
2.6	Sistem Pembesar Suara	16
2.6.1	Rangkaian Lintasan	16
2.7	Padanan Galangan	17

BAB III : KEADAAN DAN KRITERIA PENGUKURAN

3.1	Pengenalan	18
3.2	Kawasan Pengukuran	19
3.3	Keadaan Pengukuran	20
3.3.1	Suhu	20
3.3.2	Hingar Ambien	20
3.3.3	Pembesar Suara	20
3.3.4	Jarak Pengukuran	21
3.3.5	Paksi Rujukan	21

3.4	Kriteria Pengukuran	21
3.4.1	Sambutan Frekuensi	22
3.4.2	Sambutan Pengarahan	22
3.4.3	Kepekaan	23
3.4.4	Kecekapan	23
3.4.5	Galangan	23
3.4.6	Herotan	24
BAB IV : PENGUKURAN SAMBUTAN FREKUENSI, PENGARAHAN DAN HEROTAN		
4.1	Pengenalan	25
4.2	Peralatan	25
4.3	Pengujian Pembesar Suara	26
4.3.1	<i>Calibrate</i>	27
4.3.2	<i>Free Field</i>	28
4.3.3	<i>SPL</i>	30
4.3.4	<i>Off-Axis</i>	31
4.3.5	<i>Distortion</i>	32
BAB V : PENGUKURAN GALANGAN		
5.1	Pengenalan	33
5.2	Pemilihan Perintang Rujukan	34
5.3	Peralatan	35

5.4	Pengukuran	35
5.4.1	<i>Reference</i>	36
5.4.2	$Z(j\omega)$	37
BAB VI : KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN		
6.1	Pengenalan	38
6.2	Sambutan Frekuensi	38
6.3	Pola Pengarahan	40
6.4	Herotan	42
6.5	Galangan	43
BAB VII : KESIMPULAN, MASALAH DAN CADANGAN		
7.1	Kesimpulan	44
7.2	Masalah	45
7.3	Cadangan	45

RUJUKAN

Lampiran 1

Lampiran 2

Lampiran 3

SENARAI RAJAH

RAJAH	MUKASURAT
Rajah 2.2 : Pembesar Suara Gegelung Bergerak	47
Rajah 2.4 (a): Gambarajah Pengepong Tertutup	48
Rajah 2.4 (b): Gambarajah Pengepong Berliang	49
Rajah 2.4 (c): Gambarajah Pengepong <i>Labyrinth</i>	50
Rajah 2.5 : Hon Berlipat	51
Rajah 2.6 : Gambarajah Asas Rangkaian Lintasan	52
Rajah 2.7 : Sambungan Pembesar Suara	53
Rajah 3.2 : Rajah Asas Pengukuran	54
Rajah 3.4 (a): Sambutan Frekuensi	55
Rajah 3.4 (b): Perkaitan Sambutan Sistem Linar Dalam Domain Masa Dan Frekuensi	56
Rajah 3.4 (c): Pola Plot Pada Frekuensi Berlainan	57
Rajah 3.4 (d): Graf Galangan Bagi Pembesar Suara <i>Two-Way</i> Pengepong Tertutup	58
Rajah 3.4 (e): Pengukuran Asas Bagi Galangan	59
Rajah 3.4 (f): Herotan Dalam Bentuk Gelombang Sinus Dan Spektrum Garis	60

Rajah 4.3 (a): Rajah Penyambungan Peralatan bagi Pengukuran Sambutan frekuensi, Pola Pengarahan Dan Herotan	61
Rajah 4.3 (b): Graf <i>Calibrate</i>	62
Rajah 4.3 (c): Sambutan Sebelum Dikenakan Anjakan Masa Dan Tingkap Masa	63
Rajah 4.3 (d): Sambutan Selepas Dikenakan Anjakan Masa Dan Tingkap Masa	64
Rajah 4.3 (e): Graf Sambutan Frekuensi	65
Rajah 4.3 (f): Graf <i>Off-Axis</i>	66
Rajah 4.3 (g): Graf Herotan	67
Rajah 5.1 : Rajah Penyambungan Peralatan Bagi Pengukuran Galangan	68
Rajah 5.4 (a): Graf <i>Reference</i>	69
Rajah 5.4 (b): Graf Galangan	70
Rajah 6.2 (a): Graf Sambutan Frekuensi Bagi Pembesar Suara Pengepong Tertutup	71
Rajah 6.2 (b): Graf Sambutan Frekuensi Bagi Pembesar Suara <i>Labyrinth</i>	72
Rajah 6.2 (c): Graf Sambutan Frekuensi Bagi Pembesar Suara Kolum	73
Rajah 6.2 (d): Graf Sambutan Frekuensi Bagi Pembesar Suara Hon	74
Rajah 6.3 (a): Polar Plot Bagi Pembesar Suara Pengepong Tertutup	75
Rajah 6.3 (b): Polar Plot Bagi Pembesar Suara <i>Labyrinth</i>	76
Rajah 6.3 (c): Polar Plot Bagi Pembesar Suara Kolum	77
Rajah 6.3 (d): Polar Plot Bagi Pembesar Suara Hon	78

Rajah 6.4 (a): Graf Herotan Bagi Pembesar Suara <i>Labyrinth</i>	79
Rajah 6.4 (b): Graf Herotan Bagi Pembesar Suara Pengepong Tertutup	80
Rajah 6.4 (c): Graf Herotan Bagi Pembesar Suara Hon	81
Rajah 6.4 (d): Graf Herotan Bagi Pembesar Suara Kolum	82
Rajah 6.5 (a): Graf Galangan Bagi Pembesar Suara Pengepong Tertutup	83
Rajah 6.5 (b): Graf Galangan Bagi Pembesar Suara <i>Labyrinth</i>	84
Rajah 6.5 (c): Graf Galangan Bagi Pembesar Suara Kolum	85
Rajah 6.5 (d): Graf Galangan Bagi Pembesar Suara Hon	86

SENARAI JADUAL

JADUAL	MUKASURAT
Jadual 6.2 : Bacaan Ujikaji Sambutan Frekuensi	87
Jadual 6.3 : Bacaan Ujikaji Bagi Ujian Pola Pengarahan	88
Jadual 6.4 (a): Bacaan Ujikaji Herotan Bagi Pembesar Suara <i>Labyrinth</i>	89
Jadual 6.4 (b): Bacaan Ujikaji Herotan Bagi Pembesar Suara Pengepong Tertutup	90
Jadual 6.4 (c): Bacaan Ujikaji Herotan Bagi Pembesar Suara Hon	91
Jadual 6.4 (d): Bacaan Ujikaji Herotan Bagi Pembesar Suara Kolum	92
Jadual 6.5 : Bacaan Ujikaji Galangan	93

SENARAI ISTILAH

Amplifier (Penguat)

Peranti elektronik yang direka untuk menukarkan isyarat yang kecil kepada isyarat yang lebih besar.

Anechoic

Tanpa gema. *Anechoic Chamber* merupakan bilik akustik yang direka sedemikian rupa untuk mendapatkan pengukuran pembesar suara yang tepat.

Crossover (Lintasan)

Rangkaian komponen yang terdiri daripada pemuat, peraruh dan perintang yang disusun di atas papan litar di dalam kotak pembesar suara yang bertujuan untuk membahagikan isyarat masukan daripada penguat kuasa kepada jalur frekuensi bagi setiap unit pemacu pembesar suara. Sebagai contoh bagi pembesar suara *two-way*, rangkaian lintasan akan memasukkan frekuensi tinggi (treble) ke *tweeter* dan *midrange / bass* ke kon utama unit pemacu.

Damping (Redaman)

Proses dimana getaran amplitud atau salunan dikurangkan dengan meletakkan bahan penyerap pada kabinet pembesar suara.

Diaphragm (Gegendang)

Permukaan unit pemacu bagi pembesar suara. Biasanya berbentuk kon.

Distortion (Herotan)

Sebarang kekurangan atau tambahan pada isyarat audio dinamakan herotan.

Herotan bagi penguat biasanya diukur sebagai *intermodulation*, *transient intermodulation* dan herotan harmonik.

Drive Unit (Unit Pemacu)

Merupakan komponen penting dalam pembesar suara. Unit pemacu akan menukarkan kuasa elektrik yang diterima dari penguat kepada kuasa akustik.

Tweeter akan mengendalikan frekuensi tinggi, *midrange* akan mengendalikan frekuensi pertengahan dan *woofer* mengendalikan frekuensi rendah.

Efficiency (Kecekapan)

Ukuran bagi kadar tenaga elektrik yang dimasukkan ke pembesar suara yang ditukarkan kepada tenaga akustik.

Frequency Response (Sambutan Frekuensi)

Ketepatan ukuran dalam julat dB bagi sesuatu peralatan audio. Kini, pembuat pembesar suara *hi-fi* telah menyediakan kadar toleran (biasanya \pm dB) bagi sesuatu model yang beroperasi pada julat frekuensi 20 Hz ~ 20 kHz. Semakin rata sambutan frekuensi sesebuah pembesar suara itu, maka semakin baik kualitinya.

Harmonics (Harmonik)

Beberapa frekuensi gelombang yang asas. Gelombang sinus 50 Hz mempunyai harmonik kedua pada 100 Hz, harmonik ketiga pada 150 Hz, harmonik keempat pada 200 Hz, harmonik kelima pada 250 Hz dan seterusnya. Bunyi bagi alat-alat muzuk didapati daripada percampuran harmonik dengan setiap not secara kompleks. Di dalam penguat, herotan harmonik merupakan pertambahan harmonik yang tidak dikehendaki pada sesuatu isyarat. Herotan harmonik seluruh pula merupakan jumlah semua herotan harmonik dibahagi dengan harmonik asas.

Directionality

Kecenderongan pembesar suara menyerakkan bunyi ke semua arah. Pembesar suara Hon lebih berarah pada frekuensi tinggi.

Moving Coil

Prinsip operasi bagi pembesar suara gegelung bergerak. Sentuhan magnet kekal pada gegelung pembesar suara dinamakan isyarat masukan elektrik. Daya *electro-motive* yang terhasil teraruh ke daya gegelung gegendang pembesar suara untuk bergerak.

Phase (Fasa)

Diukur dalam Darjah, bernilai di antara 0° sehingga 360° . Oleh kerana ia dalam kitar, fasa dirujuk pada titik dalam kitar gelombang sinus. Titik lintasan di antara $1/2$ kitar gelombang positif dan $1/2$ kitar gelombang negatif ialah 180° .

Sensitivity (Kepekaan)

Ukuran kecekapan pembesar suara. Nilai biasa kepekaan bagi pembesar suara ialah 87 dB. Nilai kepekaan yang paling tinggi ialah 94 dB atau lebih dan nilai terendah ialah kurang daripada 80 dB. Kepekaan pembesar suara yang rendah memerlukan keluaran penguat kuasa yang tinggi untuk mendapatkan bunyi yang baik dan sebaliknya bagi kepekaan yang tinggi

Tweeter

Unit pemacu bersaiz kecil bagi kegunaan frekuensi tinggi.

Midrange

Unit pemacu bersaiz sederhana bagi kegunaan frekuensi pertengahan.

Woofers

Unit pemacu bersaiz besar bagi kegunaan frekuensi rendah.

BAB 1

BAB I

SISTEM PEMBESAR SUARA

1.1 Pengenalan

Sistem pembesar suara diperlukan dalam ruang atau kawasan yang terbuka ataupun tertutup, kerana suara semula jadi tidak cukup kuat bagi pendengar yang berada jauh dari sumber bunyi, terutama dalam jumlah yang ramai. Keadaan ini lebih teruk lagi sekiranya wujudnya gangguan lain atau bunyi bising persekitaran yang tinggi.

Sebagai panduan kasar, sistem pembesar suara diperlukan di tempat yang berikut :

- a) Semua arena, gimnasium dan dewan syarahan.
- b) Bilik kuliah yang berisipadu melebihi 400 meter padu atau yang dapat menempatkan lebih daripada 150 orang.
- c) Panggung pementasan yang berisipadu melebihi 2500 meter padu atau yang dapat menempatkan lebih daripada 1000 penonton.

1.2 Fungsi Utama Sistem Pembesar Suara

Untuk membolehkan sesebuah ruang atau kawasan berfungsi dengan baik, pembesar suara yang boleh mencapai objektif utama seperti berikut perlu diadakan.

- i. Meningkatkan Aras Bunyi
- ii. Menyelaraskan Gerak-geri

1.2.1 Meningkatkan Aras Bunyi

Aras bunyi akan berkurangan secara semula jadi jika ia semakin jauh dari punca bunyi. Pengurangan ini berkadar terus dengan kuasa dua jarak antara pendengar dengan punca bunyi. Sekiranya kedudukan pendengar itu terlalu jauh, aras bunyi ucapan yang sampai kepada pendengar terlalu rendah untuk didengar dengan jelas. Keadaan aras bunyi yang rendah ini bertambah buruk kerana pada kebiasaannya terdapat bunyi bising latar belakang. Bunyi bising itu akan menenggelamkan bunyi ucapan yang rendah itu.

Untuk mencapai kejelasan pendengaran, sistem pembesar suara haruslah mampu meningkatkan aras bunyi yang sampai ke telinga pendengar itu sekurang-kurangnya 10 dB lebih tinggi daripada aras kebisingan latar belakang.

1.2.2 Menyelaraskan Gerak-geri

Gerak-geri sampai ke mata menerusi gelombang cahaya, manakala bunyi sampai ke telinga menerusi gelombang bunyi. Penyerentakan diperlukan kerana pergerakan di antara cahaya dan bunyi adalah berbeza; cahaya bergerak laju iaitu 300 000 000 meter sesaat, manakala bunyi bergerak agak lambat, iaitu 330 meter sesaat. Jika penyerentakan tidak dilakukan kita akan dapat saksikan bunyi tepukan

kedengaran semasa kedua-dua tapak tangan sudah selesai bertepuk dan tidak bersentuh lagi.

1.3 Fungsi Khusus Sistem Pembesar Suara

Di samping fungsi utama di atas, dengan adanya sistem pembesar suara, beberapa kemudahan tambahan dapat diadakan. Di antara kemudahan-kemudahan tersebut adalah seperti yang dibincangkan di bawah :

i) Kemudahan Terjemahan Serentak

Kemudahan khusus ini penting bagi persidangan antarabangsa. Sebagai contoh, ucapan pembukaan sebuah persidangan Islam antarabangsa perlu diterjemahkan sekurang-kurangnya ke dalam tiga bahasa, iaitu Bahasa Arab, Inggeris dan Perancis. Bahasa tersebut ialah bahasa utama yang digunakan di negara-negara Islam. Kemudahan seperti ini terdapat di Dewan Dato' Onn, Pusat Dagangan Dunia Putra, Kuala Lumpur.

ii) Pengumuman Awam

Kemudahan seperti ini diperlukan terutamanya di tempat terdapat ramai orang seperti di pusat membeli belah atau bangunan terminal lapangan terbang. Pengumuman sering dibuat untuk menemukan pelawat asing dengan penyambutnya atau mengumumkan penemuan anak yang tercicir daripada jagaan orang tuanya.

iii) **Arahan Kecemasan**

Arahan kecemasan ini perlu diadakan bagi kompleks bangunan yang besar. Dalam bangunan sedemikian kebakaran yang berlaku di satu sudut tidak mungkin disedari di sudut lain. Setelah kebakaran itu disedari, ada kemungkinan orang ramai akan cuba lari dengan cara menuju ke satu arah sahaja. Kemungkinan perjalanan ke arah yang dituju itu sudah tersekat oleh kebakaran yang sudah merebak. Oleh itu, perlu ada satu pusat kawalan yang meneliti keadaan kebakaran di semua bahagian bangunan dan menyelaraskan dengan sistem pembesar suara elektronik pergerakan orang ramai yang berada di sesuatu tempat ke tempat yang paling selamat dan paling dekat dituju.

iv) **Ucapan di Sebarang Tempat**

Kemudahan ini membolehkan peserta persidangan mengemukakan ulasan atau pertanyaan tanpa terpaksa naik ke pentas terlebih dahulu.

1.4 **Ciri-ciri Sistem Pembesar Suara yang Baik**

Sistem pembesar suara yang baik akan membolehkan orang ramai mendengar 'penceramah asal'. Ini bermakna sedapat mungkin bunyi yang dikeluarkan hendaklah datang dari arah datangnya punca sebenar. Tanggapan pendengaran telinga dapat mengesan arah kerana keberkesanan telinga kepada sesuatu aras bunyi bergantung pada frekuensi dan arah.

Sistem pembesar suara yang baik haruslah mempunyai ciri-ciri seperti berikut:

- i) Kewujudan sistem itu tidak disedari oleh orang yang menggunakan ruang tersebut.
- ii) Keaslian bunyi tidak berubah sekurang-kurangnya pada frekuensi 30 - 30 000 Hz.
- iii) Aras bunyi 100 dB dapat didengar sehingga jarak 30 meter dari punca bunyi tanpa herotan.
- iv) Sistem pembesar suara elektronik itu haruslah mampu menghalakan bunyi dengan tepat ke sesuatu kawasan yang dikehendakai secara seragam. Maksud seragam di sini ialah perbezaan aras kekuatan di sebarang sudut dalam kawasan itu, jika ada, hendaklah tidak melebihi 3 dB.
- v) Sistem pembesar suara itu haruslah mampu berfungsi tanpa gangguan pantulan atau gema. Sekiranya terjadi pantulan, sistem pembesar suara itu akan mengaum atau berdesing.

Terdapat beberapa ciri-ciri penting untuk menentukan prestasi sesebuah pembesar suara. Di dalam projek ini hanya ditekankan tentang sambutan frekuensi, pola pengarahannya, herotan dan juga galangan. Ciri-cirinya seperti yang diterangkan di bawah.

a) Ciri Sambutan Frekuensi (Frequency Response Characteristic)

Sambutan frekuensi bagi sesebuah pembesar suara akan menentukan sama ada ianya jelas dan senang didengar ataupun tidak. Pembesar suara yang diperlukan untuk menghasilkan bunyi sebuah orkestra simfoni perlu mempunyai sambutan

frekuensi yang lebih baik berbanding pembesar suara yang digunakan hanya untuk menghasilkan suara manusia.

b) Ciri Pengarahan (Directional Characteristic)

Ciri-ciri pengarahan biasanya berubah mengikut frekuensi dimana pengarahan yang jelas didengar pada frekuensi yang tinggi dan kurang atau tidak berpengarahan pada frekuensi yang rendah. Pada sistem pembesar suara, pengarahan ke hadapan menyumbangkan kesemua pengarahan yang dihasilkan. Pengarahan kesan daripada isyarat termodulat dan isyarat harmonik boleh dihasilkan pada keadaan tidak linar. Pada amnya pengarahan yang kecil iaitu pada aras pendengar yang normal adalah pada urutan 1 % atau 2 % daripada rekabentuk yang baik tetapi boleh menaik kepada aras yang tinggi pada keluaran yang tinggi, terutamanya pada bass.

c) Ciri Herotan Tak Linar (Nonlinear Distortion Characteristic)

Pembesar suara yang disambung kepada peralatan audio seperti transduser audio, penguat dan pemproses isyarat akan menghasilkan keluaran yang tak linar. Ini akan menambahkan nilai galangan kepada isyarat masukan yang menghasilkan ketidakpadanan galangan. Kawasan herotan tak linar ini akan dibandingkan antara masukan dan keluaran. Kebiasaannya piawai herotan keluaran diukur pada aras yang sederhana dan dengan keluaran aras tekanan bunyi (SPL) 80 dB pada jarak 1 meter.

d) Ciri Galangan Elektrik (Electrical Impedance Characteristic)

Kebiasaannya pembesar suara direkabentuk dan dipasang dalam keadaan nilai galangan yang terhad. Kebanyakan pembesar suara menggunakan nilai galangan 4 Ω dan 16 Ω dimana nilai galangan ini adalah dengan mengambilkira nilai penguat.

Galangan masukan pembesar suara inilah yang membezakan lebar frekuensi.

Walaupun bagaimanapun pemilihan sistem pembesar suara yang sesuai adalah pada nilai galangan 8 Ω yang digabungkan dengan penguat.

BAB 2

BAB II

KOMPONEN DAN JENIS PEMBESAR SUARA

2.1 Pengenalan

Pembesar suara merupakan transduser yang menukarkan tenaga elektrik kepada tenaga akustik. Prinsip operasinya menyerupai transduser yang melaksanakan dua tindakan iaitu, pertama mengubah tenaga elektrik ke tenaga mekanikal iaitu getaran dan kedua memindahkan tenaga mekanikal ini ke udara sekeliling sebagai tenaga akustik. Secara umumnya pembesar suara terdiri daripada tiga bahagian utama iaitu :

i) Transduser

Mengubahkan isyarat audio kepada pergerakan mekanikal.

ii) Permukaan Radiator

Bahagian ini digandingkan dengan transduser supaya pergerakannya dipancarkan ke udara sebagai gelombang bunyi.

iii) Kabinet (pengepong)

Kotak pengepong yang menempatkan transduser dan permukaan radiator bagi mewujudkan keberarahan untuk bahagian positif sahaja (ke hadapan).

2.2 Jenis-jenis Pembesar suara

Di antara jenis-jenis pembesar suara ialah :

- i) Pembesar Suara Gegelung Bergerak
- ii) Pembesar Suara Elektrostatik
- iii) Pembesar Suara Piezoelektrik

Walaubagaimanapun, pembesar suara yang biasa digunakan ialah Pembesar Suara Gegelung Bergerak.

2.2.1 Pembesar Suara Gegelung Bergerak

Kebanyakan pembesar suara pada hari ini adalah dari jenis gegelung bergerak. Bahagian utamanya terdiri daripada bingkai, magnet, gegelung suara, *surround*, *spider* dan kon (gegendang). Prinsip operasinya ialah apabila arus dari keluaran penguat audio mengalir ke dalam gegelung yang terletak di dalam suatu medan magnet, ia akan menghasilkan daya dan ini akan menggerakkan gegelung tersebut mengikut frekuensi, amplitud dan fasa isyarat audio.

Magnet terdiri daripada gelung magnet yang terletak di bahagian belakang pembesar suara. Ia terdiri daripada dua bahagian iaitu bahagian hadapan dan bahagian belakang. Pada bahagian hadapan terdapat satu rod timah yang berdimensi kecil, bertujuan supaya sela udara antaranya dengan gegelung adalah kecil. Pada bahagian

belakangnya pula terdapat satu rod yang berbentuk U yang memanjang ke hadapan. Apabila arus dibekalkan pada sistem ini, medan magnet akan terjadi di antara hadapan dan pusat kutub melalui lilitan gegelung. Medan magnet ini seterusnya akan menghasilkan daya bagi menggerakkan gegelung tersebut.

Gegelung suara terletak di bahagian atas dan bahagian bawah kubah kon. Gegelung ini terdiri daripada sebilangan lilitan wayar kuprum. Tetapi untuk mengurangkan jisim dan inersia pada frekuensi tinggi, aluminium biasanya digunakan. Untuk mendapatkan bilangan lilitan sebanyak mungkin, wayar tersebut dibentuk segiempat dan hexagonal. Oleh itu ia akan memberikan lebih pusingan per. cm. Gegelung mempunyai galangan. Galangan yang biasa digunakan adalah 8Ω . Galangan ini terdiri daripada rintangan dan peraruh yang biasanya memberikan nilai $2/3$ daripada nilai galangan gegelung keseluruhan. Nilai galangan yang tinggi melebihi kadar keluaran penguat bermakna kuasa keluaran adalah kurang tetapi memberikan herotan yang rendah. Sebaliknya nilai galangan yang rendah akan memberikan herotan yang tinggi dan kemungkinan lebihan beban kuasa ini akan menyebabkan kerosakan kepada penguat.

Surround bertindak sebagai penyambung kon ke bingkai pembesar suara. Ia dibentuk dengan membengkokkan penghujung kon dan diletakkan bahan getah (foam) di antara kon dan chasis. Pada frekuensi rendah ia bertindak sebagai spring dan membekalkan daya untuk mengembalikan gegendang ke tempat asalnya selepas dipesongkan.

Spider / suspension pula menempatkan gegelung suara di dalam sela udara dan menghadkan pergerakannya. Ia juga menghalang bahan-bahan kotor dari memasuki sela udara.

Kon diperbuat daripada polyster atau lapisan fiberglass. Ia memanjang dari pinggir luaran hingga ke bingkai. Bila gegelung suara bergetar, kon yang bersambung dengannya juga turut bergetar mengikut isyarat masukan. Keupayaan getaran itu bergantung secara langsung kepada kekejalan dan keringanan bahan kon yang menyebarkan getaran keluar daripada bahagian tengahnya. Apabila sampai ke bahagian tepi, getaran ini akan dipantulkan semula ke bahagian tengah. Pantulan ini akan menghasilkan gerakan kon palsu. Oleh itu herotan akan berlaku pada bunyi yang dihasilkan. Dengan itu keperluan fungsi bagi penyerapan sekeliling kon diperlukan untuk menghalang terjadinya pantulan. Rajah 2.2 menunjukkan gambarajah pembesar suara gegelung bergerak. Dari gambarajah tersebut dapat diperhatikan bahawa gegelung suara disambungkan kepada penghujung kon dan diletakkan dalam sela udara. Oleh kerana gegelung ini mempunyai galangan yang rendah maka ia bergerak bebas dalam ruang sela udara. Gerakan ini seterusnya akan menjanakan tenaga akustik ke sekelilingnya.

Kecekapan pembesar suara jenis ini bergantung kepada magnet dan ketumpatan fluks magnet dalam sela udara, saiz gegelung suara dan kon. Walau bagaimanapun adalah sukar untuk merekabentuk satu pembesar suara gegelung bergerak yang mempunyai kepekaan yang sama pada semua frekuensi. Oleh itu untuk isyarat frekuensi tinggi, siaran gelombang bunyi yang lebih cekap boleh diperolehi

dengan menggunakan kon bersaiz kecil, manakala isyarat yang berfrekuensi rendah pula, kon yang lebih besar akan menghasilkan sambutan frekuensi yang lebih baik.

2.3 Sistem Radiator Pembesar Suara

Kabinet yang menempatkan unit pembesar suara mempengaruhi prestasi pembesar suara; iaitu cara gelombang bunyi yang dikeluarkan oleh pembesar suara disiarkan ke ruang angkasa merupakan faktor penting dalam menentukan kepekaan sistem pembesar suara.

Sistem pembesar suara boleh dibahagikan kepada dua jenis mengikut cara gelombang bunyi disiarkan ke ruang angkasa :

- i) Sistem Radiator Terus
- ii) Sistem Radiator Tidak Terus

2.4 Sistem Radiator Terus (Direct Radiator)

Sistem ini memancarkan gelombang bunyi terus ke ruang angkasa. Kepekaan sistem ini adalah kurang dari 5 %. Di bawah akan diterangkan tentang pengepong dan jenis-jenisnya.

2.4.1 Penyekat dan Pengepong (baffle and enclosure)

Bagi setiap ayunan isyarat masukan, kon akan bergetar dan mengeluarkan dua gelombang yang berlawanan fasa (180°) di bahagian hadapan dan belakang kon. Jika sela udara bahagian hadapan renggang maka udara di belakang pula mampat.

Keadaan tekanan udara yang berbeza ini mengakibatkan udara bahagian tekanan tinggi beredar masuk ke bahagian tekanan rendah. Percampuran kedua-dua gelombang ini mengakibatkan penghapusan gelombang bunyi.

Pada frekuensi tinggi, kesan ini boleh diabaikan, tetapi pada frekuensi rendah kesan ini menjadi sangat ketara. Keadaan ini menjadikan sambutan frekuensi rendah kurang memuaskan. Penyekat (baffle) dan pengepong (enclosure) direka untuk memperbaiki keadaan.

Penyekat bertindak dengan memperlambatkan pergerakan gelombang bunyi dengan memanjangkan perjalanannya dari pembesar suara ke bahagian tengah kon dan menghalangnya dari mematikan penyiaran bunyi dari arah hadapan.

2.4.2 Jenis-jenis Penyekat dan Pengepong

Terdapat beberapa jenis pengepong yang biasa digunakan diantaranya :

a) Pengepong Tertutup

Bahagian belakang pembesar suara ini tertutup, yang mana saluran akustik boleh dihapuskan. Ia digambarkan dalam Rajah 2.4 (a). Udara yang terperangkap bertindak sebagai penebat akustik bagi bahagian belakang kon pembesar suara.

Pengepong ini juga dikenali sebagai penyekat tak terhingga kerana sistem ini menghalang pergerakan bunyi dari belakang ke hadapan pembesar suara.

Keberkesanan penyekat ini boleh ditambah dengan memasukkan bahan-bahan penyerap ke dalam pengepong. Penyerapan gelombang bunyi yang terperangkap mengurangkan kadar kepekaan kerana kerosotan kuasa keluaran.

b) Pengepong Berliang (bass reflex / vented box)

Sistem ini membolehkan gelombang bunyi yang terperangkap dalam pengepong bergerak ke depan melalui lubang kedua dan dipancarkan keluar. Gelombang tersebut adalah sefasa dengan gelombang yang datang dari bahagian hadapan kon. Ia ditunjukkan dalam Rajah 2.4 (b). Udara dalam pengepong bertindak sebagai pemuat akustik dan udara pada liang pula bertindak sebagai peraruh. Kedua-dua faktor ini menyebabkan pengepong berliang ini bertindak sebagai salur akustik. Jika frekuensi salun akustik ini sama dengan frekuensi salun pembesar suara, amplitud salun sistem ini akan menurun.

Bagi sistem ini terdapat dua frekuensi salunan iaitu: satu frekuensi lebih tinggi daripada frekuensi pembesar suara dan satu lagi lebih rendah. Akibatnya sambutan frekuensi rendah dipanjangkan ke frekuensi yang lebih rendah. Penurunan sambutan frekuensi yang lebih rendah adalah lebih curam daripada sistem pengepong tertutup.

Udara pada liang juga bertindak sebagai gegendang maya, menyekat udara dari luar memasuki ke dalam pengepong. Untuk mengurangkan salunan kon, bahagian dalam pengepong dilapiskan dengan bahan-bahan penyerap seperti *felat* dan *wool*.

c) Pengepong 'Labyrinth'

Pengepong jenis ini mempunyai beberapa bahagian yang disekat bagi laluan paip akustik; ini bermakna masukan tidak disambung secara terus dengan pembesar suara. Prinsipnya ialah gelombang bunyi akan sampai ke pembesar suara melalui paip akustik ini. Binaan yang sedemikian akan melengahkan gelombang bunyi yang sampai ke pembesar suara. Bahagian dalam pengepong ini juga diletakkan dengan

bahan-bahan penyerap dan pemantul seperti konkrit, simen dan span untuk menghasilkan bunyi yang baik. Rajah pengepong ini ditunjukkan dalam Rajah 2.4 (c).

2.5 Sistem Radiator Tidak Terus (Indirect Radiator)

Dalam sistem ini gegendang pembesar suara digandingkan ke udara dengan beban hon yang bertindak sebagai alatubah akustik.

2.5.1 Sistem Berbeban Hon

Dalam sistem ini, beban hon yang disambungkan dengan gegendang pembesar suara. Permukaan masukan yang sempit dan keluaran yang luas menyebabkan tekanan yang tinggi wujud pada bahagian masukan hon. Tindakan beban ini menyebabkan aras bunyi sistem ini lebih tinggi dari sistem radiator terus. Bahagian masukan dan bentuk permukaan hon menyebabkan gelombang bunyi berfrekuensi tinggi dipancarkan ke kawasan yang lebih sempit tetapi menumpu pada jarak yang lebih jauh. Diantara jenis-jenis hon :

a) Hon *Exponential*

Bentuk hon akan berubah mengikut kadar eksponen.

b) Hon *Multicellular*

Terdiri daripada beberapa hon eksponen yang disatukan untuk mengagihkan pemancaran gelombang bunyi frekuensi tinggi ke kawasan yang lebih luas.

Kebanyakannya digunakan untuk sistem siaraya dan di pawagam sebagai unit pembesar suara frekuensi tinggi.

c) **Hon Berlipat (Re-entrant Horn)**

Dibentuk dengan melipatkan hon eksponen untuk mengurangkan saiznya.

Bentuk ini membolehkannya beroperasi pada frekuensi rendah dan tinggi. Ia ditunjukkan dalam Rajah 2.5.

2.6 **Sistem Pembesar Suara**

Untuk mendapatkan sambutan frekuensi yang rata sepanjang julat frekuensi audio, dua atau lebih pembesar suara digunakan dimana ia diletakkan dalam satu pengepong. Pembesar suara yang beroperasi pada frekuensi tinggi dipanggil *tweeter* (1 kHz hingga 20 kHz), untuk frekuensi rendah dinamakan *woofer* (kurang daripada 1 kHz) manakala bagi frekuensi pertengahan dinamakan *midrange*.

2.6.1 **Rangkaian Lintasan (Crossover Network)**

Rangkaian ini perlu apabila dua atau lebih pembesar suara digunakan. Fungsi litar pengasing frekuensi ini ialah untuk mengasingkan frekuensi tinggi, pertengahan dan rendah. Rajah asas Rangkaian Lintasan ini ditunjukkan dalam Rajah 2.6.

Dengan cara ini pembesar suara hanya menerima bunyi pada julat frekuensi tertentu sahaja. *Tweeter* akan menerima bunyi pada julat frekuensi tinggi, manakala *midrange* pada frekuensi sederhana tinggi dan *woofer* pula pada frekuensi rendah.

Dalam sistem siaraya, terdapat tiga kumpulan pembesar suara yang biasa digunakan iaitu pembesar suara Kon, Hon dan Kolum.

Pembesar suara kon mempunyai kecekapan antara 2 % hingga 10 %.

Pembesar suara hon lebih cekap daripada pembesar suara kon. Rajah polarnya pula lebih sempit dan ia membenarkan pengarahannya bunyi yang lebih tepat kepada

pendengar dan tidak melimpah kepada mikrofon. Penurunan kekuatan bunyi di sepanjang jarak adalah kurang mencuram. Ini memberikan kekuatan yang lebih sama rata kepada pendengar yang dekat dan jauh. Jenis-jenis pembesar suara hon yang biasa digunakan adalah pembesar suara kolum.

Pembesar Suara Kolum

Pembesar suara kolum kini menjadi kegemaran utama kepada pengeluar peralatan sistem bunyi. Sistem pembesar suara ini boleh dipasang dengan menggunakan pembesar suara jenis hon bagi memenuhi pertimbangan pengarahannya dalam satu satah. Pembesar suara kolum pula membawa proses menumpu (focus). Ia mengandungi beberapa pembesar suara yang tersusun sebaris dalam satu unit pengepong yang berukuran panjang 1 meter atau lebih, bergantung kepada bilangan pembesar suara dalam pengepong berkenaan.

2.7 Padanan Galangan

Pembesar suara disusun secara siri dalam kotak kolum yang mana bagi empat pembesar suara hon 8Ω akan memberikan jumlah galangan 32Ω . Sekiranya ia disambung secara selari, jumlah galangan ialah 2Ω . Kedua-dua nilai ini terlalu besar dan kecil untuk dipadankan dengan penguat kuasa bergalangan $16, 8$ atau 4Ω . Oleh itu dalam rekaan pembesar suara kolum, sambungan siri-selari digunakan. Oleh itu, 4 pembesar suara 8Ω memberikan jumlah galangan 8Ω jika menggunakan sambungan cara ini. Ini memberikan padanan dengan penguat kuasa bergalangan 8Ω . Nilai-nilai lain dapat dihasilkan dengan cara sambungan ini. Rajah 2.7 menunjukkan sambungan galangan bagi pembesar suara.

BAB 3

BAB III

KEADAAN DAN KRITERIA PENGUKURAN

3.1 Pengenalan

Pengukuran pembesar suara dibuat berdasarkan beberapa sebab: diantaranya untuk melihat prestasi sesebuah pembesar suara. Pengukuran akan membolehkan pengeluar pembesar suara membuat spesifikasi bagi pembesar suara tersebut. Untuk menghasilkan pengukuran yang tepat, pengukuran yang dibuat haruslah menggunakan peralatan-peralatan yang berkualiti tinggi dan mengikut prosedur yang piawai bagi mengelakkan berlakunya ralat. Jika pengukuran yang dibuat menggunakan alat yang mempunyai ketepatan ± 0.01 dB, dan mendapat keputusan diantara ± 1.0 dB, ia sudah dikira baik.

Pengukuran yang biasa dibuat keatas sesuatu pembesar suara adalah sambutan frekuensi, pola pengarahannya, galangan, herotan, kepekaan, kecekapan dan kapasiti *power handling*. Didalam projek ini, saya hanya mengkaji tentang sambutan frekuensi, pengarahannya, galangan dan herotan bagi sesebuah pembesar suara sahaja.

3.2 Kawasan Pengukuran

Peralatan yang asas bagi pengukuran sesebuah pembesar suara ditunjukkan dalam Rajah 3.2. Pembesar suara diletakkan di dalam kawasan pengukuran (measuring environment) dan isyarat dikenakan keatasnya dengan menggunakan penguat kuasa yang sesuai. Kemudian isyarat yang dikeluarkan oleh pembesar suara tadi masuk ke dalam mikrofon dan data yang diperolehi akan dimasukkan ke penangkap data (data capture), meter, aras perakam (level recorder) dan lain-lain pemproses untuk dipaparkan ataupun disimpan.

Secara ideal, ujikaji dibuat di persekitaran yang tidak mempunyai hingar ambien, tiada halangan dan tiada sempadan pembalikan (*free field*). Pengukuran yang praktikal mestilah dibuat di salah satu daripada tiga kawasan pengukuran yang asas iaitu *free field* (anechoic), *diffuse field* (penyerapan) atau bilik biasa (semi penyerapan). Di dalam projek ini, pengukuran hanya dibuat dalam keadaan *free field* sahaja.

Medan bebas bunyi didefinisikan sebagai kawasan yang kesan bunyinya boleh diabaikan. Pembesar suara atau lain-lain sumber jika diletakkan di dalam kawasan medan bebas, bunyi yang dihasilkan akan sampai ke semua arah. Biasanya pengukuran dibuat di dalam bilik tanpa gema (*anechoic chamber*) yang mana keputusan yang diperolehi mempunyai hingar ambien yang terlalu rendah.

Bagi pengukuran pada frekuensi rendah, ia tidak sesuai dijalankan di dalam bilik ini (*anechoic chamber*) kerana bilik ini mempunyai frekuensi potongnya yang tersendiri.

3.3 Keadaan Pengukuran

Pengukuran yang di jalan haruslah mengikut keadaan atau syarat-syarat tertentu diantaranya :

3.3.1 Suhu

Suhu boleh mempengaruhi prestasi sesebuah pembesar suara, contohnya bahan yang dibuat daripada plastik boleh rosak jika dikenakan suhu yang tinggi. Oleh itu pengukuran haruslah dibuat pada suhu bilik iaitu 25 ± 5 °C.

3.3.2 Hingar Ambien

Purata SPL ambien hendaklah dicatatkan. Jika ralat pengukuran tidak melebihi 1 dB, maka kadar *signal-to-noise* mestilah sekurang-kurangnya 20 dB pada sebarang frekuensi.

3.3.3 Pembesar Suara

Jenis pembesar suara boleh mempengaruhi kemasukan akustik (acoustic loading) dan keputusan yang diperolehi juga berbeza. Oleh itu keadaan pembesar suara yang diukur itu hendaklah dinyatakan dengan jelas. Terdapat tiga kemungkinan iaitu :

- a) penyekat yang *standard* atau pengepong yang tertentu
- b) di dalam udara bebas tanpa penyekat atau pengepong
- c) di dalam setengah medan bebas, bersempadan dengan permukaan pembalikan

Sistem pembesar suara yang baik biasanya diukur tanpa ada penyekat tambahan.

3.3.4 Jarak Pengukuran

Pengukuran boleh dibuat di antara *near-field* dan *far-field*. Bunyi di dalam *near-field* yang datang dari sumber bunyi yang kompleks mempunyai berbagai elemen yang tersebar dan dibalikkan. Oleh itu perubahan yang kecil pada kedudukan mikrofon akan menghasilkan perbezaan keputusan semasa pengukuran dibuat. Masalah ini dapat diatasi dengan menambah jarak mikrofon.

Keadaan *far-field* pula berlaku apabila jarak digandakan daripada kedudukan sumber pada pengurangan sebanyak 6 dB dalam aras bunyi (hukum kuasa dua songsang). Keadaan ini berlaku apabila kedudukan mikrofon sekurang-kurangnya 3 kali lebih jauh daripada jarak sumber. Biasanya jarak yang dicadangkan ialah 2 meter atau lebih.

Walau bagaimanapun, pengukuran dalam *near-field* selalu digunakan.

3.3.5 Paksi Rujukan

Pengukuran harus dibuat dengan mengangap data yang diperolehi dari bacaan alat pengukur adalah betul; titik rujukan dan paksi rujukan digunakan sebagai paksi sifar untuk pengukuran sambutan frekuensi dan sambutan pengarah. Paksi rujukan biasanya normal dengan penyekat hadapan bagi sesebuah pembesar suara.

3.4 Kriteria Pengukuran

Berbagai pengukuran yang diperlukan untuk menentukan prestasi sesebuah pembesar suara. Kriteria pengukuran yang utama di antaranya :

- a) Sambutan Frekuensi
- b) Sambutan Pengarahan

- c) Kepekaan
- d) Kecekapan
- e) Galangan
- f) Herotan

3.4.1 Sambutan Frekuensi

Pengukuran yang paling penting bagi pembesar suara ialah sambutan frekuensi. Sambutan frekuensi yang ideal adalah sambutan yang rata dari frekuensi rendah hinggalah ke frekuensi tinggi. Ia digambarkan dalam Rajah 3.4 (a).

Domain masa mewakili sambutan bagi denyut ideal yang dikenali sebagai sambutan denyut $h(t)$, manakala rangkap pindah bagi domain frekuensi ialah $H(f)$. Sambutan denyut dan sambutan frekuensi mempunyai kaitan secara matematik di dalam jelmaan *Fourier*; jika salah satu daripada domain ini diketahui, maka keluaran boleh diramalkan bagi sebarang isyarat masukan keadaan mantap ataupun fana. Secara matematik ia digambarkan dalam Rajah 3.4 (b).

3.4.2 Sambutan Pengarahan

Pengarahan boleh diukur dengan meletakkan mikrofon pada sudut tertentu (30° atau penambahan setiap 15°). Bagi pembesar suara yang bersimetri sisi, pengukuran pada salah satu satah sudah memadai untuk menghasilkan pola pengarahan 3 dimensi dengan memutarakan pembesar suara tersebut. Contoh polar plot bagi berlainan frekuensi ditunjukkan dalam Rajah 3.4 (c).

3.4.3 Kepekaan

Kepekaan bagi sesebuah pembesar suara ialah ukuran bagi aras tekanan bunyi akustik yang terhasil daripada voltan masukan. Contohnya, voltan masukan 2.83 V bersamaan dengan 1 W bagi galangan nominal 8 Ω . Aras tekanan bunyi biasanya diukur pada jarak 1 meter dalam keadaan *free-field*.

3.4.4 Kecekapan

Kecekapan pembesar suara biasanya digambarkan dengan kadar jumlah kuasa akustik dalam *free-field*. Biasanya kecekapan diungkap dalam peratusan. Lebihan kuasa masukan akan menjadi haba.

3.4.5 Galangan

Pembesar suara biasanya direka hanya mempunyai beberapa nilai galangan dan yang biasa digunakan ialah 16 Ω , 8 Ω dan 4 Ω sahaja.

Galangan masukan bagi pembesar suara akan berubah dengan frekuensi. Rajah 3.4 (d) menunjukkan graf galangan bagi pembesar suara *two-way* pengepong tertutup. Jika dilihat pada graf galangan, curam akan terbentuk pada frekuensi rendah; ini melambangkan salunan sistem tersebut. Alunan yang lain pula melambangkan regangan bagi pembesar suara yang disebabkan oleh elemen pemuat dan peraruh di dalam komponen lintasan dan juga unit pemacu bagi pembesar suara tersebut.

Cara pengukuran asas dilakukan dengan mengenakan sama ada voltan tetap ataupun arus tetap. Biasanya galangan pembesar suara diukur dengan menggunakan kaedah arus tetap iaitu penjana voltan disambungkan ke pembesar suara melalui

perintang yang bergalangan yang lebih tinggi daripada pembesar suara yang diuji; biasanya 3 ~ 4 kHz bagi pembesar suara 8 Ω . Rajah 3.4(e) menunjukkan cara asas untuk mengukur galangan.

3.4.6 Herotan

Kaedah lain yang digunakan untuk mengukur prestasi pembesar suara ialah herotan harmonik. Herotan harmonik wujud apabila bentuk gelombang audio berlainan di antara isyarat masukan dan keluaran. Dalam Rajah 3.4 (f) menunjukkan herotan terjadi pada gelombang sinus yang dimasukkan ke dalam peranti yang sedang diuji. Ia juga boleh digambarkan dengan spektrum garis yang terdiri daripada harmonik asas, ganjil dan genap. Herotan Harmonik Seluruh (Total Harmonic Distortion - THD) pula merupakan kadar rms isyarat keluaran yang disebabkan oleh herotan bagi jumlah rms isyarat keluaran. *THD* boleh ditulis dalam bentuk peratusan ataupun dalam dB.

Biasanya pengukuran herotan memadai dengan menguji pada satu frekuensi sahaja, contohnya 1 kHz; tetapi adalah lebih baik jika dibuat berbilang frekuensi untuk plotkan graf *THD*. *THD* dikira dengan menjumlahkan harmonik kedua dan ketiga kemudian dibahagikan dengan jumlah harmonik asas, kedua dan ketiga.

Pengukuran herotan harmonik hendaklah dibuat di dalam bilik tanpa gema, untuk mendapatkan keputusan yang tepat.

BAB 4

BAB IV

PENGUKURAN SAMBUTAN FREKUENSI, PENGARAHAN DAN HEROTAN

4.1 Pengenalan

Ujikaji ini dijalankan bertujuan untuk mengkaji prestasi bagi pembesar suara dari segi sambutan frekuensi, pola pengarahannya dan juga herotan. Ujikaji ini dilakukan ke atas beberapa pembesar suara yang berbeza, di dalam bilik tanpa gema. Oleh yang demikian, kita boleh membandingkan keputusan yang diperolehi untuk mengetahui pembesar suara yang manakah yang lebih baik.

4.2 Peralatan

Di antara peralatan-peralatan yang digunakan untuk menjalankan ujikaji ialah:

- a) Penganalisis Audio Jenis 2012
- b) Perisian Jenis 7661
- c) Penguat Kuasa (AP-6060)
- d) Mikrofon Jenis 4133
- e) Prapenguat Mikrofon Jenis 2639
- f) Penentukur Aras Bunyi Jenis 4230

- g) Pembesar suara dan Kabel
 1. Pembesar suara jenis Pengepong Tertutup (SONY, APM-078)
 2. Pembesar suara jenis *Labyrinth* (dibuat oleh pelajar)
 3. Pembesar suara jenis Kolum (dibuat oleh pelajar)
 4. Pembesar suara jenis Hon (Audio Sound 5''x 8'', V-262)
- h) Kabel BNT dan BNC
- i) Sistem *Turntable* Jenis 9640
 1. *Turntable* bolehkawal Jenis 5960
 2. Pengawal *Turntable* Jenis 5949
 3. Kawalan Jauh WB 1254

4.3 Pengujian Pembesar Suara

Sebelum pengujian ke atas sesebuah pembesar suara dijalankan, beberapa *autosequence* perlu dilakukan iaitu :

- a) *Calibrate*
Penentukuran masukan akustik dan keluaran elektrik.
- b) *Free Field*
Ukuran sambutan pembesar suara dalam keadaan *free field*.
- c) SPL
Menukarkan sambutan pembesar suara dalam *free field* kepada SPL [Absolute] dan [1m, 2.83 V].
- d) *Off-Axis*
Pengukuran *Off-Axis free field* pada $0^\circ \sim 90^\circ$ dengan kenaikan sebanyak 15° . Penukaran kepada SPL [1m, 2.83 V].

e) *Distortion*

Pengukuran herotan harmonik termasuklah harmonik asas, kedua, ketiga dan *THD*.

4.3.1 *Calibrate*

Tujuan *autosequence* ini ialah untuk menentukur kepekaan masukan akustik dan keluaran elektrik. Kepekaan masukan ditentukur dengan mengukur aras tekanan bunyi yang dijana oleh aras bunyi penentukur atau dimasukkan secara manual oleh pengguna. Manakala kepekaan keluaran pula diukur dari keluaran penguat seperti dalam Rajah 4.3 (a). Penentukuran termasuklah pengukuran sambutan frekuensi bag penguat tersebut.

Carakerja

1. Mikrofon disambungkan ke *Preamp Input* dan *Common Output* ke masukan penguat di Penganalisis. Kemudian keluaran penguat disambungkan ke pembesar suara yang hendak diuji.
2. Mod *Calibrate* dipilih dan *Start* ditekan.
Menu masukan tertera di skrin.
3. Jika menggunakan Penentukur Aras Bunyi, *Start* ditekan dan jika tidak, *Proceed* ditekan.
 - a. Jika *Start* ditekan, Penentukur Aras Bunyi haruslah diletakkan ke mikrofon, kemudian *Proceed* ditekan. Kini masukan penentukur diproses dan kepekaan mikrofon yang diukur boleh dilihat pada *Sens* (kekunci lembut).

- b. Jika *Proceed* ditekan, kepekaan mikrofon dimasukkan secara manual pada *Sens*.
4. Masukan telah ditentukan dan jika hendak menentukur keluaran pula, *Proceed* ditekan.
5. Kabel daripada keluaran penguat disambung ke masukan terus pada Penganalisis.

Untuk mengetahui gandaan penguat, pengukuran SSR pada frekuensi 1 kHz digunakan. Untuk mengelakkan beban yang berlebihan pada pembesar suara, aras keluaran rendah (40 mV) digunakan.

Menu keluaran tertera dan kepekaan penguat pada frekuensi 1 kHz boleh dilihat pada kekunci *Sens*.

6. *Proceed* ditekan untuk mengukur sambutan frekuensi pada penguat. Pengukuran SSR pada frekuensi 20 Hz ~ 40 kHz digunakan dan aras keluarannya ialah 0.5 V. Rajah 4.3 (b) menunjukkan paparan yang mempunyai nilai magnitud dan fasa bagi sambutan frekuensi penguat.

4.3.2 *Free Field*

Tujuannya untuk mengukur sambutan pembesar suara bagi medan bebas di dalam bilik biasa.

Keadaan medan bebas (free field) boleh didapati kurang daripada 200 Hz, jika ujikaji dijalankan di dalam bilik yang mempunyai ukuran seperti Rajah 4.3 (a). Jarak minima dari dinding di belakang pembesar suara dan mikrofon ialah 0.9 m dan jarak minima dari lantai ke siling ialah 1.3 m. Manakala jarak di antara pembesar suara dan mikrofon boleh dalam julat 0.5 m ke 1 m.

Jika menggunakan pembesar suara yang terlalu besar, mikrofon hendaklah diletakkan lebih daripada 1 m dari pembesar suara.

Carakerja

1. Mod *Free Field* dipilih dan *Start* ditekan.
2. Aras Keluaran di dalam (V) dimasukkan pada kekunci *Magn (k)*.
Apabila aras keluaran dimasukkan dan *Proceed* ditekan, nilai ini akan disimpan sebagai pemalar.
3. Frekuensi mula dan akhir boleh ditukar jika mahu dan kemudian *Proceed* ditekan.
4. Mikrofon dan pembesar suara dihalakan dan kemudian *Proceed* ditekan.
Pengukuran TSR dijalankan dengan julat masa disetkan ke maksima dan lengahnya kepada sifar. Oleh itu sambutan yang diukur akan mengandungi bunyi terus dan juga pembalikan yang disebabkan oleh bilik tersebut.
5. *Proceed* ditekan untuk mendapatkan anjakan masa dan tingkap masa (Time Window).
6. *Cursor* digerakkan pada titik sebelum pembalikan yang pertama berlaku bagi sambutan masa. Kini *Window* terdapat pada sambutan masa dan membuang segala pembalikan yang disebabkan oleh bilik tersebut. Rajah 4.3 (c) dan (d) menunjukkan paparan sebelum dan selepas dikenakan anjakan masa dan tingkap masa.

4.3.3 SPL

Menukarkan sambutan medan bebas kepada aras tekanan bunyi yang mutlak pada mikrofon - SPL [Absolute] dan aras tekanan bunyi ternormal - SPL [re 1m, 2.83 V].

Carakerja

1. Mod *SPL* dipilih dan *Start* ditekan.
2. *Proceed* ditekan untuk menukarkan paparan kepada sambutan SPL mutlak. Aras tekanan bunyi mutlak didapati daripada pendaraban sambutan medan bebas dengan keluaran yang digunakan untuk pengukuran penyelaku (simulated) medan bebas. Aras keluaran disimpan sebagai pemalar. Aras tekanan bunyi ternormal, SPL [re 1m 2.83 V] diperolehi dari pendaraban sambutan medan bebas dengan ukuran jarak sebenar kali 2.83 V. (2.83 V merupakan voltan yang diperlukan untuk menghasilkan 1 W pada perintang 8Ω).
3. *Proceed* ditekan untuk memaparkan sambutan dalam SPL [re 1 m, 2.83 V]. Aras tekanan bunyi ternormal kemudian dipaparkan. Kedua-dua lengkung dipaparkan untuk dibuat perbandingan, seperti dalam Rajah 4.3 (e).

4.3.4 *Off-Axis*

Pengukuran sambutan luar paksi bagi pembesar suara dilakukan pada setiap 15° .

Carakerja

1. Mod *Off-Axis* dipilih dan *Start* ditekan.
Sambutan yang diukur mesti didarabkan dengan jarak dan dikali dengan 2.83 V untuk mendapatkan nilai ternormal SPL [re 1m, 2.83 V].
2. Aras keluaran yang dikehendaki dimasukkan dan *Proceed* ditekan.
3. Boleh menukar parameter yang telah disetkan pada TSR jika mahu.
4. Kedudukan pembesar suara diubah mengikut sudut pada *ZA* di paparan. Ukuran TSR terhasil. Sambutan dikalikan dengan jarak dan dikali juga dengan 2.83 V. Lengkuk yang dipaparkan dengan pelicin 1/3 oktaf dan disimpan. Kemudian sudut *ZA* akan berubah.
5. Jika ingin membuat pengukuran lagi, *Start* ditekan dan jika tidak, *Proceed* ditekan.
 - a. Jika *Start* ditekan, ukuran yang dihasilkan diproses dan dipaparkan.
 - b. Jika *Proceed* ditekan atau sudah dibuat 7 pengukuran (sudah sampai 90°), bermakna pengukuran sudah tamat.

Rajah 4.3 (f) menunjukkan paparan bagi *Off-Axis*.

4.3.5 *Distortion*

Pengukuran herotan yang dilakukan termasuklah bagi harmonik asas, kedua, ketiga dan herotan harmonik seluruh (Total Harmonic Distortion). *THD* dikira dengan mencampurkan harmonik kedua dan ketiga kemudian dibahagikan dengan jumlah harmonik asas, kedua dan ketiga.

Carakerja

1. Mod *Distortion* dipilih dan *Proceed* ditekan.
2. Mikrofon dihalakan ke pembesar suara.
3. Aras keluaran dipilih untuk pengukuran dan *Proceed* ditekan.

Pengukuran dilakukan . Komponen herotan harmonik asas, kedua dan ketiga dipaparkan pada graf A dan herotan harmonik seluruh dipaparkan pada graf B. Pelicin 1/6 oktaf digunakan bagi semua komponen herotan. Graf bagi pengukuran herotan ditunjukkan seperti Rajah 4.3 (g).

BAB 5

BAB V

PENGUKURAN GALANGAN

5.1 Pengenalan

Ujikaji ini dilakukan untuk mendapatkan galangan bagi pembesar suara dalam magnitud (ohm) dan fasa (darjah).

Pengukuran galangan boleh dibuat dengan dua cara iaitu sama ada hanya menggunakan Penganalisis Audio 2012 atau menggunakan Penganalisis Audio dan juga penguat yang disambungkan dari luar. Dalam projek ini, saya memilih cara yang pertama iaitu hanya menggunakan Penganalisis Audio.

Penjana voltan yang merupakan keluaran pada Penganalisis 2012 diukur dengan menyambungkan kabel dari keluaran sepunya ke masukan terus tanpa dikenakan beban. Ini ditunjukkan dalam Rajah 5.1.

Apabila beban disambung, voltan yang merentasi beban diukur dan galangan dikira. Galangan yang kompleks, $Z(j\omega)$ bagi beban didapati dengan membahagikan voltan yang diukur, V_z yang merentasi beban dengan arus, I yang mengalir melaluinya. Arus, I didapati dari

$$I = (V_{\text{ref}} - V_z) / R_{\text{ref}} \quad (1)$$

dimana V_{ref} didapati dari pengukuran rujukan dari *autosequence Reference* dan R_{ref} merupakan rujukan yang diketahui nilainya.

5.2 Pemilihan Perintang Rujukan

Ketepatan pengukuran bergantung pada nilai perintang rujukan dibandingkan dengan galangan pada beban yang diuji. Ketepatan akan menurun jika rintangan perintang rujukan terlalu besar atau terlalu kecil berbanding dengan galangan beban.

Pengiraan galangan bergantung pada perbezaan voltan di antara V_{ref} dan V_z dalam persamaan (1). Apabila perintang rujukan terlalu tinggi, maka perbezaan voltan

$$V_{ref} - V_z \approx V_{ref} \quad (2)$$

dan apabila rintangan rujukan terlalu rendah jika dibandingkan dengan beban,

$$V_{ref} - V_z \approx 0 \quad (3)$$

Kedua-dua kes di atas tidak sepatutnya berlaku untuk menentukan kejituan galangan.

Biasanya untuk mendapatkan bacaan yang tepat, perintang rujukan mestilah antara 100 kali lebih besar dan 100 kali lebih kecil daripada galangan beban pada semua frekuensi.

Oleh kerana ujikaji ini dijalankan dengan menggunakan hanya Penganalisis Audio sahaja, maka galangan beban mempunyai nilai yang tetap iaitu 50Ω , sama dengan galangan keluaran bagi Penganalisis Audio. Dengan nilai perintang ini, nilai galangan di dalam julat di bawah boleh diukur

Perintang / galangan	:	$0.5 \Omega < R < 5 \text{ k}\Omega$
Pemuat	:	$1.6 \mu\text{F} < C < 16 \text{ mF}$ pada 20 Hz $1.6 \text{ nF} < C < 16 \mu\text{F}$ pada 20 kHz
Peraruh	:	$4 \text{ mH} < L < 40 \text{ H}$ pada 20 Hz $4 \mu\text{H} < L < 40 \text{ mH}$ pada 20 kHz

5.3 Peralatan

Di antara peralatan yang digunakan untuk menjalankan ujikaji ini ialah :

- a) Penganalisis Audio Jenis 2012
- b) Perisian Jenis 7661
- c) Pembesar suara
 - 1. Pembesar suara jenis Pengepong Tertutup (SONY, APM-078)
 - 2. Pembesar suara *Labyrinth* (dibuat oleh pelajar)
 - 3. Pembesar suara Kolum (dibuat oleh pelajar)
 - 4. Pembesar suara Hon (Audio Sound 5"x 8", V-262)
- d) Kabel BNC dan penyambung 'T'
- e) Klip buaya

5.4 Pengukuran

Untuk mengukur nilai galangan, perlu dilakukan beberapa *autosequence* iaitu:

- a) *Reference*
 Pengukuran rujukan dan penentuan bagi keluaran elektrik bagi Penganalisis Audio.
- b) $Z(j\omega)$
 Pengukuran galangan kompleks dan memaparkan nilai megitud dalam (ohm) dan fasa dalam (darjah).

5.4.1 Reference

Pengukuran rujukan digunakan untuk pengiraan galangan, $Z(j\omega)$. Untuk mendapat nilai galangan bagi beban lain, bacaan rujukan yang baru tidak perlu dilakukan.

Carakerja

1. Kabel disambungkan seperti Rajah 5.2.
2. Mod *Reference* dipilih dan *Start* ditekan.
3. *Start* ditekan jika menggunakan penguat luaran dan jika tidak, *Proceed* ditekan.
 - a. Jika *Proceed* ditekan, *autosequence* akan menggunakan rintangan keluaran 50Ω pada Penganalisis Audio sebagai rujukan. Nilai ini akan digunakan untuk mengira galangan. Kemudian kabel BNC daripada keluaran sepunya pada Penganalisis di sambungkan ke masukan terus.
 - b. Jika *Start* ditekan, penguat luaran mesti digunakan untuk membuat pengukuran.
4. Nilai perintang rujukan dalam Ω dimasukkan dalam *Magn (k)* pada kekunci lembut.
5. Kabel daripada keluaran penguat disambungkan ke masukan terus. Untuk mendapatkan gandaan bagi penguat, pengukuran SSR pada frekuensi 1 kHz digunakan. Untuk mengelakkan lebihan beban pada pembesar suara, aras keluaran yang rendah (40 mV) digunakan.
6. Untuk menentukur keluaran, *Proceed* ditekan.

7. Aras masukan dan keluaran yang dikehendaki untuk membuat pengukuran dimasukkan.
8. Boleh menukar parameter yang telah disetkan jika mahu dan kemudian *Proceed* ditekan.

Rajah 5.4 (a) menunjukkan sambutan frekuensi pengukuran rujukan.

5.4.2 $Z(j\omega)$

Langkah ini adalah untuk mengukur voltan yang merentasi beban yang diuji dan mengira galangan kompleks beban. Magnitud dalam (ohm) dan fasa dalam (darjah) bagi galangan tersebut akan dipaparkan.

Pengukuran dijalankan dalam mod SSR dengan aras dan julat frekuensi yang sama semasa pengukuran rujukan dibuat.

Carakerja

1. Mod $Z(j\omega)$ dipilih dan *Start* ditekan.
2. Setelah beban disambung, *Proceed* ditekan.
 Voltan yang merentasi beban diukur dan galangan dikira. Magnitud dan fasa bagi galangan dipaparkan.
3. *Start* ditekan jika ingin mengukur lagi dan jika tidak, *Proceed* ditekan.
 - a. Jika *Start* ditekan, pengukuran baru akan dibuat, diproses dan dipaparkan.
 - b. Jika *Proceed* ditekan, pengukuran tamat.

Rajah 5.4 (b) menunjukkan graf galangan bagi pembesar suara *two-way*.

BAB 6

BAB VI

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

6.1 Pengenalan

Di dalam ujikaji ini, sebanyak empat buah pembesar suara telah digunakan iaitu pembesar suara jenis *Labyrinth*, Pengepong Tertutup, Kolum dan Hon. Ujikaji dibuat untuk menguji sambutan frekuensi, pola pengarahannya (polar plot), herotan dan juga galangan bagi pembesar suara tersebut.

Julat frekuensi yang digunakan dalam ujikaji ini ialah 200 Hz ~ 20 kHz. Ini disebabkan bilik tanpa gema (*anechoic chamber*) yang digunakan mempunyai nilai frekuensi potong pada ≈ 180 Hz.

6.2 Sambutan Frekuensi

Ujikaji untuk melihat sambutan frekuensi telah dibuat pada jarak 1 meter dari mikrofon pada *On-Axis*. Sambutan frekuensi digambarkan pada graf keluaran (dB) melawan frekuensi (Hz).

Sambutan frekuensi bagi sesebuah pembesar suara dilihat dari segi rata atau tidaknya sambutan tersebut. Sambutan frekuensi yang ideal adalah sama pada semua frekuensi iaitu sambutan yang rata dari frekuensi rendah hinggalah ke frekuensi tinggi. Secara praktikalnya, sambutan yang sedemikian tidak mungkin diperolehi

tetapi sebaliknya sambutan yang berlekung-lengkuk terhasil. Graf keputusan ujikaji sambutan frekuensi bagi pembesar suara Pengepong Tertutup ditunjukkan dalam Rajah 6.2 (a), pembesar suara *Labyrinth* dalam Rajah 6.2 (b), pembesar suara Kolum dalam Rajah 6.2 (c) dan pembesar suara Hon dalam Rajah 6.2 (d).

Jika dilihat dari julat 1 kHz ~ 10 kHz dan frekuensi 1 kHz diambil sebagai rujukan, sambutan frekuensi bagi pembesar suara Pengepong Tertutup ialah + 4 dB (88dB) - 10 dB dan perbezaan di antara nilai maksimum dengan nilai minimum ialah 14 dB. Bagi pembesar suara *Labyrinth* pula, (81dB) - 18 dB dan perbezaan antara nilai maksimum dan minimum ialah 18 dB. Pembesar suara Kolum mempunyai nilai (58 dB) - 26 dB dan perbezaan antara nilai maksimum dan minimum ialah 26 dB. Manakala pembesar suara Hon pula ialah + 5 dB (102 dB) - 42 dB dan perbezaan antara nilai maksimum dan minimum ialah 47 dB.

Dari ujikaji yang dijalankan, jika dibandingkan keempat-empat keputusan, didapati pembesar suara Pengepong Tertutup mempunyai sambutan frekuensi yang paling baik keranaambutannya agak rata jika dibandingkan dengan pembesar suara *Labyrinth*, Kolum ataupun Hon.

Dari graf sambutan frekuensi juga boleh menentukan sama ada sesebuah pembesar suara itu sesuai digunakan pada semua frekuensi atau pada frekuensi tertentu sahaja.

Jadual bacaan ujikaji yang dijalankan untuk mendapatkan sambutan frekuensi ditunjukkan dalam Jadual 6.2.

6.3 Pola Pengarahan (Polar Plot)

Dari pola pengarahan boleh diketahui dimanakah kedudukan pembesar suara boleh diletakkan, sama ada di bahagian tengah, tepi, depan ataupun belakang sesuatu ruang. Jika pola pengarahannya sekata, ini bermakna pendengar boleh mendengar bunyi dari semua arah.

Pembesar suara telah diuji pada frekuensi 200 Hz, 1 kHz dan 10 kHz pada jarak 1 meter dari mikrofon. Graf pola pengarahan bagi pembesar suara Pengepong Tertutup ditunjukkan dalam Rajah 6.3 (a), pembesar suara *Labyrinth* dalam Rajah 6.3 (b), pembesar suara Kolum dalam Rajah 6.3 (c) dan pembesar suara Hon dalam Rajah 6.3 (d).

Dari keputusan ujikaji, didapati pembesar suara Pengepong Tertutup mempunyai nilai SPL yang sekata pada bahagian hadapan, belakang dan tepi iaitu 80 dB pada frekuensi 200 Hz dan 1 kHz. Manakala pada frekuensi 10 kHz, nilai SPLnya ialah 90 dB di bahagian hadapan dan berkurangan kepada 70 dB di bahagian tepi dan semakin mengurang kepada 60 dB di bahagian belakang. Ini menunjukkan pendengar boleh mendengar bunyi dengan jelas pada frekuensi rendah dan pertengahan jika berada di semua bahagian ruang tetapi pendengar akan kurang jelas mendengar bunyi yang berfrekuensi tinggi jika berada di bahagian belakang pembesar suara.

Bagi pembesar suara *Labyrinth*, pengarahannya agak sekata kerana nilai SPL pada bahagian hadapan ialah 80 dB pada frekuensi 200 Hz dan 1 kHz, dan menurun kepada 70 dB di bahagian tepi. Manakala di bahagian belakang nilainya 70 dB pada frekuensi 200 Hz dan 60 dB pada frekuensi 1 kHz. Pada frekuensi 10 kHz, nilai SPL di bahagian hadapan ialah 70 dB dan makin berkurangan dari bahagian tepi ke

bahagian belakang kepada 50 dB. Ini menunjukkan pengarahannya pembesar suara ini lebih tertumpu ke bahagian hadapan dan pendengar di bahagian belakang masih boleh mendengar bunyi tetapi kurang jelas.

Pembesar suara Kolum pula pengarahannya sekata iaitu nilai SPLnya 80 dB pada frekuensi 200 Hz. Pada frekuensi 1 kHz nilainya dari 80 dB di bahagian hadapan telah berkurang di bahagian tepi dan belakang kepada 70 dB. Manakala pada frekuensi 10 kHz pula, SPLnya ialah 65 dB di bahagian hadapan dan berkurang kepada 50 dB di bahagian tepi dan semakin berkurangan kepada 40 dB di bahagian belakang. Ini menunjukkan bahawa pendengar yang berada di bahagian belakang pembesar suara Kolum tidak dapat mendengar bunyi dengan jelas jika dibandingkan dengan pendengar yang duduk di bahagian hadapan pembesar suara.

Jika dilihat graf polar plot bagi pembesar suara Hon pula, nilai SPL di bahagian hadapan ialah 80 dB pada frekuensi 1 kHz dan berkurang kepada 70 dB di bahagian tepi dan semakin berkurangan kepada 65 dB di bahagian belakang. Pola pengarahannya pembesar suara ini pada frekuensi 200 Hz adalah tidak sekata iaitu nilai SPLnya 80 dB di bahagian hadapan dan meningkat kepada 95 dB di bahagian belakang. Manakala pada frekuensi 10 kHz, nilai SPL ialah pada 70 dB di bahagian hadapan dan mengurang kepada 40 dB di bahagian tepi dan meningkat semula kepada 50 dB di bahagian belakang. Ini menunjukkan pengarahannya pembesar suara ini lebih tertumpu di bahagian hadapan dan belakang tetapi tidak di bahagian tepi.

Jadual bacaan ujikaji bagi graf pola pengarahannya ditunjukkan dalam Jadual 6.3.

6.4 Herotan

Jika kadar herotan sesebuah pembesar suara itu kecil, ini menunjukkan prestasi pembesar suara itu adalah baik. Graf herotan bagi pembesar suara *Labyrinth* ditunjukkan dalam Rajah 6.4 (a), pembesar suara Pengepong Tertutup dalam Rajah 6.4 (b), pembesar suara Hon dalam Rajah 6.4 (c) dan pembesar suara Kolum dalam Rajah 6.4 (d). Graf menunjukkan herotan harmonik asas, kedua, ketiga dan juga herotan harmonik seluruh (Total Harmonic Distortion) bagi pembesar suara tersebut.

Dari keputusan ujikaji yang diperolehi, jika frekuensi 1 kHz dijadikan sebagai rujukan, pembesar suara *Labyrinth* mempunyai % *THD* sebanyak 0.2 % pada nilai -54 dB. Pembesar suara Pengepong Tertutup juga mempunyai % *THD* sebanyak 0.2 % pada nilai -54 dB. Bagi pembesar suara Hon, % *THD* yang didapati ialah 0.2 % pada nilai -52 dB. Manakala bagi pembesar suara Kolum pula mempunyai % *THD* sebanyak 1.1 % pada nilai -39 dB. Ini menunjukkan pembesar suara Pengepong Tertutup dan *Labyrinth* mempunyai herotan yang paling kecil jika dibandingkan dengan pembesar suara yang lain.

Jadual bacaan ujikaji bagi pembesar suara *Labyrinth* ditunjukkan dalam Jadual 6.4 (a), pembesar suara Pengepong Tertutup dalam Jadual 6.4 (b), pembesar suara Hon dalam Jadual 6.4 (c) dan pembesar suara Kolum dalam Jadual 6.4 (d).

6.5 Galangan

Graf galangan mempunyai nilai magnitud (Ω) dan fasa (darjah) melawan frekuensi (Hz). Nilai galangan akan berubah dengan frekuensi. Biasanya pada satu frekuensi tertentu terdapat nilai *peak* iaitu pada frekuensi salun. Nilai galangan yang terdapat pada spesifikasi pembesar suara biasanya diambil pada frekuensi 1 kHz dan nilai yang biasa digunakan ialah 16Ω , 8Ω , 4Ω dan 2Ω .

Graf galangan hasil dari ujikaji bagi pembesar suara Pengepong Tertutup ditunjukkan dalam Rajah 6.5 (a), pembesar suara *Labyrinth* dalam Rajah 6.5 (b), pembesar suara Kolum dalam Rajah 6.5 (c) dan pembesar suara Hon dalam Rajah 6.5 (d).

Dari ujikaji didapati, nilai galangan bagi pembesar suara *Labyrinth* pada frekuensi 1 kHz ialah 17Ω dan frekuensi salun berlaku pada 160 Hz. Manakala bagi pembesar suara Pengepong Tertutup pula nilainya ialah 7Ω dan frekuensi salun berlaku pada 125 Hz. Pembesar suara Kolum mempunyai nilai 65Ω dan frekuensi salun berlaku pada 250 Hz. Manakala bagi pembesar suara Hon pula nilai galangannya ialah 8Ω dan frekuensi salun berlaku pada 1.7 kHz .

Elemen pemuat dan peraruh di dalam komponen rangkaian lintasan dan pada unit pemacu juga akan mempengaruhi bentuk graf yang dihasilkan.

Jadual bacaan ujikaji ditunjukkan dalam Jadual 6.5.

BAB 7

BAB VII

KESIMPULAN, MASALAH DAN CADANGAN

7.1 Kesimpulan

Pada amnya projek ini memenuhi objektif-objektifnya iaitu untuk mengkaji prestasi pembesar suara dari segi sambutan frekuensi, pengarahannya, herotan dan juga galangan.

Dari keempat-empat pembesar suara yang diuji, didapati pembesar suara Pengepong Tertutup adalah pembesar suara yang terbaik kerana sambutan frekuensinya adalah rata jika dibandingkan dengan pembesar suara yang lain.

Pola pengarahannya juga sekata dan jika diletakkan di dalam ruang yang kecil seperti di dalam bilik biasa, memadai hanya menggunakan satu pembesar suara sahaja kerana pengarahannya sekata jika dibandingkan dengan pembesar suara yang lain.

Jika dilihat graf herotan, pembesar suara ini juga mempunyai % THD yang kecil iaitu kurang daripada 1 %.

Sebagai kesimpulan dengan adanya Penganalisis Audio, pengukuran boleh dibuat dengan mudah dan cepat.

7.2 Masalah

1. Keputusan yang didapati tidak boleh diplotkan dengan menggunakan plotter kerana terdapat masalah teknikal.

Dalam projek ini, keputusan yang diperolehi diambil secara manual dan graf dilukis berdasarkan bacaan yang diambil.

2. Data dari Penganalisis Audio tidak boleh dipindahkan ke PC untuk plotkan pola pengarah.

7.3 Cadangan

Untuk mendapatkan keputusan yang lebih baik, beberapa perubahan harus dilakukan di antaranya :

1. Pelajar hendaklah benar-benar faham untuk mengendalikan alat dari awal semester lagi.
2. Pengujian dijalankan ke atas jenis pembesar suara yang sama tetapi berlainan model.

Contohnya pengujian keatas semua pembesar suara Pengepong Tertutup tetapi dari jenama yang berlainan.

3. Pengujian dijalankan keatas jenis pembesar suara yang sama di dalam bilik yang berbeza.

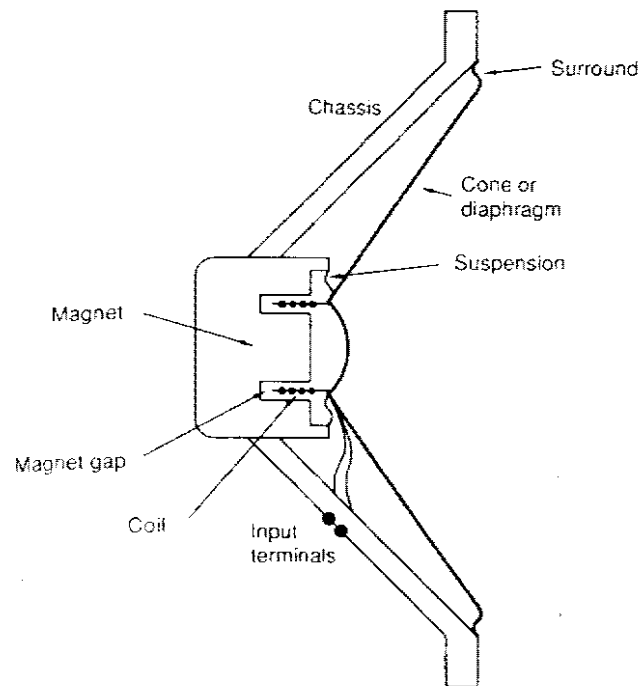
Contohnya di dalam dewan, bilik kuliah atau di padang.

4. Pengujian pola pengarah dibuat pada beberapa jarak yang berbeza.

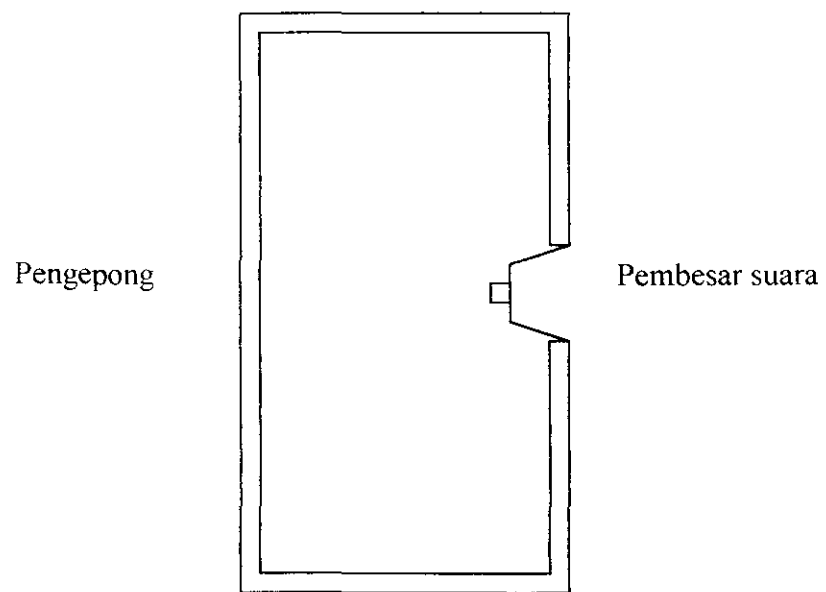
Dalam projek ini jaraknya ialah 1 meter dari mikrofon sahaja.

LAMPIRAN
RAJAH

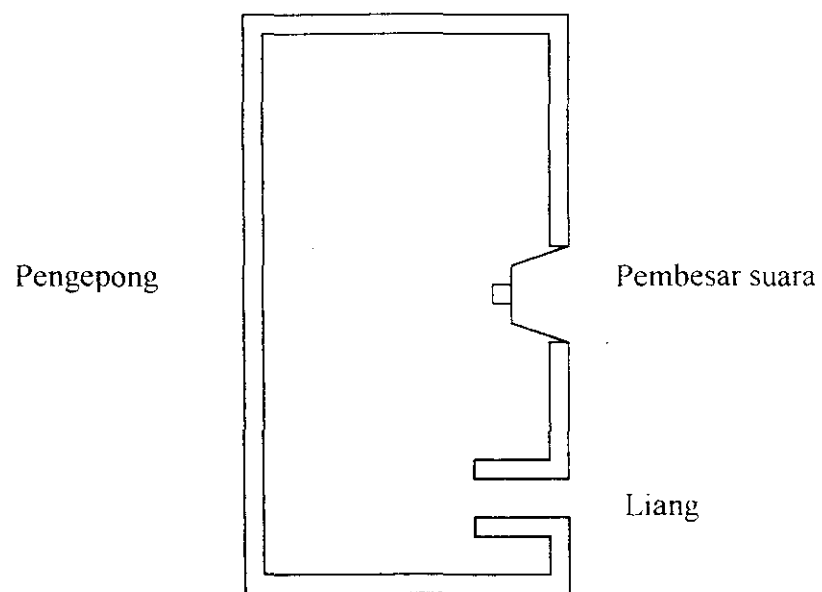
5. Gunakan kabel yang lebih besar saiznya untuk mengurangkan kehilangan (loss) bagi penyambungan Penganalisis ke bilik tanpa gema.
6. Keputusan diplotkan dengan menggunakan plotter untuk mendapatkan graf sambutan yang lebih tepat.



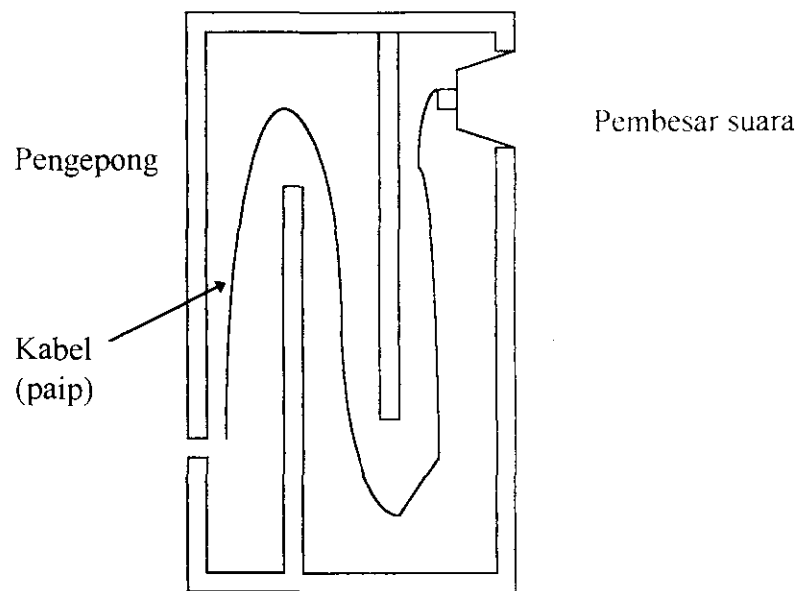
Rajah 2.2 : Pembesar Suara Gegendang Bergerak



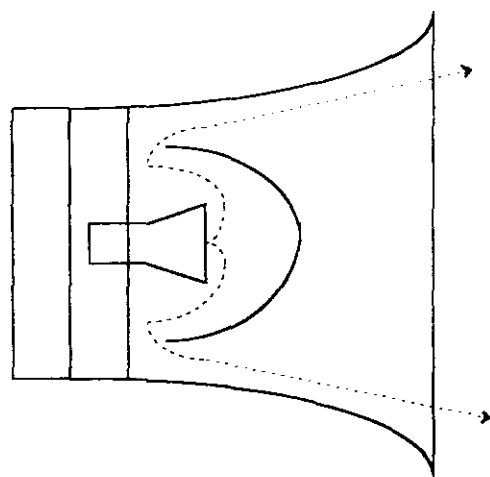
Rajah 2.4 (a) : Gambarajah Pengepong Tertutup



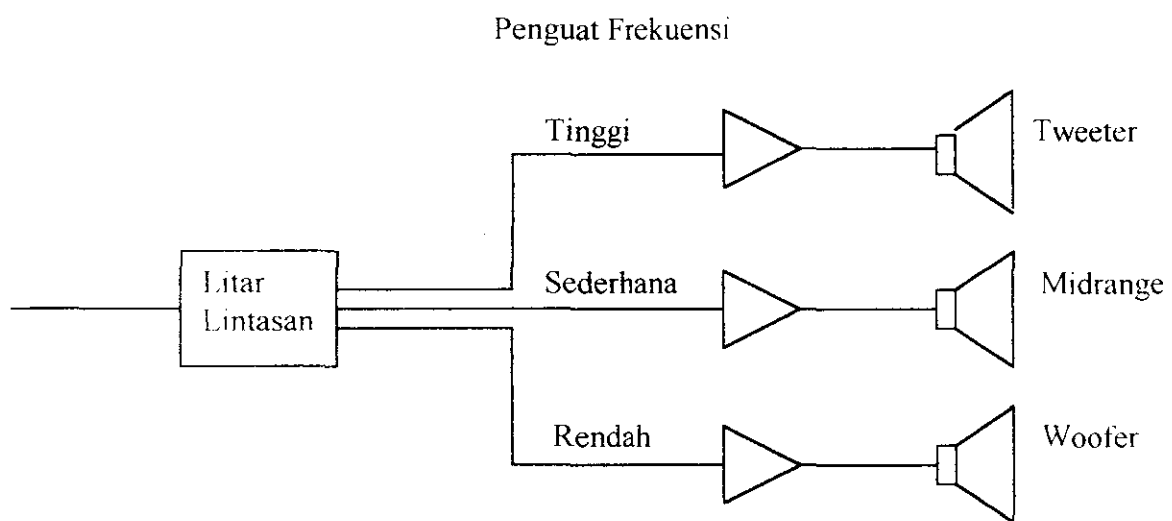
Rajah 2.4 (b) : Gambarajah Pengepong Berliang



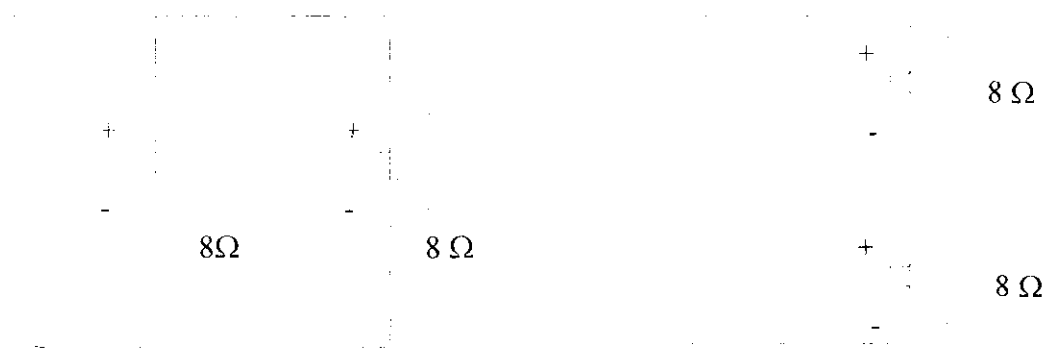
Rajah 2.4 (c) : Gambarajah Pengepong *Labyrinth*



Rajah 2.5 : Hon Berlipat

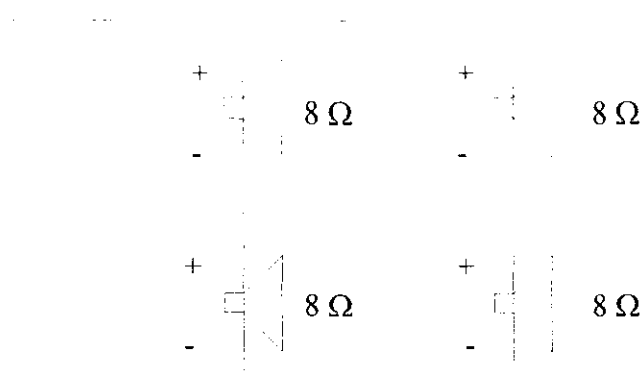


Rajah 2.6 : Gambarajah asas Rangkaian Lintasan



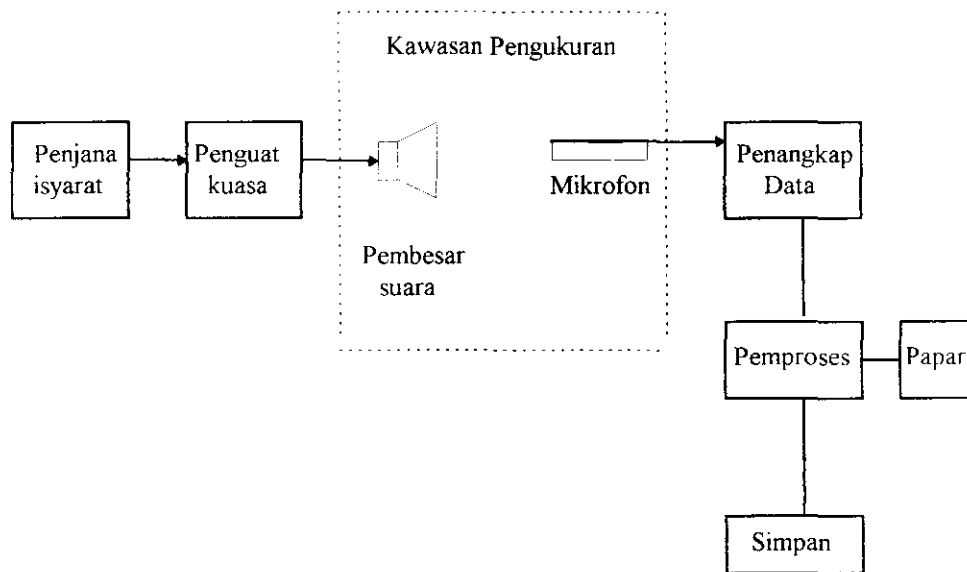
(a) Sambungan selari
galangan setara = 4Ω

(b) Sambungan siri
galangan setara = 16Ω

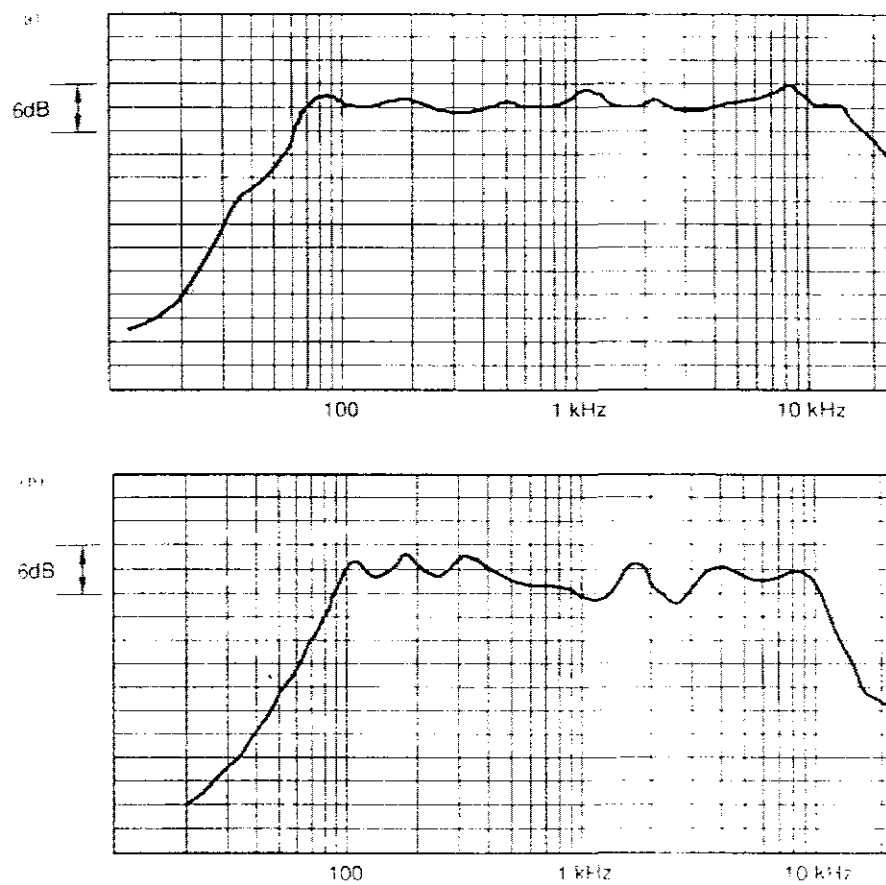


(c) Sambungan siri-selari
galangan setara = 8Ω

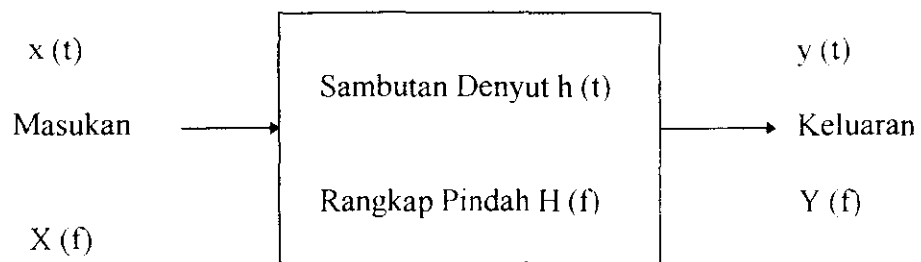
Rajah 2.7 : Sambungan Pembesar Suara. (a) sambungan selari. (b) siri.
(c) siri-selari



Rajah 3.2 : Rajah Asas Pengukuran



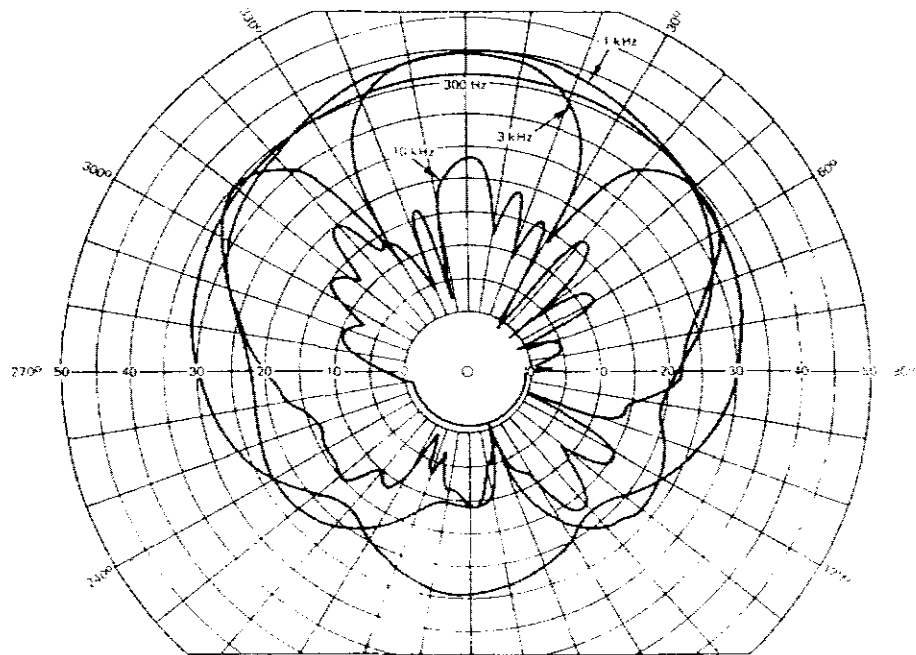
Rajah 3.4 (a) : Sambutan Frekuensi (a) Pembesar suara berkualiti baik.
(b) Pembesar suara kurang berkualiti.



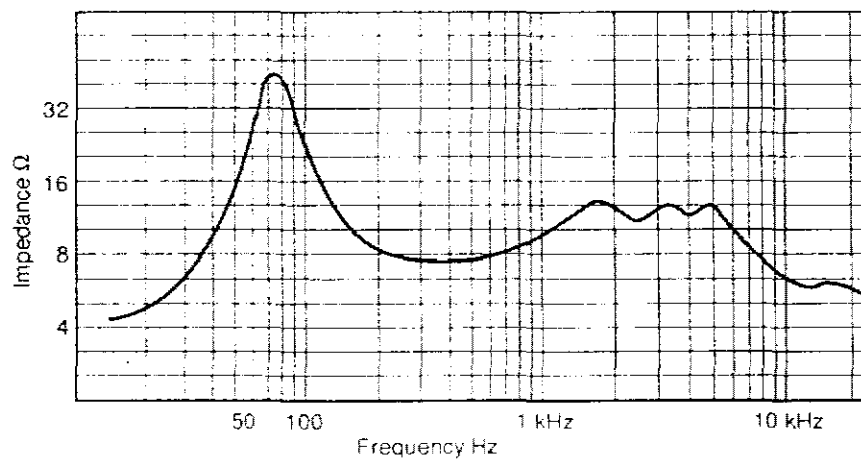
$$y(t) = x(t) * h(t)$$

$$Y(f) = X(f) * H(f)$$

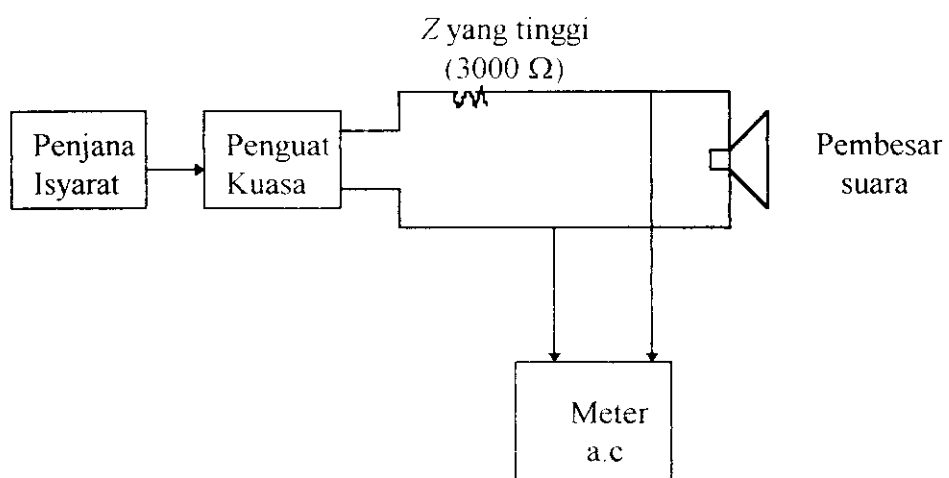
Rajah 3.4 (b) : Perkaitan Sambutan Sistem Linear dalam Domain Masa dan Frekuensi.



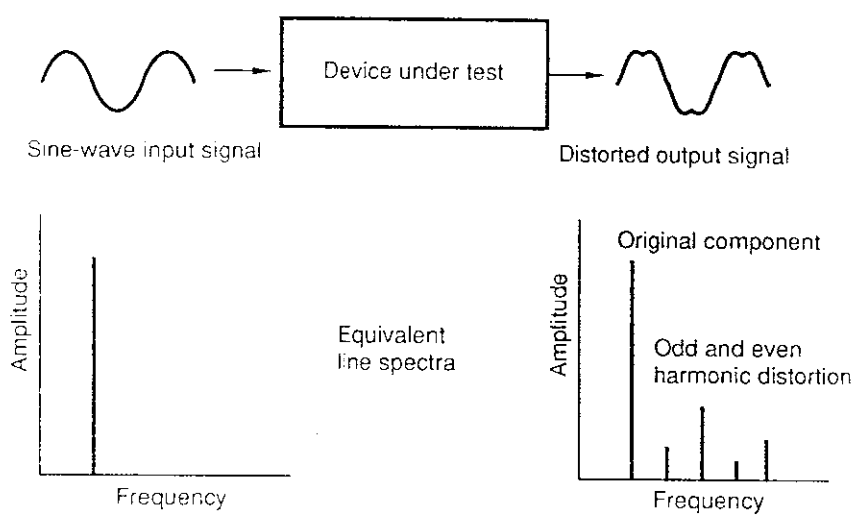
Rajah 3.4 (c) : Polar Plot Pada Frekuensi Berlainan.



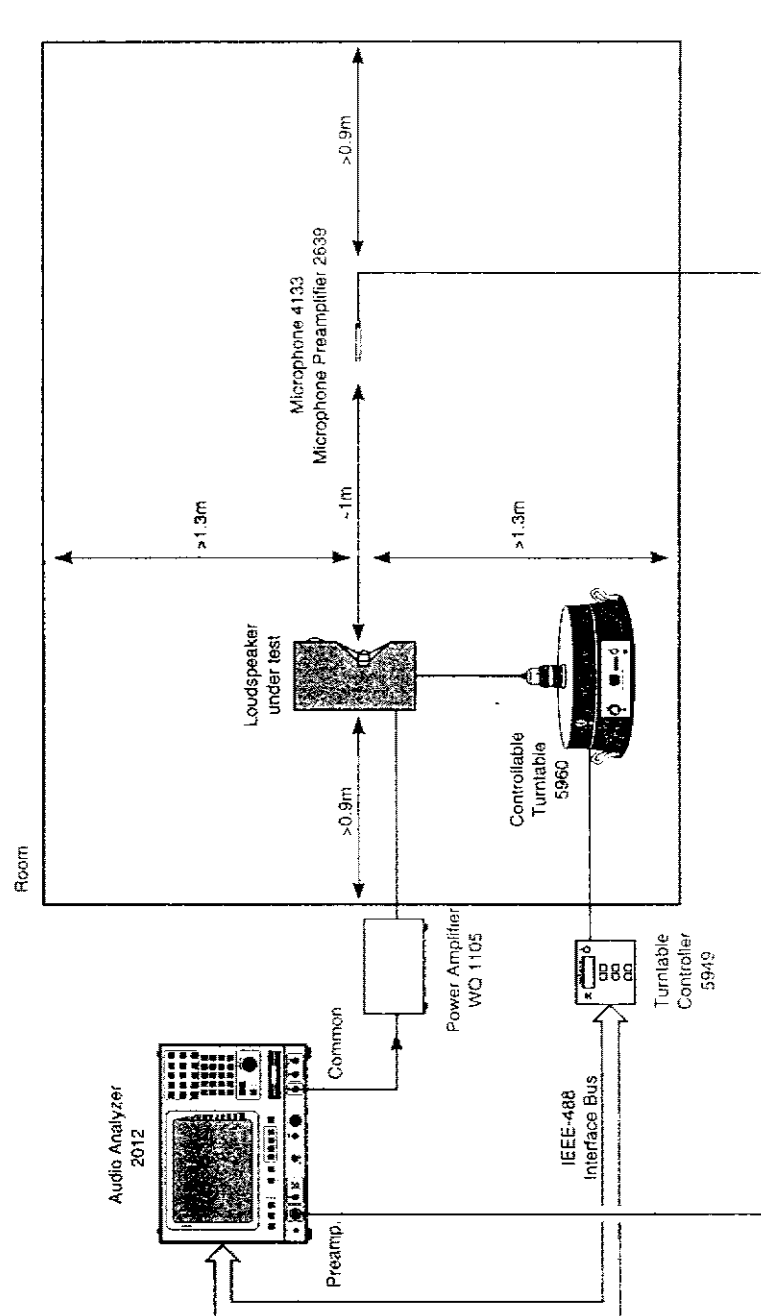
Rajah 3.4 (d) : Graf Galangan bagi Pembesar Suara *Two-Way* Pengepong Tertutup.



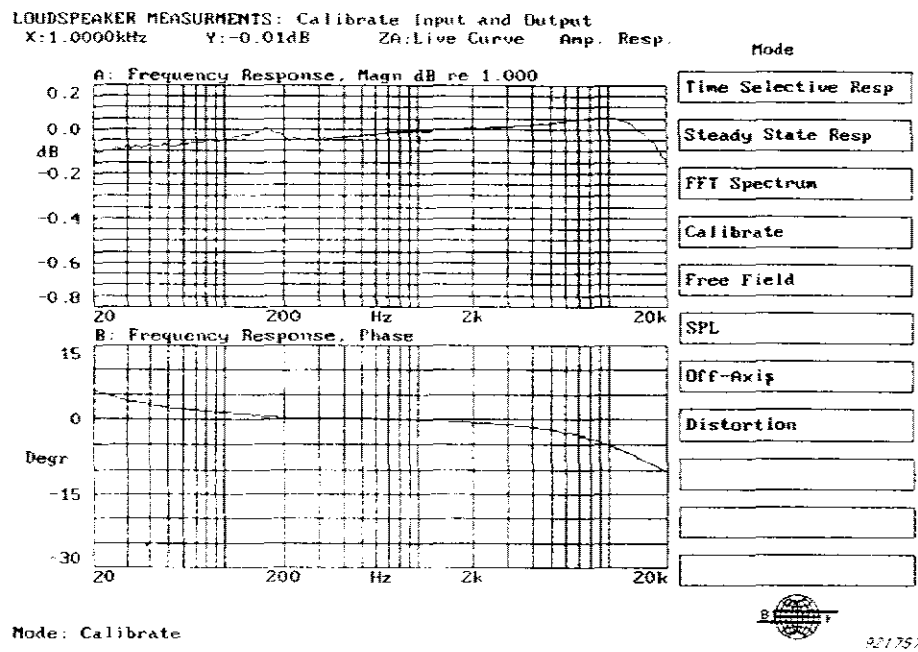
Rajah 3.4 (e) : Pengukuran Asas bagi Galangan (Cara Arus Tetap).



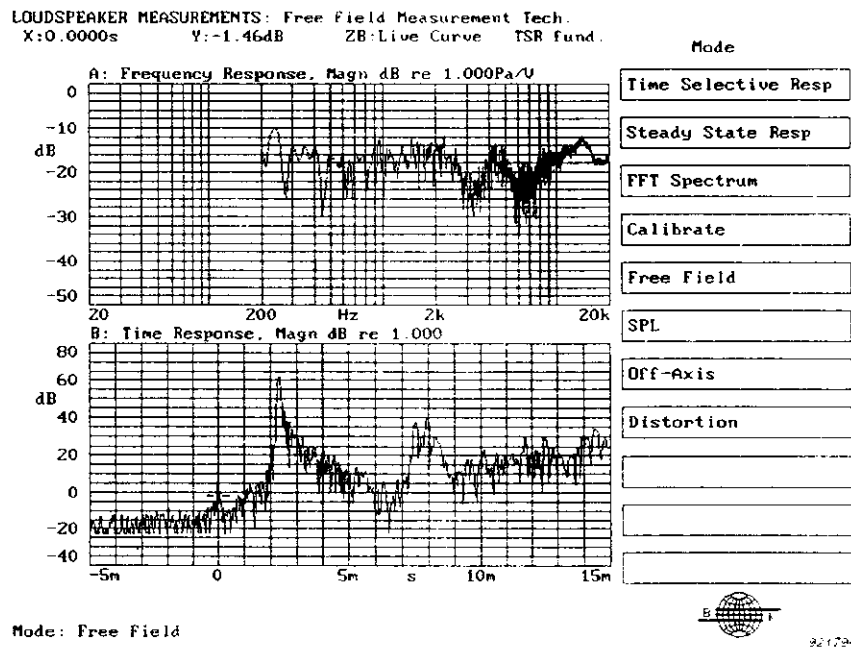
Rajah 3.4 (f) : Herotan digambarkan dalam bentuk gelombang sinus dan spektrum garis.



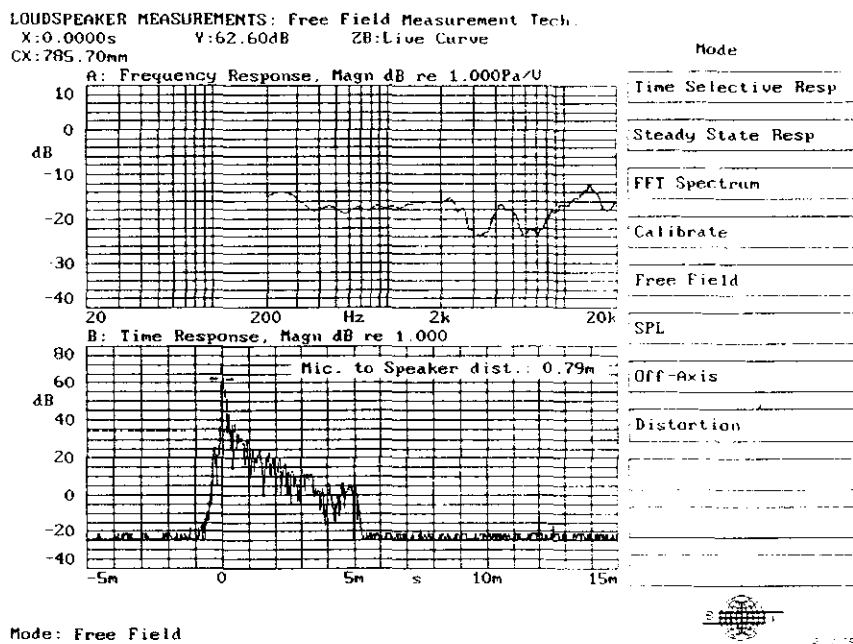
Rajah 4.3 (a) : Rajah Penyambungan Peralatan bagi Pengukuran Sambutan Frekuensi, Pola Pengarahan dan Herotan.



Rajah 4.3 (b) : Graf Calibrate.

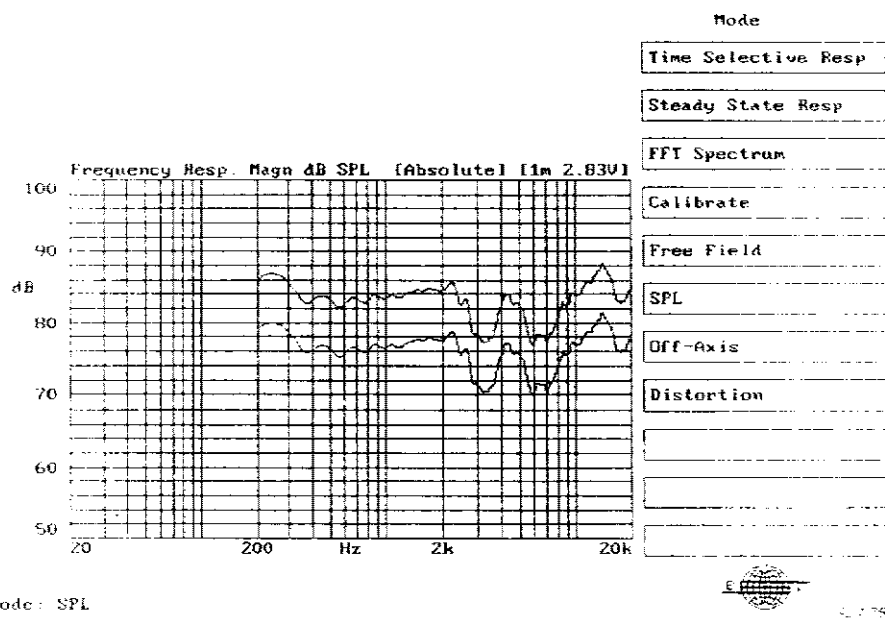


Rajah 4.3 (c) : Sambutan sebelum dikenakan Anjakan Masa dan Tingkap Masa.



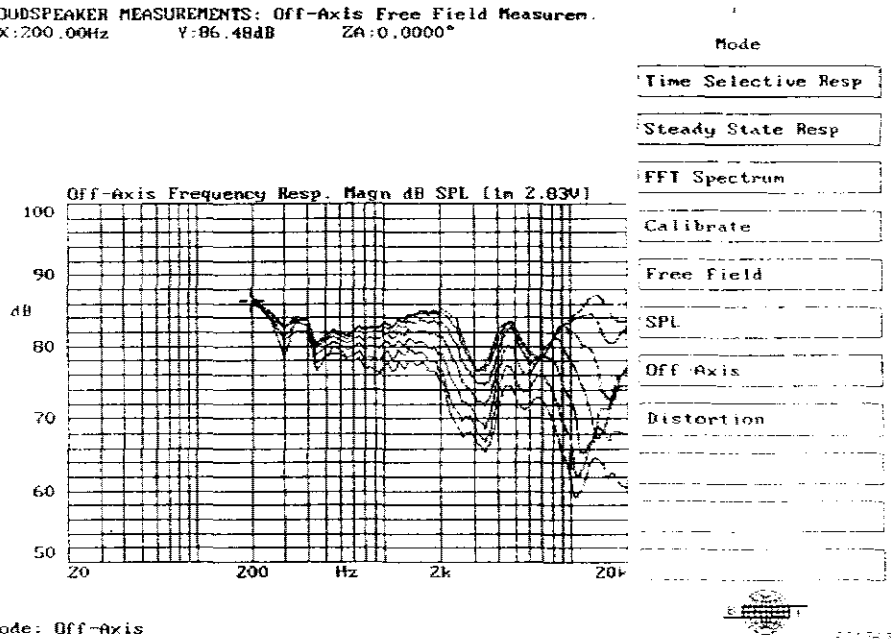
Rajah 4.3 (d) : Sambutan selepas dikenakan Anjakan Masa dan Tingkap Masa.

LOUDSPEAKER MEASUREMENTS: SPL (Absolute) and (1m 2.83V)



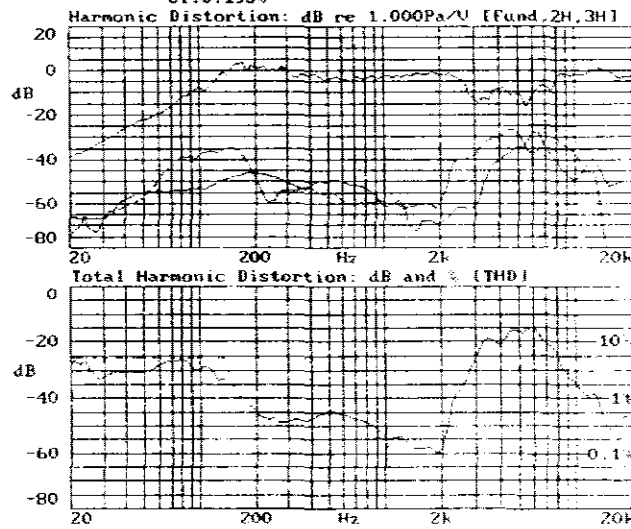
Rajah 4.3 (e) : Graf Sambutan Frekuensi.

LOUDSPEAKER MEASUREMENTS: Off-Axis Free Field Measurem.
X: 200.00Hz Y: 86.48dB ZA: 0.0000°



Rajah 4.3 (f) : Graf *Off-Axis*.

LOUDSPEAKER MEASUREMENTS: Distortion measurement
 X:1.0000kHz Y:-54.27dB Z:Live Curve SSR THD
 CY:0.193%



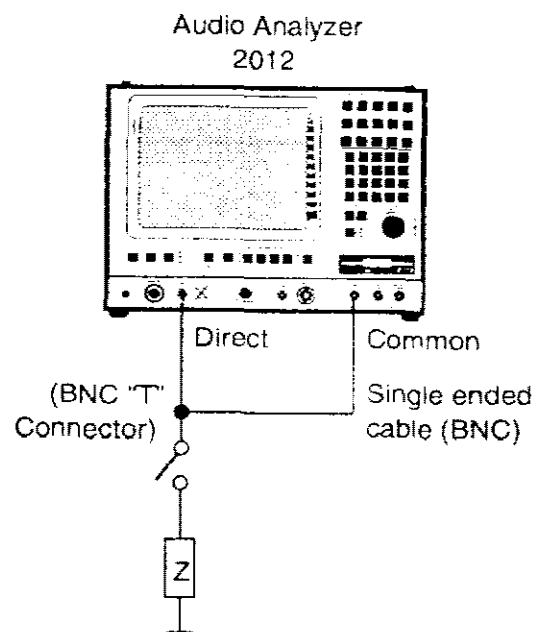
- Mode
- Time Selective Resp
 - Steady State Resp
 - FFT Spectrum
 - Calibrate
 - Free Field
 - SPL
 - Off-Axis
 - Distortion

Mode: Distortion

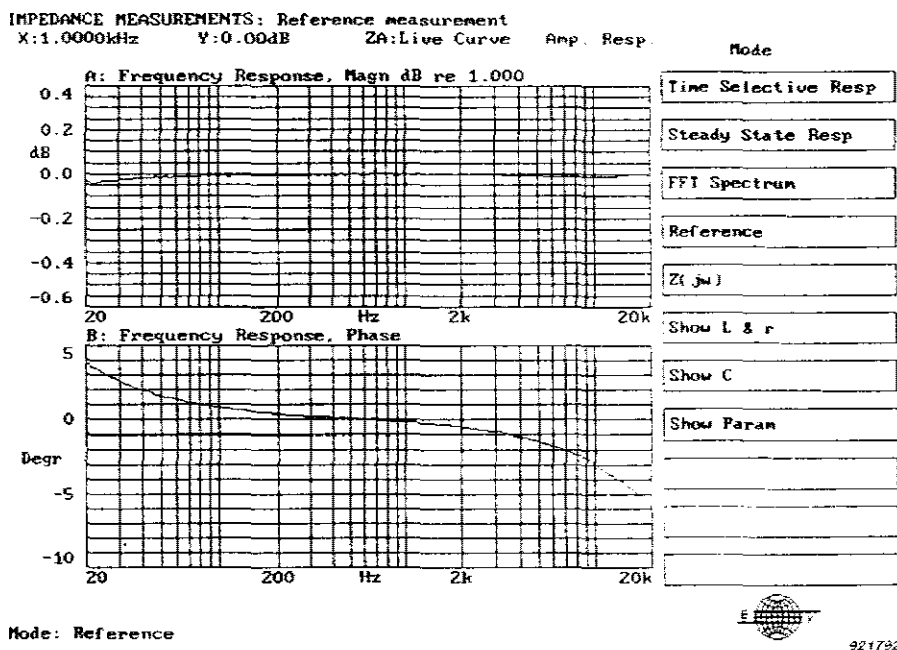


5/1/86

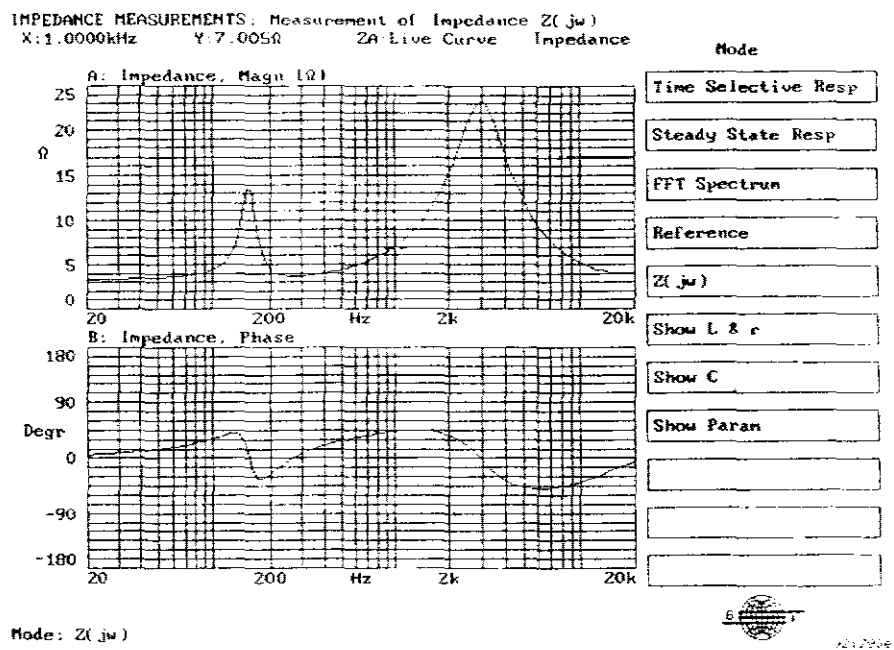
Rajah 4.3 (g) : Graf Herotan.



Rajah 5.1 : Rajah Penyambungan Peralatan bagi Pengukuran Galangan.

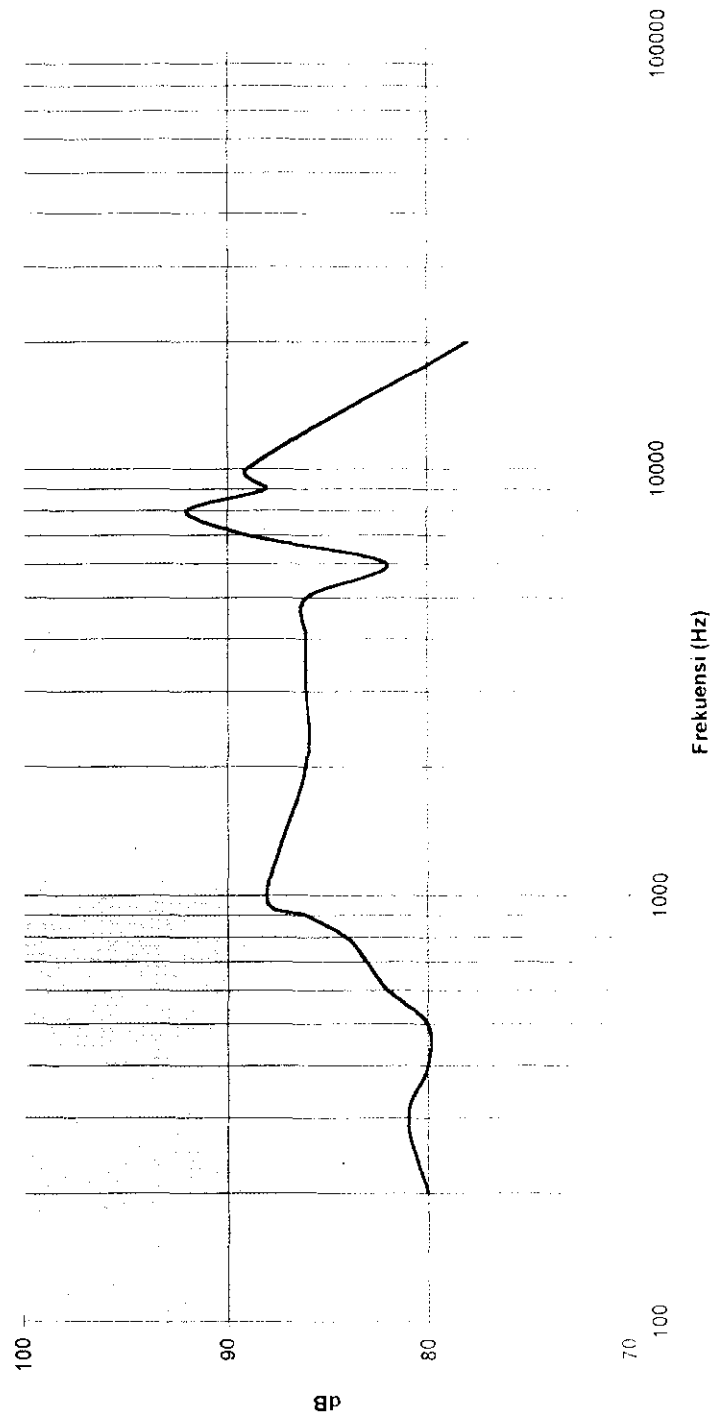


Rajah 5.4 (a) : Graf *Referance*



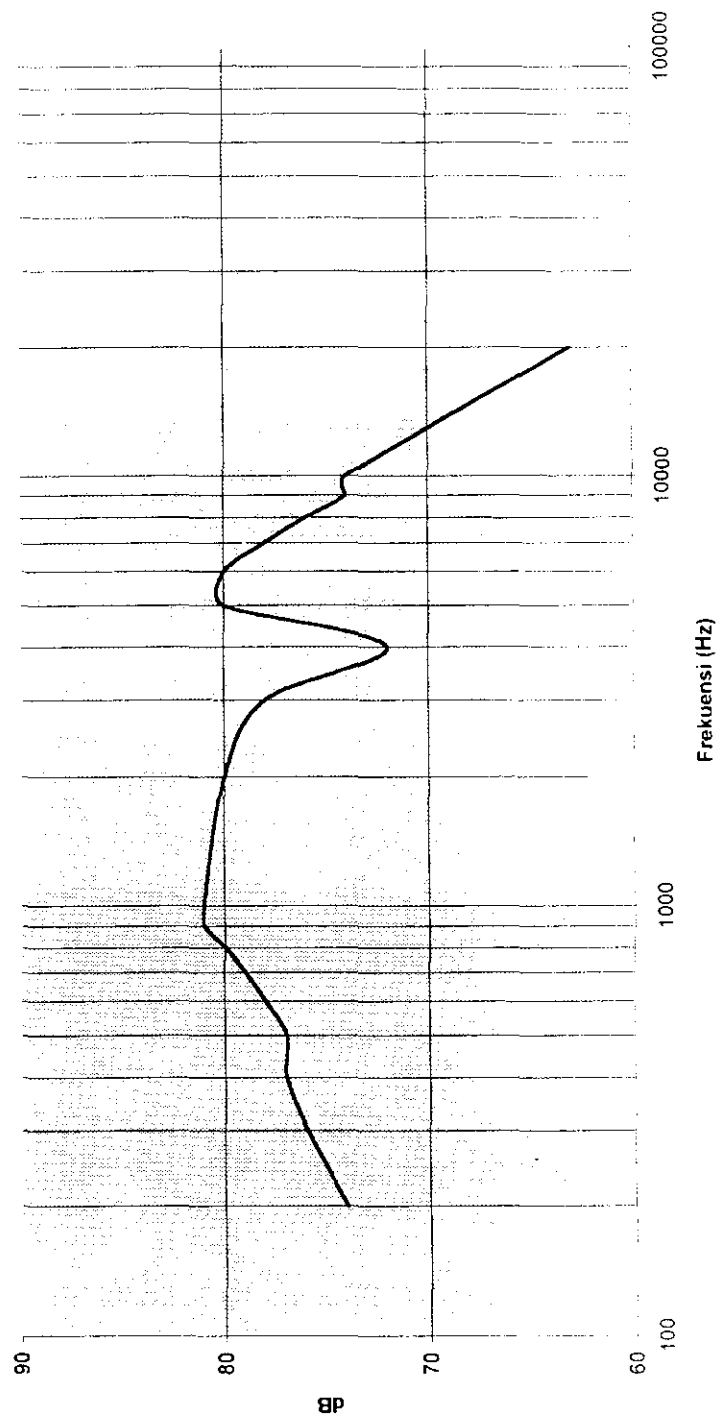
Rajah 5.4 (b) : Graf Galangan

**SAMBUTAN FREKUENSI BAGI PEMBESAR SUARA
PENGEPONG TERTUTUP**



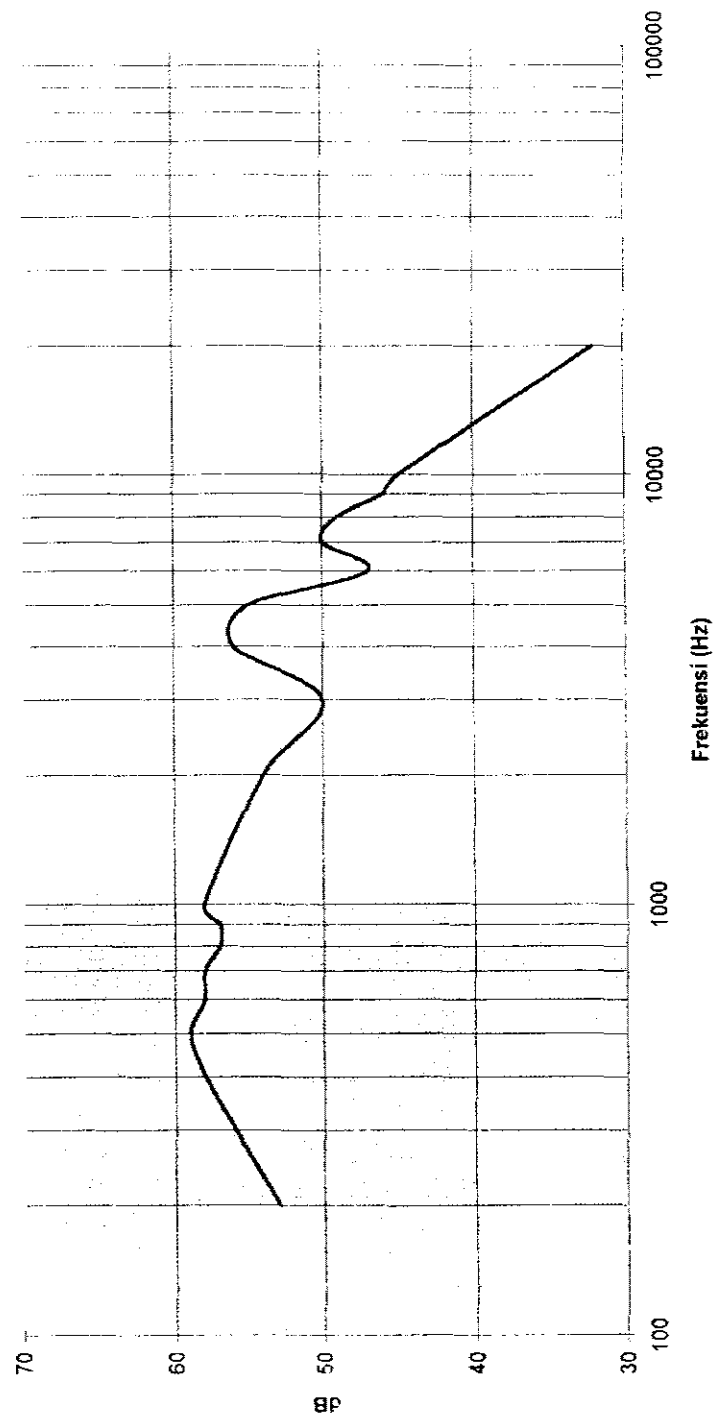
Rajah 6.2 (a) : Graf Sambutan Frekuensi bagi Pembesar Suara Pengepong Tertutup.

**SAMBUTAN FREKUENSI BAGI PEMBESAR SUARA
'LABYRINTH'**



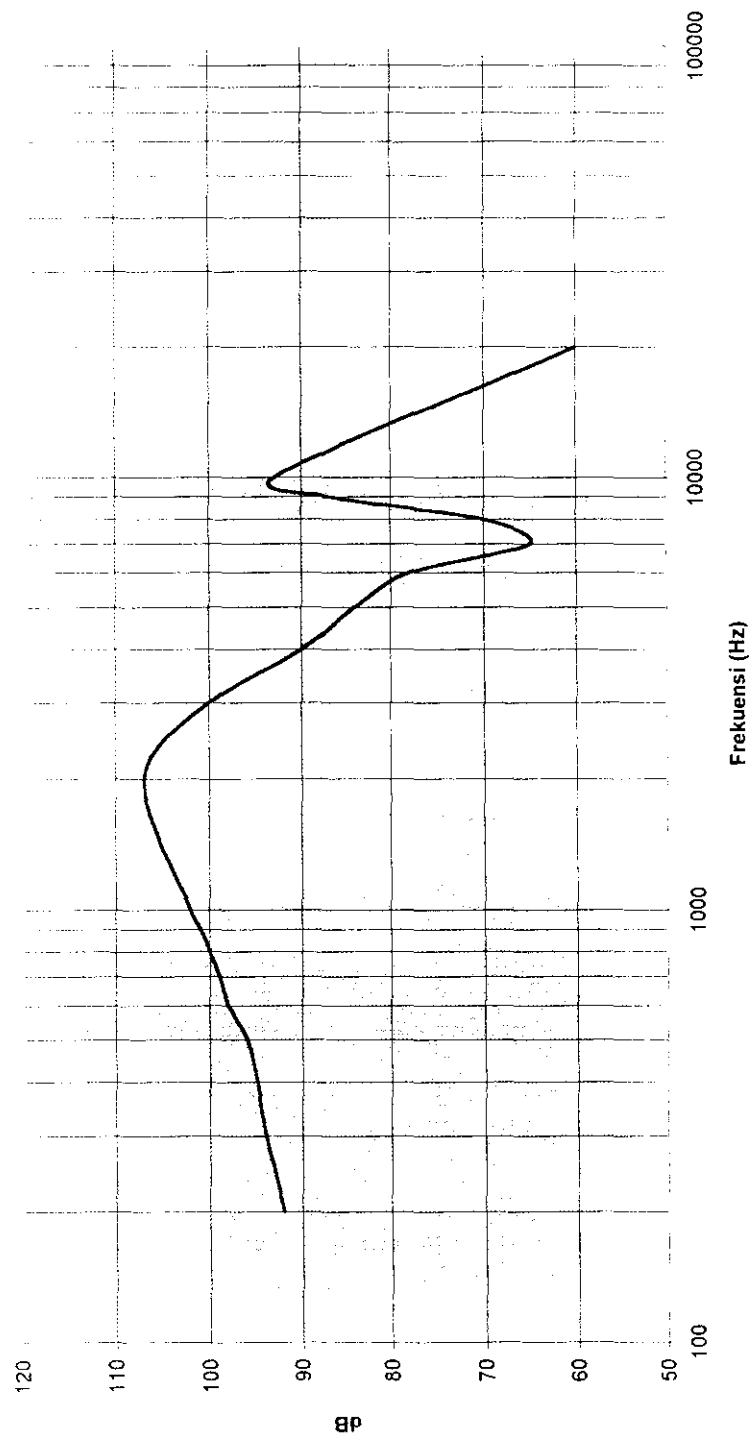
Rajah 6.2 (b) : Graf Sambutan Frekuensi bagi Pembesar Suara *Labyrinth*.

SAMBUTAN FREKUENSI BAGI PEMBESAR SUARA KOLUM



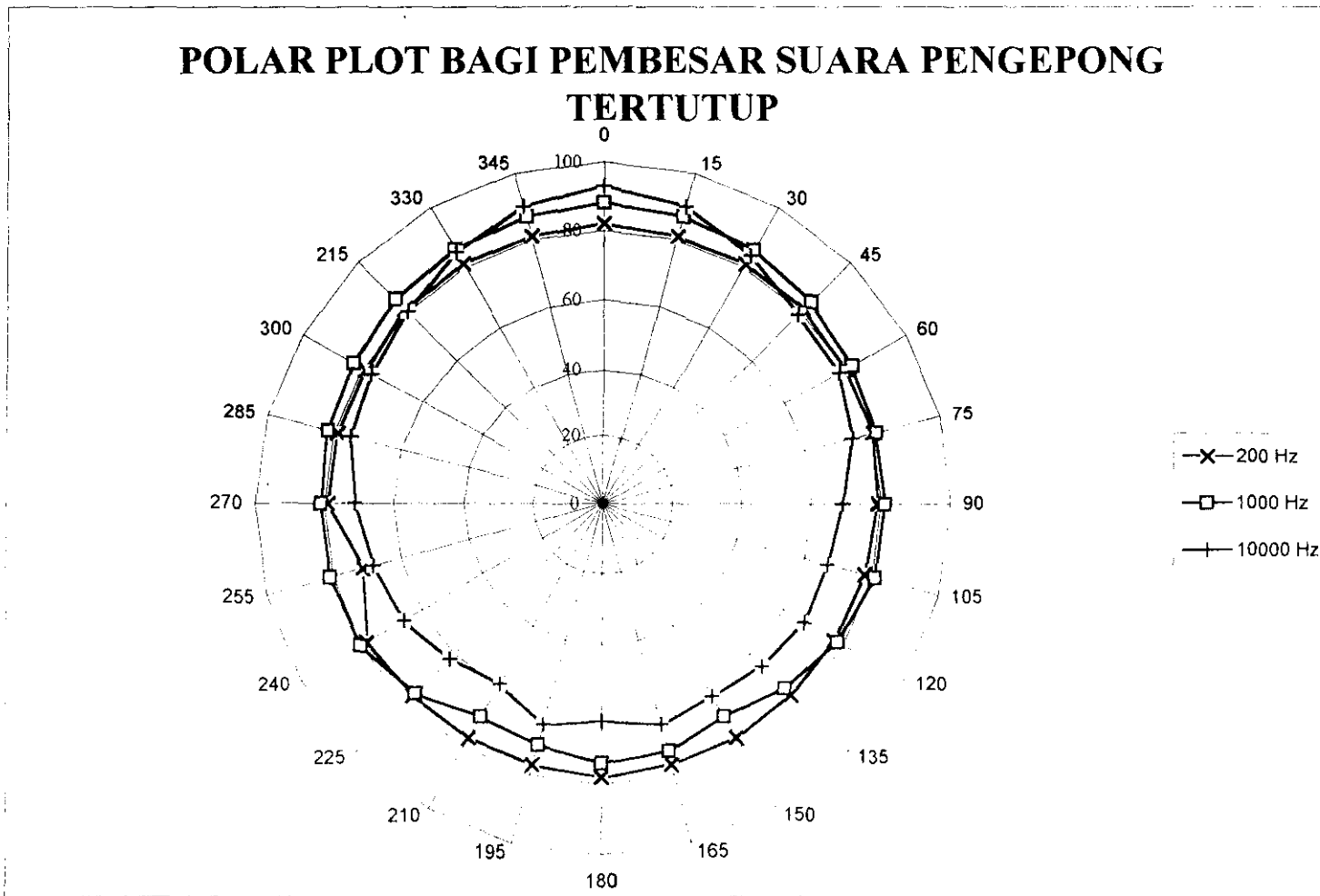
Rajah 6.2 (c) : Graf Sambutan Frekuensi bagi Pembesar Suara Kolum.

SAMBUTAN FREKUENSI BAGI PEMBESAR SUARA HON

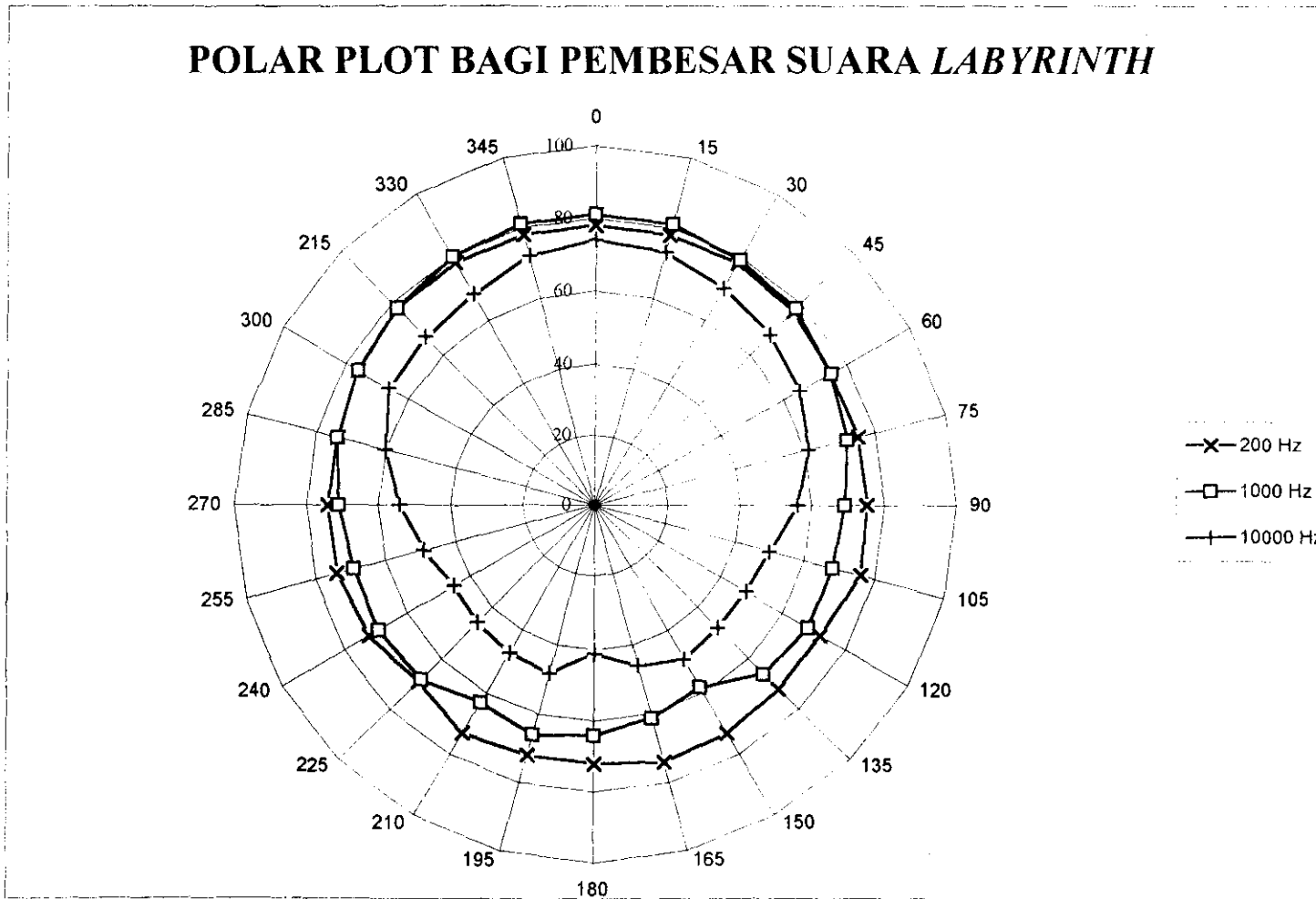


Rajah 6.2 (d) : Graf Sambutan Frekuensi bagi Pembesar Suara Hon.

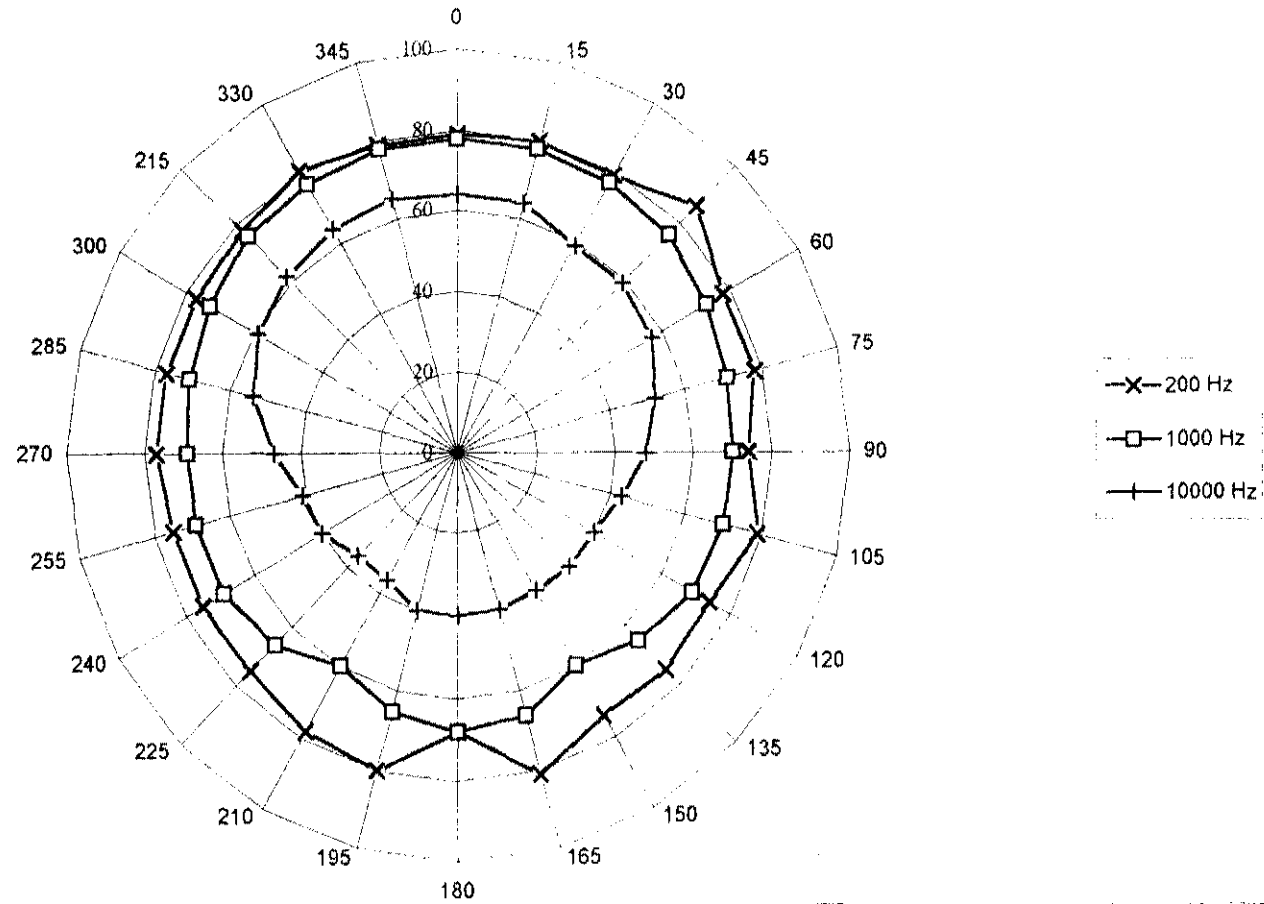
Rajah 6.3 (a) : Polar Plot bagi Pembesar Suara Pengepong Tertutup.



Rajah 6.3 (b) : Polar Plot bagi Pembesar Suara *Labyrinth*.

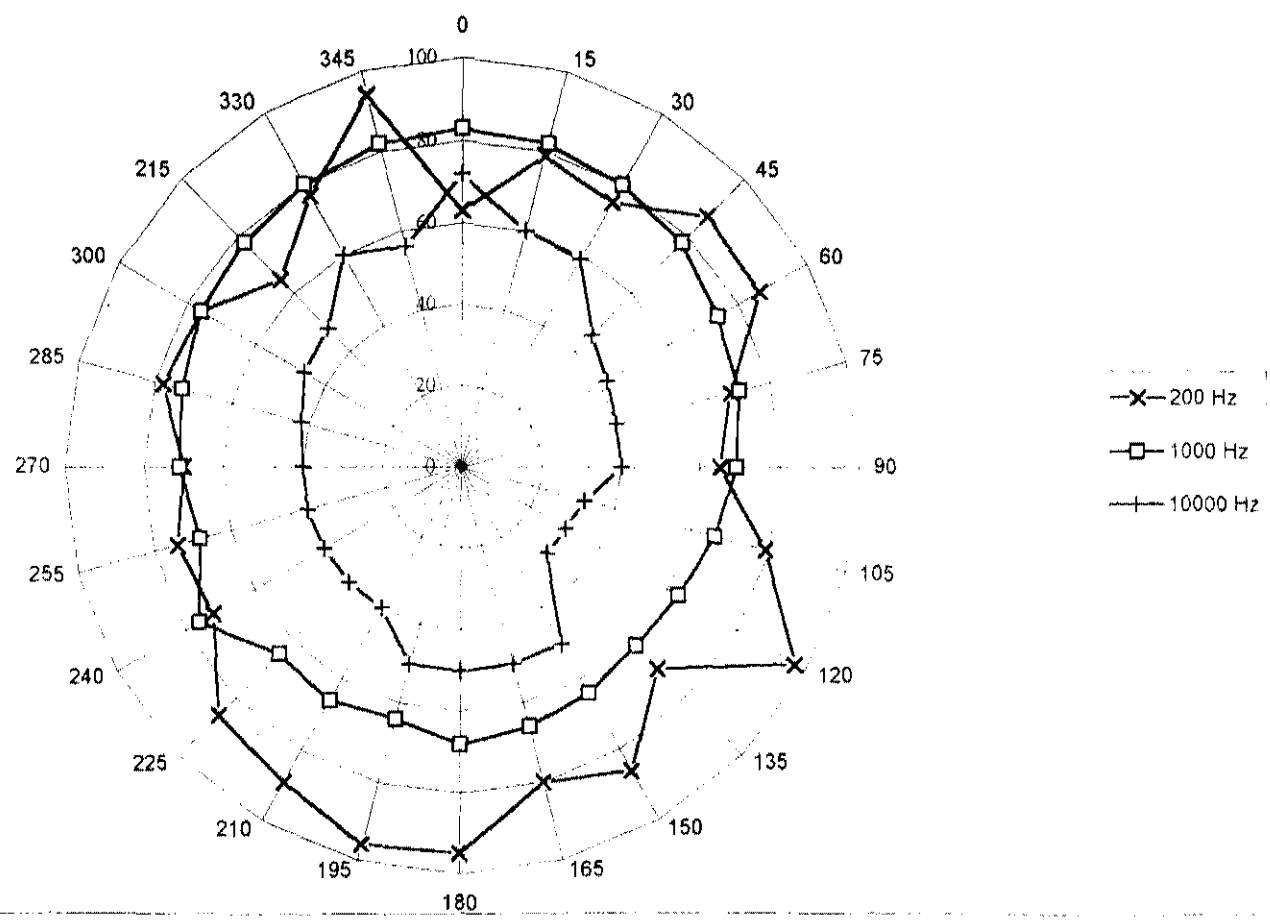


POLAR PLOT BAGI PEMBESAR SUARA KOLUM



Rajah 6.3 (c) : Polar Plot bagi Pembesar Suara Kolum.

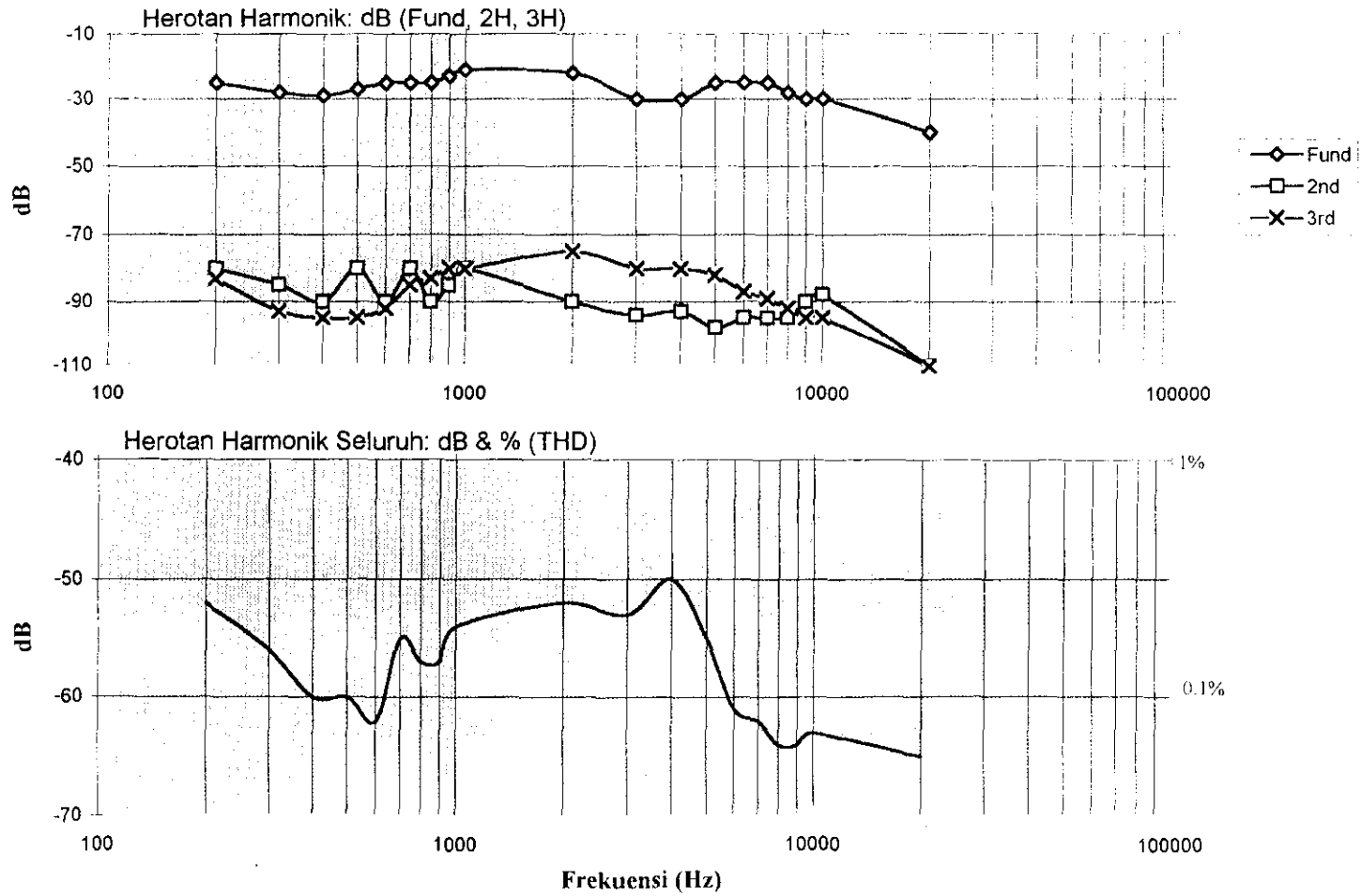
POLAR PLOT BAGI PEMBESAR SUARA HON



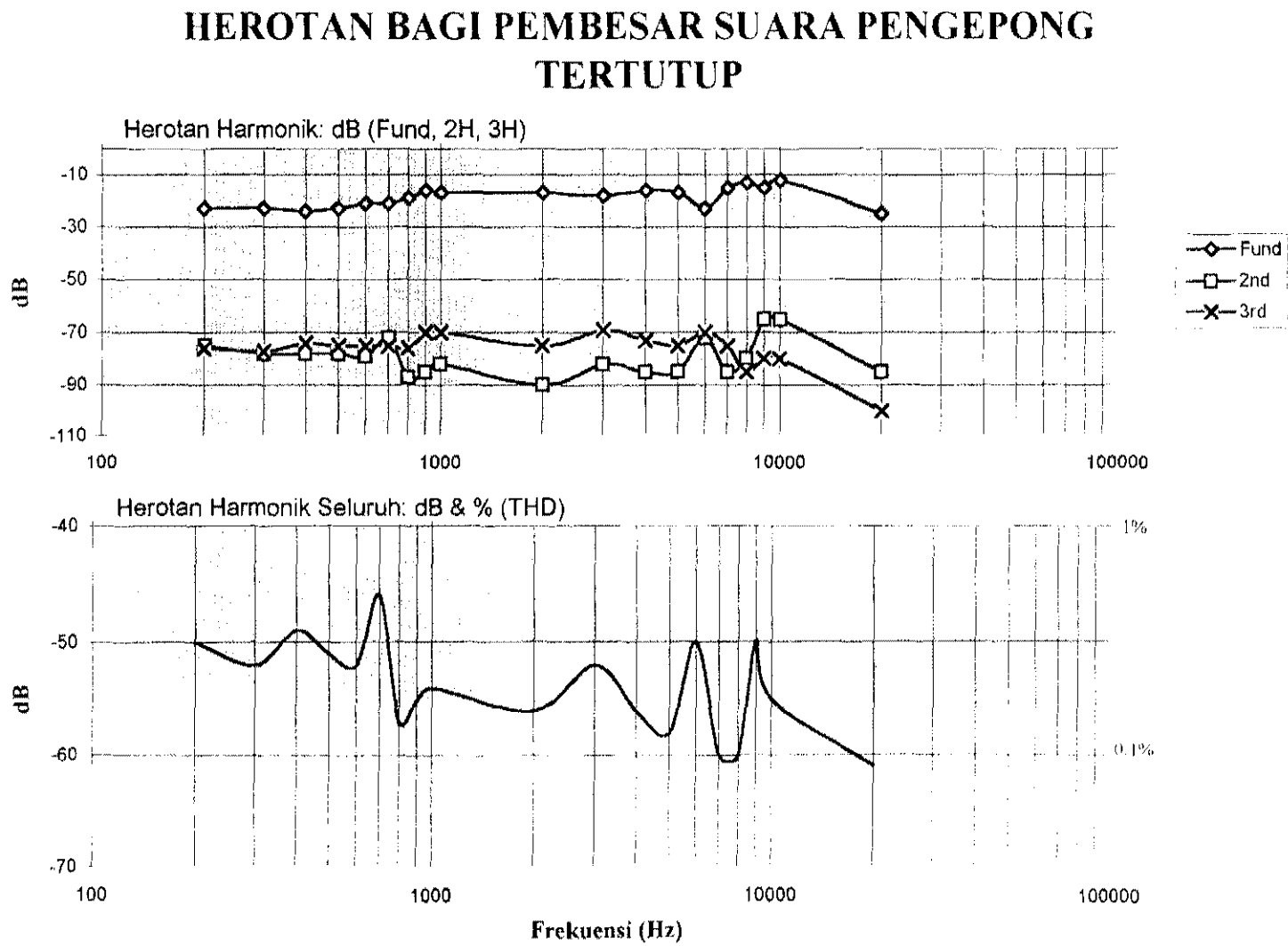
Rajah 6.3 (d) : Polar Plot bagi Pembesar Suara Hon.

Rajah 6.4 (a) : Graf Herotan bagi Pembesar Suara Labirinth.

HEROTAN BAGI PEMBESAR SUARA LABYRINTH

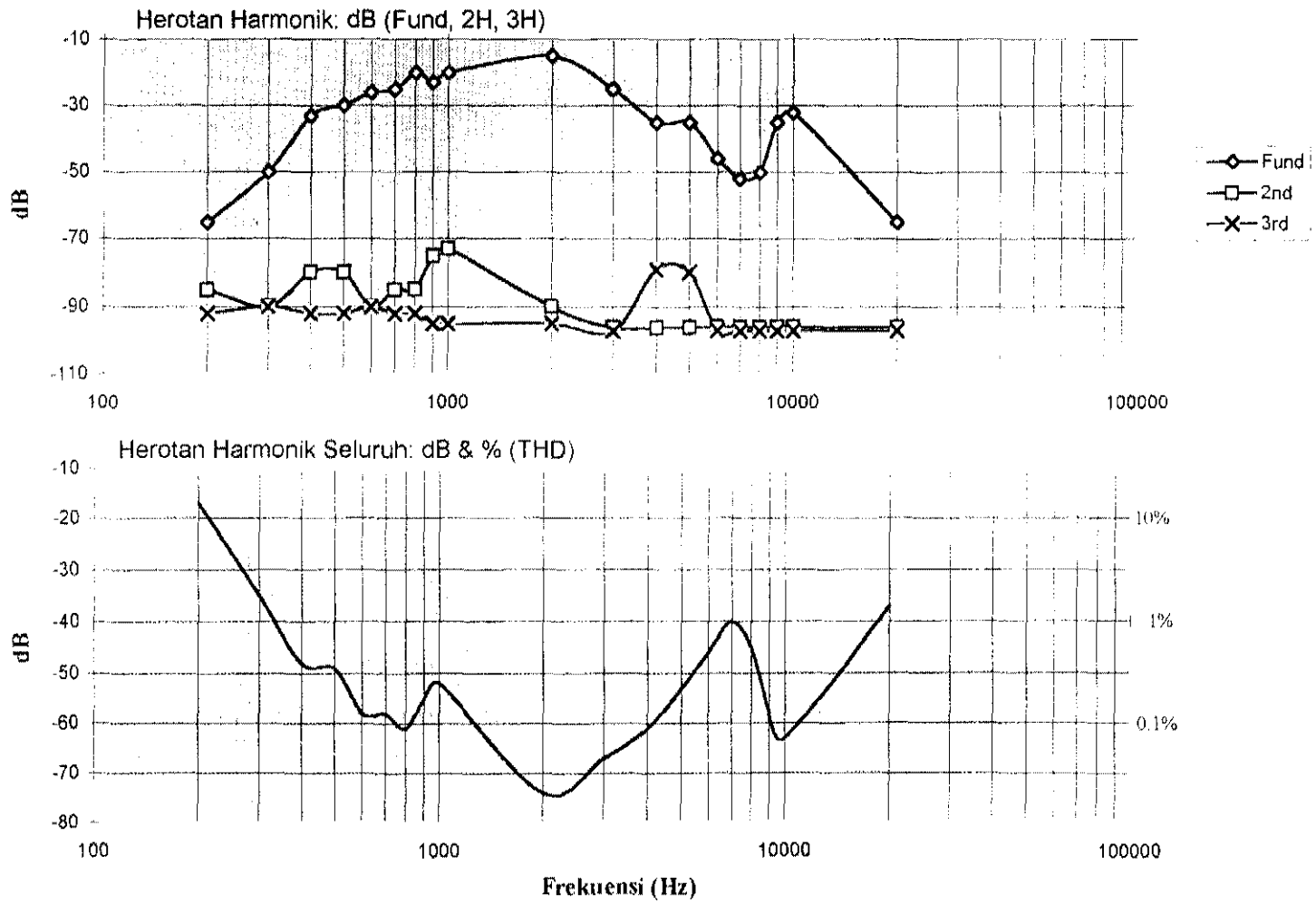


Rajah 6.4 (b) : Graf Herotan bagi Pembesar Suara Pengepong Tertutup.

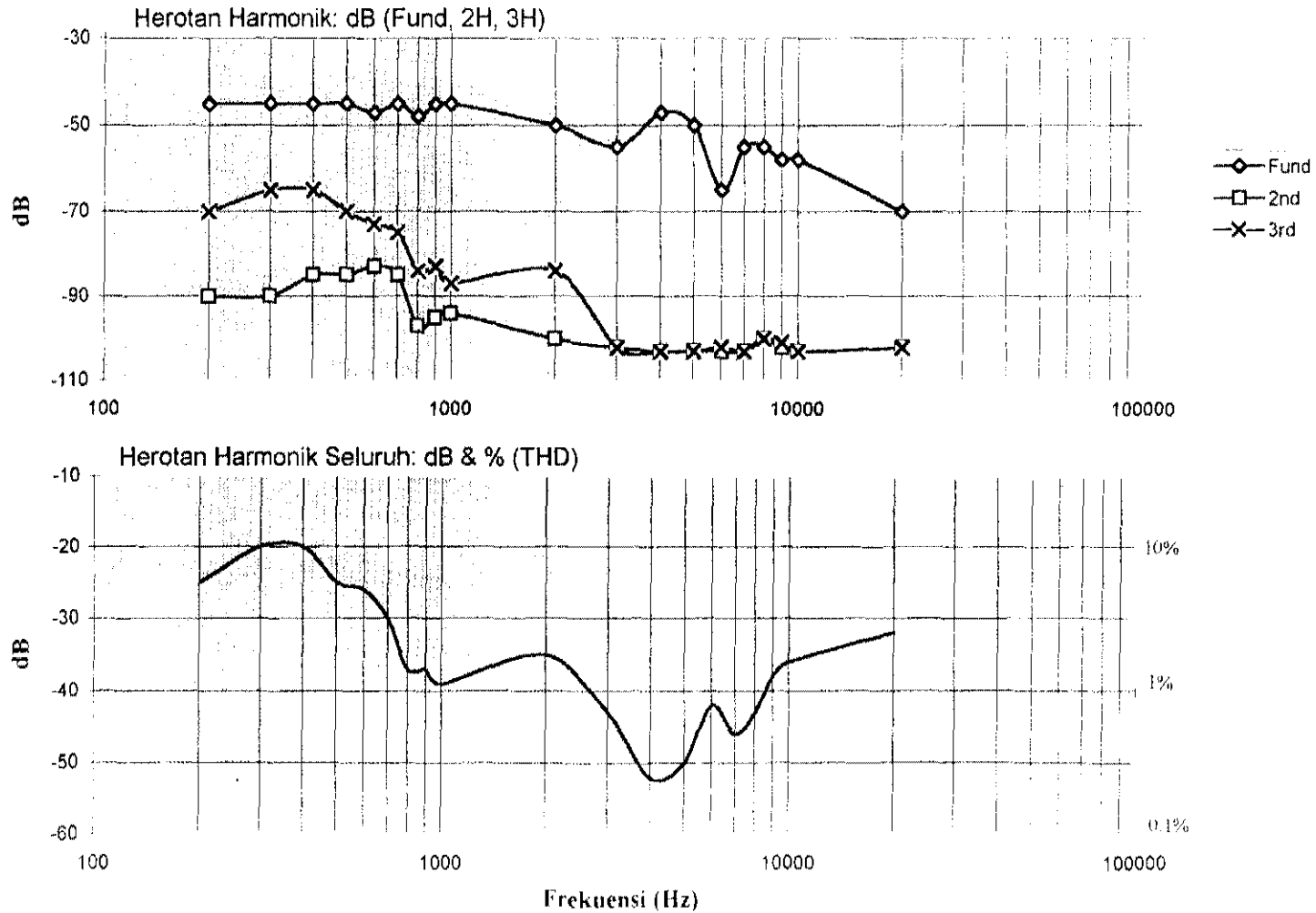


Rajah 6.4 (c) : Graf Herotan bagi Pembesar Suara Hon.

HEROTAN BAGI PEMBESAR SUARA HON



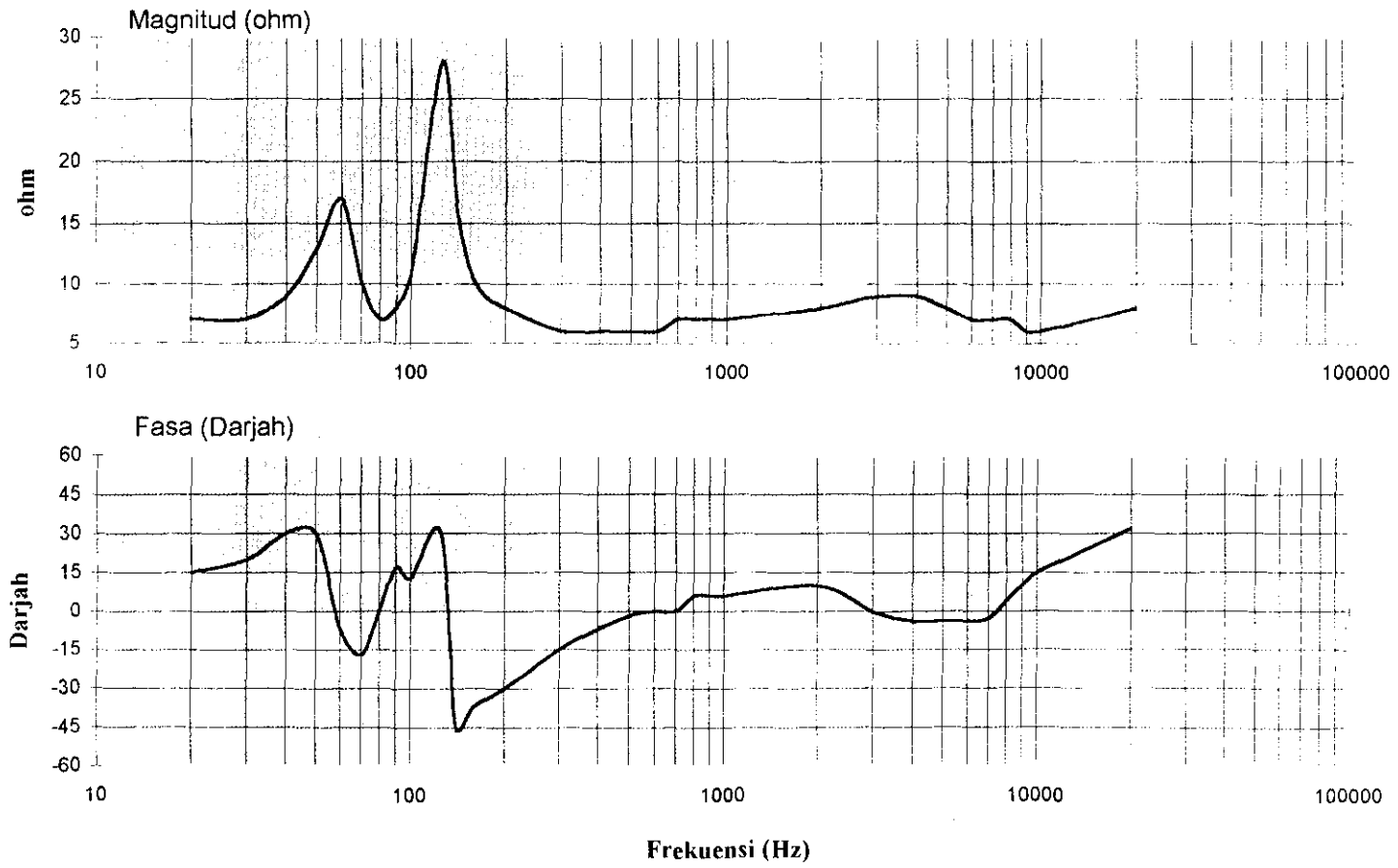
HEROTAN BAGI PEMBESAR SUARA KOLUM



Rajah 6.4 (d) : Graf Herotan bagi Pembesar Suara Kolum.

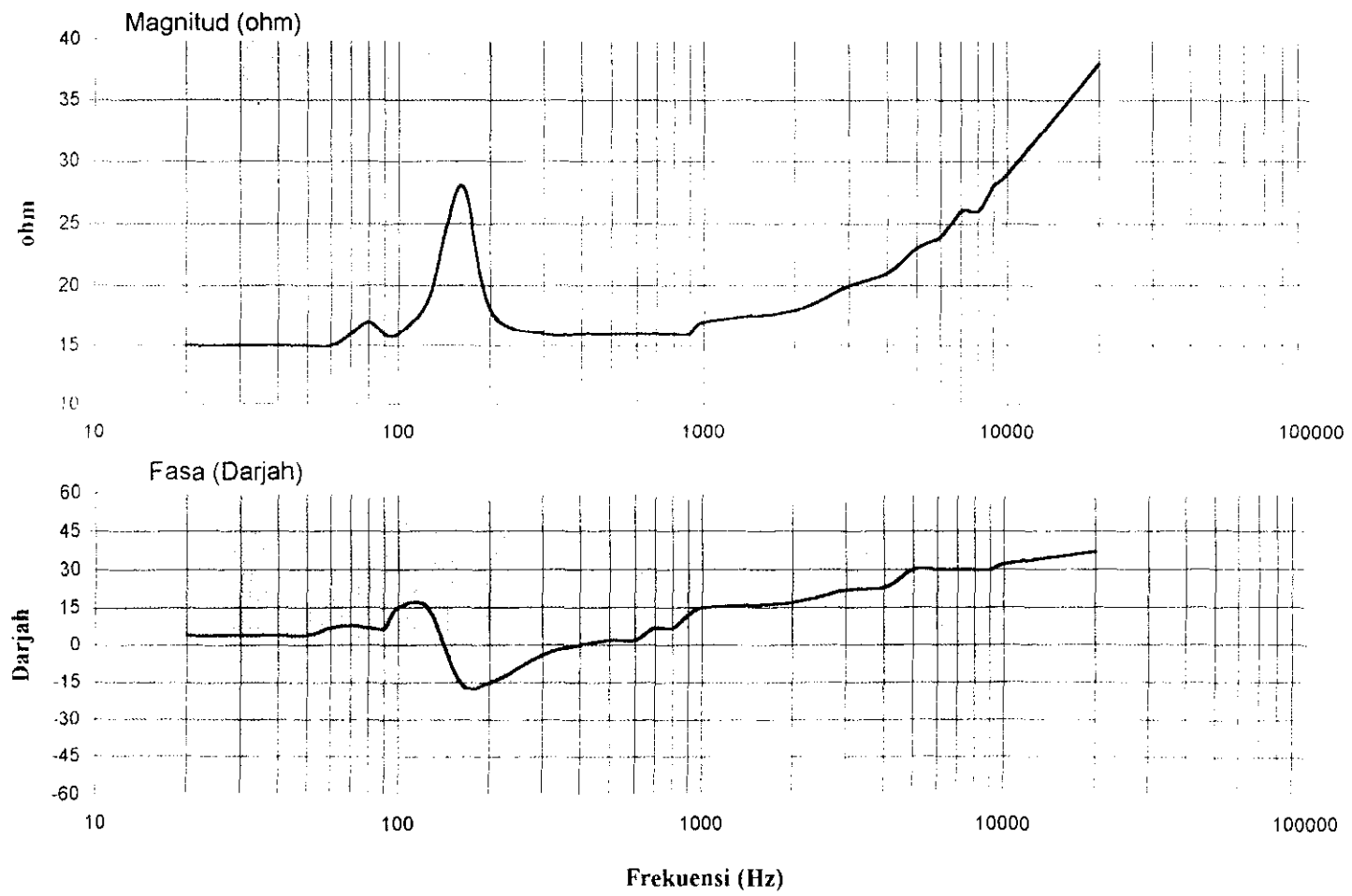
Rajah 6.5 (a) : Graf Galangan bagi Pembesar Suara Pengepong Tertutup.

GALANGAN BAGI PEMBESAR SUARA PENGEPONG TERTUTUP



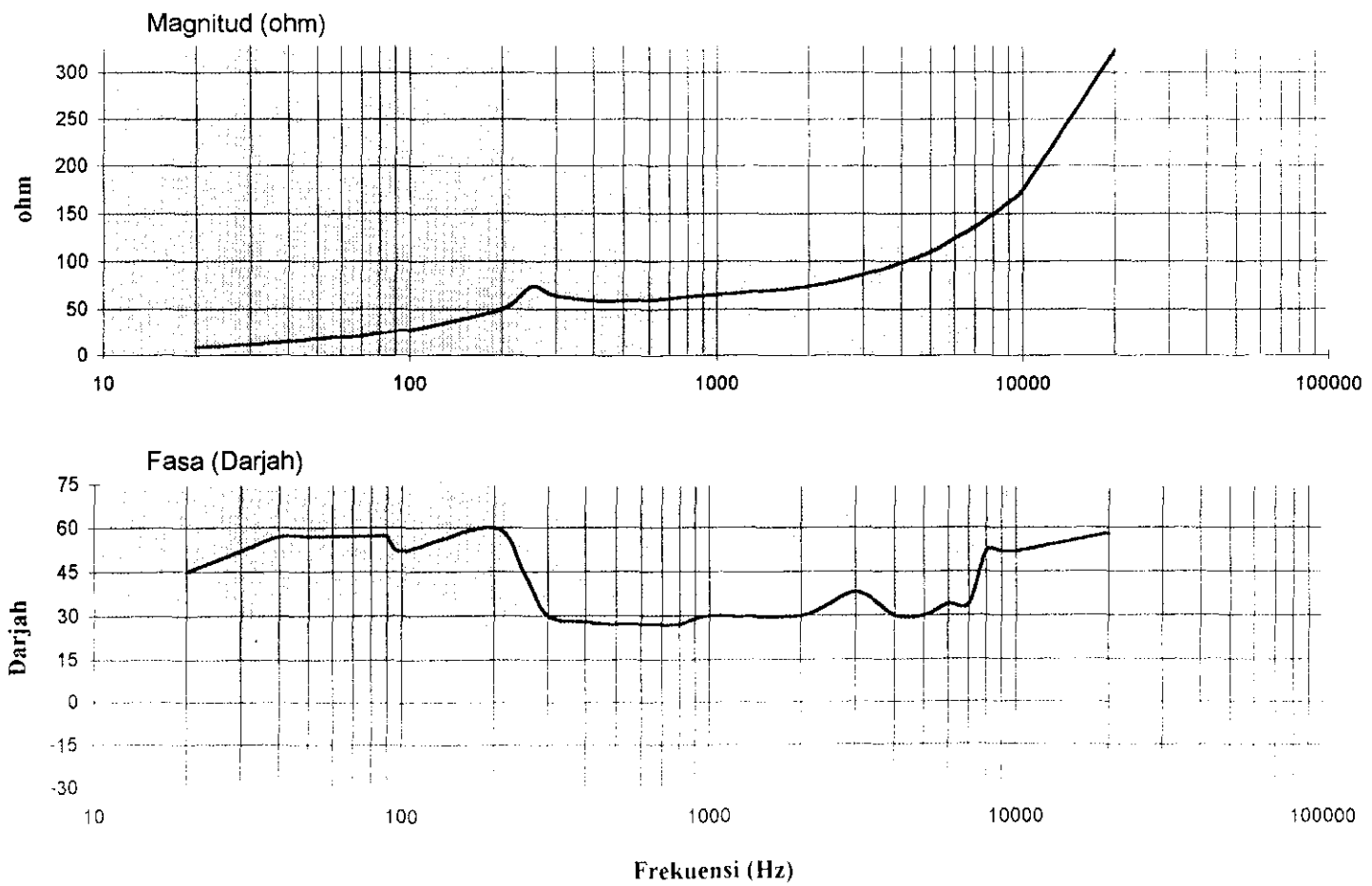
Rajah 6.5 (b) : Graf Galangan bagi Pembesar Suara *Labyrinth*.

GALANGAN BAGI PEMBESAR SUARA *LABYRINTH*



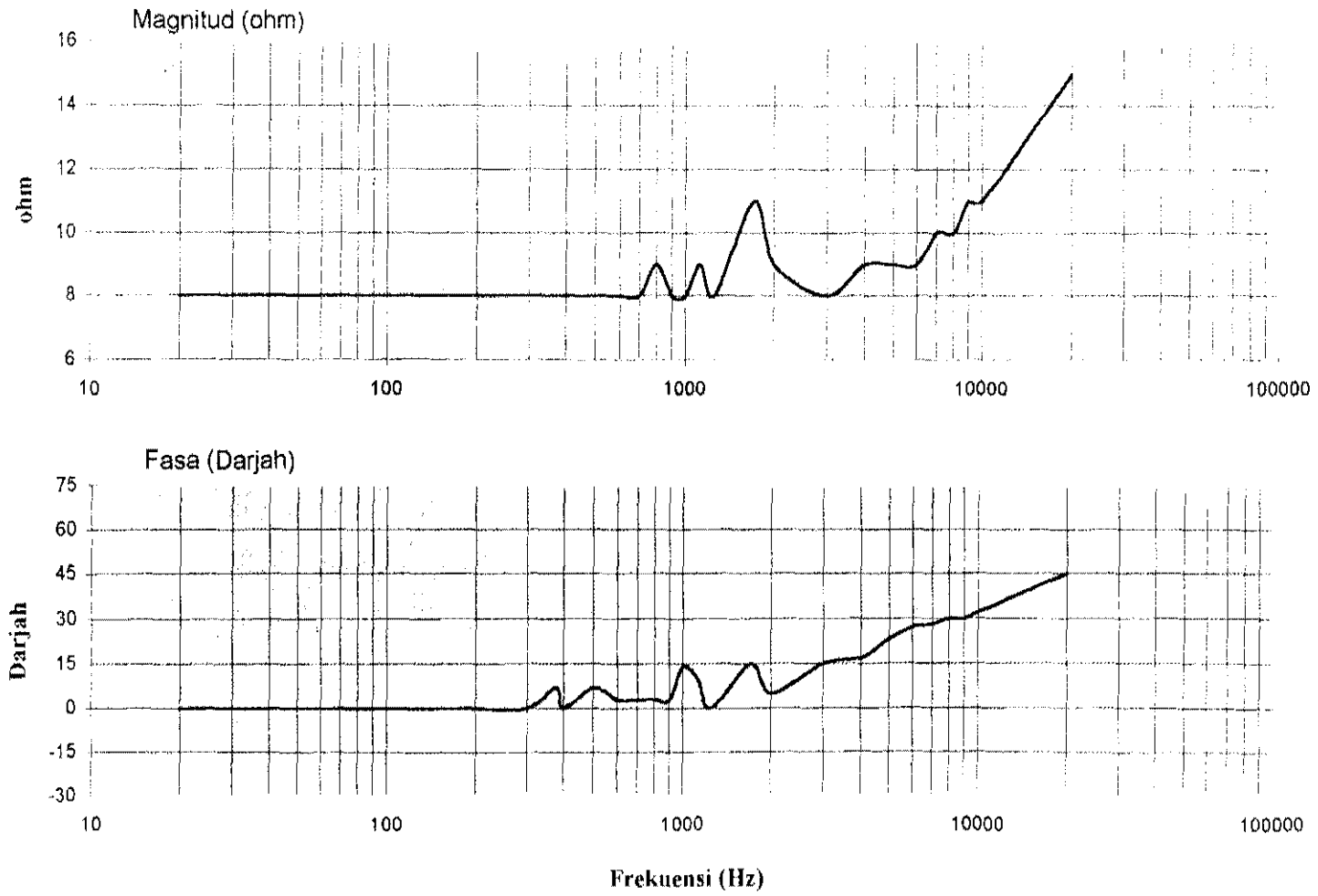
Rajah 6.5 (c) : Graf Galangan bagi Pembesar Suara Kolum.

GALANGAN BAGI PEMBESAR SUARA KOLUM



GALANGAN BAGI PEMBESAR SUARA HON

Rajah 6.5 (d) : Graf Galangan bagi Pembesar Suara Hon.



LAMPIRAN
JADUAL

Jadual 6.2 : Bacaan Ujikaji bagi Sambutan Frekuensi.

Frekuensi (Hz)	Gandaan (dB)			
	Pengepong Tertutup	<i>Labyrinth</i>	Kolum	Hon
200	80	74	53	92
300	81	76	56	94
400	80	77	58	95
500	80	77	59	96
600	82	78	58	98
700	83	79	58	99
800	84	80	57	100
900	86	81	57	101
1000	88	81	58	102
2000	86	80	54	107
3000	86	78	50	100
4000	86	72	56	90
5000	86	80	55	84
6000	82	80	47	78
7000	89	78	50	65
8000	92	76	49	70
9000	88	74	46	87
10000	89	74	45	93
20000	78	63	32	60

Jadual 6.3 : Bacaan Ujikaji bagi Ujian Pola Pengarahan.

Darjah	Gandaan (dB)											
	Pengepong Tertutup			<i>Labyrinth</i>			Kolum			Hon		
	200	1 k	10 k	200	1 k	10 k	200	1 k	10 k	200	1 k	10 k
0	82	88	93	78	81	74	79	78	64	63	83	72
15	81	87	90	78	81	73	80	78	64	79	82	60
30	81	86	84	78	79	70	79	77	59	75	80	59
45	81	84	79	77	78	68	86	76	59	87	78	46
60	80	82	78	75	75	65	78	73	57	86	74	42
75	80	81	74	75	72	61	78	71	52	70	72	40
90	79	81	69	75	69	56	74	70	48	65	69	40
105	78	81	67	76	68	50	79	70	43	79	66	32
120	77	78	67	72	68	48	74	69	40	97	63	30
135	77	74	65	72	66	48	75	65	40	70	62	30
150	77	70	63	73	58	49	74	60	39	86	64	50
165	77	73	65	74	61	46	81	66	40	80	66	50
180	78	74	62	72	64	41	68	68	40	95	68	50
195	77	71	65	72	66	48	80	65	40	96	64	50
210	77	70	59	73	63	47	78	60	36	89	66	40
225	77	76	62	69	68	46	75	66	36	86	65	40
240	78	80	66	72	69	45	75	69	40	72	76	40
255	71	81	68	74	69	49	75	69	41	74	68	40
270	79	81	71	74	71	54	77	69	47	70	71	40
285	79	82	75	74	74	60	77	71	54	78	73	42
300	79	83	77	76	76	66	77	73	59	76	76	46
215	81	85	80	78	78	67	78	76	62	65	78	48
330	81	86	85	78	80	68	81	77	64	77	80	60
345	81	87	90	78	81	72	79	78	65	94	82	56

Jadual 6.4 (a) : Bacaan Ujikaji Herotan bagi Pembesar Suara Labyrinth.

Frekuensi (Hz)	Gandaan (dB)			
	Fund	2nd	3rd	THD
200	-25	-80	-83	-52
300	-28	-85	-93	-56
400	-29	-90	-95	-60
500	-27	-88	-95	-60
600	-25	-90	-92	-62
700	-25	-80	-85	-55
800	-25	-90	-83	-57
900	-23	-85	-80	-57
1000	-21	-80	-80	-54
2000	-22	-90	-75	-52
3000	-30	-94	-80	-53
4000	-30	-93	-80	-50
5000	-25	-98	-82	-55
6000	-25	-95	-87	-61
7000	-25	-95	-89	-62
8000	-28	-95	-92	-64
9000	-30	-90	-95	-64
10000	-30	-88	-95	-63
20000	-40	-110	-110	-65

Jadual 6.4 (b) : Bacaan Ujikaji Herotan bagi Pembesar Suara Pengepong Tertutup.

Frekuensi (Hz)	Gandaan (dB)			
	Fund	2nd	3rd	THD
200	-23	-75	-76	-50
300	-23	-78	-77	-52
400	-24	-78	-74	-49
500	-23	-78	-75	-51
600	-21	-79	-75	-52
700	-21	-72	-75	-46
800	-19	-87	-76	-57
900	-16	-85	-70	-55
1000	-17	-82	-70	-54
2000	-17	-90	-75	-56
3000	-18	-82	-69	-52
4000	-16	-85	-73	-56
5000	-17	-85	-75	-58
6000	-23	-72	-70	-50
7000	-15	-85	-75	-60
8000	-13	-80	-85	-60
9000	-15	-65	-80	-50
10000	-12	-65	-80	-55
20000	-25	-85	-100	-61

Jadual 6.4 (c) : Bacaan Ujikaji Herotan bagi Pembesar Suara Hon.

Frekuensi (Hz)	Gandaan (dB)			
	Fund	2nd	3rd	THD
200	-65	-85	-92	-17
300	-50	-90	-90	-35
400	-33	-80	-92	-48
500	-30	-80	-92	-49
600	-26	-90	-90	-58
700	-25	-85	-92	-58
800	-20	-85	-92	-61
900	-23	-75	-95	-55
1000	-20	-73	-95	-52
2000	-15	-90	-95	-74
3000	-25	-96	-97	-61
4000	-35	-96	-97	-61
5000	-35	-96	-97	-53
6000	-46	-96	-97	-46
7000	-52	-96	-97	-40
8000	-50	-96	-97	-45
9000	-35	-96	-97	-58
10000	-32	-96	-97	-63
20000	-65	-96	-97	-37

Jadual 6.4 (d) : Bacaan Ujikaji Herotan bagi Pembesar Suara Kolum.

Frekuensi (Hz)	Gandaan (dB)			
	Fund	2nd	3rd	THD
200	-45	-90	-70	-25
300	-45	-90	-65	-20
400	-45	-85	-65	-20
500	-45	-85	-70	-25
600	-47	-83	-73	-26
700	-45	-85	-75	-30
800	-48	-97	-84	-37
900	-45	-95	-83	-37
1000	-45	-94	-87	-39
2000	-50	-100	-84	-35
3000	-55	-102	-102	-43
4000	-47	-103	-103	-52
5000	-50	-103	-103	-50
6000	-65	-103	-102	-42
7000	-55	-103	-103	-46
8000	-55	-100	-100	-43
9000	-58	-102	-101	-38
10000	-58	-103	-103	-36
20000	-70	-102	-102	-32

Jadual 6.5 : Bacaan Ujikaji Galangan

Frekuensi (Hz)	Pengepong Tertutup		<i>Labyrinth</i>		Kolum		Hon	
	Galangan (Ohm)	Fasa (Darjah)	Galangan (Ohm)	Fasa (Darjah)	Galangan (Ohm)	Fasa (Darjah)	Galangan (Ohm)	Fasa (Darjah)
20	7	15	15	4	9	45	8	0
30	7	20	15	4	12	52	8	0
40	9	30	15	4	15	57	8	0
50	13	30	15	4	18	57	8	0
60	17	-7	15	7	20	57	8	0
70	10	-17	16	8	21	57	8	0
80	7	0	16	7	24	57	8	0
90	8	17	16	7	26	57	8	0
100	11	13	16	15	28	52	8	0
125	28	30	19	15	-	-	-	-
140	16	-45	-	-	-	-	-	-
160	10	-37	28	-15	-	-	-	-
200	8	-30	18	-15	50	60	8	0
250	-	-	-	-	74	45	-	-
300	6	-15	16	-4	64	30	8	0
375	-	-	-	-	-	-	8	7
400	6	-7	16	0	59	28	8	0
500	6	-2	16	2	59	27	8	7
600	6	0	16	2	60	27	8	3
700	7	0	16	7	61	27	8	3
800	7	6	16	7	63	27	9	3
900	7	6	16	12	64	29	8	3
1000	7	6	17	15	65	30	8	14
1120	-	-	-	-	-	-	9	10
1250	-	-	-	-	-	-	8	0
1700	-	-	-	-	-	-	11	15
2000	8	10	18	17	74	30	9	5
3000	9	0	20	22	86	38	8	15
4000	9	-4	21	23	99	30	9	17
5000	8	-4	23	30	110	30	9	23
6000	7	-4	24	30	124	34	9	27
7000	7	-3	26	30	136	34	10	28
8000	7	4	26	30	149	52	10	30
9000	6	10	28	30	162	52	11	30
10000	6	15	29	32	175	52	11	32
20000	8	32	38	37	323	58	15	45

RUJUKAN

RUJUKAN

- [1] Alec Nisbett (1995). **The Sound Studio**. 6 th. ed. Jordan Hill, Oxford : Focal Press.
- [2] Mohammad B. Che Mamat (1995). **Pembesar Suara Tanpa Wire 1**. Tesis Sarjana Muda, Universiti Teknologi Malaysia.
- [3] Bruel And Kjaer (1994). **Technical Documentation : Audio Analyzer Type 2012 And Special Calculation Software Type 7661**.
- [4] Francis Rumsey And Tim McCormick (1994). **Sound And Recording : An Introduction**. 2nd ed. Jordan Hill, Oxford : Focal Press.
- [5] Kementerian Pendidikan Malaysia (1994). **Istilah Kejuruteraan**. 5th. ed. Kuala Lumpur : Dewan Bahasa Dan Pustaka.
- [6] Universiti Teknologi Malaysia (1993). **Panduan Menulis Tesis UTM**. Pusat Pengajian Siswazah.
- [7] Gordon McComb, Alvis J.Evans And Eric J.Evans (1991). **Building Speaker Systems**. 2 nd ed. Texas : Master Publishing.
- [8] Md Najib Ibrahim (1991). **Akustik Seni Bina**. Kuala Lumpur : Dewan Bahasa Dan Pustaka.
- [9] Ir. Hj. Ahmad Khan B. Hj. Said (1990). **Pengenalan Akustik - Asas Rekabentuk Akustik Dewan**. Johor Bahru : Unit Penerbitan Akademik UTM.

- [10] John Borwick (1988). **Loudspeaker And Headphone Handbook.**
Butterworth And Co. Ltd.

- [11] Stanley R. Alten (1986). **Audio In Media.** 2 nd ed. Belmont California :
Wadsworth Publishing Co.

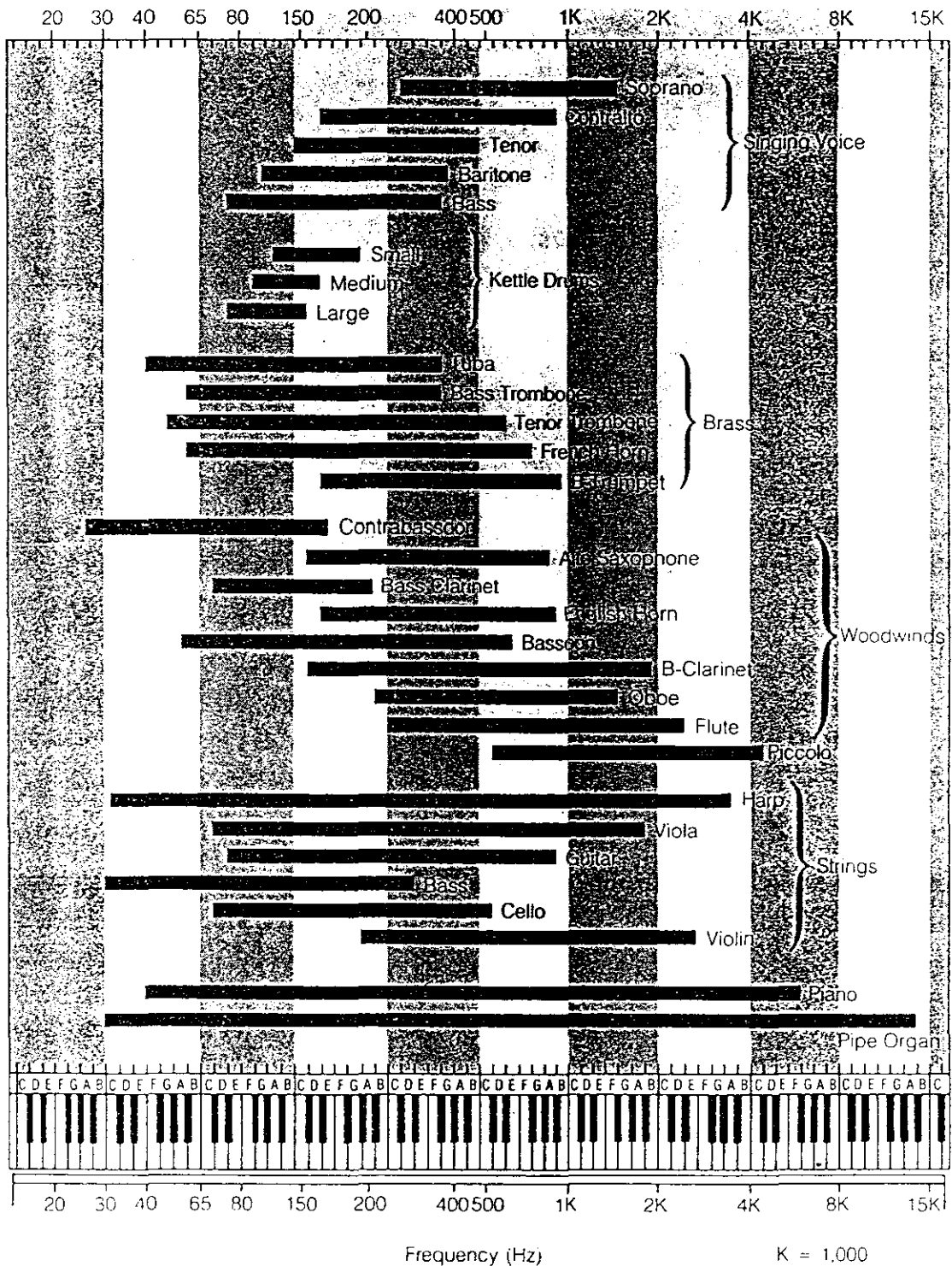
- [12] Martin Colloms (1978). **High Performance Loudspeakers.** Plymouth,
London : Pentech Press.

- [13] John Earl (1973). **How To Choose And Use Pickups And Loudspeakers.**
London : Fountain Press.

LAMPIRAN 1

LAMPIRAN 1

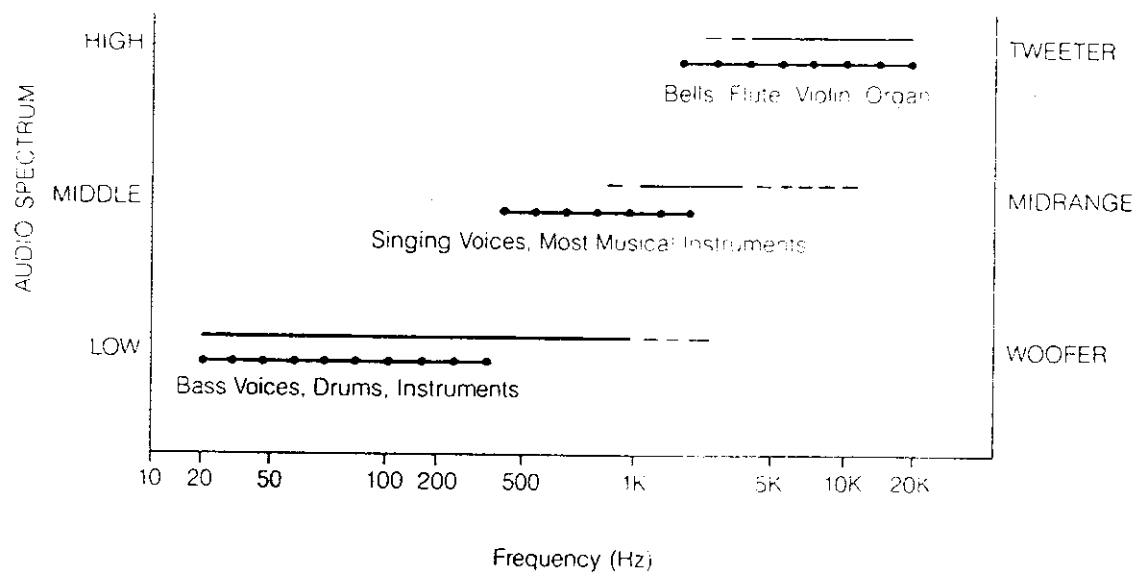
Rajah di bawah menunjukkan julat frekuensi yang boleh didengar oleh manusia (10 Hz ~ 20 kHz). Ia juga menunjukkan bahawa setiap alat muzik mempunyai julat frekuensi yang berlainan.



LAMPIRAN 2

LAMPIRAN 2

Spektrum audio pada julat frekuensi 20 Hz ~ 20 kHz boleh dibahagikan kepada tiga kategori yang utama; rendah (woofer), pertengahan (midrange) dan tinggi (tweeter). Biasanya pembesar suara direka berdasarkan kumpulan ini untuk menghasilkan bunyi yang baik.



LAMPIRAN 3

LAMPIRAN 3

<i>Typical THD percentages</i>	
Device	% THD
Good power amplifier @ rated power	< 0.05% (20 Hz ~ 20 kHz)
16 bit digital recorder (via own convertors)	< 0.05% (-15 dB input level)
Loudspeaker	< 1% 25 W, 200 Hz)
Professional analogue tape recorder	< 1% (ref. level, 1 kHz)
Professional capacitor microphone	< 0.5% (1 kHz, 94 dB SPL)

Examples of typical frequency responses of audio systems	
Device	Typical frequency response
Telephone system	300 Hz ~ 3 kHz
AM radio	50 Hz ~ 6 kHz
Consumer cassette machine	40 Hz ~ 15 kHz (\pm 3 dB)
Professional analogue tape recorder	30 Hz ~ 25 kHz (\pm 1 dB)
CD player	20 Hz ~ 20 kHz (\pm 0.5 dB)
Good-quality small loudspeaker	60 Hz ~ 20 kHz (- 6 dB)
Good-quality large loudspeaker	35 Hz ~ 20 kHz (- 6 dB)
Good-quality power amplifier	6 Hz ~ 60 kHz (\pm 3 dB)
Good-quality omni microphone	20 Hz ~ 20 kHz (\pm 3 dB)