



TUGAS AKHIR - TF 141581

PERANCANGAN *LOUDSPEAKER DODECAHEDRON* UNTUK PENGUKURAN AKUSTIK RUANG

**ICHA ADY RISTANTI
NRP. 2413 100 056**

**Dosen Pembimbing :
Dr. Eng.Dhany Arifianto, S.T, M.Eng.
Ir. R. Sugeng Joko Sarwono, M.T., Ph.D**

**DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Surabaya 2017**

“Halaman ini memang dikosongkan”



FINAL PROJECT - TF 141581

**DESIGN OF THE DODECAHEDRON
LOUDSPEAKER FOR A ROOM ACOUSTICS
MEASUREMENTS**

**ICHA ADY RISTANTI
NRP. 2413 100 056**

Supervisors :
Dr. Eng.Dhany Arifianto, S.T, M.Eng.
Ir. R. Sugeng Joko Sarwono, M.T., Ph.D

**ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Surabaya 2017**

“Halaman ini memang dikosongkan”

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Icha Ady Ristanti
NRP : 2413100056
Departemen / Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Perancangan *Loudspeaker Dodecahedron* untuk Pengukuran Akustik Ruang” adalah benar-benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia untuk menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 25 Mei 2017
Yang membuat pernyataan,



Icha Ady Ristanti
NRP. 2413 100 056

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**PERANCANGAN LOUDSPEAKER DODECAHEDRON
UNTUK PENGUKURAN AKUSTIK RUANG**

Oleh:

Icha Ady Ristanti
NRP. 2413 100 056

Surabaya, 25 Mei 2017

Menyetujui,
Dosen Pembimbing I



Dr. Dhany Arifianto, S.T., M.Eng.
NIPN. 19730071998021001

Menyetujui,
Dosen Pembimbing II



Ir. R. Sugeng Joko Sarwono, MT, Ph.D.
NIPN. 196803271995031002

Mengetahui,
Ketua Departemen
Teknik Fisika FTI-ITS



Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.
NIPN. 197809022003121002

“Halaman ini memang dikosongkan”

**PERANCANGAN LOUDSPEAKER DODECAHEDRON
UNTUK PENGUKURAN AKUSTIK RUANG**

TUGAS AKHIR

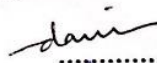


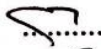

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi Rekayasa Vibrasi dan Akustik
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ICHA ADY RISTANTI
NRP. 2413 100 056

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Dhany Arifianto, S.T., M.Eng.  (Pembimbing I)
2. Ir. R. Sugeng Joko Sarwono, M.T., Ph.D.  (Pembimbing II)
3. Ir. Tutug Dhanardono, M.T.  (Penguji I)
4. Andi Rahmadiansah, S.T., M.T.  (Penguji II)
4. Dyah Sawitri, S.T., M.T.  (Penguji III)

SURABAYA
JULI, 2017

“Halaman ini memang dikosongkan”

PERANCANGAN *LOUDSPEAKER DODECAHEDRON* UNTUK PENGUKURAN AKUSTIK RUANG

Nama : Icha Ady Ristanti
NRP : 2413 100 056
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr.Dhany Arifianto, S.T, M.Eng.
Ir. R. Sugeng Joko Sarwono, MT, Ph.D

Abstrak

Pengukuran akustik ruang membutuhkan sumber suara yang bersifat *omnidirectional*. Sumber suara *omnidirectional* adalah sumber suara yang menghasilkan pola keterarahan *spheris* atau merata ke segala arah. *Loudspeaker* dengan geometri polihedron merupakan beberapa bentuk *loudspeaker* yang mampu menghasilkan pola keterarahan *spheris* atau sumber *omnidirectional*. Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan, *dodecahedron* dinilai bentuk yang paling ideal untuk membuat suatu sumber bunyi *omnidirectional* yang baik. Penelitian tugas akhir ini melakukan perancangan *loudspeaker dodecahedron*, yang dimulai dengan simulasi *software*, mendesain, rancang bangun, dan juga uji karakteristik untuk melihat unjuk kerja dari *loudspeaker* tersebut. Pengujian ini dilakukan di ruang *anechoic*, dan mengacu pada standarisasi ISO 3745, dan 3382-1. Berdasarkan pengolahan data yang didapat, unjuk kerja vibrastics *dodecahedron* ini sangat baik. Vibrastics *dodecahedron* ini mempunyai nilai *flat response* pada antara frekuensi 125 Hz sampai dengan 6300 Hz. Selain itu, pola keterarahan yang dihasilkan juga terdistribusi ke semua arah. Hanya saja, nilai tingkat tekanan bunyi yang dihasilkan masih dibawah 100 dB *white noise*.. Dengan demikian, vibrastics *dodecahedron* ini dapat digunakan untuk menunjang penelitian-penelitian selanjutnya khususnya dibidang akustik ruang.

Kata Kunci: *loudspeaker dodecahedron, omnidirectional, anechoic*

“Halaman ini memang dikosongkan”

THE DESIGN OF DODECAHEDRON LOUDSPEAKER FOR A ROOM ACOUSTICS MEASUREMENTS

Name : *Icha Ady Ristanti*
NRP : *2413 100 056*
Department : *Teknik Fisika FTI-ITS*
Supervisors : *Dr.Dhany Arifianto, S.T, M.Eng.*
Ir. R. Sugeng Joko Sarwono, MT, Ph.D

Abstract

A room acoustics measurements require omnidirectional sound sources. Omnidirectional sound source is a sound source that produces spherical or evenly distributed patterns in all directions. Loudspeakers with polyhedron geometry are some forms of loudspeaker capable of generating spherical or omnidirectional patterns. Based on several studies that have been done, dodecahedron form is considered the most ideal form to create a good omnidirectional sound source. This final project research about design of loudspeaker dodecahedron, which starts with software simulation, design, and characteristic test to see the performance of the loudspeaker. This test conducted in the anechoic chamber, and refers to the standardization of ISO 3745, and 3382-1. Based on the data processing obtained, the performance of vibrastics dodecahedron is very good. Vibrastics dodecahedron has a flat response frequency between 125 Hz to 6300 Hz. In addition, the result of polar pattern is evenly distributed (spheris). But, the strong sound pressure level (SPL) generated less than 100 dB of white noise. Thus, this vibrastics dodecahedron can be used to support further researches, especially in room acoustics measurements.

Keywords : *Dodecahedron loudspeaker, omnidirectional, anechoic*

“Halaman ini memang dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya, serta shalawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW, hingga terselesaikannya tugas akhir beserta laporan tugas akhir yang berjudul **PERANCANGAN LOUDSPEAKER DODECAHEDRON UNTUK PENGUKURAN AKUSTIK RUANG.**

Penulis telah banyak memperoleh bantuan dari berbagai pihak dalam penyelesaian tugas akhir dan laporan Tugas Akhir ini. Penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Fisika yang telah memberikan petunjuk, ilmu, serta bimbingan selama menempuh pendidikan di Teknik Fisika.
2. Bapak Dr.Dhany Arifianto, S.T, M.Eng. dan Bapak Ir. R. Sugeng Joko Sarwono, MT, Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah dengan sabar memberikan petunjuk, ilmu, serta bimbingan yang sangat bermanfaat.
3. Bapak Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc., selaku Kepala Laboratorium Rekayasa Instrumensi yang telah memberikan ilmu, Peserta kemudahan perizinan.
4. Bapak Ir. Yaumar, M.T., selaku dosen wali yang telah membimbing penulis selama perkuliahan.
5. Kedua orang tua (Bapak Kasrum dan Ibu Chonisih) serta saudara (Fanti Dwi Amawati). Terima kasih atas segala cinta, kasih sayang, doa, perhatian, serta dukungan moril dan materiil yang telah diberikan.
6. Yusuf Sultoni, yang sudah memberikan dukungan serta motivasi saya selama ini.
7. Seluruh teman seperjuangan Laboratorium Vibrasi dan Akustik diantaranya Nike, Fanis, Yono, Dika, Harisma, Taufan, Hafizh dan lainnya terima kasih untuk semuanya.
8. Venny dan Icha Fachrunisah yang selalu ada dan mendukung saya.

9. Seluruh teman – teman Departemen Teknik Fisika angkatan 2013 (khususnya Yaritsa, Devi, Thalita, dan Fanisa), terima kasih untuk semuanya.
10. Seluruh dosen, karyawan dan civitas akademik Teknik Fisika, terimakasih atas segala bantuan dan kerjasamanya.
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih atas bantuannya.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan tugas akhir ini tidak sempurna, namun semoga laporan ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Fisika khususnya, dan civitas akademik ITS pada umumnya. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat sebagai referensi pengerjaan laporan tugas akhir bagi mahasiswa yang lain.

Surabaya, 18 April 2017

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul.....	i
Title Page	ii
Lembar Pengesahan	v
Abstrak.....	viii
Abstract.....	x
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Sistematika Laporan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Loudspeaker Dodecahedron</i>	5
2.2 Ruang <i>Anechoic Chamber</i>	9
2.3 Medan Suara dan Kekuatan Suara.....	9
2.4 Medan Suara Akustik	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Rancang Bangun <i>Loudspeaker Dodecahedron</i>	17
3.2 Pengukuran <i>Speaker Driver Tunggal</i>	19
3.3 Pengukuran Karakteristik <i>Loudspeaker Dodecahedron</i>	24
3.4 Perbandingan Unjuk Kerja <i>Loudspeaker Dodecahedron</i>	32
BAB IV HASIL SIMULASI DAN PENGUKURAN	33
4.1 Hasil Rancang Bangun <i>Loudspeaker Dodecahedron</i> ..	33
4.2 Hasil Pengukuran <i>Speaker Driver Tunggal</i>	36
4.3 Hasil Pengukuran <i>Loudspeaker Dodecahedron</i>	41
4.4 Hasil Perbandingan Unjuk Kerja <i>Loudspeaker Dodecahedron</i>	52
BAB V PENUTUP.....	62

5.1 Kesimpulan	63
5.2 Saran	63
DAFTAR PUSTAKA.....	65
BIODATA PENULIS.....	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Polihedron : (a) <i>tetrahedron</i> , (b) <i>hexahedron</i> , (c) <i>octahedron</i> , (d) <i>dodecahedron</i> , (e) <i>icosahedron</i>	6
Gambar 2. 2 Perbandingan SPL yang dihasilkan [5].....	7
Gambar 2. 3 Perbandingan nilai eror pada area <i>far field</i> . [5]	8
Gambar 2. 4 Perbandingan eror pada area <i>free field</i> [5].....	8
Gambar 2. 5 Ruang <i>anechoic chamber</i> "Adhiwijogoo" ITB [8].	9
Gambar 2. 6 Ilustrasi hukum kuadrat terbalik [10]	13
Gambar 2. 7 Pusat akustik untuk ruangan, kanan: <i>Anechoic</i> , dan kiri: <i>Semi-Anechoic</i> [15].....	14
Gambar 2. 8 Keterarahan sumber suara (<i>sound directivity</i>), kanan: monopole, dan kiri: mesin [17]	15
Gambar 2. 9 <i>Directivity</i> medan suara dari mesin pada 540 Hz dan 1500 rpm [17].....	14
Gambar 3. 1 Rancang bangun <i>Loudspeaker Dodecahedron</i>	18
Gambar 3.2 Pengaturan properti simulasi pada <i>Comsol Multiphysics 5.2a</i>	22
Gambar 3. 3 <i>Set up</i> alat pengukuran karakteristik <i>driver</i>	23
Gambar 3. 4 <i>Set up</i> posisi mikrofon untuk keterarahan <i>driver</i> ..	24
Gambar 3. 5 <i>Set up</i> alat pengukuran karakteristik berdasarkan ISO 3745 di ruang <i>anechoic</i>	26
Gambar 3. 6 <i>Set up</i> mikrofon untuk pengukuran karakteristik respon frekuensi.....	27
Gambar 3. 7 <i>Set up</i> posisi mikrofon untuk pengukuran pola keterarahan	28
Gambar 3. 8 <i>Set up</i> alat pengukuran karakteristik berdasarkan ISO 3382-1	30
Gambar 3. 9 <i>Set up</i> posisi mikrofon untuk pengukuran pola keterarahan	30
Gambar 3. 10 <i>Set up</i> pengukuran di luar ruangan	31
Gambar 3. 11 <i>Set up</i> posisi mikrofon untuk pengukuran pola keterarahan	32
Gambar 4. 1 Purwarupa Vibrastics <i>dodecahedron</i> dengan 12 buah driver SB Acoustics	33

Gambar 4. 2 Purwarupa kotak box penyimpanan <i>loudspeaker dodecahedron</i>	35
Gambar 4. 3 Hasil sensitivitas <i>driver speaker</i> SB Acoustics seri SB15NRX30-8.....	37
Gambar 4. 4 Hasil nilai tingkat tekanan bunyi <i>driver speaker</i> SB Acoustics seri SB15NRX30-8.....	38
Gambar 4. 5 Hasil pola keterarahan <i>driver speaker</i> SB Acoustics seri SB15NRX30-8	39
Gambar 4. 6 Hasil respon frekuensi <i>driver speaker</i> SB Acoustics pengukuran.....	39
Gambar 4. 7 Hasil pola keterarahan <i>driver speaker</i> SB Acoustics seri SB15NRX30-8 pada 1 meter	40
Gambar 4. 8 Grafik respon frekuensi Vibrastics <i>dodecahedron</i>	41
Gambar 4. 9 Distribusi polar pada frekuensi 50-400 Hz	42
Gambar 4. 10 Distribusi polar pada frekuensi 500 – 2.5k Hz....	43
Gambar 4. 11 Distribusi polar pada frekuensi 3.15k Hz – 16kHz	44
Gambar 4. 12 Grafik respon frekuensi Vibrastics <i>dodecahedron</i>	45
Gambar 4. 13 Distribusi polar pada frekuensi 63-500 Hz	46
Gambar 4. 14 Distribusi polar pada frekuensi 630-5000 Hz	47
Gambar 4.15 Batas deviasi maksimum berdasarkan ISO 3382-1	48
Gambar 4. 16 Grafik respon frekuensi Vibrastics <i>dodecahedron</i>	49
Gambar 4. 17 Distribusi polar pada jarak 1 m di luar ruangan..	51
Gambar 4. 18 Distribusi polar pada jarak 2 m di luar ruangan..	51
Gambar 4.19 Perbandingan respon frekuensi dengan Norsonics	53
Gambar 4. 20 Perbandingan respon frekuensi dengan BSWA..	53
Gambar 4. 21 Perbandingan pola keterarahan antara Vibrastics <i>dodecahedron</i> (kanan) dengan produk BSWA (kiri)	54
Gambar 4. 22 Perbandingan pola keterarahan antara Vibrastics <i>dodecahedron</i> (kiri) dengan produk B&K (kanan)	55
Gambar 4. 23 Perbandingan respon frekuensi dengan Norsonics	56

Gambar 4. 24	Perbandingan respon frekuensi dengan BSWA ..	56
Gambar 4. 25	Perbandingan pola keterarahan antara Vibrastics <i>dodecahedron</i> (kanan) dengan produk BSWA (kiri)	57
Gambar 4. 26	Perbandingan pola keterarahan antara Vibrastics <i>dodecahedron</i> (kiri) dengan produk B&K (kanan)	58
Gambar 4.27	Perbandingan respon frekuensi dengan Norsonics	59
Gambar 4. 28	Perbandingan respon frekuensi dengan BSWA ..	59
Gambar 4. 29	Perbandingan pola keterarahan antara Vibrastics <i>dodecahedron</i> (kanan) dengan produk BSWA (kiri)	60
Gambar 4. 30	Perbandingan pola keterarahan antara Vibrastics <i>dodecahedron</i> (kiri) dengan produk B&K (kanan)	61

“Halaman ini memang dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Spesifikasi SBAcoustics 5” SB15NRX30-8	19
Tabel 3. 2 Spesifikasi Kayu <i>Body Louspeaker Dodecahedron</i> ..	20
Tabel 3. 3 Spesifikasi <i>Loudspeaker Dodecahedron</i> NOR276.....	24
Tabel 3. 4 Spesifikasi <i>Loudspeaker Dodecahedron</i> OS003	24
Tabel 3. 5 Batas deviasi TTB tiap frekuensi menurut ISO 3382-1	30
Tabel 4. 1 Data Spesifikasi Vibrastics <i>Dodecahedron</i>	40

“Halaman ini memang dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Suatu ketelitian pada alat ukur menghasilkan hasil pengukuran yang baik, akurat, dan dapat dipercaya kebenarannya. Validitas hasil pengukuran juga sangat bergantung pada spesifikasi yang dimiliki alat ukur. Semakin tinggi spesifikasi alat ukur, maka semakin tinggi pula tingkat validitas hasil pengukuran [1]. Salah satu pengukuran yang membutuhkan alat ukur spesifikasi tinggi adalah pengukuran akustik ruang. Pengukuran akustik ruang membutuhkan *loudspeaker* yang mampu mensimulasikan distribusi suara ke segala arah atau sering disebut sebagai sumber suara *omnidirectional*.

Secara teori, pengeras suara dengan ukuran kecil diperlukan untuk pengukuran akustik karena menghasilkan gelombang datar (*plane wave*) yang merepresentasikan tipe sumber suara. Di sisi lain, *speaker* dengan (membran) ukuran kecil menghasilkan daya yang kecil dan pola keterarahan yang terbatas (panjang gelombang kecil/frekuensi tinggi). Untuk mengatasi hal tersebut, dapat dibuat *loudspeaker* dengan geometri polihedron (tetrahedron, kubus, *dodecahedron*, icosahedron) untuk menghasilkan pola keterarahan yang terdistribusi ke segala arah. Bentuk *dodecahedron* dengan 12 buah *speaker* umum dipakai untuk kalangan akustik daripada bentuk lainnya [2].

Awal mula penelitian *speaker dodecahedron* berskala mikro dilakukan di Nagoya University. *Dodecahedron* yang hanya berukuran 38mm ini digunakan untuk mengukur *Head Related Transfer Function (HRTF)*. Hasilnya pun menunjukkan bahwa *loudspeaker* ini memiliki karakteristik yang sangat menyerupai sebuah titik, dan dapat dijadikan sebagai sumber *omnidirectional*. [3]. Pada penelitian selanjutnya, Dragana Sumarac-Plavonic et al., melakukan suatu percobaan membuat suara impuls dari *wooden clapper*. Mereka menganggap bahwa sumber suara ini menjadi salah satu sumber alternatif atau sumber *omnidirectional* lainnya. Namun, hasil yang didapatkan adalah sumber suara impuls dari

wooden clapper hanya menghasilkan pola omnidirectional pada frekuensi tinggi. Oleh karena itulah, *loudspeaker* dodecahedron masih dianggap sebagai sumber *omnidirectional* yang lebih baik dibandingkan dengan yang lainnya [4]. *Speaker* jenis *dodecahedron* ini dianggap sebagai bentuk yang ideal dibandingkan dengan bentuk polyhedron yang lainnya. Hal ini dibuktikan pada penelitian yang dilakukan Pasqual Sp, bentuk *dodecahedron* memiliki nilai eror terendah saat memproduksi suara omnidirectional pada area *far field* dan *free field* [5]. Melalui usulan penelitian tugas akhir ini, penulis ingin mengajukan perancangan *loudspeaker dodecahedron* untuk pengukuran akustik ruang. Hal ini dikarenakan selain kebutuhan sumber suara *omnidirectional* untuk kebutuhan pengukuran akustik ruang di laboratorium, juga karena penelitian mengenai sumber suara *omnidirectional* masih jarang ditemukan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah dari penulisan tugas akhir ini adalah :

- a. Bagaimanakah unjuk kerja *loudspeaker dodecahedron* yang dibuat?
- b. Apakah nilai karakteristik *loudspeaker omnidirectional* sudah sesuai dengan standarisasi yang ada?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Untuk mengetahui unjuk kerja *loudspeaker dodecahedron* yang dibuat.
- b. Untuk menganalisis karakteristik *loudspeaker omnidirectional* berdasarkan standarisasi *loudspeaker dodecahedron* yang baik.

1.4 Batasan Masalah

Untuk menghindari pembahasan topik di luar tugas akhir ini, terdapat beberapa batasan masalah diantaranya :

- a. Ruang lingkup pengujian hanya dilakukan pada *loudspeaker dodecahedron*, untuk amplifier dan perangkat pendukung lainnya tidak diuji.
- b. *Speaker driver* yang dipilih adalah *speaker full range* yang berukuran 5 inch dan memiliki respon frekuensi yang datar (*flat response*) pada 100 Hz - 4 kHz.
- c. Kayu untuk bagian badan (*body*) *speaker* harus mampu menahan atau meredam getaran yang dihasilkan oleh *speaker*.
- d. Standar ketercapaian untuk unjuk kerja *dodecahedron* harus sesuai dengan standarisasi ISO 3745 dan 3382-1.
- e. Penelitian dilakukan secara simulasi dengan bantuan perangkat lunak MATLAB R2016a, dan Comsol Multiphysics 5.2a.

1.5 Sistematika Laporan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir adalah sebagai berikut:

- a. **BAB I PENDAHULUAN**
Pada bab I ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan sistematika laporan.
- b. **BAB II TEORI PENUNJANG**
Pada bab II ini dibahas mengenai teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan, seperti teori mengenai *loudspeaker dodecahedron*, parameter-parameter akustik ruang, karakteristik *loudspeaker omnidirectional* dan sebagainya.
- c. **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**
Pada bab III ini berisi mengenai rancangan dari penelitian yang dilakukan, metode dan langkah-langkah dalam penelitian.
- d. **BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**
Pada bab IV ini berisi tentang data hasil penelitian dari simulasi satu driver an *loudspeaker*, serta analisis data pengukuran yang didapatkan dari purwarupa *loudspeaker dodecahedron* yang telah dirancang dan dibuat. Hasil

pengolahan data pengukuran ini juga disesuaikan dengan standarisasi yang ada.

e. **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab V ini diberikan kesimpulan tentang tugas akhir yang telah dilakukan berdasarkan data-data yang diperoleh, serta diberikan saran sebagai penunjang maupun pengembangan tugas akhir selanjutnya.

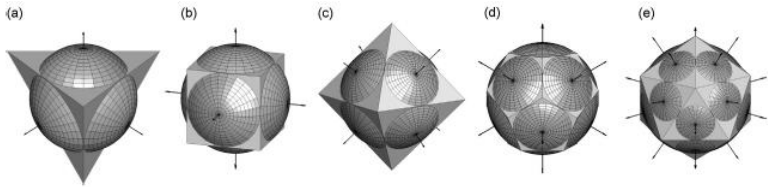
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Loudspeaker Dodecahedron*

Sebuah *loudspeaker* dodecahedral atau *dodecahedron* biasanya digunakan untuk pengukuran beberapa parameter akustik ruang, misalnya di ruang tertentu, aula, teater, dan sebagainya. Jika ruang pengukuran besar, *loudspeaker dodecahedron* ini dianggap sebagai sumber titik. Dengan demikian, jika *loudspeaker* dodecahedral kecil dikembangkan, bisa berfungsi sebagai sumber suara untuk mengukur akustik ruang. Unjuk kerja *loudspeaker dodecahedron* ini dapat digambarkan sebagai sebuah perangkat piezoelektrik yang menciptakan deformasi mekanik dengan memberikan perbedaan potensial. Deformasi mekanik ini yang selanjutnya memberikan sinyal suara. Perangkat piezoelektrik yang kuat terhadap suhu dan memberikan kinerja listrik yang baik. Sebuah *loudspeaker* piezoelektrik dapat menghasilkan frekuensi tinggi suara melebihi 100 kHz. Selain sebagai sumber bunyi *omnidirectional* yang baik, *loudspeaker dodecahedron* juga mampu menghasilkan suara kurang lebih 100 dB [6].

Loudspeaker dodecahedron merupakan salah satu kelompok *loudspeaker* dengan geometri polihedron. *Loudspeaker* dengan geometri polihedron merupakan beberapa bentuk *loudspeaker* yang mampu menghasilkan pola keterarahan *spheris* atau sumber *omnidirectional*. Beberapa bentuk geometri polihedron lainnya adalah sebagai berikut *tetrahedron*, *hexahedron*, *octahedron*, *dodecahedron*, dan *icosahedron*. Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan, bentuk *dodecahedron* dinilai bentuk yang paling ideal untuk membuat suatu sumber bunyi *omnidirectional* yang baik. *Loudspeaker* dengan bentuk geometri ini terbukti memiliki performansi yang paling baik dan menghasilkan nilai eror yang paling rendah. Selain itu, bentuk *dodecahedron* dengan 12 buah *speaker* lebih umum dipakai untuk kalangan akustik daripada bentuk lainnya [2].



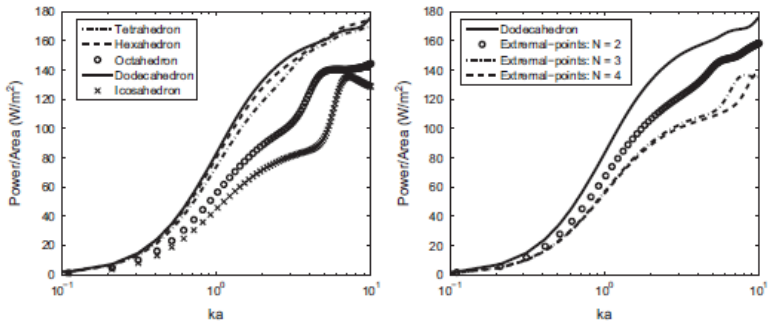
Gambar 2. 1 Polihedron : (a) tetrahedron, (b) hexahedron, (c) octahedron, (d) dodecahedron, (e) icosahedron [2]

Dari gambar 2.1, dapat dilihat bahwa geometri polihedron memang menyerupai bentuk bola sehingga dapat menjadi suatu sumber suara *omnidirectional* yang baik. Bentuk *dodecahedron* merupakan bentuk yang paling sering digunakan. Hal ini disebabkan oleh beberapa kelebihan bentuk *dodecahedron* dibandingkan dengan geometri lainnya. Berikut adalah beberapa kelebihan bentuk *dodecahedron*, diantaranya [5]:

1. Memiliki nilai *Sound Power Level* (SPL) yang tinggi.

Jika dilihat lagi, sumber suara *omnidirectional* dibutuhkan untuk proses pengukuran beberapa parameter akustik ruang. Salah satu parameter akustik ruang yang biasa diukur adalah nilai *Reverberation Time* (RT). Nilai *Reverberation Time* (RT) yang biasanya digunakan sesuai standar yang ada adalah RT60. Yaitu waktu dengung ruangan yang diukur dengan mengamati adanya peluruhan suara sebesar 60 dB. Oleh karena itu, ketika mengukur nilai *Reverberation Time* (RT) 60 maka diperlukan suatu sumber suara yang memiliki nilai *Sound Power Level* (SPL) yang tinggi atau lebih dari nilai peluruhan yang diamati.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh A.M.Pasqual et al, *loudspeaker* dengan geometri *dodecahedron* ini memiliki nilai keluaran tingkat tekanan bunyi yang tertinggi dibandingkan dengan bentuk polihedron lainnya. Berikut adalah grafik yang menunjukkan perbandingan nilai tingkat tekanan bunyi yang dihasilkan oleh beberapa bentuk polihedron menurut A.M.Pasqual et al [5] :



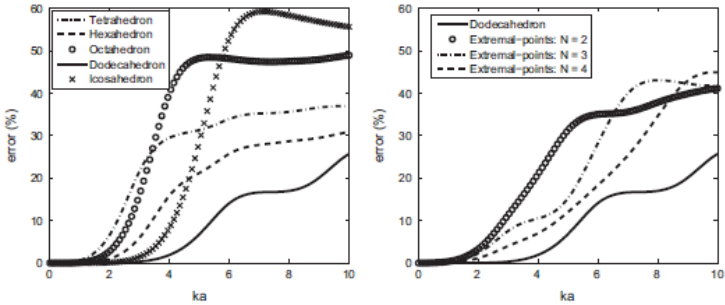
Gambar 2.2 Perbandingan nilai tingkat tekanan bunyi yang dihasilkan [5].

2. Memiliki nilai eror terendah saat memproduksi suara *omnidirectional* pada area *far field* dan *free field*.

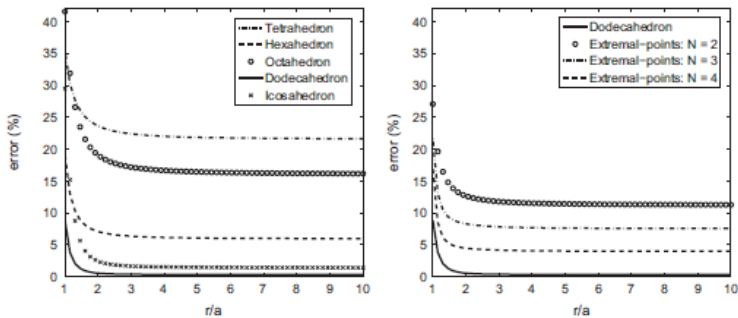
Sumber suara *omnidirectional* adalah suatu sumber yang memiliki keterarahan (*directivity*) menyebar ke seluruh atau segala arah. Jika digambarkan dengan grafik polar atau sering disebut dengan istilah *polar pattern*, bentuk grafik yang terbentuk menyerupai lingkaran. Pada umumnya ada yang berbentuk lingkaran sempurna dan ada pula yang berbentuk lingkaran yang agak berkelok, tergantung pada nilai frekuensinya. Wilayah atau bagian area yang digambarkan oleh *polar pattern* tersebut biasanya disebut dengan istilah wilayah medan suara. Area medan suara ini biasanya dibagi menjadi beberapa bagian, diantaranya yaitu *near field*, *far field*, dan *free field*. *Near field* adalah area medan suara yang terletak dekat dengan sumber suara. *Far field* dan *free field* adalah dua area yang terletak agak jauh dari sumber suara, sehingga mengakibatkan banyaknya kemungkinan eror pada kedua area ini.

Dibandingkan dengan bentuk polyhedron lainnya, bentuk *dodecahedron* memiliki nilai eror terendah (terhadap *ka*) saat memproduksi suara *omnidirectional* pada area *far field* dan *free field*. Hal ini ditunjukkan oleh grafik yang dihasilkan dari

pengolahan data penelitian yang dilakukan oleh A.M.Pasqual et al [5]:



Gambar 2.3 Perbandingan nilai error pada area *far field*. [5]



Gambar 2.4 Perbandingan nilai error pada area *free field* [5]

Loudspeaker dodecahedron yang telah dirancang, selanjutnya diuji kelayakannya sesuai dengan standar ISO 3745 dan 3382-1. ISO 3745 menjelaskan mengenai penentuan tingkat tekanan suara dan tingkat energi sumber suara dengan metode presisi tingkat tekanan pada ruang *anechoic* dan *semi-anechoic*. [7]. Sedangkan ISO 3382 menjelaskan mengenai pengukuran beberapa parameter akustik ruang [8]. Dalam kedua ISO tersebut, terdapat beberapa variabel istilah yang berhubungan dengan metode penelitian tugas akhir ini.

2.2 Ruang *Anechoic Chamber*

Ruang *anechoic chamber* “Adhiwojogo” ITB merupakan ruangan yang mampu menyerap suara secara menyeluruh dan telah bersertifikasi internasional. Ruangannya yang memiliki dimensi 9,63 m x 7,65 m x 4,57 m ini dikelilingi dengan lapisan yang disebut *wedges*. Lapisan *wedges* dapat mencegah pantulan gelombang dari suara yang berasal dari ruangan tersebut serta menghindari gangguan suara yang berasal dari luar. Ruang *anechoic chamber* “Adhiwojogo” ini memiliki nilai latar bising (L_{Aeq}) sebesar 10,4 dB(A) dan 21,4 dB(A) apabila menggunakan jendela. Nilai *cut-off frequency* terendah berada pada frekuensi 100 Hz. Ruang *anechoic chamber* “Adhiwojogo” ini dapat digunakan untuk melakukan pengukuran akustik berdasarkan ISO 3745 yaitu pengukuran tingkat tekanan bunyi pada rentang frekuensi 80 Hz - 20.000 Hz. [9]. Ruang *anechoic chamber* “Adhiwojogo” ITB ditunjukkan pada gambar 2.5 [10].



Gambar 2.5 Ruang *anechoic chamber* di Laboratorium “Adhiwojogo” ITB [10].

2.3 Medan Suara dan Kekuatan Suara

Kekuatan suara adalah istilah suatu sumber kebisingan dan menjelaskan berapa banyak suara yang dihasilkan. Bidang suara yang dihasilkan oleh sumber juga bergantung pada lingkungan

sekitar sumbernya. Bidang suara di lingkungan menghasilkan beban radiasi, yang pada akhirnya mempengaruhi sumbernya. Dengan kata lain, kedua faktor tersebut sangat berkaitan satu sama lain dalam suatu sistem. Salah satu contoh dari efek ini diilustrasikan oleh Fahy [11] melalui *sound generation* oleh *loudspeaker* di ruangan yang berbeda. Namun di medan bebas (*free field*), dan yang menjadi topik dalam penelitian ini, yaitu efek ini kecil di samping kekakuan struktur mesin yang tinggi sehingga membuatnya kurang sensitif terhadap beban akustik dari lingkungan sekitar.

Sumber suara adalah salah satu faktor penting untuk ditentukan, ini dikarenakan oleh beberapa alasan diantaranya [12]:

1. Untuk perbandingan kekuatan suara antara sistem dan perangkat yang digunakan, juga perangkat dengan merk lainnya,
2. Untuk memprediksi suatu medan suara (*sound field*) di lingkungan yang berbeda setelah pemasangan perangkat atau sistem,
3. Untuk memeriksa keteraturan atau persyaratan hukum ,
4. Untuk memberikan informasi ke sumber diagnostik,
5. Untuk mengidentifikasi sumber gangguan atau *noise* yang paling kuat di sistem.

Terdapat beberapa besaran yang berhubungan dengan kekuatan suara, diantaranya adalah tingkat tekanan bunyi (L_p), tingkat intensitas bunyi (L_i), tingkat daya bunyi (L_w), dan sebagainya. Berikut adalah perumusan besaran-besaran tersebut, dimana antara satu besaran dengan besaran lainnya saling berkaitan satu sama lain [6] :

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_{ref}^2} \quad (2. 1)$$

Dimana L_p adalah tingkat tekanan bunyi dalam satuan desibel, p adalah tekanan bunyi dalam satuan pascal, dan p_{ref} adalah tekanan bunyi referensi yang biasanya bernilai $2 \times 10^{-5} Pa$. Tekanan bunyi yang dapat diindera oleh telinga manusia adalah

2×10^{-5} Pa s/d 2×10^2 Pa. Sedangkan persamaan untuk tingkat intensitas bunyi (L_I) adalah sebagai berikut:

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_{ref}} \quad (2.2)$$

Satuan untuk tingkat intensitas bunyi adalah watt/m². Untuk nilai tingkat intensitas bunyi referensi atau I_{ref} biasanya bernilai nilai 10^{-12} watt/m². Terdapat hubungan antara tingkat tekanan bunyi (L_p) dengan tingkat intensitas bunyi (L_I), yaitu sebagai berikut :

$$\frac{I}{I_{ref}} = \frac{p^2}{p_{ref}^2} \quad (2.3)$$

$$10 \log \frac{p^2}{p_{ref}^2} = 10 \log \frac{I}{I_{ref}} \quad (2.4)$$

Dari persamaan (2.4), didapatkan kesimpulan bahwa nilai tingkat tekanan bunyi (L_p) sama dengan tingkat intensitas bunyi (L_I). Nilai-nilai tingkat tekanan bunyi hasil pengukuran merupakan hasil nilai L_p , sedangkan untuk representasi data dalam bentuk grafik diperlukan nilai L_w . Nilai L_w diperoleh dengan perhitungan persamaan (2.5) berikut :

$$L_w = \overline{L_p} + 10 \log \left(\frac{S_1}{S_0} \right) dB + C_1 + C_2 + C_3 \quad (2.5)$$

Dimana, $\overline{L_p}$ adalah hasil rata-rata logaritmik nilai tingkat tekanan bunyi pengukuran setiap mikrofon. Untuk mendapatkan nilai $\overline{L_p}$ tersebut dapat menggunakan persamaan (2.6) berikut :

$$\overline{L_p} = 10 \log \left(10^{\frac{L_{pA(1)}}{10}} + 10^{\frac{L_{pA(2)}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{pA(m)}}{10}} \right) dB \quad (2.6)$$

Penggunaan persamaan logaritmik dikarenakan tingkat tekanan bunyi merupakan hasil perhitungan logaritmik.

Dimana,

m adalah nilai atau jumlah mikrofon.

$Lp_A(m)$ adalah hasil pengukuran TTB di titik ke m.

S_1 merupakan luas area pengukuran, dimana area pengukuran disini berbentuk bola. Maka digunakan luas lingkaran dengan nilai jari-jari yang telah ditentukan.

S_0 adalah luasan referensi yang bernilai nilai $1 m^2$. Sedangkan besaran C adalah nilai-nilai koreksi yang digunakan saat pengukuran berlangsung. Berikut adalah persamaan untuk nilai koreksi (C) :

$$C_1 = -10 \log \left(\frac{P_s}{P_{s,0}} \right) + 5 \log \left[\frac{(273+\theta)}{\theta_0} \right] dB \quad (2.7)$$

$$C_2 = -10 \log \left(\frac{P_s}{P_{s,0}} \right) + 15 \log \left[\frac{(273+\theta)}{\theta_1} \right] dB \quad (2.8)$$

Dimana,

P_s adalah tekanan statik pada waktu dan tempat pengukuran (kPa).

$P_{s,0}$ adalah nilai tekanan statik referensi, 101.325 kPa.

θ adalah suhu udara pada waktu dan tempat pengukuran ($^{\circ}C$).

θ_0 adalah suhu pada saat $P_{s,0}$, bernilai 314 K.

θ_1 adalah suhu tetapan referensi yaitu 296 K.

Untuk nilai koreksi ketiga (C_3) dapat dihitung dengan persamaan (2.8) berikut ini:

$$C_3 = A_0(1.0053 - 0.0012 A_0)^{1.6} dB \quad (2.9)$$

Dimana nilai A_0 sebanding dengan nilai $a(f)r$ yaitu nilai koefisien atenuasi yang didapatkan dari faktor kelembapan udara dan tekanan statik pengukuran, dalam satuan desibel per meter [6].

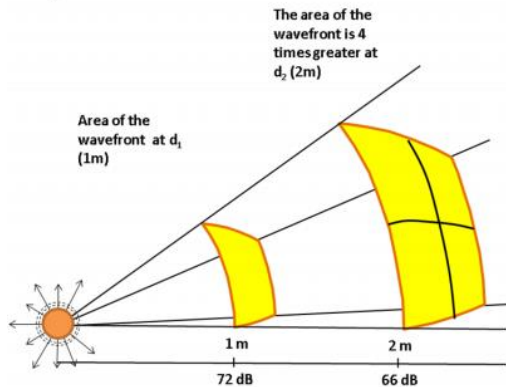
2.4 Medan Suara Akustik

2.4.1 Hukum Kuadrat Terbalik

Dalam konteks akustik peluruhan monoton tekanan suara dalam proporsi terbalik dengan jarak dari pusat efektif sumber

disebut hukum kuadrat terbalik. Ini diilustrasikan pada gambar 2.6 dimana jumlah energi yang sama yang melewati area empat kali lebih besar pada jarak dua kali lipat menghasilkan tingkat tekanan dan intensitas 6 dB yang lebih rendah.

Hukum kuadrat terbalik ini biasanya untuk melihat atau mencari batas medan suara dekat atau biasa disebut *near field*. Medan suara ini dapat diidentifikasi saat tingkat tekanan bunyi meluruh sebesar 3 dB pada satu kali jarak atau 6 dB pada dua kali jarak. Penentuan medan suara *near field* ini sangat penting digunakan untuk mengukur nilai keterarahan (*directivity*) sumber suara [13] :



Gambar 2.6 Ilustrasi hukum kuadrat terbalik pada pengukuran nilai keterarahan sumber suara[13]

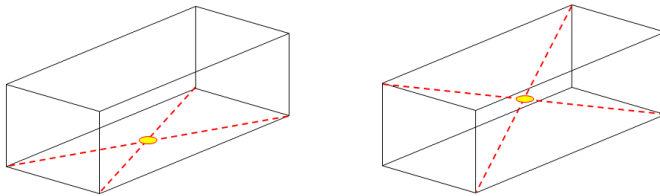
2.4.2 Pusat Akustik (*Acoustics Center*)

Suatu proses pengukuran yang memiliki permukaan pengukuran berbentuk menyerupai bola atau belahan bumi harus diposisikan di pusat akustik benda uji [14] Ada definisi yang dirumuskan oleh Jonasson [15] yaitu sebagai berikut: "Posisi titik balik sumber titik setara menghasilkan tingkat tekanan suara yang sama di titik pengukuran emisi sebagai sumber yang diteliti".

Pusat akustik pada dasarnya adalah pusat sumber yang efektif dan referensi untuk menghitung radius pengukuran seperti permukaan pengukuran imajiner (*spherical imaginary surface*).

Pusat akustik yang khas untuk ruang *anechoic* dan ruang *Semi-Anechoic* ditunjukkan pada gambar 2.7 [16].

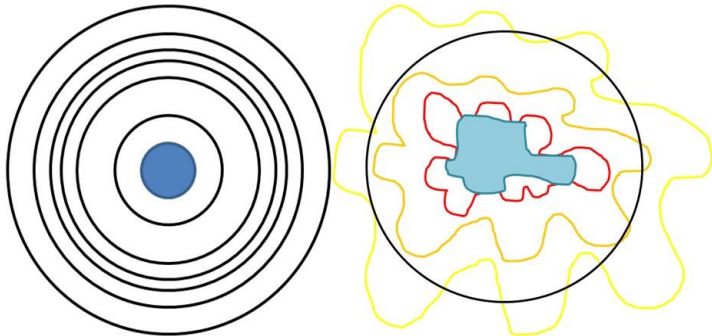
Lebih tepatnya, pusat akustik adalah fungsi dari lokasi mikrofon, ukuran objek, panjang gelombang dan radius bentuk bola atau menyerupai bumi, [17]. sehingga bergantung pada nilai frekuensi.



Gambar 2. 7 Pusat akustik untuk ruangan, kanan: *Anechoic*, dan kiri: *Semi-Anechoic* [16].

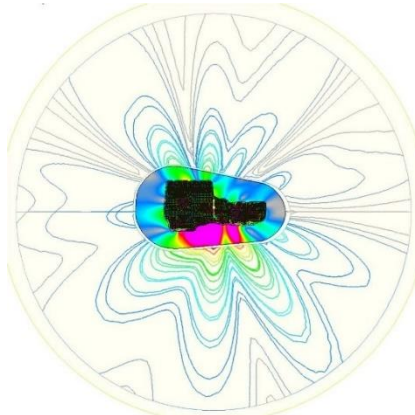
2.4.3 Keterarahan Suara (*Sound Directivity*)

Keterarahan suara (*sound directivity*) dapat dijelaskan dari sudut interferensi antara gelombang yang dipancarkan dari berbagai daerah sekitar sumber suara. Contoh pola keterarahan untuk dua titik monopole yang bergantung pada waktu yang berubah-ubah ini dijelaskan oleh Fahy [12]. Titik sumber monopole tidak memiliki pola keterarahan sehingga medan suara digambarkan hanya dengan satu titik pengukuran. Namun, medan suara untuk sumber kompleks seperti mesin yang berbunyi, beberapa titik pengukuran diperlukan seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.8. [18]



Gambar 2.8 Keterarahan sumber suara, kanan: monopole, dan kiri: mesin [18]

Dan berikut gambar 2.9 menjelaskan pola keterarahan medan suara yang berasal dari kebisingan mesin sebagai sumber suara. Gambar 2.9 ini direpresentasikan dalam grafik pola keterarahan dua dimensi.



Gambar 2. 9 Pola keterarahan medan suara dari mesin pada 540 Hz dan 1500 rpm. [18]

2.4.7 Koherensi Suara (*Sound Coherence*)

Dalam konteks analisis sinyal, koherensi adalah ukuran hubungan linear antara dua sinyal atau dengan kata lain, berapa banyak dua sinyal memiliki kesamaan. Koherensi yang tinggi

antara dua mikrofon pada posisi yang berbeda di medan suara berarti bahwa *noise* pada posisi ini berasal dari sumber yang sama. Jika posisi ini terpisah dengan baik, dapat diasumsikan bahwa permukaan mesin yang berbeda memancarkan gelombang suara dengan hubungan beda fasa tetap dan sumber mekanis yang pada dasarnya sama. Sebagai efek dari gangguan destruktif / konstruktif, *directivity* pada gelombang suara yang koheren lebih besar dibandingkan dengan gelombang suara yang tidak koheren [11].

2.4.8 Kondisi Medan Jauh / *Far Field*

Seperti yang telah dibahas sebelumnya, terdapat tiga wilayah atau area medan suara di sekitar sumber suara di medan bebas (*free field*). Namun, jarak di antara medan ini tidak didefinisikan secara jelas namun digabungkan satu sama lain. Yang dimaksud tidak terdefinisi dengan jelas disini adalah, jarak antara batas antar medan suara yang tidak digambarkan dengan jelas. Namun dapat dilakukan pengamatan dan pengukuran tingkat tekanan bunyi di area tersebut agar dapat menemukan batas antara *near field* dan *free field*.

Ada berbagai macam penjelasan mengenai medan suara bebas (*free field*) menurut beberapa sumber. Berdasarkan Bias [18], medan jauh dicirikan oleh tiga kriteria, yakni sebagai berikut:

1. Tekanan relatif menurun secara monoton terhadap kebalikan dari jarak dari pusat sumber yang efektif.
2. Distribusi sudut amplitude tekanan tidak berubah atau tetap dengan bertambahnya jarak.
3. Nilai impedansi akustik spesifik sama seperti pada kasus gelombang pada pesawat.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Rancang Bangun *Loudspeaker Dodecahedron*

Pada tahap ini terdiri dari dua tahap yaitu studi literatur dan rancang bangun *loudspeaker dodecahedron*. Beberapa jurnal ilmiah, *data sheet* dan informasi *driver*, serta berbagai informasi lainnya dikumpulkan untuk penunjang studi literatur. Hasil studi literatur digunakan untuk referensi rancang bangun *loudspeaker dodecahedron*. Rancang bangun *loudspeaker dodecahedron* ini adalah tahap penentuan desain dan dimensi *loudspeaker dodecahedron*.

3.1.1 Studi Literatur Referensi

Studi literatur terhadap *dodecahedron loudspeaker* yang telah ada, pertama ada jenis NOR276 dan OS003. Jenis NOR276 adalah *loudspeaker dodecahedron* dari pabrikan perusahaan Norsonic. Bersamaan dengan *dodecahedron NOR276*, Norsonic juga mengeluarkan produk *loudspeaker hemi-dodecahedron NOR275*. Sedangkan *dodecahedron jenis OS003* adalah *loudspeaker dodecahedron* yang dikeluarkan oleh perusahaan ternama yaitu BSWA. Berikut adalah tabel dari spesifikasi kedua *loudspeaker*, yaitu NOR280 dan OS003:

Tabel 3.1 Data Spesifikasi *Loudspeaker Dodecahedron NOR276*

Desain Fisik	<i>Dodecahedron</i>
Output Suara Daya	Menggunakan NOR280 dengan kebisingan putih, dan pemerataan: 120 dB (L in)
<i>Speaker</i>	12 x 6"
Daya	200 W RMS Puncak 1000 W
Impedensi	2,7 Ω
Diameter	332 mm (13 ")
Berat	<9 kg (19,8 lb)
Tripod Pemasangan	1" diameter

Tabel 3.2 Data Spesifikasi *Loudspeaker Dodecahedron OS003*

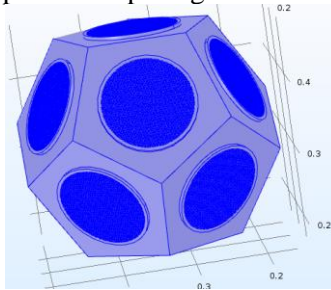
Standar	ISO 140-3, ISO 140-4, ISO 3382-1
Daya	200 W
Rentang Frekuensi	100 Hz – 16 KHz
Tingkat Tekanan Bunyi	Kebisingan 120 dB Pink
Unit <i>Loudspeaker</i>	Rubidium magnet <i>loudspeaker</i> , 4 inch, 8 Ω , 50W
Diameter	285mm (terdiri <i>loudspeaker</i>)
Ukuran	W505mm x H385mm x D375mm
Berat	5.3kg

3.1.2 Rancang Bangun yang Dibuat

Setelah melihat kedua spesifikasi *loudspeaker dodecahedron* yang sudah ada, berikut adalah desain rancang bangun *loudspeaker dodecahedron* yang dibuat :

- a. Panjang sisi segi lima = 15 cm
- b. Diameter *speaker* = 13 cm
- c. Sudut pentagon/segi = 108 derajat
- d. Tinggi stand = 150 cm
- e. Diameter bola *dodecahedron* = 45 cm

Ilustrasi bentuk 3D *loudspeaker dodecahedron* dalam *Comsol Multiphysics 5.2a* dapat dilihat pada gambar 3.1 :



Gambar 3.1 Rancang bangun *loudspeaker dodecahedron* pada perangkat lunak *Comsol Multiphysics*

3.1.3 Desain Target Spesifikasi yang Hendak Dicapai

Penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk membuat suatu *loudspeaker dodecahedron* yang memiliki unjuk kerja baik dan sesuai dengan standarisasi yang ada. Berdasarkan beberapa *loudspeaker dodecahedron* yang telah dijual di pasaran, misalnya produk *B&K*, *Norsonic*, maupun *BSWA*, karakteristik respon frekuensi memiliki nilai *flat response* pada frekuensi 125 Hz sampai dengan 3150 Hz. Pola keterarahan yang dihasilkan oleh beberapa *loudspeaker dodecahedron* di pasaran juga memiliki kekurangan pada pola keterarahan di frekuensi tinggi. Pola keterarahan *omnidirectional* yang dihasilkan hanya mencapai rentang frekuensi 3150 Hz. Pada frekuensi di atas 3150 Hz, pola keterarahan *loudspeaker dodecahedron* akan berbentuk berkelok-kelok.

Berdasarkan permasalahan tersebut, target utama penelitian tugas akhir ini adalah rancang bangun *loudspeaker dodecahedron* yang memiliki karakteristik *flat response* pada rentang frekuensi yang lebih lebar yaitu 80 Hz sampai dengan 4000 Hz. Pola keterarahan yang menjadi target adalah mampu menghasilkan pola keterarahan *omnidirectional* sampai dengan 4000 Hz. Selain target utama pada frekuensi respon dan pola keterarahan, target lainnya adalah daya atau kuat suara *loudspeaker dodecahedron*. Daya atau kuat suara yang hendak dicapai adalah antara 90 sampai 100 dB.

3.2 Pengukuran Speaker Driver Tunggal

3.2.1 Simulasi

Sebagai bahan referensi, dilakukan simulasi dengan menggunakan perangkat lunak *Comsol Comsol Multiphysics 5.2a*. Simulasi *driver loudspeaker dodecahedron* ini bertujuan untuk melihat unjuk kerja atau performansi *driver speaker*. Karakteristik utama yang dilihat adalah pola keterarahan dan *flat response* yang dihasilkan. Sebelum memilih dan menggunakan suatu alat dan bahan, maka perlu diketahui beberapa data spesifikasi untuk beberapa keperluan. Dan berikut adalah beberapa data spesifikasi yang dibutuhkan untuk desain *loudspeaker dodecahedron* :

3.2.1.1 Data Spesifikasi Driver

Loudspeaker yang digunakan sebagai *driver loudspeaker dodecahedron* adalah jenis SBAcoustics seri 5” SB15NRX30-8. Berdasarkan informasi yang diperoleh dari *website* resmi perusahaan *supplier* driver SBAcoustics, diperoleh data spesifikasi berupa tabel dan beberapa gambar yang menunjang proses simulasi. Satuan data yang didapatkan harus dikonversikan terlebih dahulu ke dalam bentuk satuan SI (sistem internasional). Data spesifikasi *driver* yang dibutuhkan untuk mendefinisikan simulasi ditunjukkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Spesifikasi *speaker* SBAcoustics 5” SB15NRX30-8

Besaran	Besaran	Data	Satuan SI
Z	Impedansi	8 ohm	8 ohm
R _e	Resistansi DC	5.7 ohm	5.7 ohm
L _e	Induktansi coil	0.14 mH	0.14 Mh
Q _{es}	Q-faktor elektik	0.35	0.35
Q _{ts}	Total Q-faktor	0.33	0.33
Rms	<i>Mechanical Loss</i>	0.4 kg/s	0.4 kg/s
BI	Faktor gaya	5.6 Tm	5.6 Tm
Cms	<i>Compliance</i>	2.17 mm/N	2.17 mm/N
Fs	Resonansi udara bebas	38 Hz	38 Hz
TTB _{se}	Sensitivitas (2.83 V/ 1m)	88 dB	88 dB
V	<i>Rating power handling</i>	50 W	50 W
m	Massa <i>speaker</i>	1.48 kg	1.48 kg

3.2.1.2 Data Spesifikasi Kayu Body Dodecahedron

Loudspeaker dodecahedron ini memiliki 12 buah *driver* di setiap sisinya, yang mana ketika *loudspeaker dodecahedron* dinyalakan maka semua *driver* menyala bersama-sama. Hal ini mengakibatkan adanya getaran yang terjadi akibat *driver* yang

dinyalakan. Oleh karena itulah, kerangka badan untuk *loudspeaker dodecahedron* ini membutuhkan suatu bahan yang mampu meredam getaran tersebut.

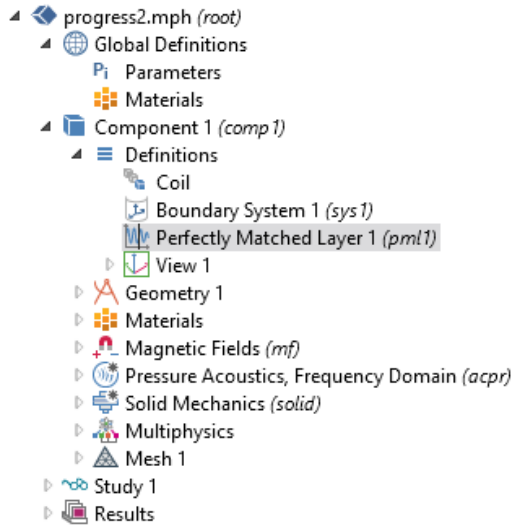
Berdasarkan kebutuhan tersebut, digunakan kayu MDF dengan tebal 12 mm. Satuan data yang didapatkan harus dikonversikan terlebih dahulu ke dalam bentuk satuan SI (sistem internasional). Data spesifikasi kayu yang dibutuhkan untuk mendapatkan kerangka *dodecahedron* yang mampu tahan terhadap getaran ditunjukkan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Spesifikasi Kayu *Body Loudspeaker Dodecahedron*

Besaran	Besaran	Data	Satuan SI
T	Tebal kayu	12 mm	0,021 m
ρ	Massa jenis	730 kg/m ³	730 kg/m ³
ρ_c	Massa jenis pada <i>core</i>	80 %	80 %
	Tinggi	5.75 m	5.75 m
MOR	<i>Modulus of Rupture</i>	20 N/mm ²	20.10 ⁶ N/m ²
E	<i>Modulus of Elasticity</i>	2200 N/mm ²	22.10 ⁸ N/m ²

3.2.1.3 Simulasi *Driver SB*Acoustics 5'' SB15NRX30-8

Simulasi ini dilakukan pada perangkat lunak *Comsol Multiphysics 5.2a*. Pembuatan model *driver* atau *speaker* ini dibuat melalui perangkat lunak *Solidworks*. Kemudian diimport ke perangkat lunak *Comsol Multiphysics 5.2a*. Setelah itu, dilakukan beberapa pengondisian beberapa properti simulasi dengan memasukkan parameter, geometri, *data sheet* kayu dan *driver speaker*, beberapa material, hukum-hukum fisika, dan sebagainya.



Gambar 3.1 Pengaturan properti simulasi pada *Comsol Multiphysics 5.2a*

Dalam perangkat lunak ini, hasil yang didapat merupakan nilai persebaran nilai tekanan bunyi dan nilai persebaran tingkat tekanan akustik pada *speaker*. Nilai persebaran tingkat tekanan bunyi menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$L_p = 10 \log \left(\frac{P_{rms}^2}{P_{ref}^2} \right) \text{ dB} \quad (3.1)$$

$$P_{rms}^2 = 0,5 |p|^2 \text{ dB} \quad (3.2)$$

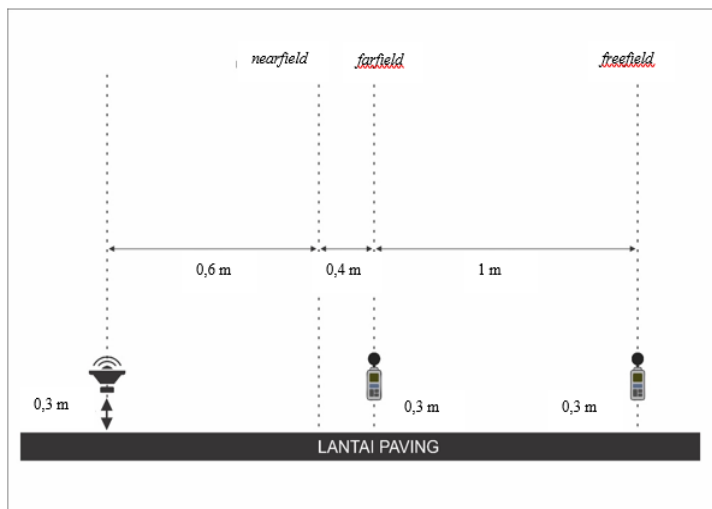
Dimana, L_p adalah nilai tingkat tekanan bunyi yang memiliki nilai sama dengan $P_{ref,SPL}$ sebesar $20\mu Pa$.

3.2.2 Eksperimen

Pengukuran keterarahan pada satu *speaker* ini bertujuan untuk melihat karakteristik keterarahan pada *speaker driver SB*

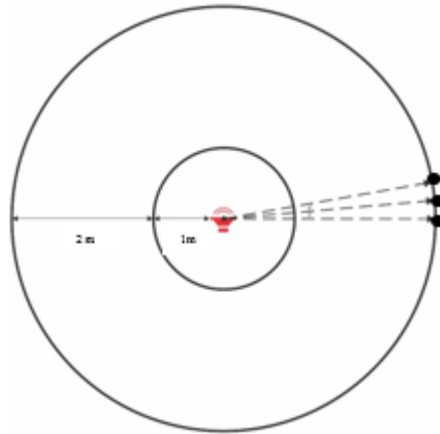
Acoustics 5" SB15NRX30-8. Pengukuran ini dilakukan di malam hari untuk menghindari beberapa kemungkinan suara pengganggu (*noise*) lainnya. Pengukuran dilakukan di luar ruangan (parkiran Teknik Fisika ITS) dengan prosedur sebagai berikut :

- 1) Alat yang digunakan dikalibrasi terlebih dahulu.
- 2) Luas area *nearfield* dicari dengan menggunakan hukum kuadrat terbalik, dan diketahui bahwa area *nearfield* berada pada jarak 50 cm.
- 3) Tinggi mikrofon disesuaikan dengan tinggi *speaker driver* SB Acoustics, yaitu kurang lebih 30 cm.
- 4) Pengukuran dilakukan pada area *far field* dan *free field* seperti pada gambar berikut :



Gambar 3. 3 Set up alat pengukuran karakteristik *driver*

- 5) Data pengukuran diambil setiap 5⁰ mulai dari sudut 0⁰ sampai dengan 360⁰ seperti pada gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Set up posisi mikrofon untuk keterarahan *driver*

3.3 Pengukuran Karakteristik *Loudspeaker Dodecahedron*

Pengukuran karakteristik ini dilakukan untuk melihat unjuk kerja sekaligus kelayakan *loudspeaker dodecahedron* yang telah dibuat. Uji karakteristik ini dilakukan dengan mengacu beberapa standarisasi internasional yang ada, diantaranya ISO 3745 dan ISO 3382-1. Pengujian ini dilakukan untuk melihat karakteristik *loudspeaker dodecahedron*, dengan cara pengamatan hasil uji frekuensi respon, pola keterarahan, nilai maksimal tingkat tekanan bunyi dengan *white noise*, dan sebagainya.

3.3.1 Pengukuran di *Anechoic Chamber*

Pengukuran unjuk kerja *loudspeaker dodecahedron* di *anechoic chamber* dilakukan sesuai dengan ketentuan dari standarisasi ISO 3745. Pengukuran ini dilakukan untuk melihat bagaimana unjuk kerja *loudspeaker dodecahedron* sebagai sumber bunyi *omnidirectional*. Beberapa karakteristik sumber bunyi *omnidirectional* yang diukur adalah nilai respon frekuensi, tingkat tekanan bunyi, dan energi bunyi dari suatu sumber suara. Ruang yang digunakan penelitian tugas akhir ini adalah ruang *anechoic chamber* "Adhiwijogo" ITB.

Langkah atau prosedur pengukuran unjuk kerja sesuai dengan ISO 3745 :

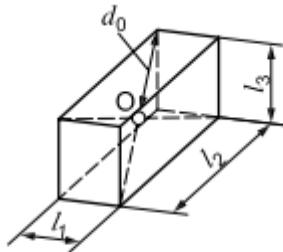
- 1) Semua alat ukur yang digunakan, dikalibrasi terlebih dahulu.
- 2) Dilakukan pengukuran beberapa nilai besaran seperti suhu, kelembapan, dan tekanan statik pada saat pengukuran. Ini digunakan untuk menghitung beberapa nilai koreksi pengukuran.

Kelembapan udara = 68.5 %

Suhu udara = 25°C

Tekanan statik = 80.2 kPa

- 3) Dilakukan pengukuran dimensi sumber suara untuk dapat menentukan nilai karakteristik dimensi sumber suara (d_0).



$$\text{Anechoic room, } d_0 = \sqrt{(l_1/2)^2 + (l_2/2)^2 + (l_3/2)^2}$$

- 4) Nilai r ditentukan dengan melihat 3 peraturan pada standarisasi ISO 3745 sebagai berikut :

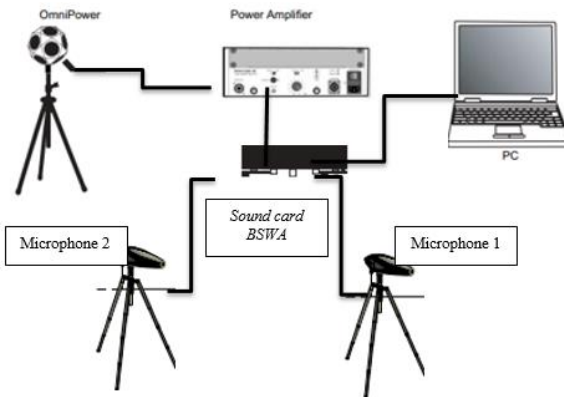
- Nilai $r \geq 2d_0$ hasil yang didapat $2d_0$ adalah 0.8 m
- Nilai $r \geq \lambda/4$ hasil yang didapat $\lambda/4$ adalah 1.0625 m
- Nilai $r \geq 1$ m

Maka ditentukan bahwa nilai $r = 1.1$ m.

- 5) Pengukuran ini menggunakan pita frekuensi 1/3 oktaf, dan juga sumber *white noise*.
- 6) Skema pengukuran untuk mengetahui nilai tingkat tekanan bunyi menggunakan 40 titik pengukuran. Posisi-posisi mikrofon tersebut berbentuk bola mengelilingi sumber suara *dodecahedron*. Penentuan 40 titik pengukuran tersebut

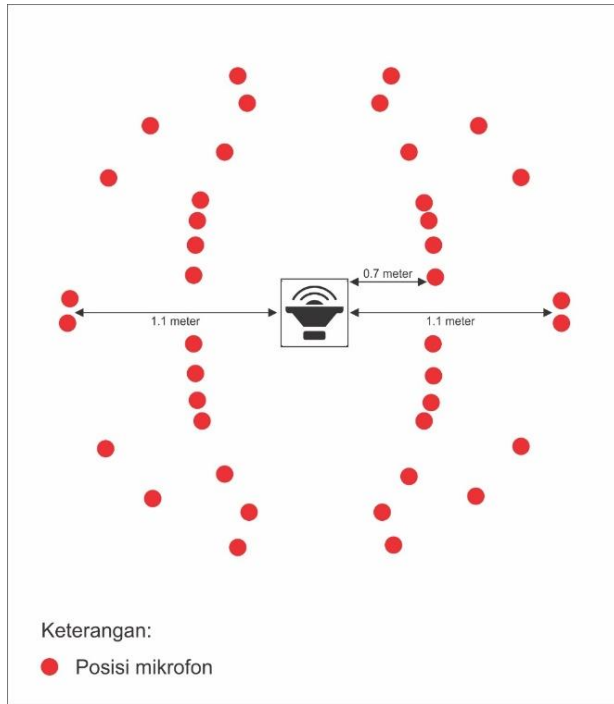
menggunakan titik-titik koordinat yang telah ditentukan oleh ISO 3745.

- 7) Untuk skema pengukuran kedua, yaitu melihat pola keterarahan *loudspeaker dodecahedron*. Skema kedua ini menggunakan 64 titik pengukuran. Jarak antar sudut yang digunakan saat pengukuran adalah 45° .
- 8) Semua posisi mikrofon pada pengukuran karakteristik *loudspeaker dodecahedron* ditentukan dengan koordinat-koordinat yang telah disediakan ISO 3745 (dapat dilihat pada lampiran)
- 9) Kedua skema pengukuran menggunakan sinyal kebisingan putih yang kemudian diambil datanya (*record data*) selama 30 detik.
- 10) Pengaturan (*set up*) alat untuk pengukuran. Pengaturan ini digunakan saat semua pengukuran karakteristik di *anechoic chamber*, baik untuk pengukuran respon frekuensi maupun pola keterarahan.



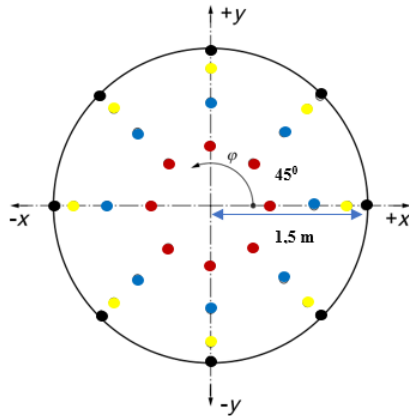
Gambar 3.5 *Set up* alat pengukuran karakteristik ISO 3745 di ruang *anechoic*

- 11) Pengaturan (*set up*) posisi mikrofon pengukuran respon frekuensi sesuai ISO 3745. Gambar 3.6 merupakan gambar posisi mikrofon yang dilihat tampak dari samping.



Gambar 3.6 *Set up* posisi mikrofon untuk pengukuran respon frekuensi

- 11) Pengaturan (*set up*) posisi mikrofon pengukuran pola keterarahan sesuai ISO 3745. Gambar 3.7 menunjukkan posisi mikrofon dari tampak atas. Penentuan jarak dan sudut pengukuran karakteristik ada pada lampiran ISO 3745 mengenai pengukuran karakteristik sumber suara pada ruang *anechoic chamber*.



Keterangan :

- Posisi mikrofon pertama (60 cm dari titik tengah)
- Posisi mikrofon kedua (45 cm dari titik tengah)
- Posisi mikrofon kedua (30 cm dari titik tengah)
- Posisi mikrofon kedua (15 cm dari titik tengah)

Gambar 3.7 Set up posisi mikrofon untuk pengukuran pola keterarahan

3.3.2 Pengukuran di Dalam Ruangan

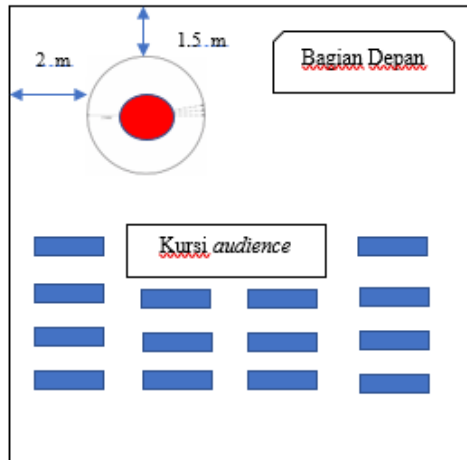
Pengukuran unjuk kerja kedua ini dilakukan di dalam ruangan yang sesuai dengan ketentuan ISO 3382-1. Tujuan pengukuran di dalam ruang ini adalah melihat unjuk kerja dan kelayakan *loudspeaker dodecahedron* untuk pengukuran parameter akustik ruang. Berdasarkan ISO 3382-1, sumber bunyi yang digunakan dalam pengukuran parameter akustik dalam ruang adalah sumber bunyi *omnidirectional*. Hanya *loudspeaker dodecahedron* yang memproduksi sumber *omnidirectional* dengan memenuhi batas deviasi maksimum pada standar ISO, yang bisa digunakan untuk pengukuran akustik ruang. Berikut adalah batas deviasi maksimum tingkat tekanan bunyi pada tiap frekuensi :

Tabel 3.5 Batas deviasi TTB pada tiap frekuensi menurut ISO 3382-1

Frekuensi, (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Deviasi, (dB)	±1	±1	±1	±3	±5	±6

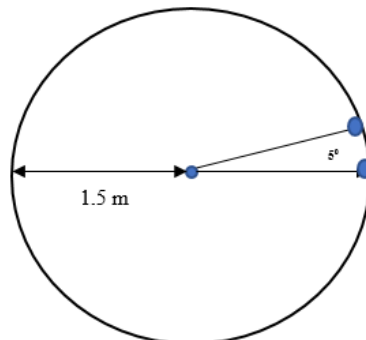
Tabel 3.5 menunjukkan daftar deviasi maksimum yang dapat diterima dari *speaker omnidirectional*. Berdasarkan ISO 3382-1, nilai tersebut didapatkan melalui selisih antara nilai tingkat tekanan bunyi setiap frekuensi dengan nilai rata-ratanya. Sebenarnya pengukuran yang dianjurkan adalah metode *Stepwise Rotation*, yaitu pengukuran menggunakan *turntable* (mikrofon yang mampu berputar secara otomatis). Namun dikarenakan keterbatasan alat yang ada, pengukuran menggunakan opsi yang kedua sebagai pengganti metode *Stepwise Rotation*. Opsi kedua adalah pengukuran dilakukan dengan cara pengambilan nilai TTB dilakukan tiap 5°. Kemudian tetap seperti prosedur ISO 3382-1, kemudian dicari nilai selisih terhadap rata-rata sepanjang busur 360° yang diambil secara berputar di area bebas (*free field*) *speaker* [19]. Selain menghitung nilai deviasi keterarahannya untuk dibandingkan dengan standar, juga dilakukan pengukuran karakteristik keterarahan *Vibrastics dodecahedron*. Ini bertujuan untuk melihat unjuk kerja *Vibrastics dodecahedron* sebagai sumber *omnidirectional* di dalam ruangan. Prosedur pengukuran karakteristik keterarahan *dodecahedron* sesuai dengan ISO 3382-1 sebagai berikut :

- 1) Alat yang digunakan dikalibrasi terlebih dahulu.
- 2) Ruang yang dapat digunakan mempunyai volume minimal 500 m³.
- 3) Tinggi mikrofon menyesuaikan dengan tinggi telinga manusia, yaitu kurang lebih 120 cm (1,2 m).
- 4) Pengukuran dilakukan dengan merekam data selama 30 detik dengan sinyal kebisingan putih.
- 5) Pengukuran dilakukan dengan posisi yang telah ditentukan oleh ISO 3382-1 seperti pada gambar berikut :



Gambar 3.8 *Set up* alat pengukuran karakteristik berdasarkan ISO 3382-1

- 6) Data pengukuran diambil sebanyak 72 titik, yaitu setiap 5° mulai dari sudut 0° sampai dengan 360° seperti pada gambar 3.10. Pengambilan data dilakukan dengan merekam data 30 detik setiap titiknya.

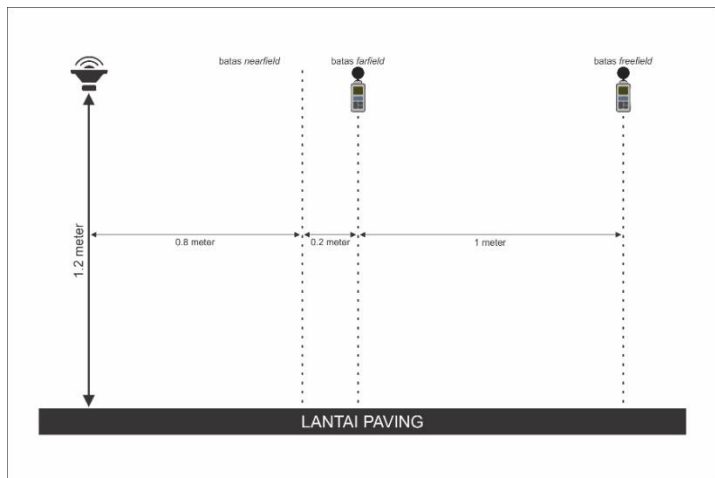


Gambar 3.9 *Set up* posisi mikrofon untuk pengukuran pola keterarahan

3.3.3 Pengukuran Karakteristik Di Luar Ruangan

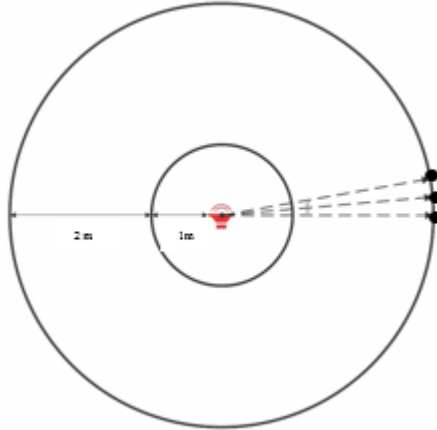
Pengukuran karakteristik ini dilakukan sebagai uji *loudspeaker dodecahedron* sebagai sumber suara *omnidirectional* yang bisa digunakan untuk pengukuran di luar ruangan. Pengukuran keterarahan pada *loudspeaker dodecahedron* ini bertujuan untuk melihat karakteristik keterarahan pada *loudspeaker dodecahedron* di luar ruangan. Pengukuran ini dilakukan di luar ruangan (parkiran Teknik Fisika ITS) dengan prosedur sebagai berikut:

- 1) Alat yang digunakan dikalibrasi terlebih dahulu.
- 2) Luas area *nearfield* dicari dengan menggunakan hukum kuadrat terbalik, dan diketahui bahwa area *nearfield* berada pada jarak 80 cm.
- 3) Pengukuran ini menggunakan sinyal kebisingan putih (*white noise*).
- 4) Tinggi mikrofon menyesuaikan dengan tinggi telinga manusia yaitu 120 cm atau 1,2 meter.
- 5) Pengukuran dilakukan pada area *far field* dan *free field* seperti pada gambar berikut :



Gambar 3.10 Set up alat pengukuran di luar ruangan

- 6) Data pengukuran diambil setiap 5^0 mulai dari sudut 0^0 sampai dengan 360^0 seperti pada gambar 3.11.



Gambar 3.11 *Set up* posisi mikrofon untuk pola keterarahan

3.4 Perbandingan Unjuk Kerja Loudspeaker Dodecahedron

Langkah terakhir dari penelitian ini adalah membandingkan unjuk kerja *loudspeaker dodecahedron* dengan beberapa produk yang telah ada di pasaran. Tujuan perbandingan ini adalah membandingkan sekaligus melihat daya saing unjuk kerja *loudspeaker loudspeaker dodecahedron* hasil rancang bangun dengan hasil pabrikan. Unjuk kerja *loudspeaker dodecahedron* hasil rancang bangun akan dibandingkan dengan produk dari *B&K*, *Norsonic* dan *BSWA*. Karakteristik yang akan dibandingkan adalah hasil respon frekuensi dan juga pola keterarahan *loudspeaker dodecahedron*.

BAB IV

HASIL SIMULASI DAN PENGUKURAN

4.1 Hasil Rancang Bangun *Loudspeaker Dodecahedron*

4.1.1 Purwarupa *Vibrastis Dodecahedron*

Hasil purwarupa dari rancang bangun *loudspeaker dodecahedron* ini bernama *Vibrastics dodecahedron*. *Vibrastics dodecahedron* ini menggunakan 12 *driver speaker* merek dagang SB Acoustics seri SB15NRX30-8 berukuran 5 inch. *Speaker* SB Acoustics seri SB15NRX30-8 ini merupakan jenis *loudspeaker full range* yang mempunyai *flat response* pada frekuensi dibawah 100Hz. Sedangkan untuk *body loudspeaker* tersebut menggunakan kayu jenis MDF yang memiliki ketebalan 12 mm. Semua alat dan bahan yang digunakan mudah ditemukan di pasaran dalam negeri.



Gambar 4. 1 Purwarupa *Vibrastics dodecahedron* dengan 12 buah *driver speaker* SB Acoustics.

Jika dibandingkan dengan beberapa *loudspeaker dodecahedron* lainnya, Vibrastics *dodecahedron* ini memiliki dimensi ukurang yang paling besar. Selain menggunakan driver yang berukuran lebih besar (5 inch), *body* untuk *loudspeaker dodecahedron* sendiri memiliki ukuran yang lebih besar dibandingkan dengan kerangka *dodecahedron* lainnya. Kedua faktor ini yang membuat purwarupa Vibrastics *dodecahedron* mempunyai berat kurang lebih 18 kg.

Berdasarkan beberapa data dan hasil pengukuran yang diperoleh, spesifikasi *loudspeaker dodecahedron* ditunjukkan pada tabel 4.1 :

Tabel 4. 1 Data Spesifikasi Vibrastics *Dodecahedron*

Standar	ISO 3382, dan ISO 3382-1
Nilai Impedansi	6 Ohm
Rentang Frekuensi	125 Hz sampai dengan 6300 Hz
Tingkat Tekanan Bunyi	112 dB <i>White Noise</i>
Konektor	Stringer Pro Series 12 (3m)
Unit <i>Loudspeaker</i>	SBAcoustics Seri SB15NRXC30, 5 Inch, 8 Ohm
Diameter	55 cm (termasuk pegangannya)
Berat	\pm 18 kg
Dimensi <i>Casing</i>	15 cm x 15 cm x 15 cm

Selain itu, *loudspeaker dodecahedron* ini juga dilengkapi dengan kotak *box* untuk tempat penyimpanan *loudspeaker dodecahedron*. Kotak *box loudspeaker dodecahedron* ini memiliki dimensi panjang 70 cm, lebar 70 cm, dan tinggi 70 cm. Kotak ini dilengkapi dengan satu buah bukaan di bagian

atas, serta roda di bagian bawah. Roda ini berfungsi untuk memudahkan proses mobilisasi apabila *loudspeaker dodecahedron* digunakan untuk berbagai keperluan lainnya.

Kotak *box* ini dibuat dengan menggunakan 3 bahan utama. Lapisan paling luar dibuat dari kayu *plywood* 9mm dengan dilapisi menggunakan aluminium. Lapisan kedua adalah *sterefoam* dengan tebal kurang lebih 5cm. Dan untuk lapisan paling dalam menggunakan busa telur yang memiliki ketebalan 3 cm. Adanya 3 lapisan ini bertujuan untuk menjaga keamanan (*safety*) ketika *loudspeaker* dibawa untuk pengukuran-pengukuran lainnya. Berikut adalah gambar purwarupa yang menunjukkan bentuk kotak *box loudspeaker dodecahedron*.



Gambar 4. 2 Purwarupa kotak *box* penyimpanan Vibrastics *dodecahedron*

4.1.2 Ketercapaian Spesifikasi dengan Desain Target

Data spesifikasi *loudspeaker dodecahedron* yang dibuat (*Vibrastics dodecahedron*) dibandingkan dengan data pada desain spesifikasi (*target*) yang ingin dicapai. Ini bertujuan untuk mengevaluasi ketercapaian spesifikasi *Vibrastics* sebelum dan sesudah dibuat. Ketercapaian spesifikasi ini dilihat dari tiga karakteristik yaitu nilai respon frekuensi, pola keterarahan, dan juga daya atau kuat suara.

Pada karakteristik respon frekuensi, desain target yang diinginkan adalah *loudspeaker dodecahedron* menghasilkan nilai *flat response* pada frekuensi antara 80 Hz sampai dengan 4000 Hz. Spesifikasi yang didapatkan dari Vibrastics *dodecahedron* adalah nilai *flat response* berada pada rentang frekuensi 125 Hz sampai dengan 6300 Hz. Ketercapaian desain target tidak terpenuhi pada nilai frekuensi rendah, sedangkan untuk frekuensi tinggi melebihi dari desain target yang diinginkan. Pada frekuensi rendah, nilai *flat response* yang dihasilkan belum pada rentang 80 Hz. Dan untuk frekuensi tinggi, nilai *flat response* hingga 6300 Hz dan melebihi desain target yaitu frekuensi 4000 Hz.

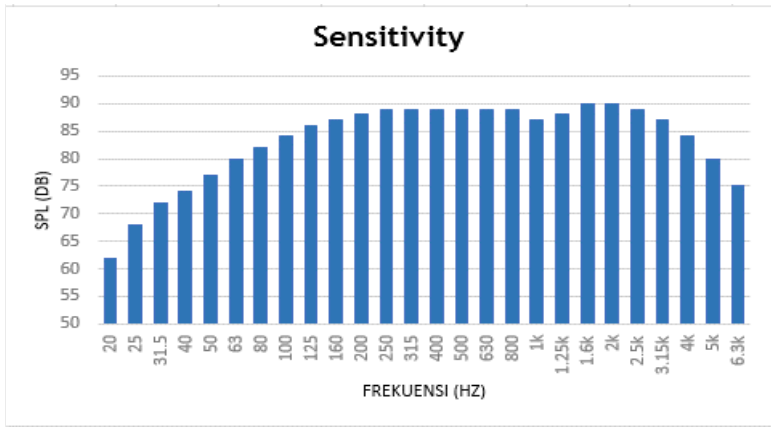
Nilai *flat response* yang dihasilkan pada karakteristik respon frekuensi akan berpengaruh terhadap desain target kedua yaitu pola keterarahan. Pola keterarahan yang diinginkan adalah pola keterarahan *omnidirectional* yang mencapai 4000 Hz. Vibrastics *dodecahedron* menghasilkan pola *omnidirectional* yang sangat baik pada frekuensi rendah dan frekuensi tinggi. Pola keterarahan *omnidirectional* yang dihasilkan mencapai pada frekuensi di atas 4000 Hz.

Desain target terakhir yang diinginkan adalah daya atau kuat suara. Daya atau kuat suara yang dihendaki adalah antara 90-100 dB. Vibrastics *dodecahedron* menghasilkan daya atau kuat suara kurang lebih 100 dB pada pengukuran di dalam dan luar ruangan. Namun saat pengukuran di *anechoic chamber* menghasilkan daya suara sekitar kurang lebih 85 dB.

4.2 Hasil Pengukuran *Speaker Driver Tunggal*

4.2.1 Simulasi

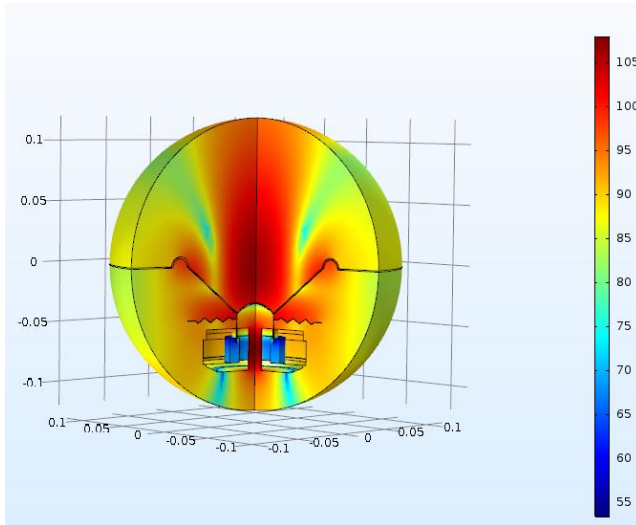
Simulasi yang dilakukan adalah simulasi *driver* satu *speaker 5'' SB15NRX30-8*. Tujuan simulasi ini adalah untuk validasi *data sheet speaker SB Acoustics* seri *SB15NRX30-8*. Berikut adalah beberapa hasil simulasi *driver* yang dilakukan dengan perangkat lunak *Comsol Multiphysics 5.2a* :



Gambar 4. 3 Hasil sensitivitas *driver speaker* SB Acoustics seri SB15NRX30-8

Gambar 4.3 menunjukkan nilai tingkat tekanan bunyi (*sound pressure level*) dalam satuan desibel terhadap frekuensi dalam satuan hertz. Diagram ini dapat menunjukkan rentang frekuensi yang memiliki *flat response*. Hal ini penting karena respon frekuensi yang datar berpengaruh terhadap rancang bangun *loudspeaker dodecahedron* yang dibuat. Berdasarkan *data sheet*, *driver speaker* ini memiliki nilai *flat response* mulai frekuensi dibawah 100 Hz kira-kira 80 Hz.

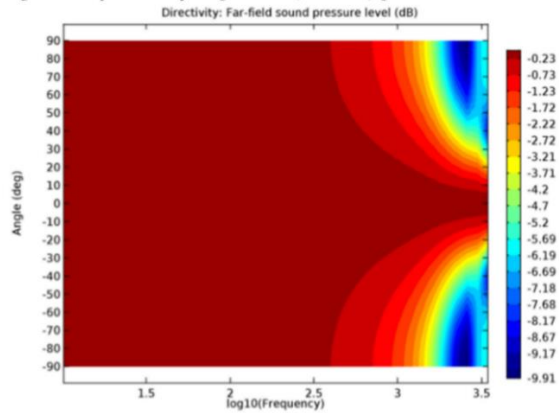
Dan hasil dari proses simulasi menunjukkan bahwa *speaker driver* dengan merek dagang SB Acoustics dengan seri SB15NRX30 – 8 ini memiliki nilai *flat response* pada 80 Hz. Alasan pemilihan *driver speaker* ini adalah karena rancang bangun *loudspeaker dodecahedron* yang dikehendaki adalah memiliki nilai *flat response* pada frekuensi di bawah 100 Hz.



Gambar 4.4 Hasil nilai tingkat tekanan bunyi *driver speaker* SB Acoustics seri SB15NRX30-8

Bentuk simulasi menyerupai bola, karena pemilihan batas yang dipilih adalah bentuk bola. Gambar 4.4 merupakan hasil simulasi yang menggambarkan persebaran nilai tingkat tekanan bunyi (*sound pressure level*) dalam satuan desibel. Berdasarkan hasil simulasi yang didapat, nilai tingkat tekanan bunyi tertinggi berada di *speaker* bagian depan ke atas. Nilai tingkat tekanan bunyi yang dihasilkan mampu mencapai 90-100 dB. Sedangkan untuk nilai tingkat tekanan bunyi di sekitarnya mencapai antara nilai 80-90 dB.

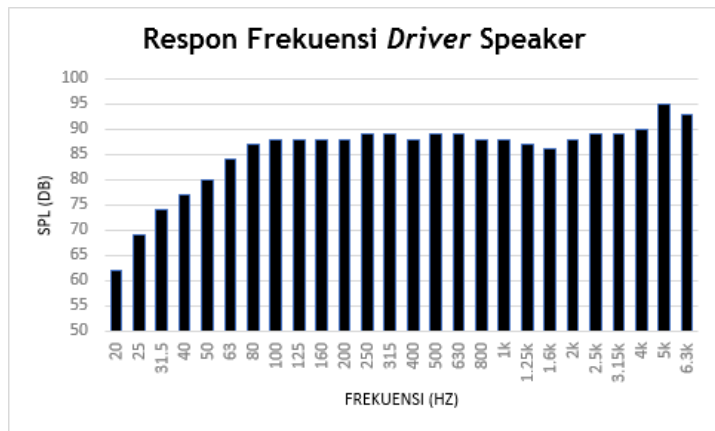
Dan selanjutnya adalah hasil keterarahan (*directivity*) dari satu *speaker*. Gambar 4.5 menggambarkan persebaran keterarahan *speaker* SB Acoustics yang digunakan untuk rancang bangun *loudspeaker dodecahedron*. Gambar pola keterarahan ini terlihat terbelah menjadi dua, karena pada proses simulasi desain yang digunakan adalah 2D asimetri. Gambar hasil pola keterarahan *driver* apabila digabungkan akan menyerupai setengah lingkaran atau *omnidirectional*.



Gambar 4.5 Hasil pola keterarahan *driver speaker* SB Acoustics seri SB15NRX30-8

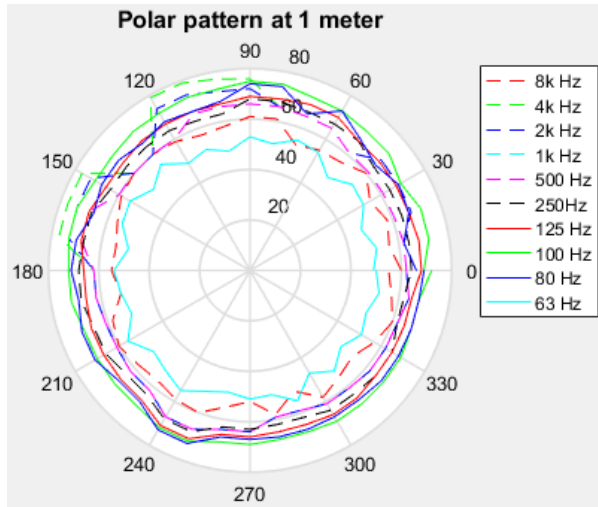
4.2.2 Eksperimen

Pengukuran karakteristik ini bertujuan untuk menambah hasil validasi *data sheet* dan simulasi *driver*. Grafik respon frekuensi hasil pengukuran karakteristik ini ditunjukkan pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Hasil respon frekuensi *driver speaker* SB Acoustics seri SB15NRX30-8

Gambar 4.6 menjelaskan bahwa *driver* satu *speaker* memiliki respon frekuensi *flat response* antara frekuensi 80 Hz sampai dengan 4000 Hz. Sedangkan untuk pola keterarahan hasil pengukuran karakteristik *driver* satu *speaker* ditunjukkan oleh gambar 4.7.



Gambar 4.7 Hasil pola keterarahan *driver speaker* SB Acoustics pada 1 meter

Gambar 4.7 menunjukkan pola keterarahan *driver* satu *speaker* SB Acoustics berukuran 5 inch. Pada frekuensi 80 Hz sampai dengan 4000 Hz, pola keterarahan *speaker* ini mempunyai bentuk mendekati *omnidirectional*. Hal ini sesuai dengan hasil pengukuran karakteristik pada respon frekuensi. Nilai *flat response* pada rentang frekuensi antara 80 sampai dengan 4000 Hz membuat pola keterarahan mendekati *omnidirectional*. Tujuan utama pengukuran ini adalah untuk validasi *data sheet* dari *speaker* SB Acoustics seri SB15NRX30-8.

4.3 Hasil Pengukuran *Loudspeaker Dodecahedron*

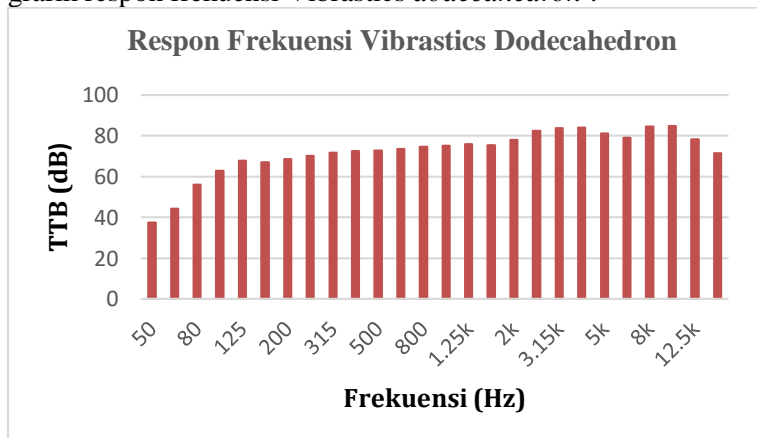
Uji karakteristik ini dilakukan dengan mengacu beberapa standarisasi internasional yang ada, diantaranya ISO 3745 dan ISO 3382-1. Pengujian ini dilakukan untuk melihat karakteristik *loudspeaker dodecahedron* sebagai sumber suara *omnidirectional*, dengan cara pengamatan hasil uji frekuensi respon, pola keterarahan, nilai maksimal tingkat tekanan bunyi dengan *white noise*, dan sebagainya.

4.3.1 Pengukuran di *Anechoic Chamber*

Pengukuran unjuk kerja *loudspeaker dodecahedron* di *anechoic chamber* dilakukan sesuai dengan ketentuan dari standarisasi ISO 3745. Tujuan utama pengukuran yang dilakukan ruang *anechoic* ITB ini adalah melihat unjuk kerja atau karakteristik sumber suara, dalam kasus ini adalah sumber suara *omnidirectional*. Hasil pengukuran di ruang *anechoic* adalah :

A. Respon Frekuensi

Parameter pertama yang dilihat adalah respon frekuensi. Setelah didapatkan data pengukuran, data tersebut diplot dengan menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel*. Berikut adalah grafik respon frekuensi *Vibrastics dodecahedron* :

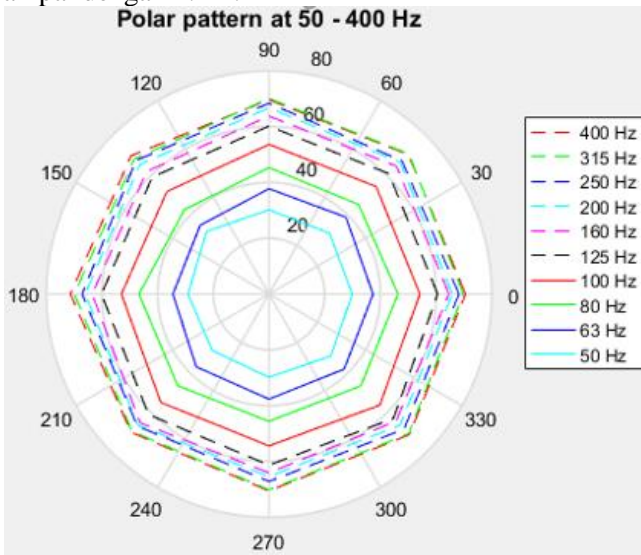


Gambar 4.8 Grafik respon frekuensi *Vibrastics dodecahedron*

Sebuah *loudspeaker dodecahedron* yang baik seharusnya memiliki *flat response* pada rentang frekuensi yang cukup panjang. Pada umumnya, nilai *flat response* ini dilihat mulai frekuensi 100 Hz sampai dengan 4000 Hz atau bahkan lebih. Jika dilihat dari gambar 4.8, *Vibrastics dodecahedron* memiliki nilai *flat response* yang cukup baik antara frekuensi 125 Hz sampai dengan 6300 Hz. Meskipun pada rentang frekuensi antara 2500 sampai dengan 5000 Hz mengalami kenaikan tingkat tekanan bunyi, namun masih dapat dikatakan *flat response* yang baik.

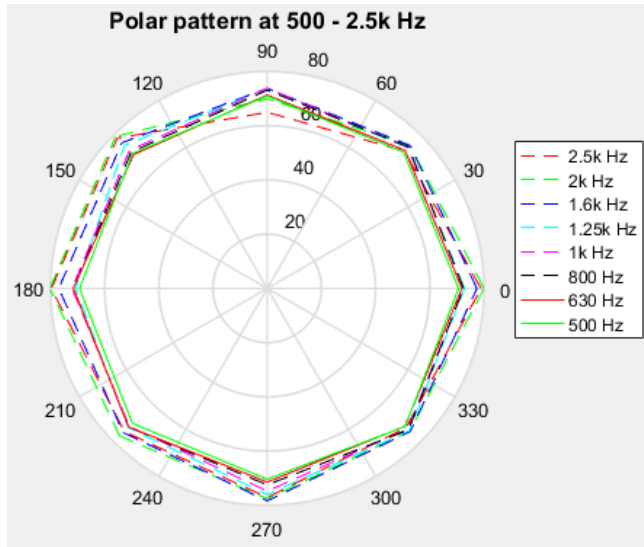
B. Pola Keterarahan

Keterarahan atau biasa disebut dengan istilah *directivity* juga merupakan parameter penting untuk dilihat. Sumber *omnidirectional* ini ditandai dengan *polar pattern* berbentuk menyerupai lingkaran. Semakin menyerupai lingkaran, maka semakin baik pula keterarahan *loudspeaker* tersebut. Hasil *polar pattern* dari *Vibrastics dodecahedron* ditunjukkan oleh gambar 4.9 sampai dengan 4.11 :



Gambar 4. 9 Distribusi polar pada frekuensi 50 Hz - 400 Hz

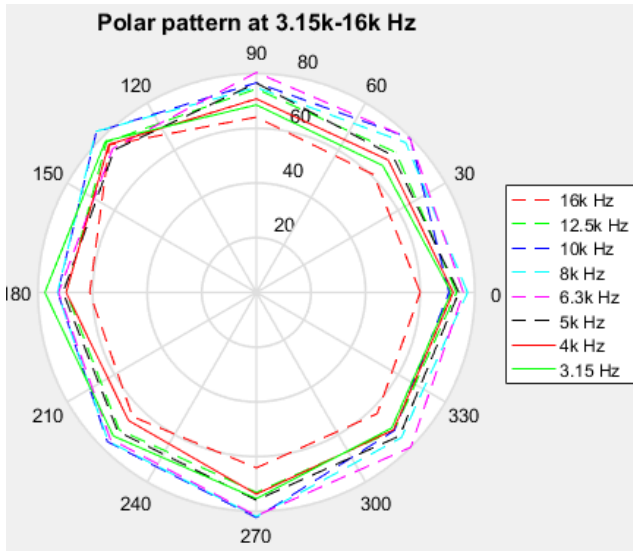
Pada frekuensi rendah, yaitu antara 50 Hz sampai dengan 400 Hz, Vibrastics *dodecahedron* memiliki pola keterarahan yang sangat baik. Semua garis pola keterarahan pada frekuensi rendah hampir menyerupai pola keterarahan sumber *omnidirectional*.



Gambar 4. 10 Distribusi polar pada frekuensi 500 Hz – 2.5k Hz

Sedangkan untuk frekuensi menengah, yaitu antara 500 Hz sampai dengan 2500 Hz, pola keterarahan Vibrastics *Dodecahedron* juga masih baik. Garis-garis pola keterarahan masih membentuk pola *omnidirectional* atau menyebar ke segala arah.

Dan untuk pola keterarahan pada frekuensi tinggi, antara 3150 Hz sampai dengan 16000 Hz, sudah menunjukkan bentuk yang hamper tidak seragam antara satu frekuensi dengan yang lainnya. Pola keterarahan berbentuk agak berkelok mulai pada frekuensi 6300 Hz sampai dengan 16000 Hz. Untuk frekuensi antara 3150 Hz sampai dengan 5000 Hz, pola keterarahan *omnidirectional* Vibrastics *dodecahedron* masih baik.



Gambar 4.11 Distribusi polar pada frekuensi 3.15k Hz - 16k Hz

Bentuk ketiga *polar pattern* di atas tidak menyerupai lingkaran sempurna dikarenakan pengambilan data dilakukan setiap pada selisih sudut 45 derajat (sesuai ISO 3745). Hal ini menandakan bahwa Vibrastics *dodecahedron* dapat dijadikan sebagai sumber *omnidirectional*, serta dapat digunakan untuk beberapa pengukuran lainnya yang membutuhkan sumber *omnidirectional*.

C. Daya atau Kuat Suara

Parameter lain yang dilihat pada unjuk kerja Vibrastics *dodecahedron* adalah daya atau kuat suara yang dihasilkan. Karena terdiri dari 12 *driver speaker*, diharapkan *loudspeaker dodecahedron* mempunyai daya atau kuat suara yang tinggi, yaitu mencapai 100 dB atau bahkan lebih.

Untuk melihat nilai kuat suara maksimal pada keseluruhan frekuensi, dapat dilihat pada data yang digunakan untuk melihat

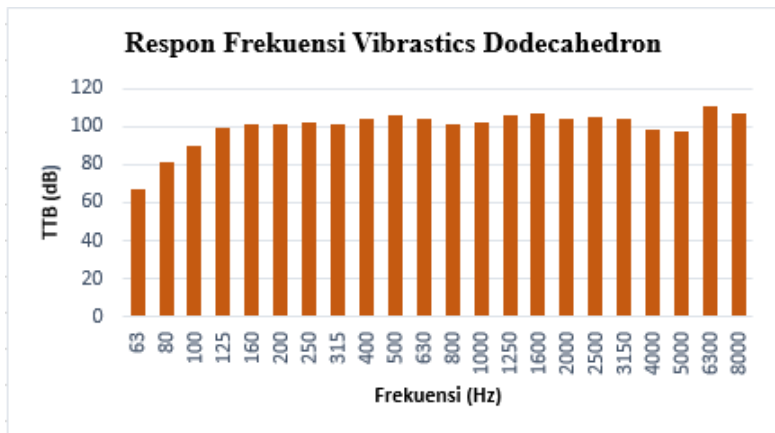
respon frekuensi sebelumnya. Karena untuk melihat nilai kuat suara ini juga menggunakan kebisingan *white noise*. Setelah dilakukan dua pengukuran di tempat yang berbeda, Vibrastics memiliki dua nilai daya atau kuat suara. Jika dilihat dari data pengukuran di *anechoic room* dengan nilai bising latar kurang lebih 17 dB, Vibrastics *dodecahedron* memiliki daya atau kuat suara sebesar 84,8653 dB.

4.3.2 Pengukuran di Dalam Ruangan

Pengukuran Vibrastics *dodecahedron* di dalam ruangan ini berdasarkan dengan standar ISO 3382-1. Standarisasi ISO 3382-1 adalah suatu standarisasi yang digunakan untuk melakukan pengukuran parameter akustik ruang. Berikut adalah hasil pengukuran di dalam ruangan :

A. Respon Frekuensi

Sama halnya dengan pengukuran sebelumnya di *anechoic chamber*, pengukuran di dalam ruangan juga memperhatikan parameter respon frekuensi. Nilai *flat response* hasil pengukuran di dalam ruangan berdasarkan ISO 3382-1 adalah sebagai berikut:



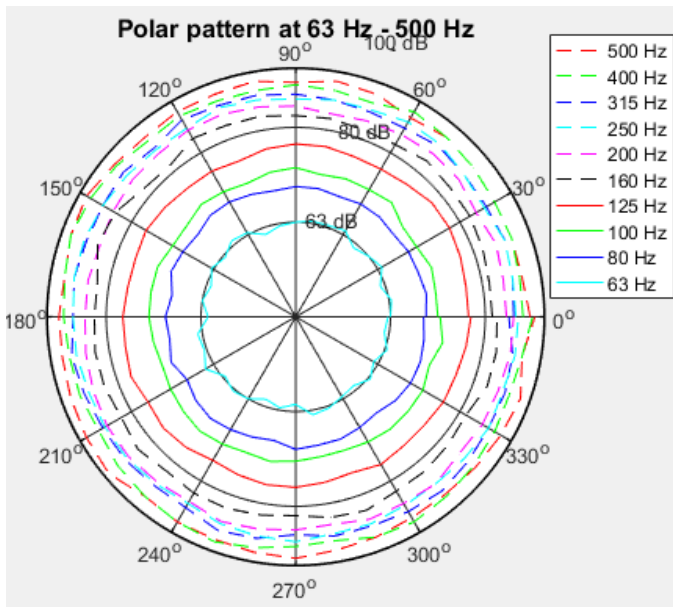
Gambar 4.12 Grafik respon frekuensi Vibrastics *dodecahedron*

Pada hasil pengukuran di dalam ruangan berdasarkan ISO 3382-1, Vibrastics *dodecahedron* memiliki *flat response* yang

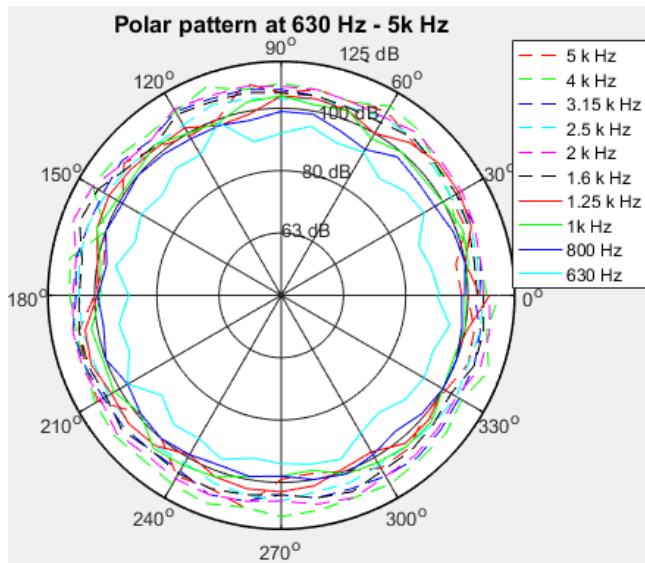
cukup baik. Respon frekuensi menunjukkan nilai *flat response* mulai pada frekuensi 125 Hz sampai dengan 5000 Hz.

B. Pola Keterarahan

Pola keterarahan yang dihasilkan Vibrastics *dodecahedron* pada pengukuran karakteristik di dalam ruangan (standarisasi ISO 3382-1) pada frekuensi rendah sangat baik. Hasil pola keterarahan Vibrastics *dodecahedron* pada pengukuran karakteristik di dalam ruangan ditunjukkan pada gambar 4.13 dan 4.14. Tingkat tekanan bunyi Vibrastics *dodecahedron* pada frekuensi rendah, yaitu antara 63 Hz sampai dengan 500 Hz, menyebar ke segala arah dengan baik, sehingga membentuk pola keterarahan *omnidirectional*.



Gambar 4. 13 Distribusi polar pada frekuensi 63 Hz - 500 Hz



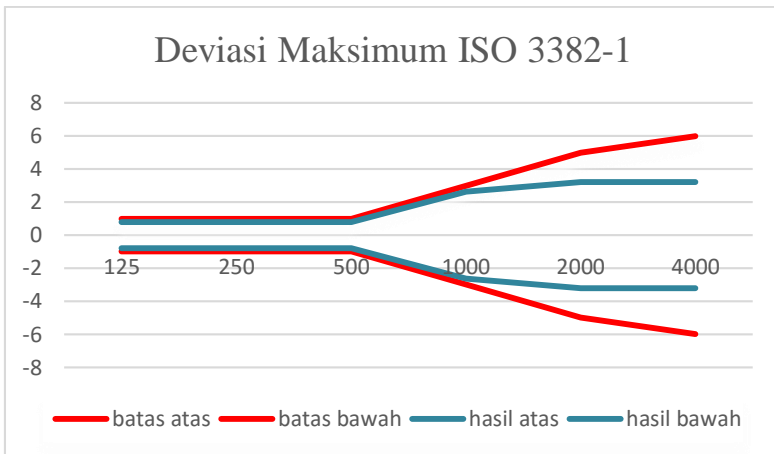
Gambar 4. 14 Distribusi polar pada frekuensi 630 Hz- 5000 Hz

Pada frekuensi antara 630 Hz sampai dengan 5000 Hz, pola keterarahan Vibrastics *dodecahedron* masih berbentuk *omnidirectional* yang baik. Hal ini ditunjukkan pada gambar 4.14. Saat dilakukan uji karakteristik keterarahan di dalam ruangan, nilai tingkat tekanan bunyi yang dihasilkan oleh Vibrastics *dodecahedron* kurang lebih mencapai antara 109-110 dB *white noise*.

Berdasarkan persyaratan yang terdapat dalam ISO 3382-1 tersebut, sumber suara yang digunakan untuk melakukan pengukuran akustik ruang harus menggunakan sumber *loudspeaker omnidirectional*. Selain itu, sumber *omnidirectional* tersebut harus memiliki nilai batas deviasi maksimal sesuai dengan tabel peraturan ISO 3382-1. Oleh sebab itulah, Vibrastics *dodecahedron* juga perlu diuji karakteristik berdasarkan ISO 3382-1 karena Vibrastics *dodecahedron* ini nantinya juga digunakan untuk beberapa pengukuran, dan salah satunya adalah pengukuran parameter akustik ruang.

Jika dilihat dari grafik batas deviasi maksimum pada gambar 4.15, unjuk kerja Vibrastics *dodecahedron* sudah memenuhi standarisasi ISO 3382-1 untuk digunakan sumber *omnidirectional* pengukuran parameter akustik ruang. Deviasi maksimum pada pengukuran karakteristik ini dihitung dengan menggunakan persamaan standar deviasi maksimum secara statistika. Meskipun pada frekuensi rendah, yaitu 125 Hz sampai dengan 500 Hz, nilainya mendekati nilai batasnya namun masih berada di antara batas maksimum ISO 3382-1.

Gambar 4.15 merepresentasikan hasil pengolahan data pengukuran karakteristik sumber *omnidirectional* berdasarkan ISO 3382-1 :



Gambar 4. 15 Batas deviasi maksimum berdasarkan ISO 3382-1

C. Daya atau Kuat Suara

Untuk parameter daya atau kuat suara yang dihasilkan oleh Vibrastics *dodecahedron* pada pengukuran di dalam ruangan adalah mencapai nilai maksimum sekitar 111 dB. Nilai maksimum tersebut diperoleh pada frekuensi 6300 Hz. Untuk frekuensi rendah, daya atau kuat suara yang dihasilkan belum sesuai dengan desain target. Namun pada frekuensi tinggi menghasilkan daya kuat suara yang mencapai 100 dB. Jika

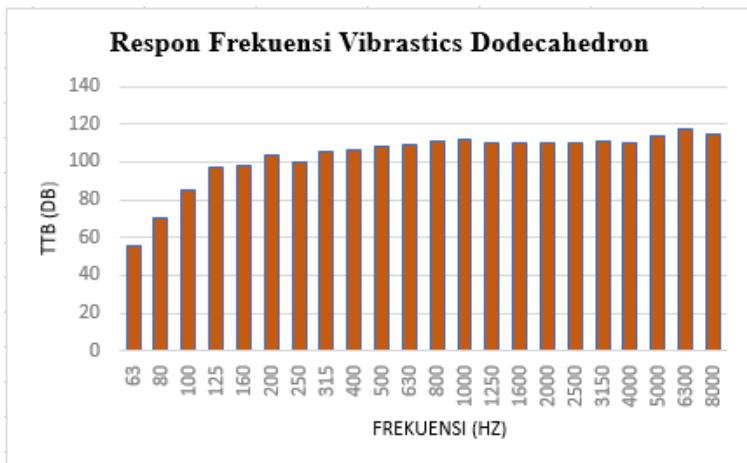
dievaluasi antara desain target dan pengukuran di dalam ruangan, maka nilai daya atau kuat suara terpenuhi.

4.3.3 Pengukuran di Luar Ruangan

Pengukuran karakteristik Vibrastics *dodecahedron* di luar ruangan dilakukan untuk melihat karakteristik *loudspeaker dodecahedron* sebagai sumber suara *omnidirectional*, dengan cara pengamatan hasil uji frekuensi respon, pola keterarahan, nilai maksimal tingkat tekanan bunyi dengan *white noise*, dan sebagainya. Pengukuran ini dilakukan dengan beracuan pada beberap penelitian *loudspeaker dodecahedron* yang sebelumnya telah dilakukan. Hasil pengukuran karakteristik di luar ruangan (parkiran mobil Teknik Fisika ITS) adalah :

A. Respon Frekuensi

Sama halnya dengan hasil pengukuran di dalam ruangan, hasil pengukuran di luar ruangan juga menunjukkan hasil yang baik. Respon frekuensi *flat response* pada frekuensi 125 Hz sampai dengan 8000 Hz. Hasil pengolahan data respon frekuensi juga dibandingkan dengan keterarahan *loudspeaker dodecahedron* di pasaran, Vibrastics *dodecahedron* sudah menunjukkan hasil yang baik.



Gambar 4.16 Grafik respon frekuensi Vibrastics *dodecahedron*

Jika dilihat dari gambar 4.16, Vibrastics *dodecahedron* memiliki nilai *flat response* yang cukup baik antara frekuensi 125 Hz sampai dengan 6300 Hz. Meskipun pada rentang frekuensi antara 2500 sampai dengan 5000 Hz mengalami kenaikan tingkat tekanan bunyi, namun masih dapat dikatakan *flat response* yang baik.

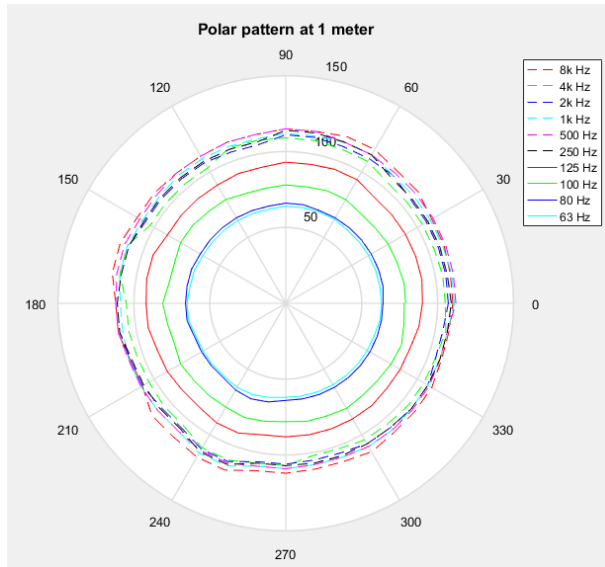
Meskipun tidak terpenuhi untuk membuat *flat response* mulai frekuensi kurang dari 100 Hz, namun unjuk kerja *loudspeaker dodecahedron* sudah cukup baik. Untuk beberapa *loudspeaker dodecahedron* yang sudah ada, juga memiliki *flat response* mulai frekuensi 100 Hz atau 125 Hz.

B. Pola Keterarahan

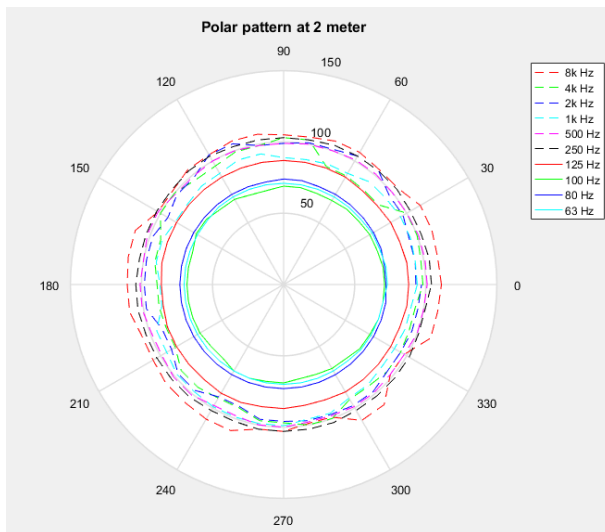
Berbeda apabila pengukuran karakteristik keterarahan pada ISO 3745 menggunakan nilai r tertentu, pengukuran di luar ruangan menggunakan metode pembagian medan area. Medan area yang dimaksud adalah *near field*, *far field*, dan *free field*. Pengukuran di luar ruangan harus berada di luar medan dekat atau *near field*. Oleh karena itu, dilakukan pengukuran medan dekat dengan metode hukum kuadrat terbalik.

Dengan jarak medan dekat sebesar 0,6 meter, maka ditetapkan jarak pengukuran pola keterarahan harus melebihi dari nilai 0,6 meter tersebut. Pengukuran ini menggunakan jarak antara *dodecahedron* dan mikrofon sebesar 1 meter dan 2 meter.

Hasil pengukuran di luar ruangan menunjukkan bahwa Vibrastics *dodecahedron* mampu mendistribusikan suara ke segala arah sehingga bentuk *polar pattern* menyerupai lingkaran sempurna. Pola keterarahan yang dihasilkan ini disebut dengan pola keterarahan sumber *omnidirectional*. Selain dapat digunakan untuk pengukuran di dalam ruangan, vibrastics *dodecahedron* juga dapat digunakan untuk di luar ruangan. Hasil pengukuran pada jarak 1 m dan 2 m di luar ruangan dapat dilihat pada gambar 4.17 dan 4.18 berikut :



Gambar 4. 17 Distribusi polar pada jarak 1 m di luar ruangan



Gambar 4. 18 Distribusi polar pada jarak 2 m di luar ruangan

C. Daya atau Kuat Suara

Daya atau kuat suara Vibrastics *dodecahedron* dapat dilihat dari data pengukuran karakteristik di luar ruangan. Dari gambar distribusi polar keterarahan juga dapat diketahui nilai daya atau kuat suara tertinggi, yaitu sebesar 112 dB. Hal ini menunjukkan bahwa hasil unjuk kerja di luar ruangan sesuai dengan desain target yang diinginkan.

4.4 Hasil Perbandingan Unjuk Kerja *Loudspeaker Dodecahedron*

Tujuan perbandingan ini adalah membandingkan sekaligus melihat daya saing unjuk kerja *loudspeaker* Vibrastics *dodecahedron* dengan hasil pabrikan. Unjuk kerja *loudspeaker dodecahedron* hasil rancang bangun akan dibandingkan dengan produk dari *B&K*, *Norsonic* dan *BSWA*. Ketiga hasil pengukuran di temoat berbeda (*anechoic chamber*, dalam, dan luar ruangan) akan dibandingkan dengan unjuk kerja *loudspeaker dodecahedron* hasil pabrikan. Karakteristik yang akan dibandingkan adalah hasil respon frekuensi dan juga pola keterarahan *loudspeaker dodecahedron*.

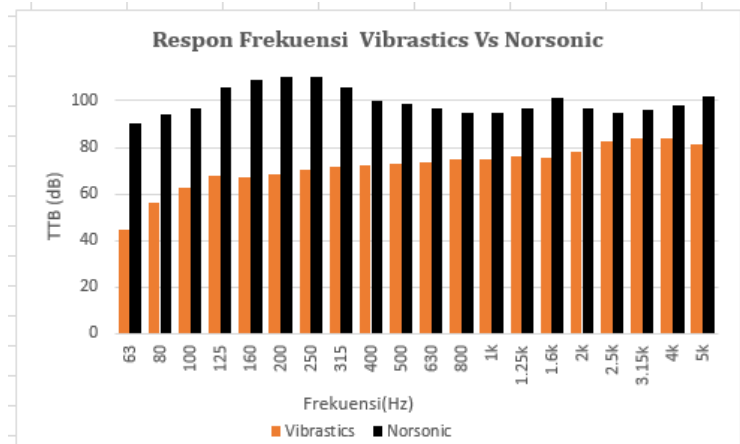
4.4.1 Perbandingan dengan Hasil Pengukuran di *Anechoic Chamber*

Hasil pengukuran di *anechoic chamber* akan dibandingkan dengan beberapa spesifikasi *loudspeaker* dodecahedron yang sudah ada di pasaran, misalnya *B&K*, *Norsonic* dan *BSWA*. Terdapat dua karakteristik yang akan dibandingkan, yaitu nilai respon frekuensi dan pola keterarahan. Berikut adalah hasil perbandingan spesifikasi antara hasil pengukuran di *anechoic chamber* dan produk pasaran:

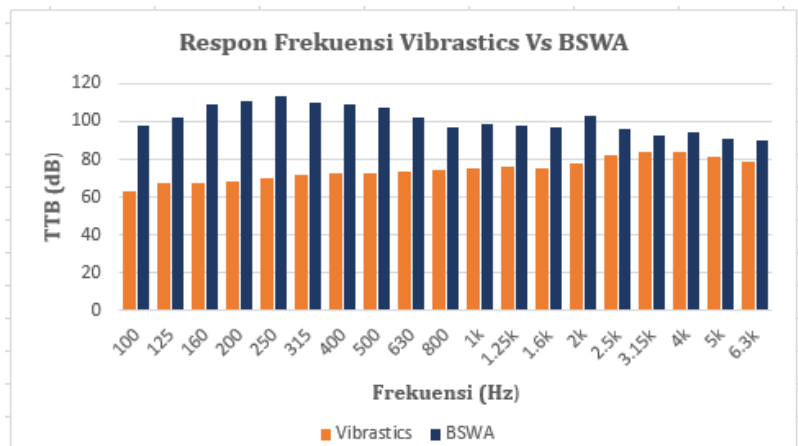
a. Respon Frekuensi

Data respon frekuensi dari Vibrastics *dodecahedron* ini *diplot* sebanyak dua kali. Gambar 4.19 dan 4.20 menampilkan rentang respon frekuensi untuk dibandingkan dengan *loudspeaker* milik *Norsonic* dan *BSWA*. Hal ini dikarenakan pada *data sheet* yang

ditampilkan pihak *Norsonic* dan *BSWA* memiliki rentang frekuensi yang berbeda.



Gambar 4.19 Perbandingan respon frekuensi dengan *Norsonics*



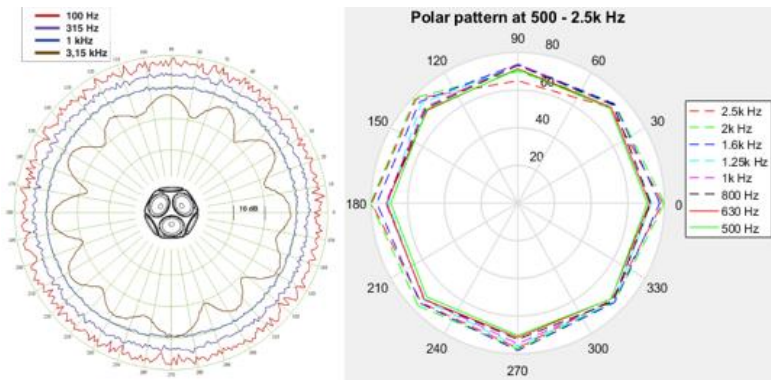
Gambar 4. 20 Perbandingan respon frekuensi dengan *BSWA*

Jika dilihat dari gambar grafik perbandingan 4.19 dan 4.20, Vibrastics *dodecahedron* mempunyai *flat response* yang mampu bersaing dengan *loudspeaker dodecahedron* milik Norsonic dan BSWA. Jika dilihat dari kedua gambar grafik, daya atau kuat suara yang dihasilkan oleh Vibrastics *dodecahedron* memang lebih rendah dibandingkan dengan kedua produk pasaran. Namun jika dilihat dari segi *flat response*, Vibrastics *dodecahedron* mempunyai unjuk kerja yang lebih baik.

Meskipun tidak terpenuhi untuk membuat *flat response* mulai frekuensi kurang dari 100 Hz, namun unjuk kerja *loudspeaker dodecahedron* sudah cukup baik. Untuk beberapa *loudspeaker dodecahedron* yang sudah ada, juga memiliki *flat response* mulai frekuensi 100 Hz atau 125 Hz.

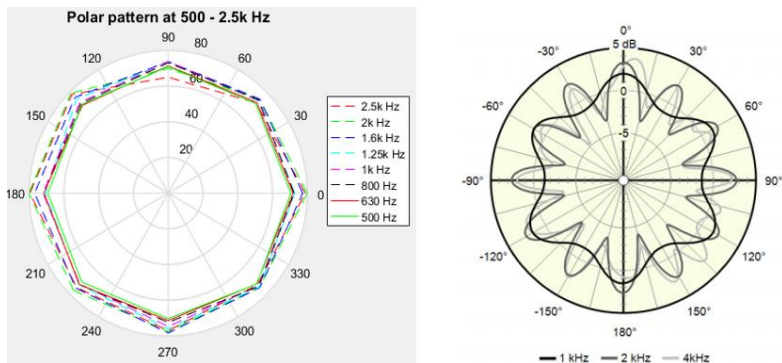
b. Pola Keterarahan

Sama halnya dengan respon frekuensi, pola keterarahan Vibrastics *dodecahedron* juga dibandingkan dengan beberapa produk lainnya yaitu *loudspeaker dodecahedron* produk dari BSWA dan juga *Bruel & Kjaer (B&K)*. Berikut adalah perbandingan pola keterarahan antara Vibrastics *dodecahedron* dengan BSWA :



Gambar 4. 21 Perbandingan pola keterarahan antara Vibrastics *dodecahedron* (kanan) dengan produk BSWA (kiri)

Dari gambar 4.21, pola keterarahan yang dihasilkan oleh Vibrastics *dodecahedron* lebih merata ke segala arah (dalam 360^0) jika dibandingkan dengan *dodecahedron* milik BSWA. Vibrastics *dodecahedron* menghasilkan pola keterarahan *omnidirectional* yang baik mulai dari frekuensi rendah sampai tinggi. Dan berikut adalah gambar perbandingan pola keterarahan antara Vibrastics *dodecahedron* dengan B&K *dodecahedron* :



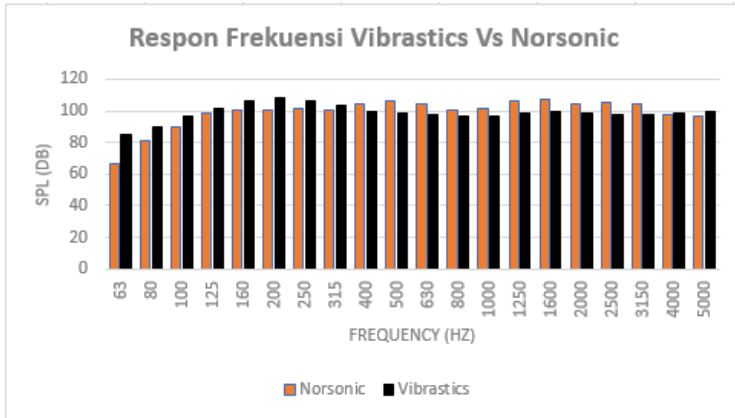
Gambar 4. 22 Perbandingan pola keterarahan antara Vibrastics *dodecahedron* (kiri) dengan produk B&K (kanan)

Hasil perbandingan antara Vibrastics *dodecahedron* dengan *loudspeaker* B&K menunjukkan bahwa pola keterarahan yang dihasilkan Vibrastics *dodecahedron* juga lebih baik. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.22 bahwa bentuk pola *omnidirectional* pada Vibrastics *dodecahedron* mampu sampai dengan frekuensi yang tinggi. Berbeda dengan *loudspeaker* B&K, pada frekuensi 1000 Hz pola keterarahan yang dibentuk sudah tidak lagi pola *omnidirectional*. Dari kedua gambar perbandingan tersebut, dapat disimpulkan bahwa salah satu kelemahan dari pola keterarahan *loudspeaker dodecahedron* adalah tidak mampu menghasilkan pola *omnidirectional* sampai pada nilai frekuensi tinggi. Dan Vibrastics *dodecahedron* memiliki unjuk kerja yang baik dengan menghasilkan pola keterarahan *omnidirectional* pada frekuensi rendah sampai tinggi.

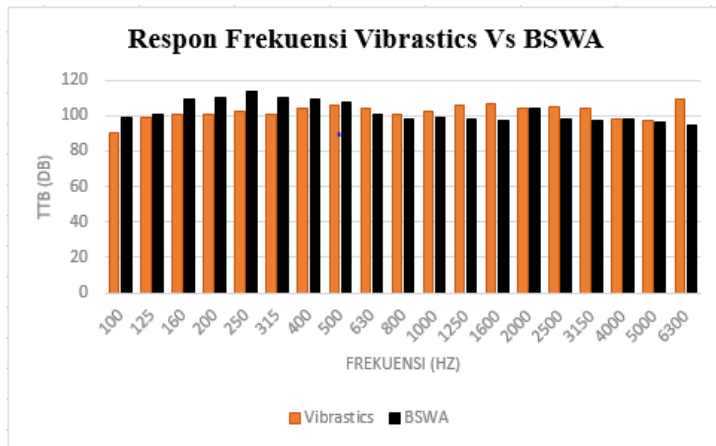
4.4.2 Perbandingan dengan Hasil Pengukuran di Dalam Ruang

a. Respon Frekuensi

Hasil perbandingan respon frekuensi antara hasil pengukuran Vibrastics *dodecahedron* dengan *dodecahedron* pasaran adalah :



Gambar 4.23 Perbandingan respon frekuensi dengan *Norsonics*



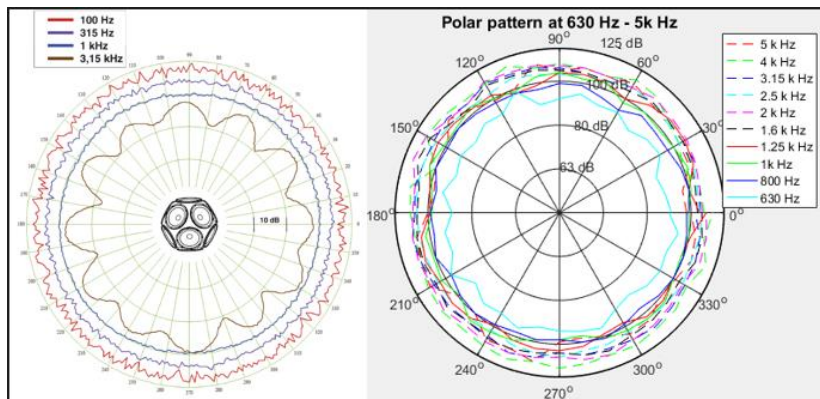
Gambar 4. 24 Perbandingan respon frekuensi dengan *BSWA*

Berdasarkan kedua gambar grafik perbandingan dengan produk *Norsonic* dan *BSWA*, dapat dilihat bahwa *Vibrastics dodecahedron* memiliki nilai *flat response* yang baik antara frekuensi 125 Hz sampai dengan 5000 Hz.

Jika pada perbandingan sebelumnya (hasil di *anechoic chamber*), *Vibrastics dodecahedron* menghasilkan daya atau kuat suara yang lebih rendah dibandingkan dengan *dodecahedron* hasil pabrikan. Namun pada perbandingan dengan hasil pengukuran di dalam ruangan ini, daya atau kuat suara *Vibrastics dodecahedron* mampu bersaing dengan *dodecahedron* hasil pabrikan. Dengan demikian, *Vibrastics dodecahedron* memiliki respon frekuensi dengan daya yang baik dan mampu bersaing dengan *dodecahedron* hasil pabrikan.

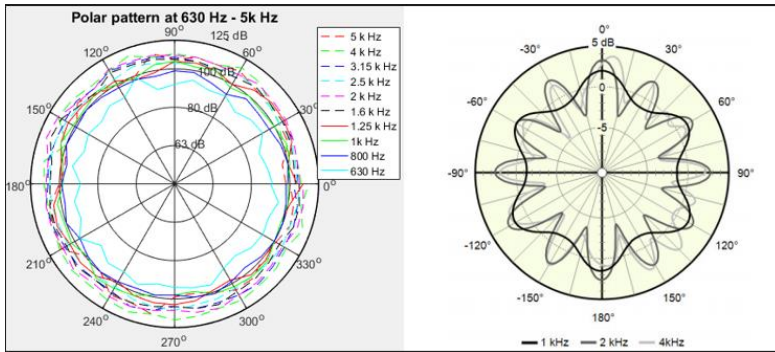
b. Pola Keterarahan

Pola keterarahan *Vibrastics dodecahedron* juga dibandingkan dengan beberapa produk lainnya yaitu *loudspeaker dodecahedron* produk dari *BSWA* dan juga *Bruel & Kjaer (B&K)*. Berikut adalah perbandingan pola keterarahan antara *Vibrastics dodecahedron* dengan *BSWA* :



Gambar 4. 25 Perbandingan pola keterarahan antara *Vibrastics dodecahedron* (kanan) dengan produk *BSWA* (kiri)

Dari gambar 4.25 dapat dilihat bahwa Vibrastics *dodecahedron* mempunyai pola *omnidirectional* hingga pada frekuensi tinggi. *BSWA dodecahedron* hanya mampu menghasilkan pola keterarahan *omnidirectional* sampai frekuensi 1000 Hz. Pada frekuensi 3150 Hz pola keterarahan *dodecahedron BSWA* sudah berkelok-kelok. Dan selanjutnya adalah perbandingan antara Vibrastics *dodecahedron* dengan *dodecahedron* produk *B&K* yang ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 4. 26 Perbandingan pola keterarahan antara Vibrastics *dodecahedron* (kiri) dengan produk *B&K* (kanan)

Pada gambar 4.26 dapat dilihat bahwa Vibrastics *dodecahedron* memiliki pola keterarahan yang lebih baik jika dibandingkan dengan *dodecahedron* produk *B&K*. Pola *omnidirectional* masih mampu dihasilkan Vibrastics *dodecahedron* pada frekuensi yang tinggi yaitu sampai dengan 4000 Hz. Sedangkan pola keterarahan *B&K dodecahedron* hanya mampu menghasilkan pola *omnidirectional* pada frekuensi di bawah 1000 Hz.

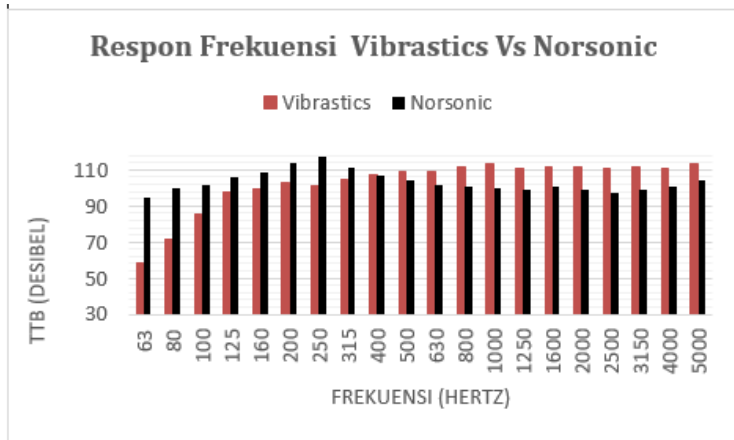
4.4.3 Perbandingan dengan Hasil Pengukuran di Luar Ruang

Dan perbandingan yang terakhir adalah perbandingan spesifikasi Vibrastics *dodecahedron* hasil pengukuran di luar ruangan dengan spesifikasi *dodecahedron* produk yang sudah ada di pasaran. Parameter yang dibandingkan sama dengan

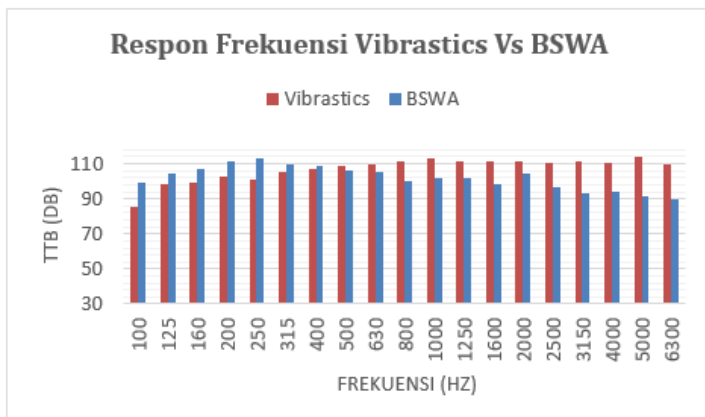
perbandingan sebelumnya yaitu respon frekuensi dan pola keterarahan. Berikut adalah hasil perbandingan yang didapatkan :

a. Respon Frekuensi

Hasil perbandingan respon frekuensi antara hasil pengukuran Vibrastics *dodecahedron* dengan *dodecahedron* pasaran adalah :



Gambar 4.27 Perbandingan respon frekuensi dengan *Norsonics*

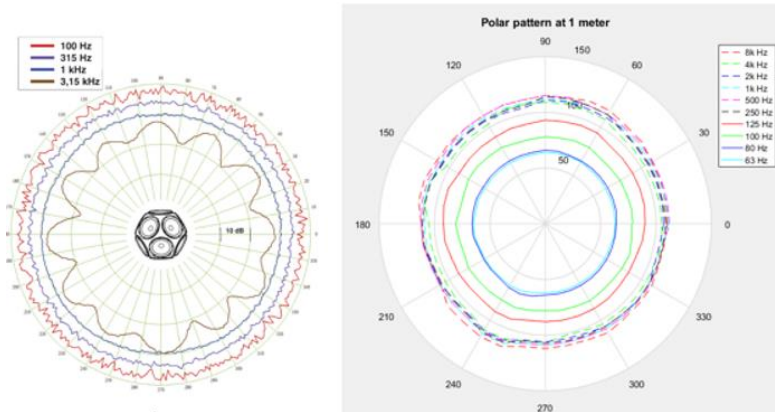


Gambar 4. 28 Perbandingan respon frekuensi dengan *BSWA*

Hasil yang didapatkan dari perbandingan ini adalah hampir sama dengan perbandingan hasil pengukuran di dalam ruangan. Dilihat dari segi respon frekuensi dan daya suara yang dihasilkan, Vibrastics *dodecahedron* mampu bersaing dengan beberapa produk yang sudah ada di pasaran. Vibrastics *dodecahedron* mampu menghasilkan nilai *flat response* yang baik. Selain itu juga diimbangi dengan kuat atau daya suara yang hampir sama dengan produk *dodecahedron* milik BSWA dan *Norsonic*.

b. Pola Keterarahan

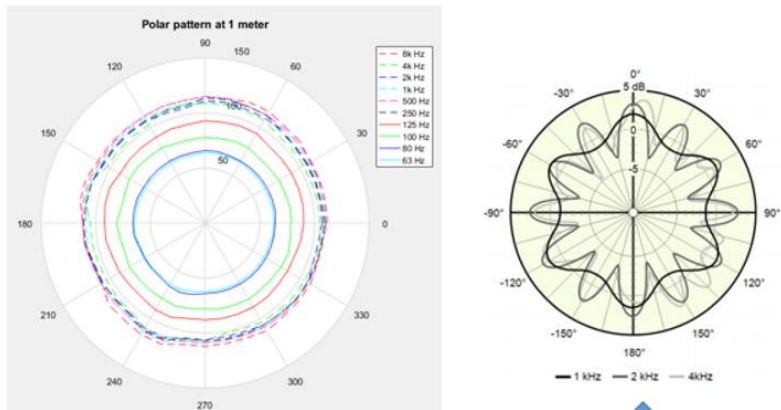
Pola keterarahan Vibrastics *dodecahedron* hasil pengukuran di luar ruangan juga dibandingkan dengan beberapa produk lainnya yaitu *loudspeaker dodecahedron* produk dari BSWA dan juga *Bruel & Kjaer (B&K)*. Pengukuran di luar ruangan ini dilakukan pada malam hari, untuk mengurangi beberapa kemungkinan *noise* yang mengganggu saat pengukuran. Berikut adalah perbandingan pola keterarahan antara Vibrastics *dodecahedron* dengan BSWA :



Gambar 4. 29 Perbandingan pola keterarahan antara Vibrastics *dodecahedron* (kanan) dengan produk BSWA (kiri)

Dari gambar 4.29 dapat dilihat bahwa Vibrastics *dodecahedron* mempunyai pola *omnidirectional* hingga pada frekuensi yang sangat

tinggi, yaitu sampai dengan 8000 Hz. Dari kedua gambar perbandingan juga sudah menunjukkan bahwa Vibrastics *dodecahedron* mampu menghasilkan pola *omnidirectional* yang lebih baik dan sampai dengan frekuensi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan *BSWA dodecahedron*. Dan selanjutnya adalah perbandingan antara Vibrastics *dodecahedron* dengan *dodecahedron* produk *B&K* yang ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 4. 30 Perbandingan pola keterarahan antara Vibrastics *dodecahedron* (kiri) dengan produk *B&K* (kanan)

Pada gambar 4.30 juga dapat dibuktikan bahwa Vibrastics *dodecahedron* mampu menghasilkan pola *omnidirectional* yang baik dan sampai frekuensi tinggi. Sedangkan *dodecahedron* milik *B&K* hanya mampu menghasilkan pola keterarahan pada frekuensi di bawah 1000 Hz. Saat frekuensi di atas 100 Hz bentuk pola keterarahan yang dihasilkan berkelok-kelok dan tidak mendekati pola *omnidirectional*.

“ Halaman ini memang dikosongkan ”

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian tugas akhir ini membuat rancang bangun *loudspeaker dodecahedron* yang dibuat untuk keperluan pengukuran akustik ruang. Dan hasil penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. Rancang bangun *Vibrastics dodecahedron* ini dibuat berdasarkan referensi beberapa *loudspeaker dodecahedron* yang telah ada dan memiliki unjuk kerja yang sesuai dengan standar ISO 3745 dan 3382-1.
- b. Berdasarkan beberapa parameter yang sudah dianalisis menurut ISO 3745, *Vibrastics dodecahedron* memiliki kelayakan untuk digunakan pengukuran pada penelitian selanjutnya. Dilihat dari respon frekuensi, *flat response* berada pada rentang antara 125 Hz sampai dengan 6300 Hz. *Vibrastics dodecahedron* juga memiliki pola keterarahan yang baik, menyerupai lingkaran, pada rentang frekuensi 63 Hz sampai dengan 8000 Hz. Sedangkan berdasarkan ISO 3382-1, *Vibrastics dodecahedron* juga memiliki nilai deviasi yang memenuhi batas persyaratan. Hal ini menandakan bahwa *Vibrastics dodecahedron* sudah layak untuk digunakan sebagai sumber *omnidirectional*.

5.2 Saran

Penulis memberikan saran untuk pengembangan penelitian lebih lanjut sebagai berikut:

- a. *Vibrastics dodecahedron* dapat digunakan sebagai alat penunjang penelitian-penelitian selanjutnya di bidang akustik ruang.
- b. Adanya penelitian inovasi lainnya untuk *Vibrastics dodecahedron*. Jika memungkinkan untuk membuatnya lagi dengan ukuran yang lebih kecil, namun kualitas dan unjuk kerja yang harus tetap baik dan sesuai standar yang ada.

“ Halaman ini memang dikosongkan ”

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Matondang, “Validitas dan reabilitas suatu instrumen penelitian,” *Jurnal Tabularasa PPS Unimed*, vol. 6, no. 1, pp. 82-85, 2009.
- [2] D. S. K. a. M. V. Havelock, *Handbook of Signal Processing in Acoustics*, Springer Science and Business Media, 2008.
- [3] K. I. H. K. S. S. a. M. N. Y. Tahara, “Acoustic scale model experiments using a piezoelectric dodecahedral speaker system,” *Journal of Acoustics Society Japan*, vol. 56, no. 3, pp. 614 -621, 2003.
- [4] M. M. H. K. Dragana Sumarac-Plavonic, “A Simple Impulse Sound Source For Measurements in room Acoustics,” *Elseveir*, vol. 69, no. 3, pp. 378-383, 2008.
- [5] A.M.Pasqual, “Spherical harmonic analysis of the sound radiation from omnidirectional *loudspeakers* arrays,” *Journal of Sound and Vibration*, vol. 333, no. 1, pp. 4930-4941, 2014.
- [6] G. a. M. O. Muller, *Handbook of Engineering Acoustics*, Berlin Heidelberg: Springer Verlaq, 2013.
- [7] ISO. 3745, (*Acoustics*) - *Determination of Sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure - Precision methods for anechoic rooms and hemi-anechoic rooms*, BSI Standard Publication, 2012.
- [8] ISO. 3382-1, *Measurements of Room Acoustics Parameters*, 2009.
- [9] Dokumen pribadi Laboratorium *Adhiwijogo* ITB, ABP, 2016.
- [10] Abdiel Jeremi W, “Anechoic Chamber ITB (Ruangan

- Tanpa Gema Pertama di Indonesia),” Institut Teknologi Bandung, 26 04 2016. [Online]. Available: <https://www.itb.ac.id/news>. [Diakses 22 05 2017].
- [11] F. J. Fahy, *Sound Intensity : Champan and Hall*, Elseveir, 1995.
- [12] Frank Fahy, *Foundation of Engineering Acoustics*, Elsevier Ltd, 2001.
- [13] H. Hansen, *Engineering Noise Control*, Spon Press Media, 2003.
- [14] T. D. Rossing, *Handbook of Acoustic Science and Engineering*, Springer, 2007.
- [15] Sumarac, D., Miomir, M. “Acoustics center determination on anechoic half-space,” *Applied Acoustics*, vol. 48, no. 4, pp. 356-361, 1996.
- [16] L. Wenmeaker, “The Sources Directional of a *Dodecahedron* Sound Sources Determined by Stepwise Rotation,” *Akustikum*, 2014..
- [17] F. A. Pasqual, “Theoretical and experimental analysis of the electromechanical behavior of a compact spherical *loudspeaker* array for directivity control,” *Journal Acoustical Society of America*, vol. 128, no. 6, 2010.
- [18] Martin, R.S., “Theoretical and analysis directivity of dipole and monopole sources, 2010.

LAMPIRAN A

Script Program MATLAB R2013a untuk Polar Pattern plot

```
clear all; close all; clc;

% load data pengukuran
data = xlsread('data-dodec-1m.xlsx');
freqList = data(1,2:end);
spl = data(2:end,2:end);

% warna line pada plot
% r = red, g = green, b = blue, c = cyan, m = magenta, y = yellow
% k = black, w = white
colorData = cellstr(['--r'; '--g'; '--b'; '--c'; '--m'; '--k'; 'r '; ...
    'g '; 'b '; 'c ']);

% sudut dalam radian
deg = data(2:end,1);
sudut = deg.*pi./180;

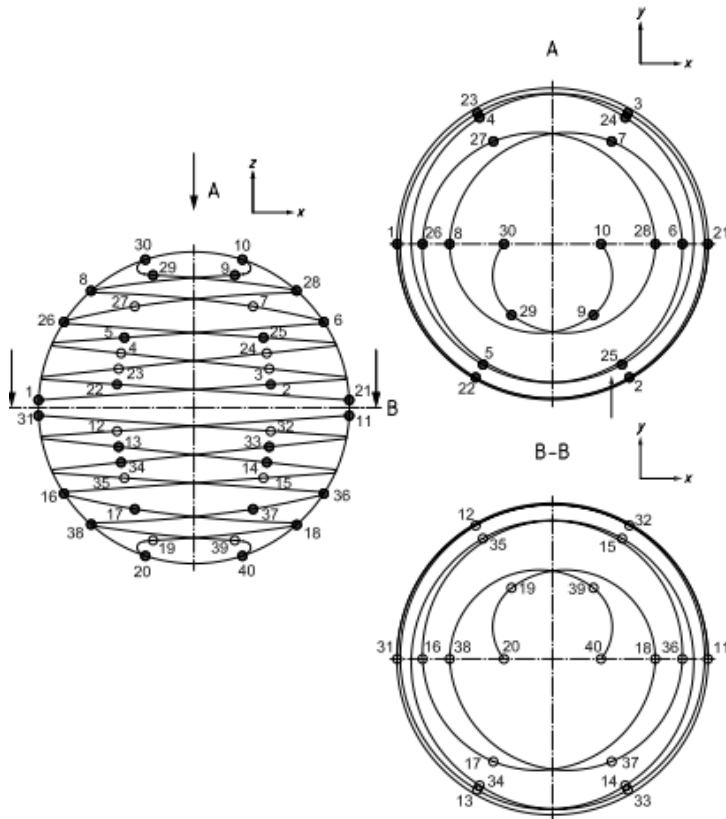
for i = 1:length(freqList)
    h1 = polar(sudut, spl(:,length(freqList)+1-i), char(colorData(i)));
    titleName = strcat('Polar pattern at 1 meter');
    title(titleName, 'FontSize', 12);
    hold on;
end

stc = cellstr(['8000 Hz'; '4000 Hz'; '2000 Hz'; '1000 Hz'; '500 Hz '; ...
    '250 Hz '; '125 Hz '; '100 Hz '; '80 Hz '; '63 Hz ']);

legend(stc(1), stc(2), stc(3), stc(4), stc(5), stc(6), stc(7), stc(8), stc(9), stc(10), 'location', 'southeast');
```

LAMPIRAN B

Susunan posisi mikrofon pada permukaan melingkar di area *free field* berdasarkan ISO 3745
(pengukuran respon frekuensi dan SPL)



LAMPIRAN C

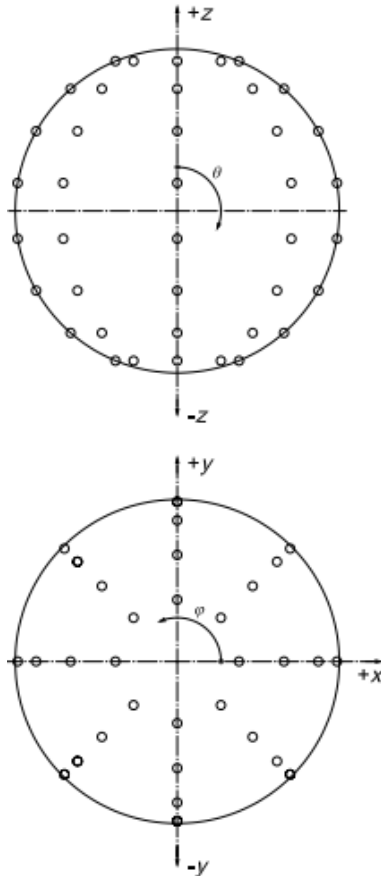
Penentuan titik-titik pengukuran menggunakan titik koordinat yang telah disediakan oleh ISO 3745.

Table D.1 — Microphone positions

Position number	x/r	y/r	z/r
1	-0,999	0	0,050
2	0,494	-0,856	0,150
3	0,484	0,839	0,250
4	-0,468	0,811	0,350
5	-0,447	-0,773	0,450
6	0,835	0	0,550
7	0,380	0,658	0,650
8	-0,661	0	0,750
9	0,263	-0,456	0,850
10	0,312	0	0,950
11	0,999	0	-0,050
12	-0,494	0,856	-0,150
13	-0,484	-0,839	-0,250
14	0,468	-0,811	-0,350
15	0,447	0,773	-0,450
16	-0,835	0	-0,550
17	-0,380	-0,658	-0,650
18	0,661	0	-0,750
19	-0,263	0,456	-0,850
20	-0,312	0	-0,950
21	0,999	0	0,050
22	-0,494	-0,856	0,150
23	-0,484	0,839	0,250
24	0,468	0,811	0,350
25	0,447	-0,773	0,450
26	-0,835	0	0,550
27	-0,380	0,658	0,650
28	0,661	0	0,750
29	-0,263	-0,456	0,850
30	-0,312	0	0,950
31	-0,999	0	-0,050
32	0,494	0,856	-0,150
33	0,484	-0,839	-0,250
34	-0,468	-0,811	-0,350
35	-0,447	0,773	-0,450
36	0,835	0	-0,550
37	0,380	-0,658	-0,650
38	-0,661	0	-0,750
39	0,263	0,456	-0,850
40	0,312	0	-0,950

LAMPIRAN D

**Susunan posisi mikrofon pada permukaan melingkar di
area *free field* berdasarkan ISO 3745
(pengukuran keterarahan (*directivity*))**



Pengukuran ini digunakan untuk melihat keterarahan *loudspeaker*, dimana data pengukuran diambil setiap jarak 45° pada 36

LAMPIRAN E

Dokumentasi pengambilan data di ruang *anechoic* berdasarkan ISO 3745



Skema pengukuran untuk melihat respon frekuensi



Skema pengukuran untuk melihat keterarahan (*directivity*)



Pengukuran titik-titik koordinat letak mikrofon

BIODATA PENULIS



Nama penulis Icha Ady Ristanti dilahirkan di Bojonegoro, tanggal 20 September 1995 dari bapak yang bernama Kasrum dan ibu bernama Chonisih. Saat ini penulis tinggal di Desa Sembung RT 10 RW 02, Kecamatan Kapas, Kabupaten Bojonegoro, Provinsi Jawa Timur. Penulis telah menyelesaikan pendidikan di SDN Sembung pada tahun 2007, pendidikan di SMPN 1 Bojonegoro pada tahun 2010, pendidikan di SMAN 1 Bojonegoro pada tahun 2013 dan sedang menempuh pendidikan S1 Teknik Fisika FTI di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya hingga sekarang.

Pada bulan Juni 2017 penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Perancangan Loudspeaker Dodecahedron untuk Pengukuran Akustik Ruang**. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, maka dapat menghubungi penulis melalui *email* : adyicha20@gmail.com