



TUGAS AKHIR - TF181801

ANALISIS PERUBAHAN DIMENSI TERHADAP KINERJA *SPEAKER DODECAHEDRON*

FERY DWI PURWANTO
NRP. 0231154000021

Dosen Pembimbing:
Dr. Dhany Arifianto, ST., M.Eng

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019



TUGAS AKHIR - TF 181801

ANALISIS PERUBAHAN DIMENSI TERHADAP KINERJA *SPEAKER DODECAHEDRON*

**FERY DWI PURWANTO
NRP. 0231154000021**

**Dosen Pembimbing :
Dr. Eng.Dhany Arifianto, S.T, M.Eng.**

**DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Surabaya
2019**



FINAL PROJECT - TF 181801

ANALYSIS OF DIMENSIONAL CHANGE TO THE DODECAHEDRON SPEAKER'S PERFORMANCE

FERY DWI PURWANTO
NRP. 0231154000021

Supervisors :
Dr. Eng.Dhany Arifianto, S.T, M.Eng.

ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Surabaya
2019

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fery Dwi Purwanto
NRP : 0231154000021
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 "Analisis Perubahan Dimensi Terhadap Kinerja Speaker Dodecahedron" adalah benar-benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari orang lain. Apalagi 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 sebenar-benarnya.

Surabaya, 18 Juni 2019
Yang membuat pernyataan,



Fery Dwi Purwanto
NRP. 0231 | 15 4000 0021

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**ANALISIS PERUBAHAN DIMENSI TERHADAP
KINERJA *SPEAKER DODECAHEDRON***

Oleh:

Fery Dwi Purwanto
NRP. 0231154000021

Surabaya, 18 Juni 2019

Menyetujui,
Dosen Pembimbing



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

Mengetahui,
Kepala Departemen
Teknik Fisika FTI-ITS



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

**ANALISIS PERUBAHAN DIMENSI TERHADAP
KINERJA *SPEAKER DODECAHEDRON***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

FERY DWI PURWANTO
NRP. 0231154000021

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Dhany Arifianto, S.T., M.Eng.  (Pembimbing)
2. Ir. Yerri Susatio, M.T.  (Penguji I)
3. Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T.  (Penguji II)

**SURABAYA
JULI, 2019**

ANALISIS PERUBAHAN DIMENSI TERHADAP KINERJA *SPEAKER DODECAHEDRON*

Nama : Fery Dwi Purwanto
NRP : 0231154000021
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr.Dhany Arifianto, S.T, M.Eng.

Abstrak

Vibrastic Dodecahedron (V-Dec) merupakan *loudspeaker* yang digunakan dalam pengukuran akustik ruang. Pada penelitian sebelumnya telah dibuat V-Dec dengan tiga variasi dimensi antara lain V-Dec generasi pertama dengan dimensi *enclosure speaker* 15 cm, V-Dec generasi kedua dengan dimensi *enclosure speaker* 13 cm dan V-Dec generasi ketiga dengan dimensi *enclosure speaker* 9 cm. Pada tugas akhir ini dilakukan analisis terhadap parameter *directivity*, respon frekuensi dan *sound pressure level* untuk mengetahui perubahan kualitas kinerja V-Dec yang diakibatkan oleh perubahan dimensi. *Directivity* V-Dec dilihat dari nilai *omnidirectional cut-off frequency* yang menunjukkan batas frekuensi yang memiliki *omnidirectional directivity*. V-Dec memiliki *omnidirectional cut-off frequency* dengan rentang nilai 500 Hz – 630 Hz pada V-Dec generasi pertama, 630 Hz – 800 Hz pada V-Dec generasi kedua dan 800 Hz – 1000 Hz pada V-Dec generasi ketiga. Respon frekuensi yang dimiliki oleh V-Dec semakin tidak flat seiring dengan semakin kecilnya dimensi V-Dec. Dan nilai *sound pressure level* yang mampu dibangkitkan oleh V-Dec semakin rendah seiring dengan semakin kecilnya dimensi V-Dec. Berdasarkan hasil analisis menunjukkan adanya *displacement* yang besar pada *cone speaker* saat V-Dec membangkitkan suara dengan frekuensi rendah. Hal ini membuat nilai *sound pressure level* yang dibangkitkan oleh V-Dec menjadi semakin rendah. Untuk menanggulangi hal tersebut dilakukan dengan cara menambah radius *driver speaker* yang digunakan atau dengan cara mengganti *driver speaker* dengan *driver speaker* yang memiliki tingkat kekakuan yang lebih kecil.

Kata kunci: *v-dec, omnidirectional cut-off frequency, displacement*

Halaman ini memang dikosongkan

ANALYSIS OF DIMENSIONAL CHANGE TO THE DODECAHEDRON SPEAKER'S PERFORMANCE

Name : Fery Dwi Purwanto
NRP : 0231154000021
Department : Teknik Fisika FTI-ITS
Supervisors : Dr.Dhany Arifianto, S.T, M.Eng.

Abstract

Vibrastic Dodecahedron (V-Dec) is a loudspeaker that can be used on room acoustic measurement. On the previous final project, there had been produced V-Dec with three dimension variations, there are V-Dec first generation with 15 cm enclosure, V-Dec second generation with 13 cm enclosure and V-Dec third generation with 9 cm enclosure. In this final project, an analysis of directivity, frequency response and sound pressure level is carried out to know about changes in performance due to dimensional change. V-Dec's directivity is measured using value of omnidirectional cut-off frequency, that can show limit of frequency which has omnidirectional directivity. First generation of V-Dec has omnidirectional cut-off frequency with interval 500 Hz – 630 Hz, second generation of V-Dec has omnidirectional cut-off frequency with interval 630 Hz – 800 Hz and third generation of V-Dec has omnidirectional cut-off frequency with interval 800 Hz – 1000 Hz. V-Dec's frequency response is getting worse with smaller dimension. V-Dec's sound pressure level is getting lower with smaller dimension. Cone speaker will has higher displacement when V-Dec is producing sound with low frequency. This condition makes value of V-Dec's sound pressure level decrease. This problem can be fixed with two method there are adding radius of the driver speaker or changing the driver speaker with small stiffness.

Keywords : *v-dec, omnidirectional cut-off frequency, displacement*

Halaman ini memang dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya serta shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW, hingga terselesaikannya tugas akhir beserta laporan tugas akhir yang berjudul **ANALISIS PERUBAHAN DIMENSI TERHADAP KINERJA SPEAKER DODECAHEDRON**

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 Kepala 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. 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 Vibrastic yang telah memberikan ilmu serta kemudahan perizinan.
4. Bapak Ir. Sarwono, M.M., selaku dosen wali yang telah membimbing penulis selama perkuliahan.
5. Seluruh dosen Teknik Fisika ITS atas segala ilmu, bimbingan, petunjuk dan nasihat yang sangat bermanfaat.
6. Kedua orang tua (Bapak Suharto dan Ibu Qomariah) serta saudara (Febri Purwanto dan Fikri Tri Purwanto). Terima kasih atas segala cinta, kasih sayang, doa, perhatian, serta dukungan moril dan materiil yang telah diberikan.
7. Seluruh teman seperjuangan Laboratorium Vibrastic diantaranya Bintang, Alif, Bina, Tenti, Kempo, Aye, Ihsan dan lainnya terima kasih untuk semuanya.
8. Seluruh teman – teman Departemen Teknik Fisika angkatan 2015, terima kasih atas segala dukungan moriil yang telah diberikan.

9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terima kasih 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, 14 Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME.....	vii
LEMBAR PENGESAHAN.....	ix
ABSTRAK.....	xii
<i>ABSTRACT</i>	xv
KATA PENGANTAR.....	xvii
DAFTAR ISI.....	xix
DAFTAR GAMBAR.....	xxi
DAFTAR TABEL.....	xxvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
BAB II TEORI PENUNJANG.....	5
2.1 <i>Speaker</i>	5
2.2 <i>Polyhedron Loudspeaker</i>	6
2.3 Medan Suara.....	10
2.4 Kekuatan Suara.....	10
2.5 Pembobotan Bunyi (<i>Sound Weighting</i>).....	14
2.6 Keterarahan Suara (<i>Sound Directivity</i>).....	15
2.7 <i>Omnidirectional Cut-Off Frequency</i>	17
2.8 Hukum Kuadrat Terbalik.....	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	21
3.1 Studi Literatur dan Identifikasi Masalah.....	21
3.2 Pemodelan <i>Speaker Dodecahedron</i>	22
3.3 Simulasi <i>Loudspeaker</i> Vibrastic Dodecahedron.....	23
3.4 Evaluasi dan Rekomendasi.....	28
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1 <i>Driver Speaker</i>	31

4.2	Pemodelan <i>Speaker</i> Vibrastic Dodecahedron	40
4.2	Simulasi <i>Speaker</i> Vibrastic Dodecahedron.....	42
4.3	Rekomendasi	96
BAB V PENUTUP		101
5.1	Kesimpulan	101
5.2	Saran	102
DAFTAR PUSTAKA.....		103
LAMPIRAN A.....		105
LAMPIRAN B		109
LAMPIRAN C		113
BIODATA PENULIS.....		121

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Komponen utama <i>speaker</i>	5
Gambar 2. 2	<i>Polyhedron</i> : (a) <i>tetrahedron</i> , (b) <i>hexahedron</i> , (c) <i>octahedron</i> ,(d) <i>dodecahedron</i> , (e) <i>icosahedron</i> ..	6
Gambar 2. 3	Perbandingan nilai SPL yang dihasilkan oleh RPL 7	
Gambar 2. 4	Perbandingan nilai <i>error</i> pada area <i>far field</i>	8
Gambar 2. 5	Perbandingan nilai eror pada area <i>free field</i>	9
Gambar 2. 6	<i>Gain</i> yang ditambahkan pada SPL	13
Gambar 2. 7	<i>Error</i> RPL terhadap ka.....	14
Gambar 2. 8	Kurva pembobotan.....	14
Gambar 2. 9	Keterarahan suara.....	16
Gambar 2. 10	<i>Directivity balloon plot dodecahedron</i> , a. 2000 Hz, b. 4000 Hz.....	16
Gambar 2. 11	Hukum kuadrat terbalik	18
Gambar 3. 1	Pemodelan menggunakan perangkat lunak Autocad 2017	22
Gambar 3. 2	Hasil <i>assembly</i> pada perangkat lunak Solidworks 2016.....	23
Gambar 3. 3	Geometri pada perangkat lunak Comsol Multiphysics 5.4.....	24
Gambar 3. 4	<i>Boundary</i> yang digunakan pada simulasi	25
Gambar 3. 5	Metode Simulasi	25
Gambar 3. 6	Pendefinisian <i>boundary</i>	26
Gambar 3. 7	<i>Input</i> data dan Variabel	27
Gambar 3. 8	<i>Meshing</i>	28
Gambar 4. 1	Respon frekuensi <i>driver speaker</i> SBAcoustics 5” SB15NRX30-8 hasil simulasi	31
Gambar 4. 2	Respon frekuensi <i>driver speaker</i> SBAcoustics 5” SB15NRX30-8 hasil pengukuran.....	32
Gambar 4. 3	Respon frekuensi <i>driver speaker</i> SBAcoustics 4” SB12CACS25-8 hasil simulasi	33
Gambar 4. 4	Respon frekuensi <i>driver speaker</i> SBAcoustics 4” SB12CACS25-8 hasil pengukuran.....	33

Gambar 4. 5	Respon frekuensi <i>driver speaker</i> SBAcoustics 2.5” SB65WBAC25-4 hasil simulasi.....	34
Gambar 4. 6	Respon frekuensi <i>driver speaker</i> SBAcoustics 2.5” SB65WBAC25-4 hasil pengukuran	35
Gambar 4. 7	<i>Directivity driver speaker</i> SBAcoustics 5” SB15NRXC30-8 hasil simulasi.....	35
Gambar 4. 8	<i>Directivity driver speaker</i> SBAcoustics 5” SB15NRXC30-8 hasil pengukuran	36
Gambar 4. 9	<i>Directivity driver speaker</i> SBAcoustics 4” SB12CACS25-8 hasil simulasi	37
Gambar 4. 10	<i>Directivity driver speaker</i> SBAcoustics 4” SB12CACS25-8 hasil pengukuran.....	38
Gambar 4. 11	<i>Directivity driver speaker</i> SBAcoustics 2.5” SB65WBAC25-4 hasil simulasi.....	39
Gambar 4. 12	<i>Directivity driver speaker</i> SBAcoustics 2.5” SB65WBAC25-4 hasil pengukuran	40
Gambar 4. 13	Pemodelan vibrastic dodecahedron, a. generasi pertama, b. generasi kedua, c. generasi ketiga... 41	
Gambar 4. 14	<i>Cone displacement</i> V-Dec generasi pertama,	44
Gambar 4. 15	<i>Cone displacement</i> V-Dec generasi kedua, a. 63 Hz, b. 125 Hz, c. 250 Hz, d. 500 Hz.....	45
Gambar 4. 16	<i>Cone displacement</i> V-Dec generasi ketiga, a. 63 Hz, b. 125 Hz, c. 250 Hz, d. 500 Hz.....	46
Gambar 4. 17	SPL V-Dec generasi pertama, a. 63 Hz, b. 125 Hz, c. 250 Hz, d. 500 Hz, e. 1000 Hz, f. 2000 Hz....	48
Gambar 4. 18	Deviasi V-Dec generasi pertama hasil simulasi	49
Gambar 4. 19	Deviasi V-Dec generasi pertama hasil pengukuran	49
Gambar 4. 20	<i>Error</i> terhadap ka V-Dec generasi pertama.....	50
Gambar 4. 21	SPL V-Dec generasi kedua, a. 63 Hz, b. 125 Hz, c. 250 Hz, d. 500 Hz, e. 1000 Hz, f. 2000 Hz	54
Gambar 4. 22	Deviasi V-Dec generasi kedua hasil simulasi....	55
Gambar 4. 23	Deviasi V-Dec generasi kedua hasil pengukuran	55
Gambar 4. 24	<i>Error</i> terhadap ka V-Dec generasi kedua	56

Gambar 4. 25	SPL V-Dec generasi ketiga, a. 63 Hz, b. 125 Hz, c. 250 Hz, d. 500 Hz, e. 1000 Hz, f. 2000 Hz	59
Gambar 4. 26	Deviasi V-Dec generasi ketiga hasil simulasi ...	60
Gambar 4. 27	Deviasi V-Dec generasi ketiga hasil pengukuran	61
Gambar 4. 28	<i>Error</i> terhadap k_a V-Dec generasi ketiga.....	61
Gambar 4. 29	Perbandingan SPL V-Dec	64
Gambar 4. 30	<i>Directivity</i> di ruang <i>anechoic chamber</i> hasil pengukuran, a. V-Dec generasi pertama, b. V-Dec generasi kedua, c. V-Dec generasi ketiga.....	67
Gambar 4. 31	<i>Directivity</i> di luar ruangan hasil pengukuran, a. V-Dec generasi pertama, b. V-Dec generasi kedua, c. V-Dec generasi ketiga.....	68
Gambar 4. 32	<i>Directivity</i> di dalam ruangan hasil pengukuran, a. V-Dec generasi pertama, b. V-Dec generasi kedua, c. V-Dec generasi ketiga	69
Gambar 4. 33	<i>Directivity</i> V-Dec generasi pertama di ruang <i>anechoic chamber</i>	70
Gambar 4. 34	Perbandingan <i>directivity</i> V-Dec generasi pertama pada frekuensi 250 Hz.....	71
Gambar 4. 35	Perbandingan <i>directivity</i> V-Dec generasi pertama pada frekuensi 2000 Hz.....	71
Gambar 4. 36	Deviasi SPL V-Dec generasi pertama	72
Gambar 4. 37	<i>Directivity</i> V-Dec generasi kedua di ruang <i>anechoic chamber</i>	73
Gambar 4. 38	Perbandingan <i>directivity</i> V-Dec generasi kedua pada frekuensi 250 Hz.....	74
Gambar 4. 39	Perbandingan <i>directivity</i> V-Dec generasi kedua pada frekuensi 2000 Hz.....	74
Gambar 4. 40	<i>Directivity</i> V-Dec generasi kedua di luar ruangan	75
Gambar 4. 41	Perbandingan <i>directivity</i> V-Dec generasi kedua pada frekuensi 125 Hz.....	76
Gambar 4. 42	Perbandingan <i>directivity</i> V-Dec generasi kedua pada frekuensi 2000 Hz.....	76

Gambar 4. 43	<i>Directivity</i> V-Dec generasi kedua di dalam ruangan	77
Gambar 4. 44	Perbandingan <i>directivity</i> V-Dec generasi kedua pada frekuensi 1000 Hz.....	78
Gambar 4. 45	Perbandingan <i>directivity</i> V-Dec generasi kedua pada frekuensi 2000 Hz.....	78
Gambar 4. 46	Deviasi SPL V-Dec generasi kedua	79
Gambar 4. 47	<i>Directivity</i> V-Dec generasi ketiga di ruang <i>anechoic chamber</i>	80
Gambar 4. 48	Perbandingan <i>directivity</i> V-Dec generasi ketiga pada frekuensi 500 Hz.....	81
Gambar 4. 49	Perbandingan <i>directivity</i> V-Dec generasi ketiga pada frekuensi 2000 Hz.....	81
Gambar 4. 50	<i>Directivity</i> V-Dec generasi ketiga di luar ruangan	82
Gambar 4. 51	Perbandingan <i>directivity</i> V-Dec generasi ketiga pada frekuensi 500 Hz.....	83
Gambar 4. 52	Perbandingan <i>directivity</i> V-Dec generasi ketiga pada frekuensi 2000 Hz.....	83
Gambar 4. 53	<i>Directivity</i> V-Dec generasi ketiga di dalam ruangan	84
Gambar 4. 54	Perbandingan <i>directivity</i> V-Dec generasi ketiga pada frekuensi 1000 Hz.....	85
Gambar 4. 55	Perbandingan <i>directivity</i> V-Dec generasi ketiga pada frekuensi 1000 Hz.....	85
Gambar 4. 56	Deviasi SPL V-Dec generasi ketiga	86
Gambar 4. 57	Respon frekuensi V-Dec generasi pertama	88
Gambar 4. 58	Respon frekuensi V-Dec generasi pertama di ruang <i>anechoic chamber</i>	88
Gambar 4. 59	Respon frekuensi V-Dec generasi pertama di luar ruangan	89
Gambar 4. 60	Respon frekuensi V-Dec generasi pertama di dalam ruangan.....	90
Gambar 4. 61	Respon frekuensi V-Dec generasi kedua.....	91
Gambar 4. 62	Respon frekuensi V-Dec generasi kedua di ruang <i>anechoic chamber</i>	91

Gambar 4. 63	Respon frekuensi V-Dec generasi kedua di luar ruangan	92
Gambar 4. 64	Respon frekuensi V-Dec generasi kedua di dalam ruangan	93
Gambar 4. 65	Respon frekuensi V-Dec generasi ketiga	93
Gambar 4. 66	Respon frekuensi V-Dec generasi ketiga di ruang <i>anechoic chamber</i>	94
Gambar 4. 67	Respon frekuensi V-Dec generasi ketiga di luar ruangan	95
Gambar 4. 68	Respon frekuensi V-Dec generasi ketiga di dalam ruangan	95
Gambar 4. 69	Perbandingan <i>omnidirectional cut-offfrequency</i> V-Dec.....	96
Gambar 4. 70	Perbandingan SPL V-Dec	97

Halaman ini memang dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1	Perbandingan Kinerja Tiga Generasi V-Dec	21
Tabel 4. 1	Spesifikasi Dimensi V-Dec	41
Tabel 4. 2	Konversi SPL V-Dec generasi pertama.....	51
Tabel 4. 3	Perbandingan SPL hasil simulasi dengan pengukuran di ruang <i>anechoic chamber</i> V-Dec generasi pertama	51
Tabel 4. 4	Konversi SPL V-Dec generasi pertama.....	52
Tabel 4. 5	Perbandingan SPL hasil simulasi dengan pengukuran di luar ruangan V-Dec generasi pertama	52
Tabel 4. 6	Perbandingan SPL hasil simulasi dengan pengukuran di dalam ruangan V-Dec generasi pertama.....	53
Tabel 4. 7	Perbandingan SPL hasil simulasi dengan pengukuran di ruang <i>anechoic chamber</i> V-Dec generasi kedua	57
Tabel 4. 8	Perbandingan SPL hasil simulasi dengan pengukuran di luar ruangan V-Dec generasi kedua	57
Tabel 4. 9	Perbandingan SPL hasil simulasi dengan pengukuran di dalam ruangan V-Dec generasi kedua	58
Tabel 4. 10	Perbandingan SPL hasil simulasi dengan pengukuran di ruang <i>anechoic chamber</i> V-Dec generasi ketiga	62
Tabel 4. 11	Perbandingan SPL hasil simulasi dengan pengukuran di luar ruangan V-Dec generasi ketiga	63
Tabel 4. 12	Perbandingan SPL hasil simulasi dengan pengukuran di dalam ruangan V-Dec generasi ketiga.....	63

Halaman ini memang dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penelitian mengenai *loudspeaker* yang mampu menghasilkan suara yang menyebar ke segala arah (*omnidirectional*) sudah lama dilakukan oleh para pakar akustik. *Loudspeaker* yang digunakan sebagai sumber *omnidirectional* tersusun dan tersebar dalam bentuk *spheris* atau *polyhedral* berdasarkan bentuk *Platonic Solid* (Pasqual, 2014). *Platonic Solid* merupakan suatu bentuk yang tersusun dari sisi-sisi poligon yang kongruen. Terdapat lima buah bentuk *platonic solid* diantaranya adalah *regular tetrahedron* (empat sisi), *regular hexahedron* (enam sisi), *regular octahedron* (delapan sisi), *regular dodecahedron* (12 sisi) dan *regular icosahedron* (20 sisi) (Leishman, 2006). *Loudspeaker* yang tersusun dalam bentuk *polyhedral* tersebut kemudian disebut sebagai *Regular Polyhedron Loudspeaker* (RPL). Meskipun RPL tersusun dari *speaker* dengan geometri yang sama dan simetris, namun RPL dapat membangkitkan suara pada arah yang tidak diinginkan atau disebut sebagai *omnidirectional cut-off frequency*. Hal ini disebabkan oleh interferensi radiasi diantara *driver speaker*, *directivity* dari masing-masing *driver speaker* dan efek difraksi (Coxeter, 1963).

RPL yang umum dan banyak digunakan sebagai sumber *omnidirectional* adalah *dodecahedron* (12 sisi). Awal mula penelitian *speaker dodecahedron* berskala mikro dilakukan di Nagoya University. *Dodecahedron* yang dibuat berukuran 38 mm dan digunakan untuk mengukur *Head Related Transfer Function* (HRTF). Berdasarkan penelitian tersebut, menunjukkan bahwa *dodecahedron* memiliki karakteristik yang sangat menyerupai sebuah titik dan dapat dijadikan sebagai sumber *omnidirectional* (Hosoe, 2006). Pada penelitian selanjutnya, (Pavlovic, 2008) melakukan suatu percobaan yaitu membuat suara impuls dari *wooden clapper* yang digunakan sebagai salah satu sumber alternatif atau sumber *omnidirectional* lainnya. Hasil dari penelitian ini adalah sumber suara impuls dari *wooden clapper*

hanya menghasilkan pola *omnidirectional* pada frekuensi tinggi. Oleh karena itu, *loudspeaker dodecahedron* masih dianggap sebagai sumber *omnidirectional* yang lebih baik dibandingkan dengan sumber lainnya (Pavlovic, 2008).

Pada pengerjaan tugas akhir sebelumnya telah dibuat tiga buah generasi *loudspeaker dodecahedron* yang diberi nama V-Dec (Vibrastic Dodecahedron). V-Dec generasi pertama memiliki panjang sisi poligon 15 cm (Ristanty, 2017), generasi kedua mempunyai panjang sisi poligon sebesar 13 cm dan generasi ketiga mempunyai panjang sisi poligon sebesar 9 cm (Hanindita, 2018). Perubahan dimensi tersebut bertujuan untuk memudahkan dalam installasi dan penggunaannya. Berdasarkan tiga generasi V-Dec yang telah dibuat didapatkan hasil bahwa semakin kecil dimensi pada panjang sisi poligon semakin buruk kinerja V-Dec. Hal ini dapat dibuktikan bahwa V-Dec generasi ketiga tidak memenuhi standar ISO 3382-1 daripada V-Dec generasi pertama dan kedua. Pada ISO 3382-1 telah ditetapkan batas deviasi maksimum dari *directivity* pada setiap pita frekuensi sebuah *loudspeaker* yang digunakan untuk pengukuran akustik ruang (ISO3382-1, 2009).

Pada pengembangan V-Dec berikutnya akan dibuat V-Dec generasi keempat dengan kinerja yang lebih baik dari V-Dec generasi sebelumnya. Namun terdapat parameter yang harus dilakukan penelitian sebelum pembuatan V-Dec generasi keempat, yaitu dimensi dari V-Dec. V-Dec yang dibuat diharapkan mempunyai spesifikasi kerja mampu menghasilkan respon *flat frequency* pada rentang 80 Hz – 4000 Hz, daya atau kuat suara pada rentang 90-100 dBA dan *omnidirectional directivity* (Ristanty, 2017). Oleh karena itu penulis mengajukan penelitian pada tugas akhir dengan judul “Analisis Perubahan Dimensi Terhadap Kinerja *Speaker Dodecahedron*”. Penelitian pada tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh perubahan dimensi terhadap kinerja *loudspeaker dodecahedron*.

1.2 Rumusan Masalah

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

- a. Apa saja faktor yang mempengaruhi kinerja *loudspeaker dodecahedron*?
- b. Bagaimana pengaruh perubahan dimensi terhadap kinerja *loudspeaker dodecahedron*?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Untuk mengetahui faktor yang mempengaruhi kinerja *loudspeaker dodecahedron*.
- b. Untuk menganalisis perubahan dimensi terhadap kinerja *loudspeaker dodecahedron*.

1.4 Batasan Masalah

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

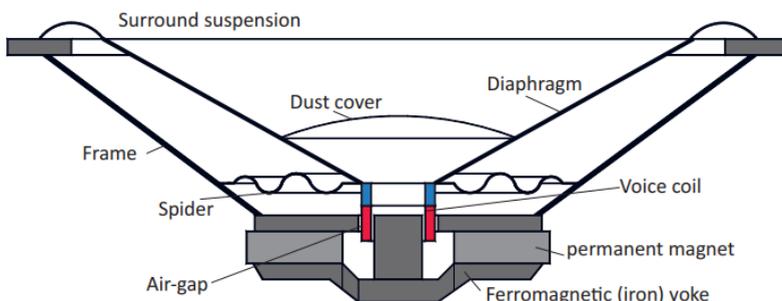
- a. Ruang lingkup penelitian hanya dilakukan pada *loudspeaker dodecahedron* yang telah dibuat yaitu V-Dec generasi pertama, generasi kedua dan generasi ketiga.
- b. Penelitian dilakukan secara simulasi dengan bantuan perangkat lunak Comsol Multiphysics 5.4.
- c. Objek penelitian pada pengerjaan tugas akhir adalah dimensi *loudspeaker dodecahedron* (V-Dec) yang telah dibuat dan dimensi *driver speaker* yang digunakan pada setiap generasi V-Dec.
- d. Kinerja dari *loudspeaker dodecahedron* yang diukur dan dibandingkan adalah keterarahan suara (*directivity*), respon frekuensi dan kuat suara yang dihasilkan.

Halaman ini memang dikosongkan

BAB II TEORI PENUNJANG

2.1 *Speaker*

Speaker adalah *transducer* yang mengubah sinyal elektrik ke sinyal suara. *Speaker* terdiri dari beberapa komponen utama yang berfungsi untuk menghasilkan sinyal suara, diantaranya adalah magnet, *voice coil*, *diaphragm / cone*, *surround suspension* dan *spider*. Gambar 2.1 merupakan komponen utama pada *speaker*.



Gambar 2. 1 Komponen utama *speaker* (Schmidt, 2017)

Dalam mengubah sinyal elektrik menjadi sinyal suara, *speaker* memiliki komponen elektromagnetik yang terdiri dari kumparan (*voice coil*) untuk membangkitkan medan magnet dan berinteraksi dengan magnet permanen sehingga menggerakkan *diaphragm / cone* *speaker* maju dan mundur. Semakin besar dimensi *cone*, semakin besar pula permukaan yang bergetar dan suara yang dihasilkan akan semakin besar. *Surround suspension* *speaker* berfungsi untuk meredam getaran dari *cone speaker*.

Frekuensi suara yang dibangkitkan oleh *speaker* bergantung kepada beberapa hal berikut (Schmidt, 2017):

a. *Displacement of diaphragm*

Untuk mendapatkan nilai *sound pressure level* (SPL) yang tinggi pada frekuensi rendah, membutuhkan amplitudo *displacement* pada *diaphragm speaker* yang besar.

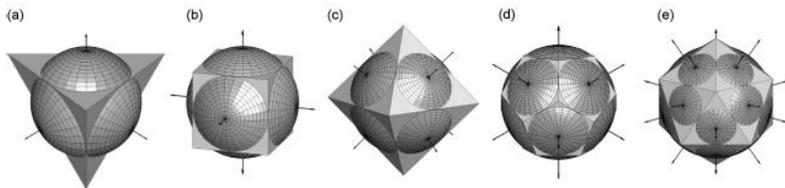
b. *Surface of diaphragm / cone speaker*

Amplitudo *displacement* yang tinggi hanya dapat dikurangi dengan menambah luas area dari *cone speaker*.

Oleh karena itu, untuk membangkitkan suara dengan frekuensi rendah membutuhkan *driver speaker* yang lebih besar.

2.2 *Polyhedron Loudspeaker*

Loudspeaker dengan geometri *polyhedron/polytopes* merupakan beberapa bentuk *loudspeaker* yang mampu menghasilkan pola keterarahan *spheris* atau sumber *omnidirectional*. Beberapa bentuk geometri *polyhedron* adalah sebagai berikut *regular tetrahedron*, *regular hexahedron*, *regular octahedron*, *regular dodecahedron*, dan *regular icosahedron* (Coxeter, 1963). Gambar 2.2 merupakan konfigurasi *polyhedron* pada koordinat *spheris*.



Gambar 2.2 *Polyhedron* : (a) *tetrahedron*, (b) *hexahedron*, (c) *octahedron*, (d) *dodecahedron*, (e) *icosahedron* (Pasqual, 2014)

Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan, bentuk *dodecahedron* dinilai sebagai 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 *error* yang paling rendah. Selain itu, bentuk *dodecahedron* dengan 12 buah *speaker* lebih umum dipakai oleh para pakar akustik daripada bentuk lainnya.

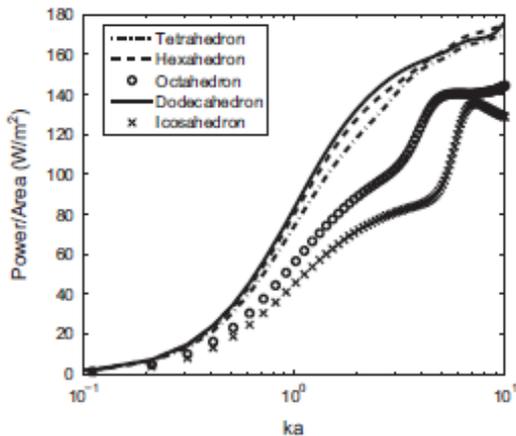
Bentuk *dodecahedron* merupakan bentuk yang paling sering digunakan karena memiliki beberapa kelebihan apabila

dibandingkan dengan geometri lainnya. Berikut adalah beberapa kelebihan bentuk *dodecahedron* (Pasqual, 2014):

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

Sumber suara *omnidirectional* dibutuhkan untuk proses pengukuran beberapa parameter akustik ruang. Salah satu parameter akustik ruang yang diukur adalah *Reverberation Time* (RT). Nilai *Reverberation Time* (RT) yang biasanya digunakan sesuai standar yang ada adalah RT60. RT60 adalah waktu dengung ruangan yang diukur dengan mengamati adanya peluruhan suara sebesar 60 dB. Mengukur nilai *Reverberation Time* (RT) 60 diperlukan suatu sumber suara yang memiliki nilai *Sound Power Level* (SPL) yang tinggi atau lebih dari nilai peluruhan yang diamati.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Pasqual, 2014), *loudspeaker* dengan geometri *dodecahedron* ini memiliki nilai keluaran *Sound Power Level* (SPL) yang tertinggi dibandingkan dengan bentuk polihedron lainnya dibuktikan dengan hasil penelitian seperti pada gambar 2.3. Gambar 2.3 merupakan perbandingan nilai SPL yang dihasilkan oleh RPL (*tetrahedron*, *hexahedron*, *octahedron*, *dodecahedron* dan *icosahedron*) terhadap nilai ka .

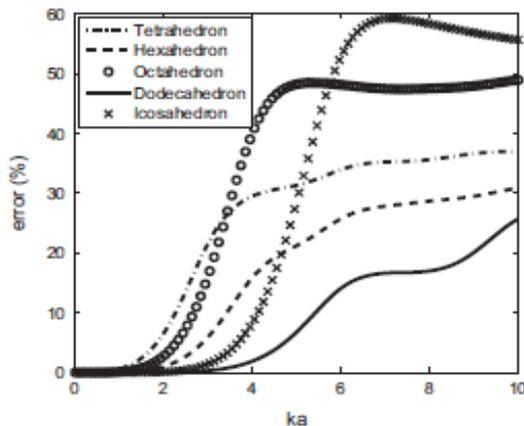


Gambar 2.3 Perbandingan nilai SPL yang dihasilkan oleh RPL (Pasqual, 2014)

b. Memiliki nilai *error* terendah pada area *far field* dan *free field*.

Sumber suara *omnidirectional* jika digambarkan dengan grafik polar atau *polar pattern*, mempunyai bentuk menyerupai lingkaran. Wilayah atau bagian area yang digambarkan oleh *polar pattern* disebut dengan wilayah medan suara. Area medan suara ini 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 jauh dari sumber suara, sehingga mengakibatkan banyaknya kemungkinan *error* pada kedua area ini.

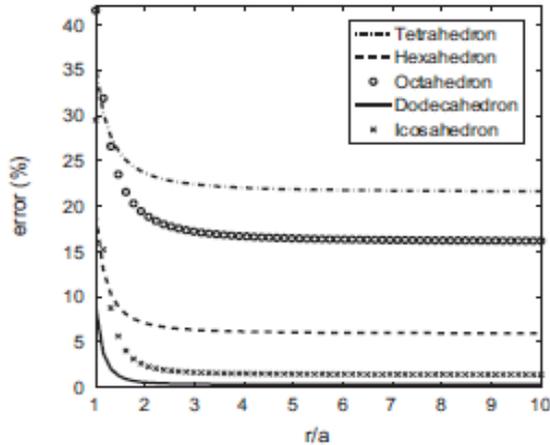
Dibandingkan dengan bentuk *polyhedron* lainnya, bentuk *dodecahedron* memiliki nilai *error* terendah (terhadap ka) pada area *far field* dan *free field*. Hal ini ditunjukkan oleh grafik pada gambar 2.4 dan 2.5. Gambar 2.4 merupakan perbandingan nilai *error* yang dihasilkan oleh RPL (*tetrahedron*, *hexahedron*, *octahedron*, *dodecahedron* dan *icosahedron*) terhadap nilai ka pada area *far field*.



Gambar 2. 4 Perbandingan nilai *error* pada area *far field* (Pasqual, 2014)

Gambar 2.4 merupakan perbandingan nilai *error* yang dihasilkan oleh RPL (*tetrahedron*, *hexahedron*, *octahedron*,

dodecahedron dan icosahedron) terhadap nilai r/a pada area *free field*.



Gambar 2.5 Perbandingan nilai eror pada area *free field* (Pasqual, 2014)

Dalam membuat sebuah *speaker* dengan bentuk *platonic solid* terutama dodecahedron, dimensi merupakan parameter penting yang harus diperhatikan. Dalam mendesain dimensi *speaker* dengan bentuk *platonic solid* dapat menggunakan persamaan (2.1). Persamaan (2.1) merupakan rasio antara luas daerah yang mengalami vibrasi, dalam hal ini adalah luas daerah yang dibutuhkan oleh *speaker*, dengan luas total dari *speaker* (Pasqual, 2014).

$$\frac{2\pi a_1^2(1 - \cos\theta_0)L}{4\pi a_2^2} \leq \begin{cases} 0,844 \rightarrow \text{tetrahedron} \\ 0,879 \rightarrow \text{hexahedron} \\ 0,731 \rightarrow \text{octahedron} \\ 0,895 \rightarrow \text{dodecahedron} \\ 0,658 \rightarrow \text{icosahedron} \end{cases} \quad (2.1)$$

Dimana,

a_1 merupakan radius *driver speaker*

a_2 merupakan radius *speaker*

θ_0 merupakan *cap aperture angle*

L merupakan banyaknya *driver speaker* yang digunakan

θ_0 memiliki nilai sebesar $54,7^\circ$ untuk *tetrahedron*, 45° untuk *hexahedron*, $35,2^\circ$ untuk *octahedron*, $31,7^\circ$ untuk *dodecahedron* dan $20,9^\circ$ untuk *icosahedron*. L memiliki nilai sebesar 4 untuk *tetrahedron*, 6 untuk *hexahedron*, 8 untuk *octahedron*, 12 untuk *dodecahedron* dan 20 untuk *icosahedron*.

2.3 Medan Suara

Medan suara adalah area dari medium perambatan suara yang masih mengandung gelombang suara dari sumber suara asli (Acoustic Glossary, 2019). Medan suara terdiri dari *near field* dan *far field*. *Near field* adalah medan dimana *sound pressure level* dari sumber bunyi hanya mengalami penurunan sebesar 3 dB. *Far field* adalah medan diluar *near field*. *Far field* terbagi menjadi dua yaitu *free field* dan *reverberant field*. *Free field* adalah medan suara yang tidak memberikan efek apapun terhadap gelombang suara. *Reverberant field* adalah medan dimana gelombang suara mengalami banyak pantulan dari medium yang dilaluinya (Fahy, 1995).

Medan jauh dicirikan oleh tiga kriteria yaitu, (Ristanty, 2017):

- a. Tekanan relatif menurun secara monoton terhadap kebalikan dari jarak dari pusat sumber yang efektif.
- b. Distribusi sudut amplitudo tekanan tidak berubah atau tetap dengan bertambahnya jarak.
- c. Nilai impedansi akustik spesifik sama seperti pada kasus gelombang pada pesawat.

2.4 Kekuatan Suara

Kekuatan suara adalah besaran yang menyatakan 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 (Fahy, 1995) 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.

Terdapat beberapa besaran yang berhubungan dengan kekuatan suara, diantaranya adalah tingkat tekanan bunyi (L_p), tingkat intensitas bunyi (L_I). Tingkat tekanan bunyi pada persamaan (2.2) merupakan nisbah logaritmik antara tekanan bunyi dengan tekanan bunyi referensi.

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_{ref}^2} \quad (2.2)$$

Dimana

L_p adalah tingkat tekanan bunyi (dB)

p adalah tekanan bunyi (Pa)

p_{ref} adalah tekanan bunyi referensi yang bernilai 2×10^{-5} Pa

Tingkat intensitas bunyi pada persamaan (2.3) merupakan nisbah logaritmik antara intensitas bunyi dengan intensitas bunyi referensi.

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_{ref}} \quad (2.3)$$

Dimana

L_I adalah tingkat intensitas bunyi (dB)

I adalah intensitas bunyi (Watt/m²)

I_{ref} adalah intensitas bunyi referensi yang bernilai 10^{12} watt/m².

Terdapat hubungan antara tingkat tekanan bunyi (L_p) dengan tingkat intensitas bunyi (L_I), yaitu sebagai berikut:

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

$$10 \log \frac{p^2}{p_{ref}^2} = 10 \log \frac{I}{I_{ref}} \quad (2.5)$$

Dari persamaan (2.4) dan persamaan (2.5) dapat diketahui bahwa nilai tingkat tekanan bunyi (L_p) dan tingkat intensitas bunyi (L_I) mempunyai nilai yang sama.

(Pasqual, 2014) dalam penelitiannya menghitung nilai *sound pressure level* (SPL) pada medan suara menggunakan persamaan (2.6). Persamaan (2.6) merupakan nilai *sound pressure level* pada jarak r , sudut *zenith* θ dan sudut *azimuth* ϕ pada koordinat *spheris*.

$$p(r, \theta, \phi) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=-n}^n P_{m,n}(r) Y_n^m(\theta, \phi) \quad (2.6)$$

Dimana,

$p(r, \theta, \phi)$ merupakan *sound pressure level* pada medan suara
 $P_{m,n}(r)$ merupakan *spherical wave spectrum*

$$P_{m,n}(r) = \left[\rho c \frac{h_n(kr)}{h_n'(ka)} \right] U_{m,n}(r) \quad (2.7)$$

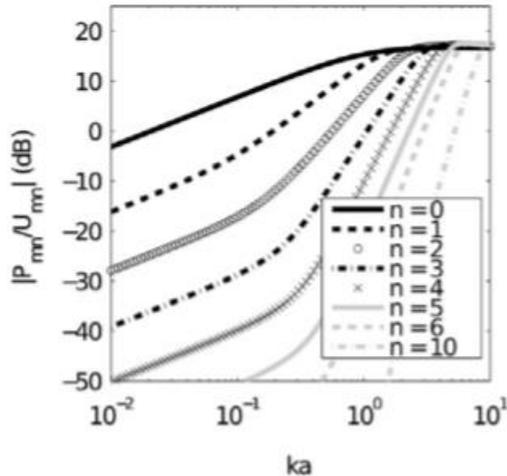
Dimana,

ρ merupakan massa jenis medium

r merupakan jarak medan bebas atau *free field*

Nilai $\frac{P_{m,n}(r)}{U_{m,n}(r)}$ dapat diartikan sebagai *gain* pada setiap komponen harmonik perambatan gelombang suara pada arah radial. Nilai tersebut bergantung pada *property* medium dan dua parameter r/a dan ka . Nilai r/a merupakan rasio antara jarak *free field* dengan radius *midsphere*. Nilai ka merupakan perkalian antara *wavenumber*, $k = 2\pi \frac{f}{c}$, dengan radius *midsphere*. Nilai *gain* yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 2.6. Pada gambar 2.6 dapat diketahui bahwa semakin rendah nilai ka , nilai *gain* yang ditambahkan pada nilai SPL akan semakin kecil. Dengan penambahan *gain* yang kecil membuat nilai SPL menjadi semakin seragam dan keterarahan suara semakin mendekati *omnidirectional*. Sedangkan semakin tinggi nilai ka maka nilai *gain* yang ditambahkan akan semakin besar sehingga *gain* yang ditambahkan pada nilai SPL semakin besar. Dengan penambahan

gain yang besar membuat nilai SPL tidak seragam sehingga keterarahan suara semakin menjadi *directional* (Pasqual, 2014).

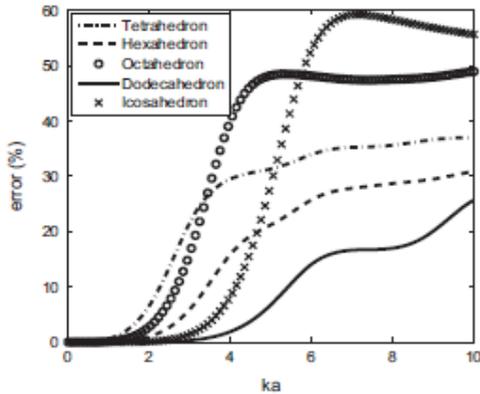


Gambar 2. 6 Gain yang ditambahkan pada SPL (Pasqual, 2014)

Berdasarkan (Pasqual, 2014) nilai error pada SPL yang dibangkitkan oleh RPL dapat dihitung menggunakan persamaan (2.8). Persamaan (2.8) merupakan rasio antara nilai energi pada titik (0,0) di jarak r pada koordinat *spheris* dengan seluruh energi pada titik ukur dengan jarak r.

$$error(r) = \sqrt{1 - \frac{|P_{00}(r)|^2}{\sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=-n}^n |P_{mn}(r)|^2}} \quad (2.8)$$

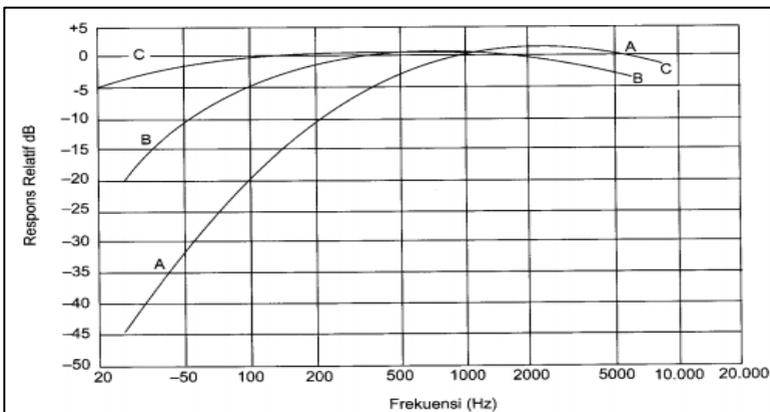
Jika dibandingkan dengan jenis RPL yang lain *dodecahedron* memiliki *error* terendah, dibuktikan dengan gambar 2.7. Gambar 2.7 menunjukkan nilai *error* RPL terhadap nilai ka, dimana semakin besar nilai ka maka nilai *error* akan semakin besar. Pada gambar 2.7 dapat diketahui bahwa nilai *error* yang dihasilkan oleh *dodecahedron* jauh lebih kecil dibandingkan dengan jenis RPL yang lain (*tetrahedron*, *hexahedron*, *octahedron* dan *icosahedron*).



Gambar 2.7 Error RPL terhadap ka

2.5 Pembobotan Bunyi (*Sound Weighting*)

Telinga manusia mampu mendengar bunyi pada rentang pita frekuensi 20 Hz – 20.000 Hz, namun telinga manusia tidak sensitif terhadap semua seluruh pita frekuensi. Telinga manusia sangat sensitif pada rentang pita frekuensi 500 Hz – 6000 Hz dan kurang sensitif pada frekuensi rendah (Mediastika, 2005). Oleh karena itu dilakukan pembobotan bunyi berdasarkan kesan atau sensasi yang diterima oleh telinga.



Gambar 2.8 Kurva pembobotan

Gambar 2.8 merupakan kurva pembobotan bunyi yang dibedakan menjadi tiga yaitu pembobotan A, pembobotan B dan pembobotan C. Berikut adalah penjelasan mengenai masing-masing pembobotan pada gambar 2.8.

a. Pembobotan A

Pembobotan A adalah kategori yang diciptakan pada kondisi telinga kurang baik merespon bunyi dengan *sound level* yang rendah. Pembobotan A memiliki respon yang mirip dengan pendengaran manusia pada *sound level* yang rendah. Oleh karena itu pembobotan A banyak digunakan dalam pengukuran kebisingan (*noise*).

b. Pembobotan B

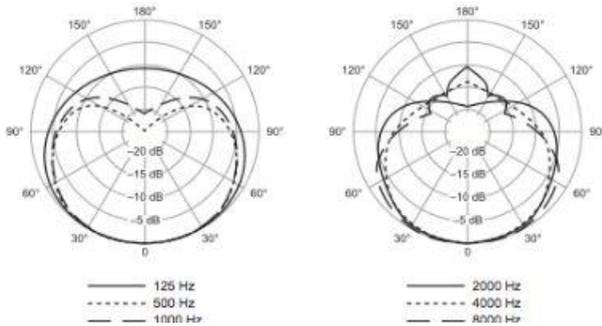
Pembobotan B memiliki range respon relatif yang lebih pendek dibandingkan dengan pembobotan A. Pembobotan B digunakan dalam pengukuran *sound level* yang dibangkitkan oleh motor industri.

c. Pembobotan C

Pembobotan C adalah kategori yang diciptakan ketika telinga seolah mendapat sensasi yang sama pada hampir semua pita frekuensi dengan *sound level* yang tinggi. Pembobotan C digunakan dalam pengukuran *sound level* yang diakibatkan oleh *aircraft noise*.

2.6 Keterarahan Suara (*Sound Directivity*)

Keterarahan suara merupakan deskripsi grafis, biasanya dalam bentuk *polar pattern*, dari respon sumber suara (*loudspeaker*) dalam fungsi arah suara yang ditransmisikan pada bidang tertentu dan pada frekuensi tertentu (Acoustic Glossary, 2019). Keterarahan suara dapat mendeskripsikan medan suara dari sebuah sumber bunyi. (Krott, 2013) mendapatkan deskripsi medan suara dari beberapa *microphone* yang mempunyai keterarahan suara berbeda yang disusun dalam *bidirectional* dan *cardioid microphone*. Gambar 2.9 merupakan keterarahan suara yang dihasilkan dari *microphone* yang disusun dalam arah *bidirectional* dan *cardioid* pada penelitian yang dilakukan oleh (Krott, 2013).

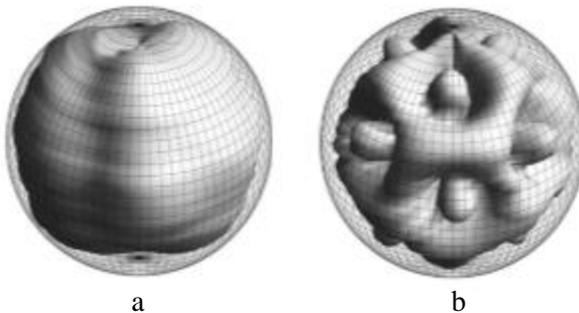


Gambar 2. 9 Keterarahan suara (Krott, 2013)

(Leishman, 2006) mendapatkan pola keterarahan (*directivity*) *speaker dodecahedron* menggunakan persamaan (2.9). Persamaan (2.9) merupakan nisbah logaritmis antara *modulus of complex frequency response* pada point m, n pada frekuensi tertentu dengan *modulus of complex frequency response* tertinggi.

$$L_{mn}(f) = 20 \log \left[\frac{|H_{m,n}(f)|}{|H_{m,n}(f)|_{max}} \right] \quad (2.9)$$

Dimana variabel m dan n merupakan titik pengukuran dimana $m = 0, 1, 2, \dots$ pada posisi sudut $\theta = m\Delta\theta$, sedangkan $n = 1, 2, \dots$ pada posisi sudut $\phi = n\Delta\phi$.



Gambar 2. 10 *Directivity balloon plot dodecahedron*, a. 2000 Hz, b. 4000 Hz (Leishman, 2006)

Gambar 2.10 merupakan *directivity dodecahedron* pada frekuensi 2000 Hz dan 4000 Hz dalam penelitian yang dilakukan oleh (Leishman, 2006).

2.7 *Omnidirectional Cut-Off Frequency*

Berdasarkan (Leishman, 2006), setiap *speaker* dengan bentuk *platonic solid (Regular Polyhedron Loudspeaker)* mempunyai nilai *omnidirectional cut-off frequency*. *Omnidirectional cut-off frequency* adalah batas nilai frekuensi suara yang dibangkitkan oleh RPL sehingga RPL mempunyai *omnidirectional directivity*. Apabila nilai frekuensi suara yang dibangkitkan berada di bawah dari nilai *omnidirectional cut-off frequency* maka RPL akan memiliki *omnidirectional directivity*, sedangkan apabila frekuensi suara yang dibangkitkan melebihi nilai *omnidirectional cut-off frequency* maka RPL akan memiliki *directional directivity*. *Omnidirectional cut-off frequency* adalah nilai dimana deviasi SPL pada pita frekuensi tertentu dalam seluruh titik ukur tidak lebih besar dari 0,5 dB. Dalam penelitiannya, Leishman menggunakan beberapa variasi RPL untuk mengetahui variasi *omnidirectional cut-off frequency* dari RPL dan didapatkan nilai *omnidirectional cut-off frequency* pada tabel 2.1

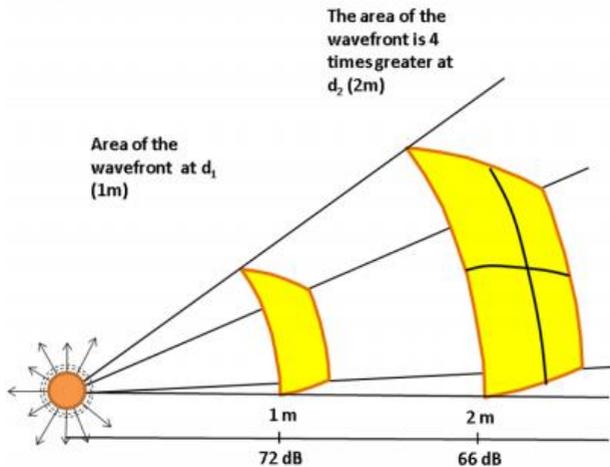
Tabel 2. 1 *Omnidirectional Cut-Off Frequency RPL (Leishman, 2006)*

RPL	Measured cutoff frequency f_c (Hz)	Measured cutoff ratio $f_c/f_{c,t}$	Tarnow cutoff ratio $f_c/f_{c,t}$	EM/EV cutoff ratio $f_{c,EM}/f_{c,EV}$	Radius Ratio a/a_t
EM/EV tetrahedron	975	1.00	1.0	1.00	1.00
EM hexahedron	1562.5	1.60	1.2	1.11	1.00
EM octahedron	1437.5	1.47	1.4	1.14	1.00
EM dodecahedron	1712.5	1.76	2.2	1.17	1.00
EV hexahedron	1412.5	1.49	1.0	1.11	1.12
EV octahedron	1262.5	1.29	1.3	1.14	1.12
EV dodecahedron	1462.5	1.50	1.6	1.17	1.33
EV icosahedron	1300	1.33	1.5	N/A	1.48

Nilai *omnidirectional cut-off frequency* RPL pada tabel 2.1 hanya berlaku pada EM (*Equivalent Midradii*, 11 cm) RPL dan EV (*Equivalent Volume*, 887,4 cm³) RPL. Untuk RPL dengan dimensi diluar dari dimensi tersebut maka nilai *omnidirectional cut-off frequency* dari RPL akan berbeda.

2.8 Hukum Kuadrat Terbalik

Hukum kuadrat terbalik berbunyi bahwa pada setiap penambahan dua kali jarak pada medan bebas (*free field*), tingkat tekanan bunyi akan berkurang sebesar 6 dB (Bies, 2003). Ilustrasi tentang hukum kuadrat terbalik dapat dilihat pada gambar 2.11. Pada gambar 2.11 mengilustrasikan bahwa 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.



Gambar 2. 11 Hukum kuadrat terbalik (Ristanty, 2017)

Hukum kuadrat terbalik dapat dibuktikan melalui penurunan persamaan Tingkat Tekanan Bunyi (TTB) fungsi jarak pada persamaan (2.10). Pada persamaan (2.10), selisih nilai TTB pada jarak pertama dengan nilai TTB pada jarak kedua sama dengan nisbah logaritmis antara jarak kedua (R2) dengan jarak pertama (R1).

$$L1 - L2 = 20 \log \left(\frac{R2}{R1} \right) \quad (2.10)$$

Dimana,

L2 merupakan TTB pada jarak R2

L1 merupakan TTB pada jarak R1

Halaman ini memang dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Studi Literatur dan Identifikasi Masalah

Studi literatur yang dilakukan meliputi pemahaman konsep tentang tugas akhir yang akan dikerjakan mulai dari *review* jurnal pendukung sampai pengumpulan data yang dibutuhkan untuk menunjang pengerjaan tugas akhir ini. Data yang dibutuhkan adalah data hasil pengukuran tiga generasi V-Dec yang telah dibuat sebelumnya.

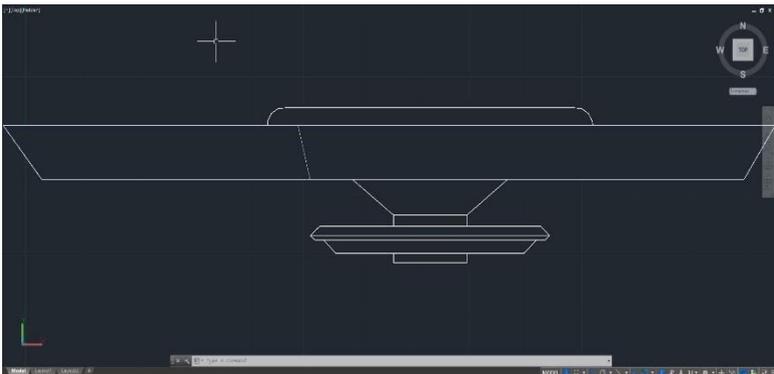
Pada pengerjaan tugas akhir sebelumnya telah dibuat tiga buah generasi *speaker dodecahedron* yang diberi nama V-Dec (Vibrastic Dodecahedron). V-Dec seri pertama memiliki panjang sisi poligon 15 cm (Ristanty, 2017), seri kedua mempunyai panjang sisi poligon sebesar 13 cm dan seri ketiga mempunyai panjang sisi poligon sebesar 9 cm (Hanindita, 2018). Tujuan dibuatnya ketiga generasi dengan dimensi yang berbeda adalah memudahkan dalam installasi dan penggunaannya. Namun dari tiga generasi V-Dec yang telah dibuat muncul sebuah hipotesa bahwa semakin kecil dimensi dari V-Dec maka kinerjanya akan semakin buruk apabila dilihat dari spesifikasi V-Dec yang diinginkan. Tabel 3.1 merupakan perbandingan kinerja V-Dec

Tabel 3. 1 Perbandingan Kinerja Tiga Generasi V-Dec

Parameter	Generasi Pertama	Generasi Kedua	Generasi Ketiga
<i>Directivity</i>	<i>Omnidirectional</i>	<i>Omnidirectional</i>	Tidak <i>Omnidirectional</i>
Frekuensi Respons	<i>Flat response</i> pada frekuensi 125 Hz sampai dengan 6300 Hz	<i>Flat response</i> pada frekuensi 800 Hz sampai dengan 2000 Hz	Respon frekuensi tidak <i>flat</i>
Daya / Kuat Suara	112 dB <i>White Noise</i>	81,98 dB pada <i>anechoic chamber</i> 95,22 dB di dalam ruangan	81,98 dB pada <i>anechoic chamber</i> dalam ruangan

3.2 Pemodelan *Speaker Dodecahedron*

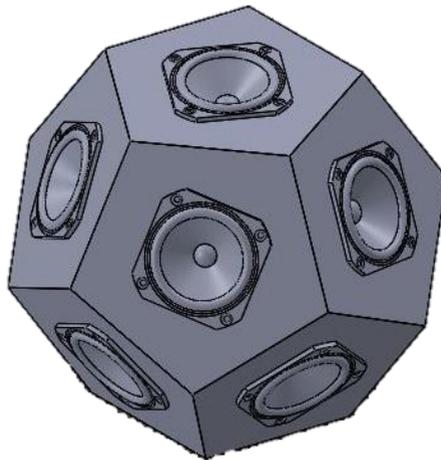
Pemodelan V-Dec dilakukan melalui dua tahap. Tahap pertama menggunakan perangkat lunak Autocad 2017 dan tahap kedua menggunakan perangkat lunak Solidwork 2016. Pada tahap pertama dilakukan pemodelan *driver speaker* yang digunakan pada setiap generasi V-Dec, diantaranya adalah SBAcoustics 5” SB15NRX30-8 pada generasi pertama, SBAcoutics 4” SB12CACS25-8 pada generasi kedua dan SBAcoustics 2,5” SB65WBAC25-4 pada generasi ketiga. Pemodelan pada tahap pertama dilakukan pada elemen yang digunakan pada simulasi yaitu *cone*, *surround*, *spider* dan *apex speaker* serta *encloure speaker*. Gambar 3.1 merupakan hasil pemodelan tahap pertama menggunakan perangkat lunak AutoCAD 2017.



Gambar 3. 1 Pemodelan menggunakan perangkat lunak Autocad 2017

Pemodelan tahap kedua menggunakan perangkat lunak Solidworks 2016. Pada tahap ini dilakukan *assembly* seluruh komponen V-Dec yang telah dibuat pada tahap pertama. Sebelum dilakukan *assembly*, model yang telah dibuat pada pertama diubah menjadi *part* yang dibedakan menjadi *part speaker* dan *part enclosure*. *Part speaker* terdiri dari *cone*, *surround*, *spider* dan *apex*. *Part enclosure* adalah *enclosure speaker*. Setelah itu dilakukan *assembly* pada kedua *part* tersebut. Hasil *assembly*

adalah satu sisi V-Dec yang terdiri dari *enclosure* dan *speaker* lengkap. Hasil *assembly* tersebut kemudian disalin menjadi 12 buah dan kemudian dilakukan *assembly* terhadap semua sisi sehingga terbentuklah model V-Dec yang siap untuk dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak Comsol Multiphysics 5.4 seperti pada gambar 3.2. Gambar 3.2 merupakan hasil *assembly* seluruh *part* yang telah dibuat pada tahap pemodelan pertama dan pemodelan kedua.



Gambar 3. 2 Hasil *assembly* pada perangkat lunak Solidworks 2016

3.3 Simulasi *Loudspeaker Vibrastic Dodecahedron*

Simulasi *loudspeaker Vibrastic Dodecahedron* menggunakan perangkat lunak Comsol Multiphysics 5.4. Comsol multiphysics merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan simulasi *finite element analysis*, *solver* dan *multiphysics*. Pada perangkat lunak comsol terdapat berbagai macam simulasi yang terwadahi diantaranya *electrical*, *mechanical*, *fluid*, *chemical* dan *structure*. Pengerjaan dalam perangkat lunak Comsol Multiphysics 5.4 terbagi menjadi lima yaitu pembuatan geometri, pendefinisian *boundary*, *input data* dan variabel, *meshing* serta *running*.

3.3.1 Pembuatan Geometri

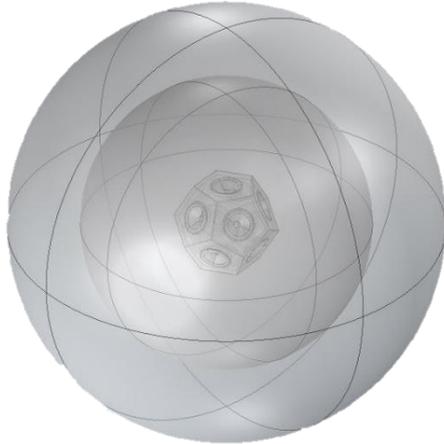
Geometri yang dibuat antara lain adalah model V-Dec yang akan disimulasikan dan *boundary* yang digunakan dalam simulasi untuk membatasi komputasi. Pembuatan geometri *speaker* dilakukan dengan cara *import* model dari perangkat lunak Autocad 2017, hal ini dapat dilakukan karena perangkat lunak Comsol Multiphysics memiliki LiveLink dengan beberapa perangkat lunak lain sehingga dapat mengakomodir geometri yang dibuat dari perangkat lunak lain untuk disimulasikan di perangkat lunak Comsol Multiphysics. Gambar 3.3 merupakan geometri V-Dec yang digunakan untuk simulasi.



Gambar 3. 3 Geometri pada perangkat lunak Comsol Multiphysics 5.4

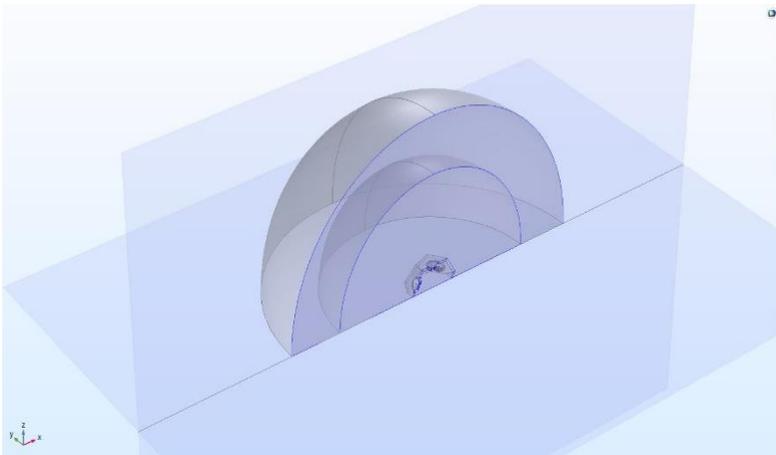
Boundary yang dibuat pada simulasi memiliki bentuk bola. Terdapat dua lapis *boundary*, lapis pertama merupakan udara yang mengelilingi V-Dec dan lapis kedua merupakan *boundary* berupa udara yang bersifat sangat menyerap suara. *Boundary* yang telah dibuat dapat dilihat pada gambar 3.4. Geometri V-Dec mempunyai bentuk yang simetris dan apabila dipotong, potongan terkecil yang masih bersifat simetris adalah potongan seperempat bagian. Oleh karena itu geometri yang telah dibuat kemudian disederhanakan dengan cara memotong menjadi empat bagian sehingga yang

disimulasikan hanya seperempat bagian saja yang kemudian hasilnya dicerminkan pada arah *horizontal* dan *vertical*.



Gambar 3. 4 *Boundary* yang digunakan pada simulasi

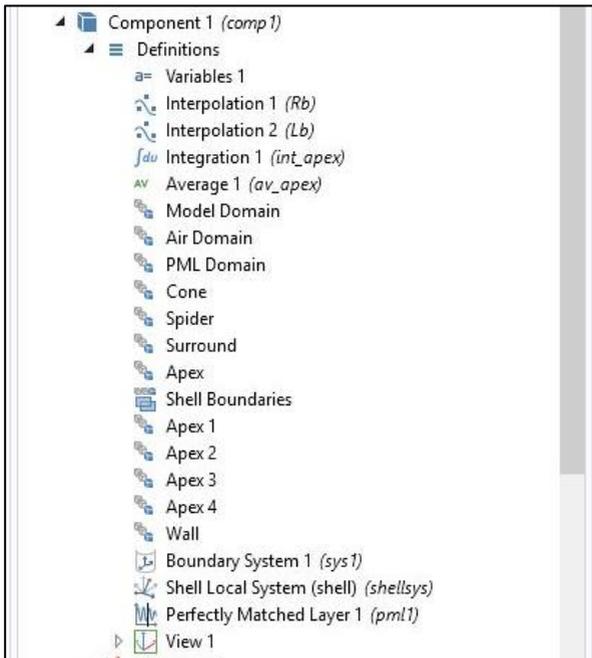
Gambar 3.5 merupakan metode simulasi yang digunakan. Metode ini bertujuan untuk menghemat penggunaan *memory* PC serta untuk mempercepat komputasi pada saat *running*.



Gambar 3. 5 Metode Simulasi

3.3.2 Pendefinisian *Boundary*

Setelah seluruh *geometri* dibuat, selanjutnya dilakukan pendefinisian *boundary*. Pendefinisian *boundary* bertujuan untuk memberi batas dan inisiasi pada geometri yang digunakan. *Boundary* yang didefinisikan antara lain *cone*, *spider*, *surround*, *apex speaker*, *air domain* dan *PML domain*. Gambar 3.6 merupakan pendefinisian *boundary*.

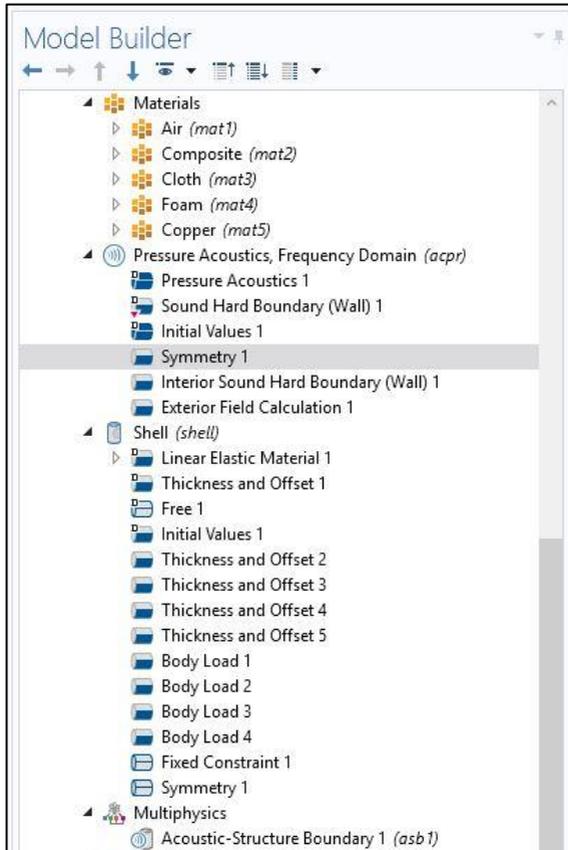


Gambar 3. 6 Pendefinisian *boundary*

3.3.3 *Input Data dan Variabel*

Setelah seluruh pendefinisian *boundary* dilakukan, langkah selanjutnya adalah *input data* dan variabel yang digunakan. Pada langkah ini juga dilakukan pemilihan material pada setiap *boundary*. Material yang digunakan antara lain udara (*air*) untuk *boundary* udara, *composite* untuk *cone speaker*, *cloth* untuk *spider speaker*, *foam* untuk *surround speaker* dan *copper* untuk

apex/voice coil speaker. Variabel seperti *driving voltage*, *body load* dll. dari V-Dec yang dibutuhkan pada saat simulasi juga diinisiasi pada tahap ini. Gambar 3.7 merupakan beberapa data dan variabel yang menjadi *input* simulasi, seperti pemilihan material.

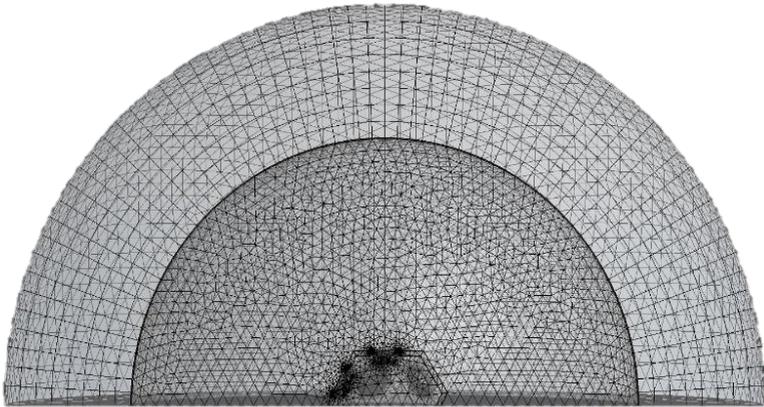


Gambar 3.7 *Input* data dan Variabel

3.3.4 Meshing

Meshing dilakukan setelah seluruh kondisi dan data serta variabel simulasi diinisiasi. Metode *meshing* yang dilakukan adalah *user-controlled mesh* atau *manual meshing*. Dengan metode

ini, ukuran dan bentuk *mesh* dapat diatur menyesuaikan kondisi dan bentuk geometri. Pada perangkat lunak Comsol *Multiphysics*, metode *meshing* dan ukuran *meshing* yang digunakan sangat menentukan hasil yang didapatkan. Pemilihan yang tidak tepat akan membuat tingkat konvergen dari hasil yang didapatkan tidak tercapai. Dalam perangkat lunak Comsol *Multiphysics*, nilai tingkat konvergen terbesar yang dapat diproses sebesar 0,1. Gambar 3.8 merupakan *meshing* yang telah dibuat.



Gambar 3. 8 *Meshing*

3.3.5 *Running*

Running simulasi dilakukan setelah seluruh proses persiapan selesai dilakukan. Pada saat *running*, inisiasi variabel juga diperlukan. Variabel yang diinisiasi adalah frekuensi yang ingin diamati. Frekuensi yang digunakan adalah frekuensi sepertiga oktaf pada rentang 63 Hz – 2000 Hz. Frekuensi tertinggi yang digunakan pada simulasi hanya sebesar 2000 Hz karena terbatasnya *memory* PC untuk melakukan komputasi.

3.4 *Evaluasi dan Rekomendasi*

Setelah simulasi seluruh generasi V-Dec selesai dilakukan kemudian dilakukan evaluasi terhadap hasil simulasi. Hasil yang didapatkan dari simulasi kemudian dibandingkan dengan data hasil pengukuran. Variabel yang dibandingkan adalah nilai *sound*

pressure level (SPL) pada setiap pita frekuensi uji, *directivity* atau keterarahan suara dan respon frekuensi dari setiap generasi V-Dec. Hal ini bertujuan untuk mengetahui potensi maksimum yang dimiliki oleh V-Dec. Dari hasil perbandingan tersebut dapat diketahui *error* antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran. Hasil evaluasi tersebut dapat dijadikan bahan rekomendasi dalam pembuatan V-Dec generasi berikutnya.

Halaman ini memang dikosongkan

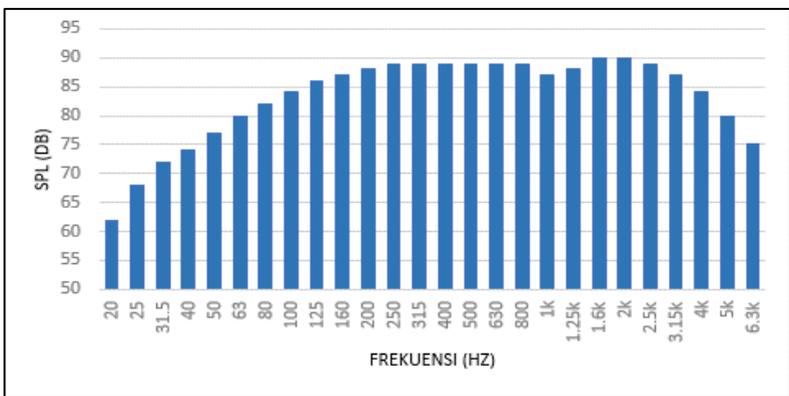
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 *Driver Speaker*

Penggunaan *driver speaker* pada V-Dec sangat berpengaruh terhadap kinerja dari V-Dec yang dibuat. Vibrastic Dodecahedron yang dibuat diharapkan memiliki kinerja dengan spesifikasi:

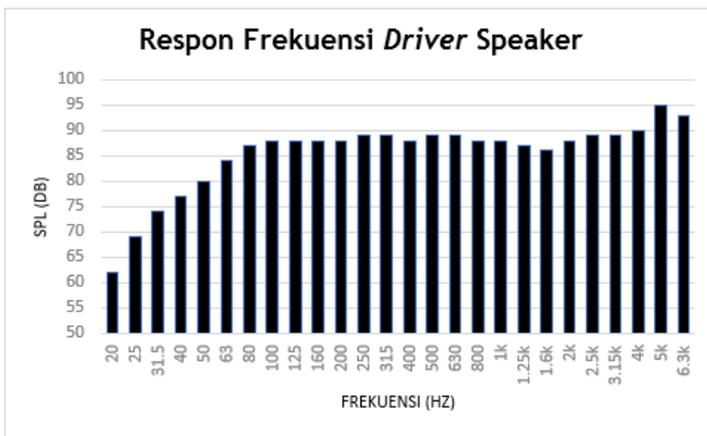
- a. Mampu menghasilkan *flat frequency response* pada rentang pita frekuensi 80 Hz – 4000 Hz.
- b. Daya atau kuat suara pada rentang 90 dBA - 100 dBA.
- c. Memiliki *omnidirectional directivity*.

Oleh karena itu dalam pembuatan V-Dec, *driver speaker* yang digunakan harus memenuhi ketiga spesifikasi tersebut. Setelah dilakukan pemilihan pada beberapa produk *driver speaker*, kemudian dipilih *driver speaker* produk dari SBAcoustic karena memenuhi tiga spesifikasi yang diharapkan pada V-Dec. Pada V-Dec generasi pertama menggunakan *driver speaker* dengan merk dagang SBAcoustics 5” SB15NRX30-8. Pada V-Dec generasi kedua menggunakan *driver speaker* dengan merk dagang SBAcoustics 4” SB12CACS25-8. Pada V-Dec generasi ketiga menggunakan *driver speaker* dengan merk dagang SBAcoustics 2.5” SB65WBAC25-4.



Gambar 4. 1 Respon frekuensi *driver speaker* SBAcoustics 5” SB15NRX30-8 hasil simulasi

Gambar 4.1 merupakan hasil simulasi respon frekuensi *driver speaker* SBAcoustics 5” SB15NRX30-8. Berdasarkan hasil simulasi dapat diketahui bahwa *driver speaker* SBAcoustics 5” SB15NRX30-8 memiliki respon frekuensi yang flat pada frekuensi 200 Hz – 800 Hz dan mampu menghasilkan kuat suara 80 dB – 90 dB pada rentang frekuensi 63 Hz – 4000 Hz. Untuk memvalidasi hasil simulasi maka kemudian dilakukan pengukuran. Gambar 4.2 merupakan respon frekuensi hasil pengukuran dari *driver speaker* SBAcoustics 5” SB15NRX30-8.

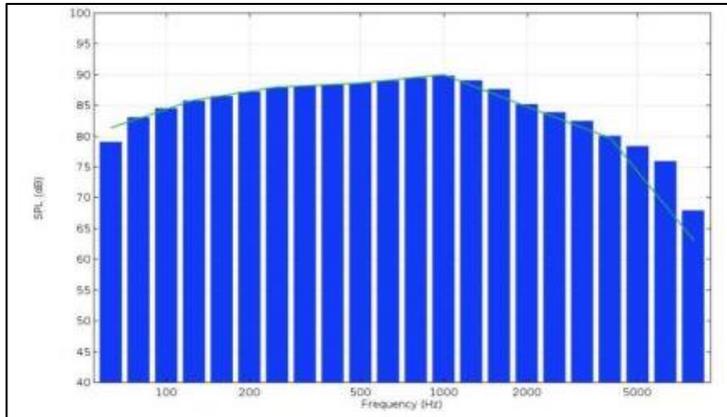


Gambar 4. 2 Respon frekuensi *driver speaker* SBAcoustics 5” SB15NRX30-8 hasil pengukuran

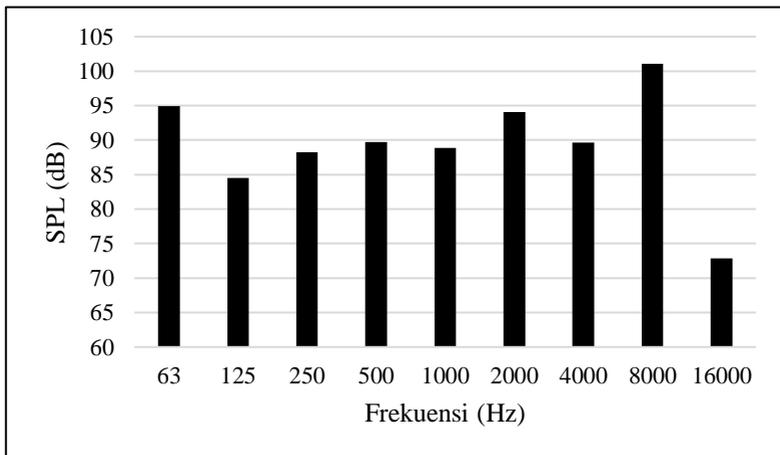
Berdasarkan hasil pengukuran pada gambar 4.2 dapat diketahui bahwa *driver speaker* SBAcoustics 5” SB15NRX30-8 memiliki respon frekuensi yang *flat* pada frekuensi 80 Hz – 4000 Hz dan mampu menghasilkan kuat suara 84 dB – 90 dB. Berdasarkan hasil simulasi dan pengukuran dapat disimpulkan bahwa hasil pengukuran menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan hasil simulasi.

Gambar 4.3 merupakan hasil simulasi *driver speaker* SBAcoustics 4” SB12CACS25-8. Berdasarkan hasil simulasi dapat diketahui bahwa *driver speaker* SBAcoustics 4” SB12CACS25-8

memiliki respon frekuensi yang tidak *flat* namun mampu menghasilkan kuat suara 79 dB – 90 dB pada frekuensi 63 Hz – 4000 Hz. Untuk memvalidasi hasil simulasi maka kemudian dilakukan pengukuran. Hasil pengukuran dapat dilihat pada gambar 4.4.

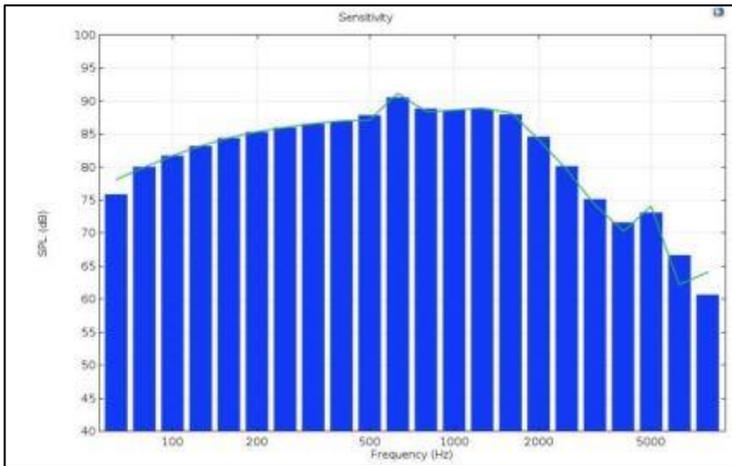


Gambar 4.3 Respon frekuensi *driver speaker* SBAcoustics 4” SB12CACS25-8 hasil simulasi



Gambar 4.4 Respon frekuensi *driver speaker* SBAcoustics 4” SB12CACS25-8 hasil pengukuran

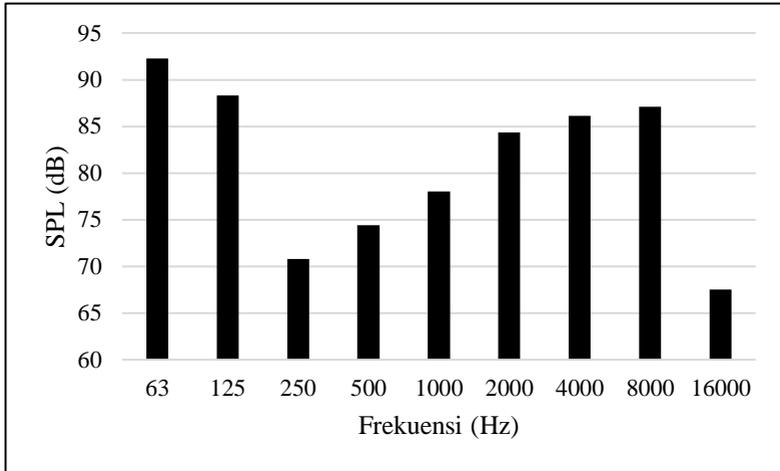
Berdasarkan hasil pengukuran pada gambar 4.4, dapat diketahui bahwa *driver speaker* SBAcoustics 4” SB12CAC25-8 memiliki respon frekuensi yang tidak *flat* namun mampu menghasilkan kuat suara 84 dB – 95 dB pada rentang frekuensi 63 Hz – 4000 Hz. Berdasarkan hasil simulasi dan pengukuran dapat disimpulkan bahwa hasil pengukuran menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan hasil simulasi.



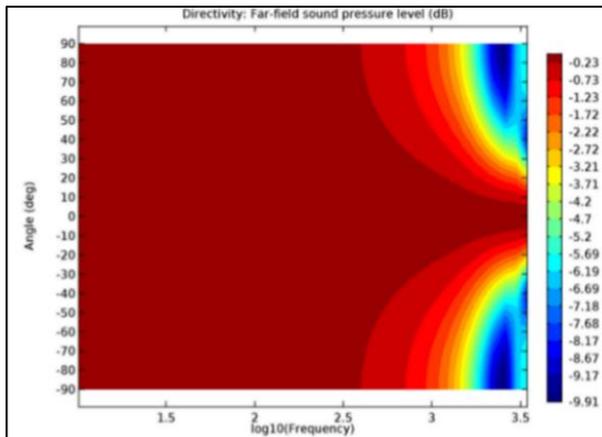
Gambar 4. 5 Respon frekuensi *driver speaker* SBAcoustics 2.5” SB65WBAC25-4 hasil simulasi

Gambar 4.5 merupakan hasil simulasi *driver speaker* SBAcoustics 2.5” SB65WBAC25-4. Berdasarkan hasil simulasi dapat diketahui bahwa *driver speaker* SBAcoustics 2.5” SB65WBAC25-4 memiliki respon frekuensi yang tidak *flat* namun mampu menghasilkan kuat suara 76 dB – 90 dB pada rentang frekuensi 63 Hz – 4000 Hz. Untuk memvalidasi hasil simulasi maka kemudian dilakukan pengukuran. Hasil pengukuran dapat dilihat pada gambar 4.6. Berdasarkan hasil pengukuran pada gambar 4.6 dapat diketahui bahwa *driver speaker* SBAcoustics 2.5” SB65WBAC25-4 memiliki respon frekuensi yang tidak *flat* namun mampu menghasilkan kuat suara 70 dB – 93 dB pada

rentang frekuensi 63 Hz – 45000 Hz. Berdasarkan hasil simulasi dan pengukuran dapat disimpulkan bahwa hasil pengukuran menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan simulasi.

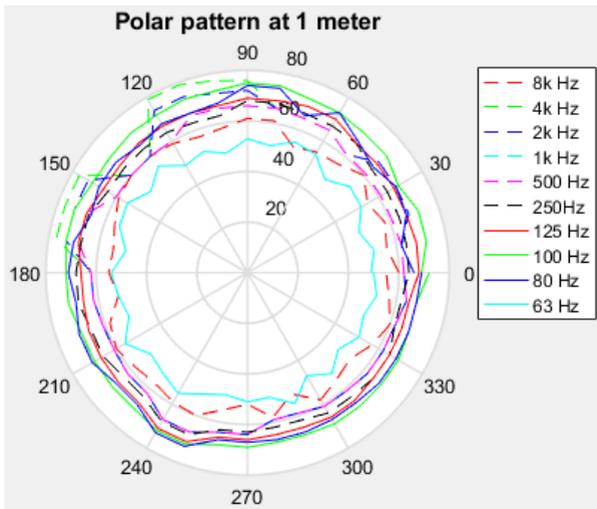


Gambar 4. 6 Respon frekuensi *driver speaker* SBAcoustics 2.5” SB65WBAC25-4 hasil pengukuran



Gambar 4. 7 Directivity *driver speaker* SBAcoustics 5” SB15NRXC30-8 hasil simulasi

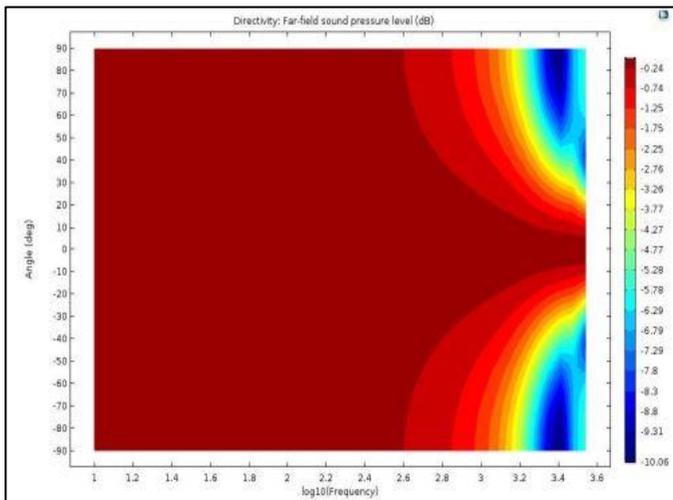
Gambar 4.7 merupakan hasil simulasi *directivity driver speaker* SBAcoustics 5” SB15NRXC30-8. Warna kontur pada gambar 4.7 menunjukkan *directivity index* dari *driver speaker* SBAcoustics 5” SB15NRXC30-8. Sebuah sumber suara dapat dikatakan *omnidirectional* jika deviasi SPL pada semua titik sudut tidak melebihi 0,5 dB (Leishman, 2006). Pada gambar 4.7, nilai *directivity index* yang tidak melebihi 0,5 dB memiliki warna merah pekat. Jadi dapat disimpulkan, berdasarkan hasil simulasi *driver speaker* SBAcoustics 5” SB15NRXC30-8 memiliki *omnidirectional directivity* pada frekuensi kurang dari 63 Hz, dan pada frekuensi melebihi 63 Hz *driver speaker* SBAcoustics 5” SB15NRXC30-8 memiliki *directional directivity*. Untuk memvalidasi hasil simulasi maka dilakukan pengukuran. Hasil pengukuran dapat dilihat pada gambar 4.8.



Gambar 4. 8 *Directivity driver speaker* SBAcoustics 5” SB15NRXC30-8 hasil pengukuran

Gambar 4.8 merupakan *directivity driver speaker* SBAcoustics 5” SB15NRXC30-8 hasil pengukuran. Berdasarkan hasil pada gambar 4.8 dapat diketahui bahwa pada frekuensi suara

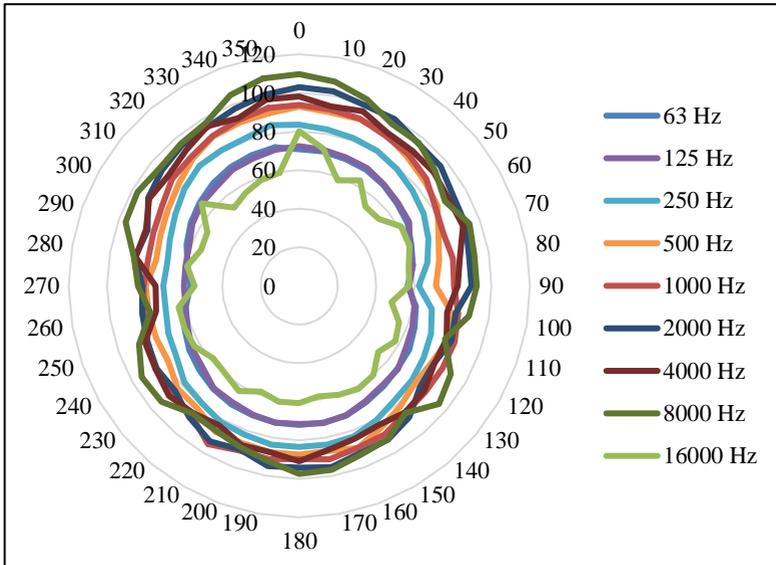
yang dibangkitkan (63 Hz – 8000 Hz) tidak ada bentuk grafik yang menyerupai lingkaran. Hal ini menunjukkan bahwa *driver speaker* SBAcoustics 5” SB15NRXC30-8 pada frekuensi 63 Hz – 8000 Hz memiliki *directional directivity*. Berdasarkan hasil simulasi dan pengukuran menunjukkan bahwa *directivity driver speaker* SBAcoustics 5” SB15NRXC30-8 memiliki hasil yang sama yaitu tidak memiliki *omnidirectional directivity* pada frekuensi 63 Hz – 8000 Hz.



Gambar 4.9 *Directivity driver speaker* SBAcoustics 4” SB12CACS25-8 hasil simulasi

Gambar 4.9 merupakan *directivity driver speaker* SBAcoustics 4” SB12CACS25-8 hasil simulasi. Warna kontur pada gambar 4.9 menunjukkan *directivity index* dari *driver speaker* SBAcoustics 4” SB12CACS25-8. Sebuah sumber suara dapat dikatakan *omnidirectional* jika deviasi SPL pada semua titik sudut tidak melebihi 0,5 dB (Leishman, 2006). Pada gambar 4.9, nilai *directivity index* yang tidak melebihi 0,5 dB memiliki warna merah pekat. Jadi dapat disimpulkan, berdasarkan hasil simulasi *driver speaker* SBAcoustics 4”SB12CACS25-8 memiliki

omnidirectional directivity pada frekuensi kurang dari 63 Hz, dan pada frekuensi melebihi 63 Hz *driver speaker* SBAcoustics 4” SB12CACS25-8 memiliki *directional directivity*. Untuk memvalidasi hasil simulasi maka dilakukan pengukuran. Hasil pengukuran dapat dilihat pada gambar 4.10.

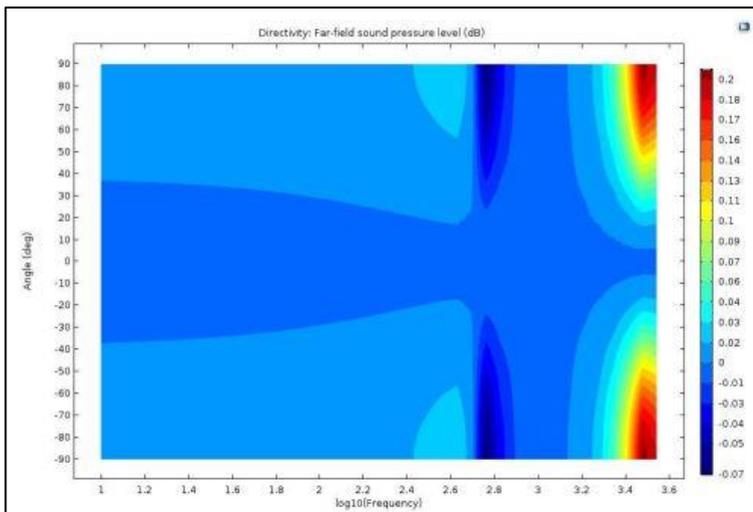


Gambar 4. 10 *Directivity driver speaker* SBAcoustics 4” SB12CACS25-8 hasil pengukuran

Gambar 4.10 merupakan *directivity driver speaker* SBAcoustics 4” SB12CACS25-8 hasil pengukuran. Berdasarkan hasil pada gambar 4.10 dapat diketahui bahwa pada frekuensi suara yang dibangkitkan (63 Hz – 16000 Hz) tidak ada bentuk grafik yang menyerupai lingkaran. Hal ini menunjukkan bahwa *driver speaker* SBAcoustics 4” SB12CACS25-8 pada frekuensi 63 Hz – 16000 Hz memiliki *directional directivity*. Berdasarkan hasil simulasi dan pengukuran menunjukkan bahwa *driver speaker* SBAcoustics 4” SB12CACS25-8 memiliki hasil yang sama yaitu

tidak memiliki *omnidirectional directivity* pada frekuensi 63 Hz – 16000 Hz.

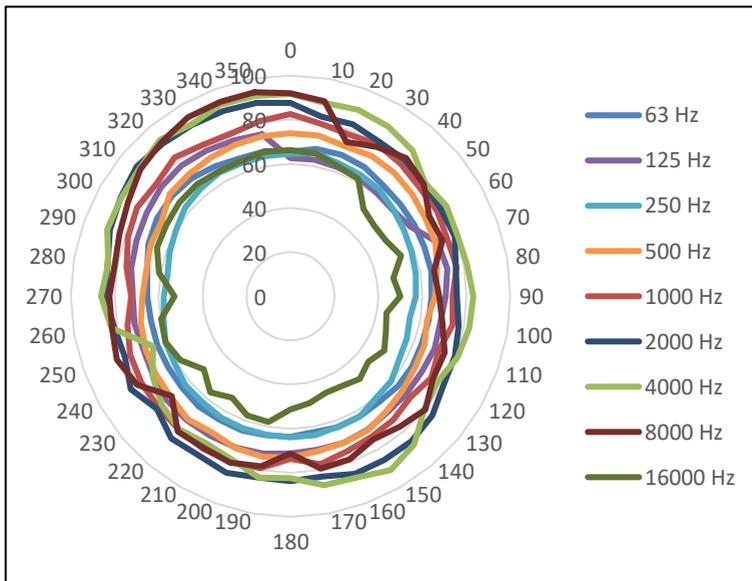
Gambar 4.11 merupakan *directivity driver speaker* SBAcoustics 2.5” SB65WBAC25-4 hasil simulasi. Warna kontur pada gambar 4.11 menunjukkan *directivity index* dari *driver speaker* SBAcoustics 2.5” SB65WBAC25-4. Sebuah sumber suara dapat dikatakan *omnidirectional* jika deviasi SPL pada semua titik sudut tidak melebihi 0,5 dB (Leishman, 2006). Pada gambar 4.11, nilai *directivity index* yang tidak melebihi 0,5 dB memiliki warna biru laut. Jadi dapat disimpulkan, berdasarkan hasil simulasi *driver speaker* SBAcoustics 2.5” SB65WBAC25-4 tidak memiliki *omnidirectional directivity* pada seluruh pita frekuensi suara yang dibangkitkan. Untuk memvalidasi hasil simulasi maka dilakukan pengukuran. Hasil pengukuran dapat dilihat pada gambar 4.12.



Gambar 4.11 *Directivity driver speaker* SBAcoustics 2.5” SB65WBAC25-4 hasil simulasi

Gambar 4.12 merupakan *directivity driver speaker* SBAcoustics 2.5” SB65WBAC25-4 hasil pengukuran. Berdasarkan hasil pada gambar 4.12 dapat diketahui bahwa pada

frekuensi suara yang dibangkitkan (63 Hz – 16000 Hz) tidak ada bentuk grafik yang menyerupai lingkaran. Hal ini menunjukkan bahwa *driver speaker* SBAcoustics 2.5” SB65WBAC25-4 pada frekuensi 63 Hz – 16000 Hz memiliki *directional directivity*. Berdasarkan hasil simulasi dan pengukuran menunjukkan bahwa *driver speaker* SBAcoustics 2.5” SB65WBAC25-4 memiliki hasil yang sama yaitu yaitu tidak memiliki *omnidirectional directivity* pada frekuensi 63 Hz – 16000 Hz.



Gambar 4. 12 *Directivity driver speaker* SBAcoustics 2.5” SB65WBAC25-4 hasil pengukuran

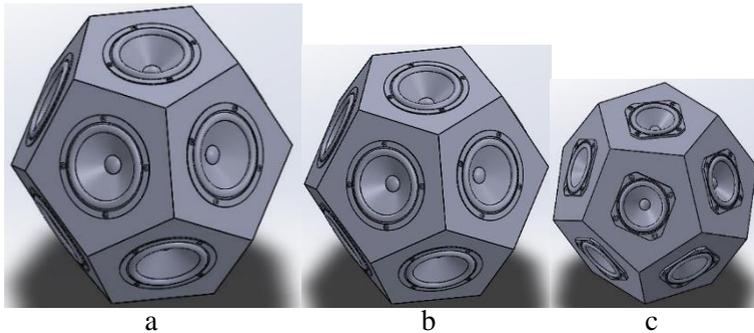
4.2 Pemodelan *Speaker Vibrastic Dodecahedron*

Model *speaker* Vibrastic Dodecahedron dibuat dengan skala 1:1 terhadap *speaker* yang telah dibuat. Pembuatan model mengacu pada spesifikasi dimensi dari V-Dec yang telah dibuat sebelumnya. Pemodelan ini ditujukan agar hasil yang didapatkan dari simulasi merupakan hasil yang sesuai dengan dimensi sebenarnya. Berikut adalah spesifikasi dimensi dari V-Dec yang telah dibuat.

Tabel 4. 1 Spesifikasi Dimensi V-Dec

No	Parameter	V-Dec		
		Generasi Pertama	Generasi Kedua	Generasi Ketiga
1	Panjang sisi poligon	15 (cm)	13 (cm)	9 (cm)
2	Radius <i>speaker</i>	6,5 (cm)	6 (cm)	3,2 (cm)
3	Sudut poligon	108°	108°	108°
4	Radius <i>midsphere</i>	22,5 (cm)	20 (cm)	12,5 (cm)

Gambar 4.13 merupakan model V-Dec yang telah dibuat dan model yang digunakan pada simulasi.

**Gambar 4. 13** Pemodelan vibrastic dodecahedron, a. generasi pertama, b. generasi kedua, c. generasi ketiga

Pada *speaker* V-Dec generasi pertama (Gambar 4.13a) spesifikasi dimensi yang dimiliki antara lain: panjang sisi poligon (s_1) sebesar 15 cm, radius *driver speaker* (a_1) sebesar 6,5 cm, radius *midsphere* (a_2) sebesar 22,5 cm dan *cap aperture angle* (θ_0) sebesar 23°. Dengan menggunakan persamaan 2.1, maka diperoleh rasio dimensi V-Dec generasi pertama sebesar 0,096. Berdasarkan batas maksimum rasio dimensi *speaker dodecahedron* yang bernilai 0,895, maka V-Dec generasi pertama telah memenuhi syarat besar rasio dimensi.

Pada *speaker* V-Dec generasi kedua (Gambar 4.13b) spesifikasi dimensi yang dimiliki antara lain: panjang sisi poligon (s_2) sebesar 13 cm, radius *driver speaker* (a_1) sebesar 6 cm, radius *midsphere* (a_2) sebesar 20 cm dan *cap aperture angle* (θ_0) sebesar 21° . Dengan menggunakan persamaan 2.1, maka diperoleh rasio dimensi V-Dec generasi kedua sebesar 0,0047. Berdasarkan batas maksimum rasio dimensi *speaker dodecahedron* yang bernilai 0,895, maka V-Dec generasi kedua telah memenuhi syarat besar rasio dimensi.

Pada *speaker* V-Dec generasi ketiga (Gambar 4.13c) spesifikasi dimensi yang dimiliki antara lain panjang sisi poligon (s_3) sebesar 9 cm, radius *driver speaker* (a_1) sebesar 3,2 cm, radius *midsphere* (a_2) sebesar 12,61 cm dan *cap aperture angle* (θ_0) sebesar $17,7^\circ$. Dengan menggunakan persamaan 2.1, maka diperoleh rasio dimensi V-Dec generasi ketiga sebesar 0,016. Berdasarkan batas maksimum rasio dimensi *speaker dodecahedron* yang bernilai 0,895, maka V-Dec generasi ketiga telah memenuhi syarat besar rasio dimensi.

4.2 Simulasi *Speaker Vibrastic Dodecahedron*

Simulasi *speaker Vibrastic Dodecahedron* (V-Dec) dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Comsol Multiphysics 5.4. Simulasi menggunakan aspek fisis *Acoustic-Shell Interaction-Frequency Domain* yang ada pada Comsol Multiphysics 5.4. Aspek fisis ini dipilih karena dapat menjalankan simulasi yang dapat menampilkan *pressure acoustic* dan *frequency domain* yang diakibatkan oleh *shell deformation* pada sebuah objek. Aspek fisis ini sangat sesuai untuk menjalankan simulasi *speaker* dimana suara yang dihasilkan oleh *speaker* berasal dari vibrasi dari elemen *speaker*. Dari simulasi yang dilakukan dapat diketahui nilai *sound pressure level* (SPL), *directivity* dan *cone displacement* pada setiap generasi V-Dec. Berikut adalah hasil simulasi *speaker Vibrastic Dodecahedron* generasi pertama, generasi kedua dan generasi ketiga.

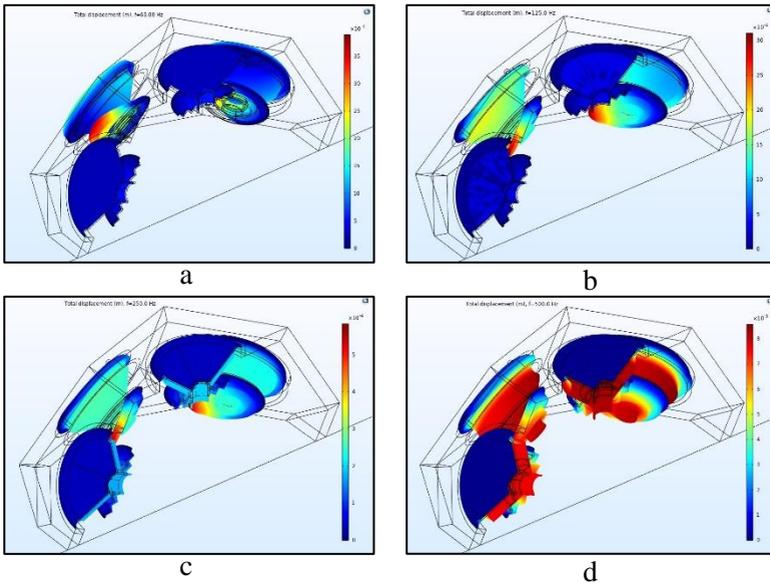
4.2.1 *Displacement*

Salah satu elemen yang berkontribusi menghasilkan suara pada *speaker* adalah *cone speaker*. Dalam membangkitkan suara, *driver speaker* memiliki komponen elektromagnetik yaitu kumparan (*voice coil*) untuk membangkitkan medan magnet dan berinteraksi dengan magnet permanen sehingga menggerakkan *diaphragm / cone speaker* maju dan mundur (vibrasi). Semakin besar vibrasi yang terjadi pada *cone speaker* maka *displacement* pada *cone speaker* akan semakin besar. (Pasqual, 2014) dalam penelitiannya menghitung nilai *radial vibration velocity* di seluruh permukaan *speaker* dimana nilai *cone velocity* bergantung pada nilai k . k adalah bilangan gelombang yang bergantung pada frekuensi dan a adalah radius *cone speaker*. Semakin kecil frekuensi akan menyebabkan *cone velocity* akan semakin besar dan *displacement* pada *cone speaker* menjadi semakin besar. Dan semakin kecil radius *speaker* yang digunakan maka *cone velocity* akan semakin besar dan *displacement* pada *cone speaker* menjadi semakin besar. (Schmidt, 2017) dalam penelitiannya mengemukakan bahwa *transfer* energi listrik menjadi energi suara semakin menurun seiring dengan bertambah besarnya *cone displacement* sehingga menyebabkan nilai *sound pressure level* (SPL) yang dibangkitkan menjadi semakin rendah.

Pada tiga generasi V-Dec yang telah dibuat, vibrasi pada *cone speaker* menjadi sebuah masalah karena sangat mengganggu kinerja V-Dec. V-Dec memiliki nilai *displacement* yang besar pada saat membangkitkan suara pada frekuensi kurang dari 125 Hz sehingga SPL yang dibangkitkan pada frekuensi tersebut memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan frekuensi yang lain. Untuk mengetahui nilai *displacement* pada *cone speaker* pada V-Dec maka dilakukan simulasi. Nilai *displacement* pada *cone speaker* setiap generasi V-Dec dapat dilihat pada gambar 4.14, gambar 4.15 dan gambar 4.16.

Gambar 4.14 merupakan nilai *cone displacement* pada V-Dec generasi pertama. Pada frekuensi 63 Hz (Gambar 4.14a) nilai *cone displacement* sebesar $5,6 \times 10^{-4}$ m. Pada frekuensi 125 Hz (Gambar 4.14b) nilai *cone displacement* sebesar 3×10^{-4} m. Pada frekuensi

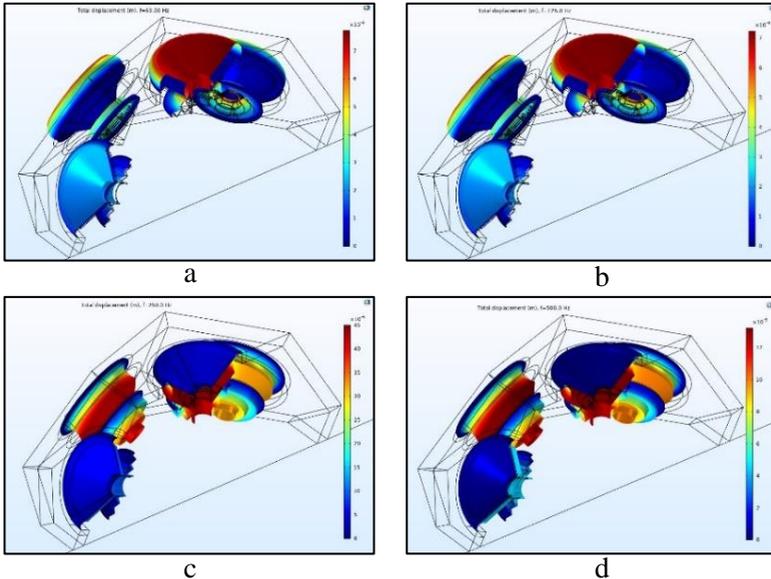
250 Hz (Gambar 4.14c) nilai *cone displacement* sebesar $3,45 \times 10^{-5}$ m. Pada frekuensi 500 Hz (Gambar 4.14d) nilai *cone displacement* sebesar $8,2 \times 10^{-7}$ m. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa pada V-Dec generasi pertama semakin rendah frekuensi suara yang dibangkitkan *driver speaker* akan memiliki *cone displacement* yang semakin besar. Hasil ini sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh (Pasqual, 2014) dan (Schmidt, 2017).



Gambar 4. 14 *Cone displacement* V-Dec generasi pertama, a. 63 Hz, b. 125 Hz, c. 250 Hz, d. 500 Hz

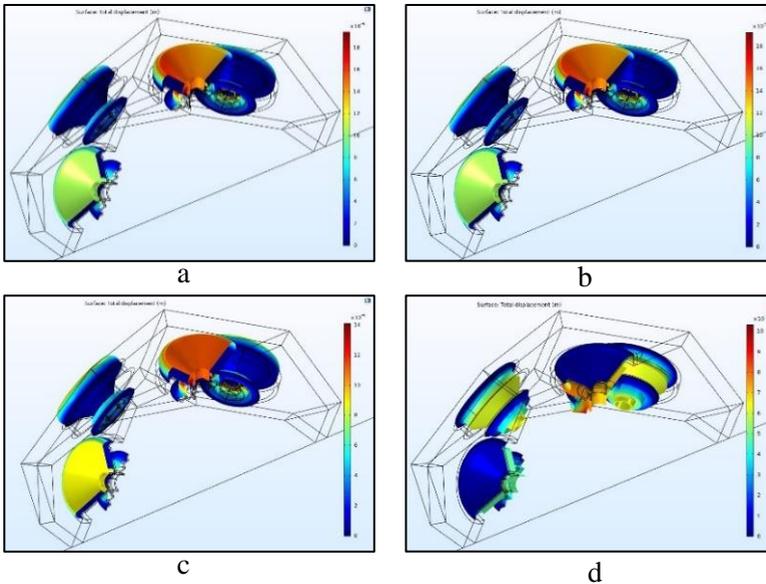
Gambar 4.15 merupakan nilai *cone displacement* pada V-Dec generasi kedua. Pada frekuensi 63 Hz (Gambar 4.15a) nilai *cone displacement* sebesar $7,6 \times 10^{-4}$ m. Pada frekuensi 125 Hz (Gambar 4.15b) nilai *cone displacement* sebesar 7×10^{-4} m. Pada frekuensi 250 Hz (Gambar 4.15c) nilai *cone displacement* sebesar $4,8 \times 10^{-5}$ m. Pada frekuensi 500 Hz (Gambar 4.15d) nilai *cone displacement* sebesar $1,8 \times 10^{-6}$ m. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa pada V-Dec generasi kedua semakin rendah frekuensi suara

yang dibangkitkan *driver speaker* akan memiliki *cone displacement* yang semakin besar. Hasil ini sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh (Pasqual, 2014) dan (Schmidt, 2017).



Gambar 4.15 *Cone displacement* V-Dec generasi kedua, a. 63 Hz, b. 125 Hz, c. 250 Hz, d. 500 Hz

Gambar 4.16 merupakan nilai *cone displacement* pada V-Dec generasi ketiga. Pada frekuensi 63 Hz (Gambar 4.16a) nilai *cone displacement* sebesar $1,6 \times 10^{-4}$ m. Pada frekuensi 125 Hz (Gambar 4.16b) nilai *cone displacement* sebesar $1,5 \times 10^{-4}$ m. Pada frekuensi 250 Hz (Gambar 4.16c) nilai *cone displacement* sebesar $1,1 \times 10^{-5}$ m. Pada frekuensi 500 Hz (Gambar 4.16d) nilai *cone displacement* sebesar $4,06 \times 10^{-6}$ m. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa pada V-Dec generasi ketiga semakin rendah frekuensi suara yang dibangkitkan *driver speaker* akan memiliki *cone displacement* yang semakin besar. Hasil ini sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh (Pasqual, 2014) dan (Schmidt, 2017).



Gambar 4. 16 Cone displacement V-Dec generasi ketiga, a. 63 Hz, b. 125 Hz, c. 250 Hz, d. 500 Hz

4.2.2 Sound Pressure Level (SPL)

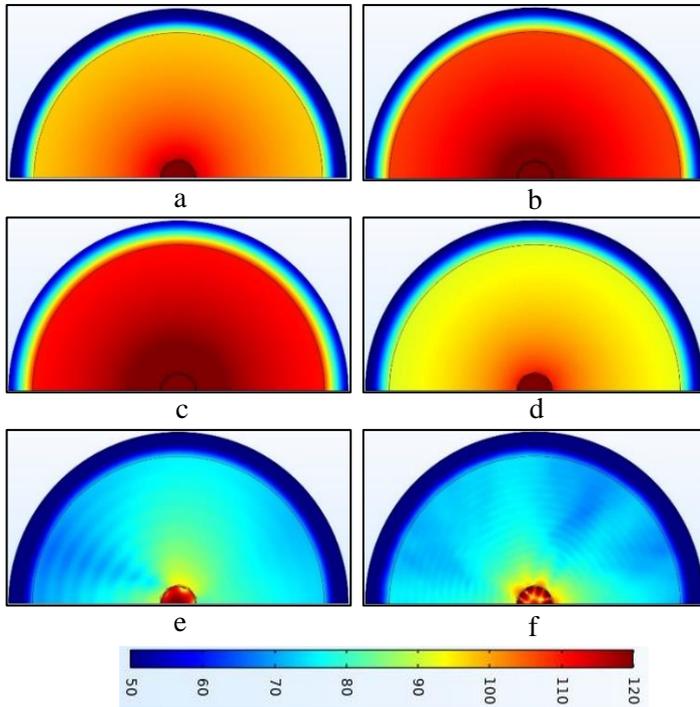
(Pasqual, 2014) menghitung nilai *sound pressure level* yang dihasilkan oleh *speaker dodecahedron* pada medan suara dalam koordinat *spheris* menggunakan persamaan 2.2 dan 2.3. Pada persamaan 2.3, nilai $\frac{P_{m,n}(r)}{U_{m,n}(r)}$ dapat diartikan sebagai *gain* pada setiap komponen harmonik perambatan gelombang suara pada arah radial. Nilai tersebut bergantung pada *property* medium dan dua parameter r/a dan ka . Nilai r/a merupakan rasio antara jarak *free field* dengan radius *midsphere*. Nilai ka merupakan perkalian antara *wavenumber*, $k = 2\pi \frac{f}{c}$, dengan radius *midsphere*. Berdasarkan persamaan tersebut dapat diketahui bahwa nilai ka dipengaruhi oleh frekuensi yang dibangkitkan oleh *speaker dodecahedron*. (Pasqual, 2014) dalam penelitiannya mengungkapkan bahwa semakin rendah nilai ka maka *gain* yang

ditambahkan pada nilai $\frac{P_{m,n}(r)}{U_{m,n}(r)}$ akan semakin kecil. Dengan penambahan nilai *gain* yang kecil membuat nilai *sound pressure level* pada medan suara menjadi seragam sehingga keterarahan *speaker* semakin mendekati *omnidirectional*. Sedangkan nilai *ka* yang semakin besar akan membuat *gain* semakin besar yang akan mempengaruhi persebaran nilai SPL pada medan suara sehingga SPL menjadi bervariasi dan menyebabkan keterarahan *speaker* menjadi *directional*.

Simulasi *speaker* V-Dec menggunakan perangkat lunak Comsol Multiphysics 5.4. Pada simulasi digunakan *boundary layer* dengan jarak 1,5 m dari pusat *speaker dodecahedron*. Dengan demikian, perhitungan nilai *sound pressure level* pada medan suara hanya sampai jarak 1,5 m. Jarak 1,5 m dipilih karena pada jarak tersebut adalah daerah medan jauh atau *far field* dari semua generasi V-Dec. Jarak 1,5 m juga merupakan jarak yang digunakan dalam pengukuran. Berikut adalah nilai *sound pressure level speaker* V-Dec pada medan jauh atau *far field* hasil simulasi menggunakan perangkat lunak Comsol Multiphysics 5.4.

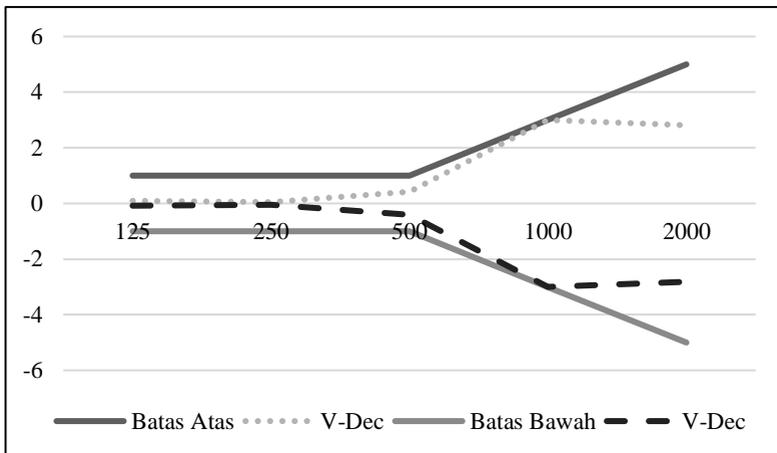
a. Vibrastic Dodecahedron Generasi Pertama

Nilai SPL V-Dec generasi pertama berdasarkan hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.17. Gambar 4.17 menunjukkan bahwa SPL yang dihasilkan V-Dec generasi pertama mempunyai nilai yang seragam pada jarak 1,5 m pada frekuensi 63 Hz (Gambar 4.17a), frekuensi 125 Hz (Gambar 4.17b), frekuensi 250 Hz (Gambar 4.17c) dan frekuensi 500 Hz (Gambar 4.17d). Sedangkan pada frekuensi 1000 Hz (Gambar 4.17e) dan frekuensi 2000 Hz (Gambar 4.17f) memiliki nilai SPL yang berbeda pada jarak 1,5 m. Nilai SPL yang seragam pada titik ukur menunjukkan bahwa *directivity* pada frekuensi tersebut bersifat *omnidirectional* dan nilai SPL yang berbeda pada titik ukur menunjukkan bahwa *directivity* pada frekuensi tersebut bersifat *directional*. Hasil tersebut sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh (Pasqual, 2014).



Gambar 4. 17 SPL V-Dec generasi pertama, a. 63 Hz, b. 125 Hz, c. 250 Hz, d. 500 Hz, e. 1000 Hz, f. 2000 Hz

ISO 3382-1 mengatur deviasi maksimum yang dapat ditoleransi dari nilai SPL yang dibangkitkan oleh *speaker*. *Speaker* yang digunakan sebagai sumber suara pada pengukuran akustik ruang harus memenuhi batas deviasi maksimum berdasarkan ISO 3382-1. Untuk mengetahui apakah V-Dec generasi pertama memenuhi ISO 3382-1 diperlukan simulasi. Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.18. Gambar 4.18 merupakan hasil simulasi deviasi V-Dec generasi pertama. Berdasarkan hasil simulasi dapat diketahui bahwa deviasi V-Dec generasi pertama tidak melebihi batas maksimum dan minimum yang ditetapkan oleh ISO 3382-1. Untuk memvalidasi hasil simulasi maka dilakukan pengukuran. Hasil pengukuran dapat dilihat pada gambar 4.19.



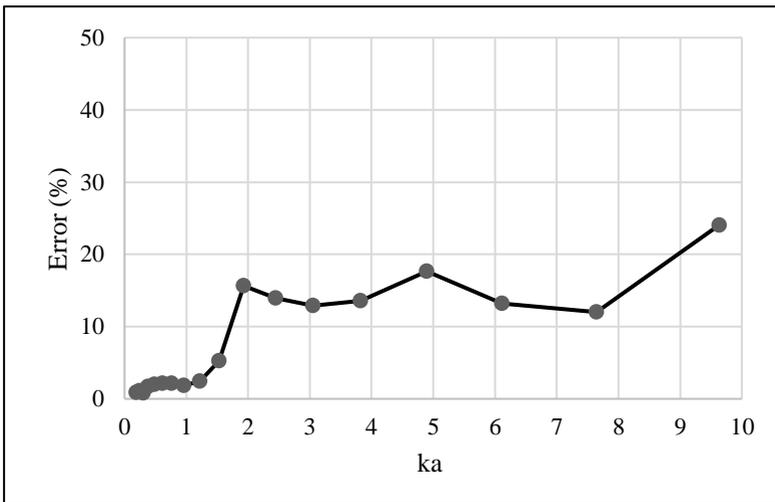
Gambar 4. 18 Deviasi V-Dec generasi pertama hasil simulasi



Gambar 4. 19 Deviasi V-Dec generasi pertama hasil pengukuran

Gambar 4.19 merupakan deviasi V-Dec generasi pertama hasil pengukuran. Berdasarkan hasil pengukuran pada gambar 4.19 dapat diketahui bahwa deviasi V-Dec generasi pertama tidak melebihi batas maksimum dan minimum yang ditetapkan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa V-Dec generasi pertama memenuhi syarat sebagai sumber suara untuk pengukuran akustik ruang berdasarkan ISO 3382-1.

Berdasarkan (Pasqual, 2014) nilai *error* pada SPL yang dibangkitkan oleh RPL dapat dihitung menggunakan persamaan (2.8). V-Dec generasi pertama memiliki nilai *error* terhadap k_a seperti pada gambar 4.20. Pada gambar 4.20 dapat diketahui bahwa semakin besar nilai k_a maka nilai *error* akan semakin besar. Hasil ini sesuai dengan penelitian (Pasqual, 2014) dimana nilai *error* akan semakin besar seiring dengan bertambahnya nilai k_a .



Gambar 4. 20 *Error* terhadap k_a V-Dec generasi pertama

Pada pengerjaan tugas akhir sebelumnya telah dilakukan pengukuran SPL V-Dec generasi pertama pada tiga kondisi pengukuran yaitu pengukuran di ruang *anechoic chamber*, luar ruangan dan dalam ruangan. Pada pengukuran di ruang *anechoic chamber*, titik ukur berada pada jarak 1,1 m sedangkan pada simulasi jarak *boundary* yang digunakan sejauh 1,5 m. Sehingga nilai SPL hasil simulasi harus dikonversi menggunakan prinsip hukum kuadrat terbalik dengan persamaan (2.10)

Tabel 4.2 merupakan hasil konversi nilai SPL V-Dec generasi pertama dari jarak 1,5 m menjadi 1,1 m. Hal ini bertujuan agar nilai

SPL hasil simulasi dan nilai SPL hasil pengukuran dapat dibandingkan karena telah memiliki jarak titik ukur yang sama.

Tabel 4. 2 Konversi SPL V-Dec generasi pertama

No	Frekuensi (Hz)	<i>Sound Pressure Level</i> (SPL) dB	
		r1 = 1,5 m	r2 = 1,1 m
1	63	94	97
2	125	105	107
3	250	108	111
4	500	90	93
5	1000	70	73
6	2000	72	75

Hasil konversi tersebut kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran pada ruang *anechoic chamber* untuk mengetahui selisih nilai SPL antara simulasi dengan pengukuran.

Tabel 4. 3 Perbandingan SPL hasil simulasi dengan pengukuran di ruang *anechoic chamber* V-Dec generasi pertama

No	Frekuensi (Hz)	<i>Sound Pressure Level</i> (SPL) dB		
		Simulasi	<i>Anechoic Chamber</i>	<i>Error</i> (%)
1	63	97	96	1
2	125	107	94	14
3	250	111	85	31
4	500	93	74	26
5	1000	73	68	7
6	2000	75	68	10

Pada tabel 4.3 dapat diketahui nilai *error* tertinggi terdapat pada frekuensi 250 Hz dengan nilai sebesar 31% dan nilai *error* terendah terdapat pada frekuensi 63 Hz dengan nilai sebesar 1%.

Pada pengukuran di luar ruangan, titik ukur berada pada jarak 2 m sedangkan pada simulasi, jarak *boundary* yang digunakan

sejauh 1,5 m. Sehingga nilai SPL hasil simulasi harus dikonversi menggunakan prinsip hukum kuadrat terbalik dengan persamaan (2.10). Tabel 4.4 merupakan hasil konversi nilai SPL V-Dec generasi pertama dari jarak 1,5 m menjadi 2 m. Hal ini bertujuan agar nilai SPL hasil simulasi dan nilai SPL hasil pengukuran dapat dibandingkan karena telah memiliki jarak titik ukur yang sama.

Tabel 4. 4 Konversi SPL V-Dec generasi pertama

No	Frekuensi (Hz)	<i>Sound Pressure Level (SPL) dBA</i>	
		r1 = 1,5 m	r2 = 2 m
1	63	97	95
2	125	107	105
3	250	111	108
4	500	92	90
5	1000	76	73
6	2000	76	73

Tabel 4. 5 Perbandingan SPL hasil simulasi dengan pengukuran di luar ruangan V-Dec generasi pertama

No	Frekuensi (Hz)	<i>Sound Pressure Level (SPL) dBA</i>		
		Simulasi	Luar Ruangan	<i>Error (%)</i>
1	63	95	73	30
2	125	105	113	7
3	250	108	109	1
4	500	90	110	18
5	1000	73	112	35
5	2000	73	106	31

Hasil konversi tersebut kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran di luar ruangan untuk mengetahui selisih nilai SPL antara simulasi dengan pengukuran. Hasil perbandingan dapat dilihat pada tabel 4.5. Pada tabel 4.5 dapat diketahui nilai *error* tertinggi terdapat pada frekuensi 63 Hz dengan nilai sebesar 30%

dan nilai *error* terendah terdapat pada frekuensi 1000 Hz dengan nilai sebesar 35%.

Tabel 4. 6 Perbandingan SPL hasil simulasi dengan pengukuran di dalam ruangan V-Dec generasi pertama

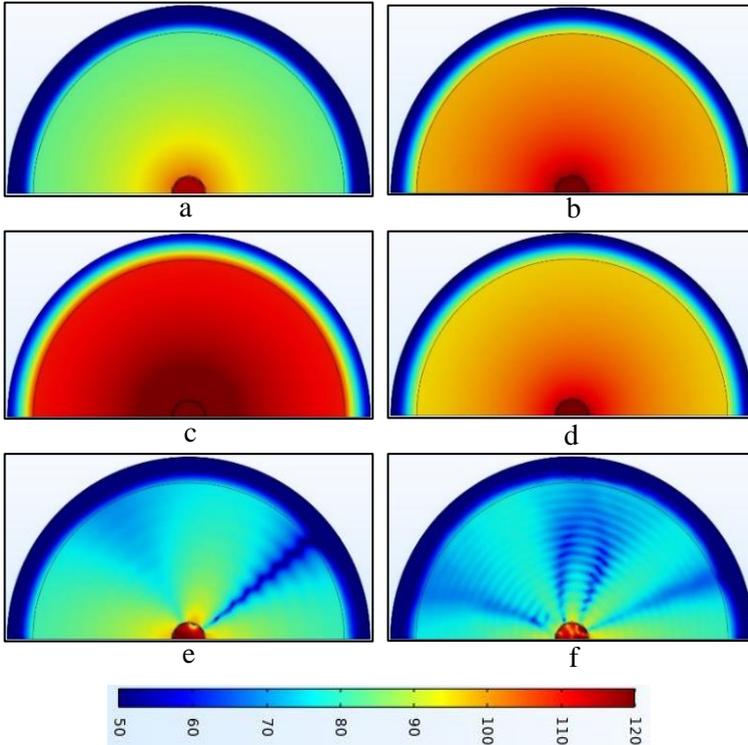
No	Frekuensi (Hz)	<i>Sound Pressure Level (SPL)</i> dBA		
		Simulasi	Dalam Ruangan	<i>Error</i> (%)
1	63	97	93	4
2	125	107	116	8
3	250	111	114	2
4	500	92	112	18
5	1000	76	105	28
6	2000	76	104	27

Pada pengukuran di dalam ruangan, titik ukur berada pada jarak yang sama dengan jarak *boundary layer* yaitu sejauh 1,5 m. Oleh karena itu, nilai SPL antara hasil simulasi dan pengukuran dapat langsung dibandingkan untuk mengetahui selisih nilai SPL. Pada tabel 4.9 dapat diketahui nilai *error* tertinggi terdapat pada frekuensi 63 Hz dengan nilai 30% dan nilai *error* terendah terdapat pada frekuensi 250 Hz dengan nilai 1%.

b. Vibrastic Dodecahedron Generasi Kedua

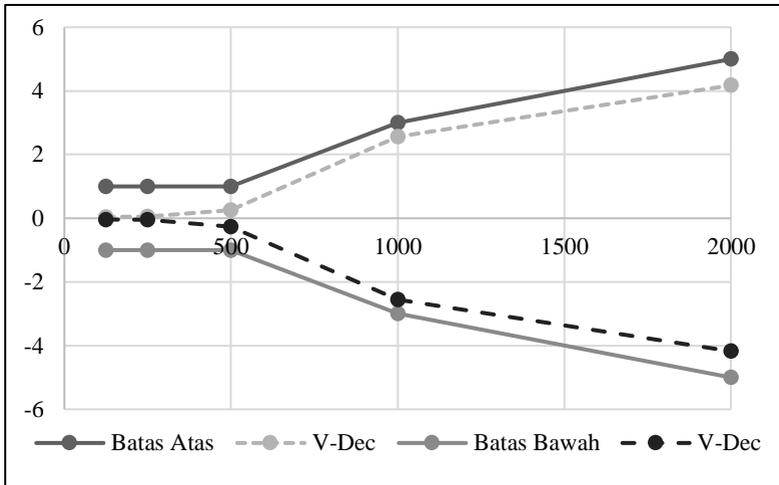
Nilai SPL V-Dec generasi kedua berdasarkan hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.21. Gambar 4.21 menunjukkan bahwa SPL yang dihasilkan V-Dec generasi kedua mempunyai nilai yang seragam pada jarak 1,5 m di frekuensi 63 Hz (Gambar 4.21a), frekuensi 125 Hz (Gambar 4.21b), frekuensi 250 Hz (Gambar 4.21c) dan frekuensi 500 Hz (Gambar 4.21d). Sedangkan pada frekuensi 1000 Hz (Gambar 4.21e) dan frekuensi 2000 Hz (Gambar 4.21f) memiliki nilai SPL yang berbeda pada jarak 1,5 m. Nilai SPL yang seragam pada titik ukur menunjukkan bahwa *directivity* pada frekuensi tersebut bersifat *omnidirectional* dan nilai SPL yang berbeda pada titik ukur menunjukkan bahwa *directivity* pada

frekuensi tersebut bersifat *directional*. Hasil tersebut sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh (Pasqual, 2014).



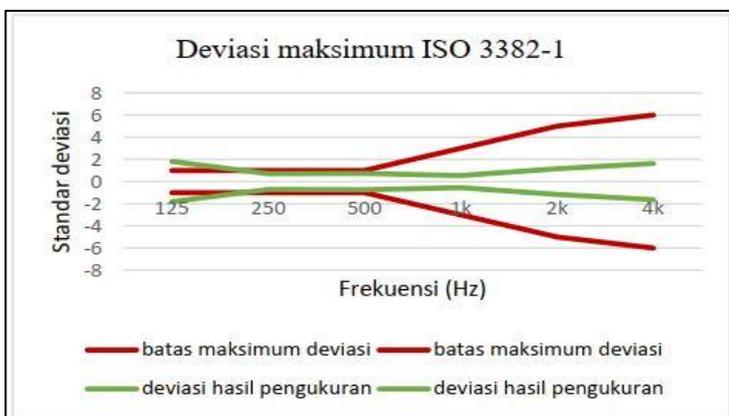
Gambar 4. 21 SPL V-Dec generasi kedua, a. 63 Hz, b. 125 Hz, c. 250 Hz, d. 500 Hz, e. 1000 Hz, f. 2000 Hz

ISO 3382-1 mengatur deviasi maksimum yang dapat ditoleransi dari nilai SPL yang dibangkitkan oleh *speaker*. *Speaker* yang digunakan sebagai sumber suara pada pengukuran akustik ruang harus memenuhi batas deviasi maksimum berdasarkan ISO 3382-1. Untuk mengetahui apakah V-Dec generasi kedua memenuhi ISO 3382-1 diperlukan simulasi. Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.22.



Gambar 4. 22 Deviasi V-Dec generasi kedua hasil simulasi

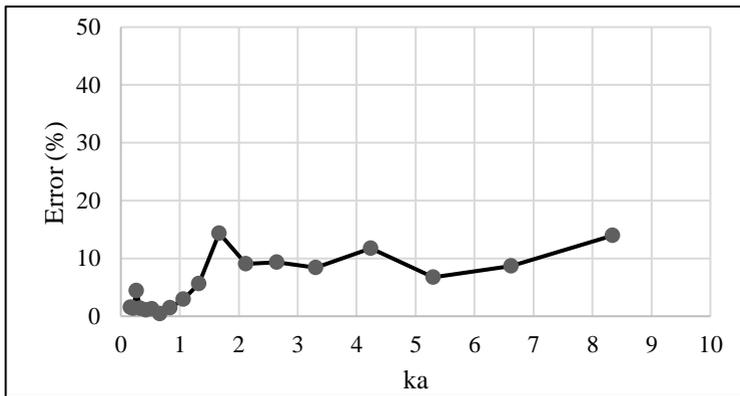
Gambar 4.22 merupakan hasil simulasi deviasi V-Dec generasi kedua. Berdasarkan hasil simulasi dapat diketahui bahwa deviasi V-Dec generasi kedua tidak melebihi batas maksimum dan minimum yang ditetapkan oleh ISO 3382-1. Untuk memvalidasi hasil simulasi maka dilakukan pengukuran. Hasil pengukuran dapat dilihat pada gambar 4.23.



Gambar 4. 23 Deviasi V-Dec generasi kedua hasil pengukuran

Gambar 4.23 merupakan deviasi V-Dec generasi kedua hasil pengukuran. Berdasarkan hasil pengukuran pada gambar 4.23 dapat diketahui bahwa deviasi V-Dec generasi kedua tidak melebihi batas maksimum dan minimum yang ditetapkan, kecuali pada frekuensi 125 Hz. Sehingga dapat disimpulkan bahwa V-Dec generasi kedua belum memenuhi syarat sebagai sumber suara untuk pengukuran akustik ruang berdasarkan ISO 3382-1.

Berdasarkan (Pasqual, 2014) nilai *error* pada SPL yang dibangkitkan oleh RPL dapat dihitung menggunakan persamaan (2.8). V-Dec generasi kedua memiliki nilai *error* terhadap k_a seperti pada gambar 4.24. Pada gambar 4.24 dapat diketahui bahwa semakin besar nilai k_a maka nilai *error* akan semakin besar. Hasil ini sesuai dengan penelitian (Pasqual, 2014) dimana nilai *error* akan semakin besar seiring dengan bertambahnya nilai k_a .



Gambar 4. 24 Error terhadap k_a V-Dec generasi kedua

Pada pengerjaan tugas akhir sebelumnya telah dilakukan pengukuran SPL V-Dec generasi kedua pada tiga kondisi pengukuran yaitu pengukuran di ruang *anechoic chamber*, luar ruangan dan dalam ruangan. Pada pengukuran di ruang *anechoic chamber*, titik ukur berada pada jarak 1,5 m sehingga tidak perlu dilakukan perubahan pada hasil simulasi. Kemudian hasil simulasi dibandingkan dengan hasil pengukuran pada ruang *anechoic*

chamber untuk mengetahui selisih nilai SPL antara simulasi dengan pengukuran.

Tabel 4. 7 Perbandingan SPL hasil simulasi dengan pengukuran di ruang *anechoic chamber* V-Dec generasi kedua

No	Frekuensi (Hz)	Sound Pressure Level (SPL) dBA		
		Simulasi	<i>Anechoic Chamber</i>	Error (%)
1	63	80	93	14
2	125	96	91	5
3	250	107	83	29
4	500	94	72	31
5	1000	69	65	6
6	2000	68	67	1

Berdasarkan tabel 4.7 dapat diketahui bahwa nilai *error* tertinggi terdapat pada frekuensi 500 Hz dengan nilai sebesar 31% dB dan nilai *error* terendah terdapat pada frekuensi 63 Hz dan 2000 Hz dengan nilai sebesar 1%.

Pada pengukuran di luar ruangan, jarak titik ukur yang digunakan adalah 1,5 m sehingga hasil SPL pada simulasi tidak perlu dilakukan perubahan. Perbandingan hasil simulasi dengan hasil pengukuran pada di luar ruangan, dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Perbandingan SPL hasil simulasi dengan pengukuran di luar ruangan V-Dec generasi kedua

No	Frekuensi (Hz)	Sound Pressure Level (SPL) dBA		
		Simulasi	Luar Ruangan	Error (%)
1	63	80	62	29
2	125	96	75	28
3	250	107	88	22
4	500	94	87	8
5	1000	69	85	18
6	2000	68	88	26

Berdasarkan tabel 4.8 dapat diketahui bahwa nilai *error* tertinggi terdapat pada frekuensi 63 Hz dengan nilai 29% dan nilai *error* terendah terdapat pada frekuensi 500 Hz dengan nilai 8%.

Pada pengukuran di dalam ruangan, jarak titik ukur yang digunakan adalah 1,5 m sehingga hasil SPL pada simulasi tidak perlu dilakukan perubahan. Kemudian dibandingkan hasil simulasi dengan hasil pengukuran di luar ruangan, dapat dilihat pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 Perbandingan SPL hasil simulasi dengan pengukuran di dalam ruangan V-Dec generasi kedua

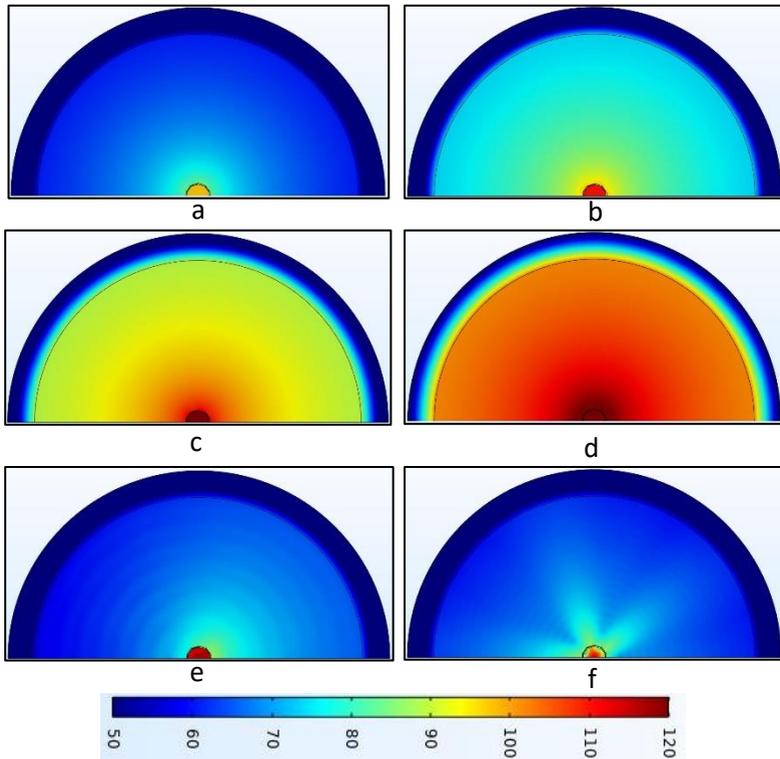
No	Frekuensi (Hz)	<i>Sound Pressure Level (SPL) dBA</i>		
		Simulasi	Dalam Ruangan	<i>Error (%)</i>
1	63	80	80	0
2	125	96	91	5
3	250	107	96	11
4	500	94	88	7
5	1000	69	82	16
6	2000	68	88	23

Berdasarkan tabel 4.9 dapat diketahui bahwa nilai *error* tertinggi terdapat pada frekuensi 2000 Hz dengan nilai 23% dan nilai *error* terendah terdapat pada frekuensi 63 Hz dengan nilai 0%.

c. Vibrastic Dodecahedron Generasi Ketiga

Nilai SPL V-Dec generasi ketiga berdasarkan hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.25. Gambar 4.25 menunjukkan bahwa SPL yang dihasilkan V-Dec generasi ketiga mempunyai nilai yang seragam pada jarak 1,5 m di frekuensi 63 Hz (Gambar 4.25a), frekuensi 125 Hz (Gambar 4.25b), frekuensi 250 Hz (Gambar 4.25c) dan frekuensi 500 Hz (Gambar 4.25d). Sedangkan pada frekuensi 1000 Hz (Gambar 4.25e) dan frekuensi 2000 Hz (Gambar 4.25f) memiliki nilai SPL yang berbeda pada jarak 1,5 m. Nilai SPL yang seragam pada titik ukur menunjukkan bahwa *directivity* pada frekuensi tersebut bersifat *omnidirectional* dan nilai SPL

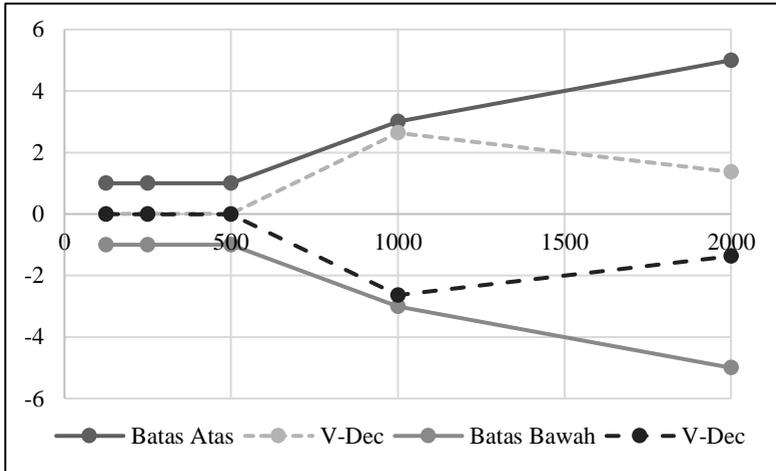
yang berbeda pada titik ukur menunjukkan bahwa *directivity* pada frekuensi tersebut bersifat *directional*. Hasil tersebut sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh (Pasqual, 2014).



Gambar 4. 25 SPL V-Dec generasi ketiga, a. 63 Hz, b. 125 Hz, c. 250 Hz, d. 500 Hz, e. 1000 Hz, f. 2000 Hz

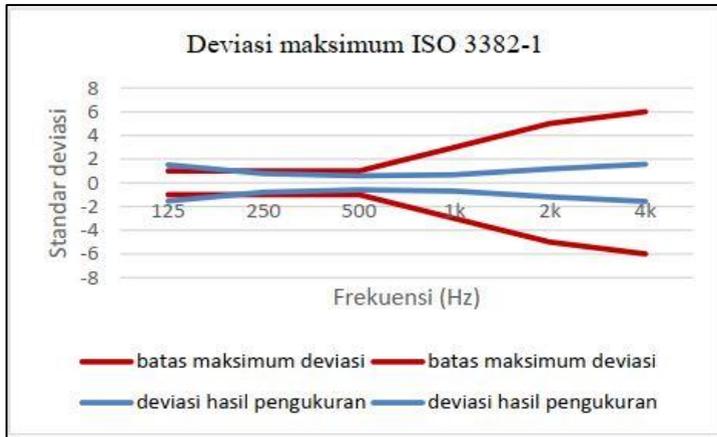
ISO 3382-1 mengatur deviasi maksimum yang dapat ditoleransi dari nilai SPL yang dibangkitkan oleh *speaker*. *Speaker* yang digunakan sebagai sumber suara pada pengukuran akustik ruang harus memenuhi batas deviasi maksimum berdasarkan ISO 3382-1. Pada pengerjaan tugas akhir sebelumnya telah diukur deviasi V-Dec generasi ketiga. Untuk mengetahui

apakah V-Dec generasi ketiga memenuhi ISO 3382-1 diperlukan simulasi. Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.26



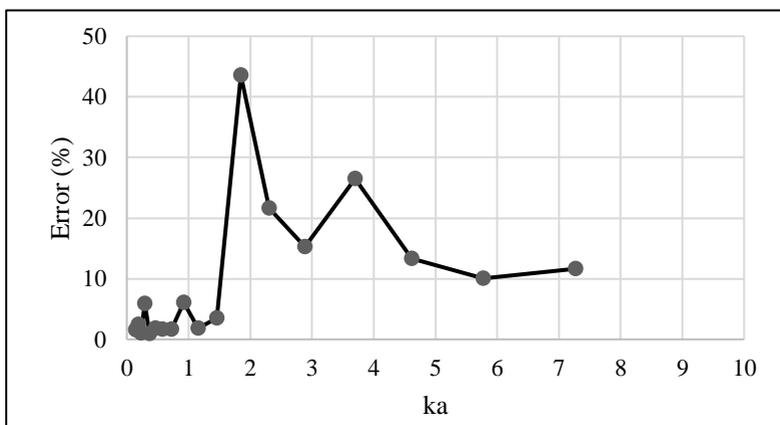
Gambar 4. 26 Deviasi V-Dec generasi ketiga hasil simulasi

Gambar 4.26 merupakan deviasi V-Dec generasi ketiga hasil simulasi. Berdasarkan gambar 4.26, nilai deviasi SPL pada V-Dec generasi ketiga hasil simulasi telah memenuhi standar ISO 3382-1 dimana nilai deviasi SPL pada setiap pita frekuensi bernilai kurang dari batas atas dan batas bawah dari SPL yang ditoleransi. Untuk memvalidasi hasil simulasi maka dilakukan pengukuran. Gambar 4.27 merupakan deviasi V-Dec generasi ketiga hasil pengukuran. Berdasarkan gambar 4.27, nilai deviasi SPL pada V-Dec generasi ketiga belum memenuhi standar ISO 3382-1 karena pada frekuensi 125 Hz memiliki deviasi yang melebihi batas maksimum dan batas minimum deviasi SPL. Oleh karena itu berdasarkan hasil perhitungan deviasi pada simulasi dan pengukuran dapat disimpulkan bahwa V-Dec generasi ketiga belum memenuhi kriteria sebagai sumber suara pada pengukuran akustik ruang berdasarkan ISO 3382-1.



Gambar 4. 27 Deviasi V-Dec generasi ketiga hasil pengukuran

Berdasarkan (Pasqual, 2014) nilai *error* pada SPL yang dibangkitkan oleh RPL dapat dihitung menggunakan persamaan (2.8). V-Dec generasi ketiga memiliki nilai *error* terhadap k_a seperti pada gambar 4.28. Pada gambar 4.28 dapat diketahui bahwa semakin besar nilai k_a maka nilai *error* akan semakin besar. Hasil ini sesuai dengan penelitian (Pasqual, 2014) dimana nilai *error* akan semakin besar seiring dengan bertambahnya nilai k_a .



Gambar 4. 28 Error terhadap k_a V-Dec generasi ketiga

Pada pengerjaan tugas akhir sebelumnya telah dilakukan pengukuran SPL V-Dec generasi ketiga pada tiga kondisi pengukuran yaitu pengukuran di ruang *anechoic chamber*, luar ruangan dan dalam ruangan. Pada pengukuran di ruang *anechoic chamber*, titik ukur berada pada jarak 1,5 m sehingga tidak perlu dilakukan perubahan pada hasil simulasi. Kemudian hasil simulasi dibandingkan dengan hasil pengukuran pada ruang *anechoic chamber* untuk mengetahui selisih nilai SPL antara simulasi dengan pengukuran.

Tabel 4. 10 Perbandingan SPL hasil simulasi dengan pengukuran di ruang *anechoic chamber* V-Dec generasi ketiga

No	Frekuensi (Hz)	<i>Sound Pressure Level</i> (SPL) dBA		
		Simulasi	<i>Anechoic Chamber</i>	<i>Error</i> (%)
1	63	57	54	6
2	125	71	64	11
3	250	87	68	28
4	500	99	64	55
5	1000	61	59	3
6	2000	58	56	4

Tabel 4.10 merupakan perbandingan SPL antara hasil simulasi dengan pengukuran pada ruang *anechoic chamber*. Berdasarkan tabel 4.10 dapat diketahui bahwa nilai *error* tertinggi terdapat pada frekuensi 500 Hz dengan nilai sebesar 55% dan nilai *error* terendah terdapat pada frekuensi 1000 Hz dengan nilai sebesar 3%.

Pada pengukuran di luar ruangan, jarak titik ukur yang digunakan adalah 1,5 m sehingga hasil SPL pada simulasi tidak perlu dilakukan perubahan. Kemudian dibandingkan hasil simulasi dengan hasil pengukuran di luar ruangan. Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran dapat dilihat pada tabel 4.11. Berdasarkan tabel 4.11 dapat diketahui bahwa nilai *error* tertinggi terdapat pada frekuensi 63 Hz dengan nilai 24% dan nilai *error* selisih terendah terdapat pada frekuensi 250 Hz 2%.

Tabel 4. 11 Perbandingan SPL hasil simulasi dengan pengukuran di luar ruangan V-Dec generasi ketiga

No	Frekuensi (Hz)	<i>Sound Pressure Level (SPL) dBA</i>		
		Simulasi	Luar Ruangan	<i>Error (%)</i>
1	63	57	75	24
2	125	71	79	10
3	250	87	89	2
4	500	99	84	18
5	1000	61	78	22
6	2000	58	74	22

Pada pengukuran di dalam ruangan, jarak titik ukur yang digunakan adalah 1,5 m sehingga hasil SPL pada simulasi tidak perlu dilakukan perubahan. Kemudian dibandingkan hasil simulasi dengan hasil pengukuran pada di dalam ruangan, dapat dilihat pada tabel 4.12. Berdasarkan tabel 4.12 dapat diketahui bahwa nilai *error* tertinggi terdapat pada frekuensi 2000 Hz dengan nilai 28% dan nilai *error* terendah terdapat pada frekuensi 250 Hz 6%.

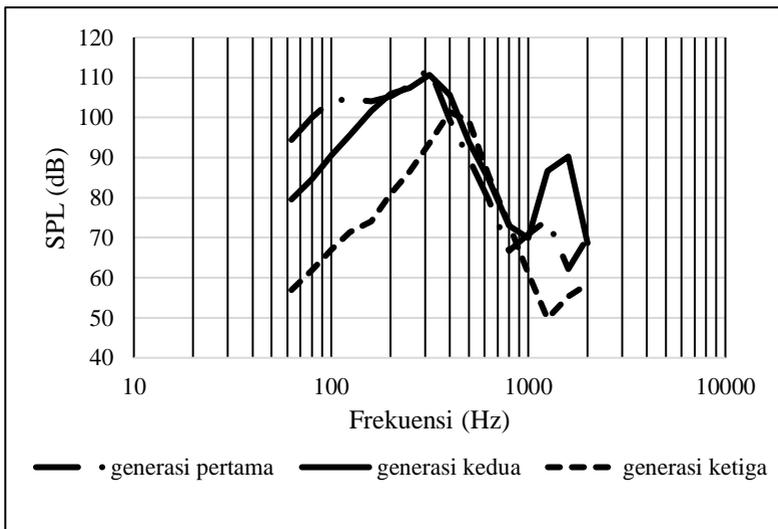
Tabel 4. 12 Perbandingan SPL hasil simulasi dengan pengukuran di dalam ruangan V-Dec generasi ketiga

No	Frekuensi (Hz)	<i>Sound Pressure Level (SPL) dBA</i>		
		Simulasi	Dalam Ruangan	<i>Error (%)</i>
1	63	57	73	22
2	125	71	86	17
3	250	87	93	6
4	500	99	88	13
5	1000	61	81	25
6	2000	58	80	28

Berdasarkan perbandingan yang telah dilakukan pada tiga generasi V-Dec, menunjukkan bahwa perubahan dimensi berpengaruh terhadap nilai SPL yang dibangkitkan oleh V-Dec.

Semakin kecil dimensi V-Dec akan membuat nilai SPL yang dibangkitkan semakin rendah, hal ini dibuktikan dengan hasil simulasi pada gambar 4.13, gambar 4.18 dan gambar 4.22. Pada gambar 4.17, gambar 4.21 dan gambar 4.25 menunjukkan perubahan kontur warna pada medan suara dari V-Dec yang menunjukkan nilai SPL. Berdasarkan simulasi perhitungan nilai deviasi SPL yang dibangkitkan oleh V-Dec menunjukkan bahwa V-Dec generasi pertama, generasi kedua dan generasi ketiga memiliki nilai deviasi di bawah batas maksimum dan batas minimum dari deviasi yang ditoleransi, hal ini mengacu pada ISO 3382-1. Namun pada hasil pengukuran menunjukkan bahwa pada V-Dec generasi kedua dan generasi ketiga belum memenuhi kriteria berdasarkan ISO 3382-1 terutama pada frekuensi 125 Hz, sehingga dapat disimpulkan bahwa V-Dec yang memenuhi syarat sebagai sumber suara pada pengukuran akustik ruang hanya V-Dec generasi pertama.

Jika nilai SPL yang dibangkitkan oleh V-Dec dibandingkan pada setiap pita frekuensi pada masing-masing pengukuran, maka didapatkan hasil seperti pada gambar 4.29.



Gambar 4. 29 Perbandingan SPL V-Dec

Gambar 4.29 adalah perbandingan SPL yang dibangkitkan oleh V-Dec berdasar hasil simulasi. Berdasarkan gambar 4.29 dapat diketahui bahwa pada frekuensi rendah hingga frekuensi 500 Hz nilai SPL yang dibangkitkan V-Dec semakin kecil seiring dengan semakin kecilnya dimensi V-Dec. Pada frekuensi yang lebih besar dari 500 Hz nilai SPL dari V-Dec generasi kedua selalu lebih besar dibandingkan dengan generasi pertama dan generasi ketiga. Nilai *error* yang tinggi pada frekuensi rendah, terutama 63 Hz, berasal dari *displacement* pada *driver speaker*. Adanya *displacement* pada saat pengukuran akan membuat SPL yang dibangkitkan akan semakin kecil, menurut teori yang dikemukakan oleh (Pasqual, 2014) dan (Schmidt, 2017), sedangkan pada simulasi, parameter *displacement* tidak memberi pengaruh terhadap SPL yang dibangkitkan.

4.2.3 Keterarahan Suara (*Directivity*)

Keterarahan suara yang dimiliki oleh V-Dec memiliki hubungan dengan nilai SPL yang dibangkitkan. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, (Pasqual, 2014) menghitung nilai *sound pressure level* yang dihasilkan oleh *speaker dodecahedron* pada medan suara dalam koordinat *spheris* menggunakan persamaan 2.2 dan 2.3. Pada persamaan 2.3, nilai $\frac{P_{m,n}(r)}{U_{m,n}(r)}$ dapat diartikan sebagai *gain* pada setiap komponen harmonik perambatan gelombang suara pada arah radial. Nilai tersebut bergantung pada *property* medium dan dua parameter r/a dan ka . Nilai r/a merupakan rasio antara jarak *free field* dengan radius *midsphere*. Nilai ka merupakan perkalian antara *wavenumber*, $k = 2\pi \frac{f}{c}$, dengan radius *midsphere*. Berdasarkan persamaan tersebut dapat diketahui bahwa nilai ka dipengaruhi oleh frekuensi yang dibangkitkan oleh *speaker dodecahedron*. (Pasqual, 2014) dalam penelitiannya mengungkapkan bahwa semakin rendah nilai ka maka *gain* yang ditambahkan pada nilai $\frac{P_{m,n}(r)}{U_{m,n}(r)}$ akan semakin kecil. Dengan penambahan nilai *gain* yang kecil membuat nilai *sound pressure level* pada medan suara menjadi seragam sehingga keterarahan

speaker semakin mendekati *omnidirectional*. Sedangkan nilai k_a yang semakin besar akan membuat *gain* semakin besar yang akan mempengaruhi persebaran nilai SPL pada medan suara sehingga SPL menjadi bervariasi dan menyebabkan keterarahan *speaker* menjadi *directional*.

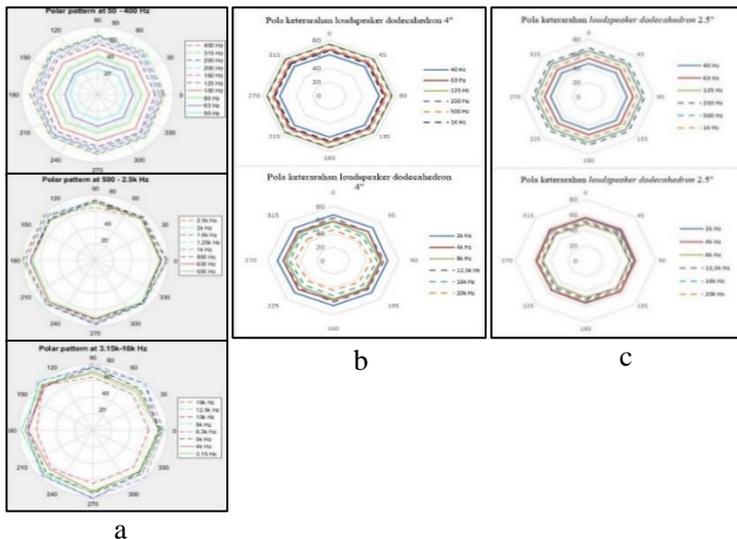
(Leishman, 2006) menyebutkan bahwa *loudspeaker* dengan geometri *platonic solid*, RPL, tidak dapat menghasilkan keterarahan suara yang *omnidirectional* pada seluruh pita frekuensinya. Hal ini dikarenakan RPL memiliki nilai *omnidirectional cut-off frequency*. Nilai *omnidirectional cut-off frequency* adalah nilai frekuensi maksimum yang memiliki deviasi maksimum sebesar 0,5 dB pada seluruh titik ukur.

Pada pengerjaan tugas akhir sebelumnya, telah dilakukan pengukuran *directivity* pada tiga kondisi yaitu ruang *anechoic chamber*, di luar ruangan dan di dalam ruangan. Pengukuran pada ruang *anechoic chamber* mengacu pada ISO 3745 sedangkan pengukuran di luar ruangan dan di dalam ruangan mengacu pada ISO 3382-1. Pada ruang *anechoic chamber* pengukuran dilakukan pada titik ukur dengan sudut $0^\circ - 360^\circ$ dengan interval 45° . Pada pengukuran di luar ruangan dan di dalam ruangan, pengukuran dilakukan pada titik ukur dengan sudut $0^\circ - 360^\circ$ dengan interval 5° .

a. Ruang *anechoic chamber*

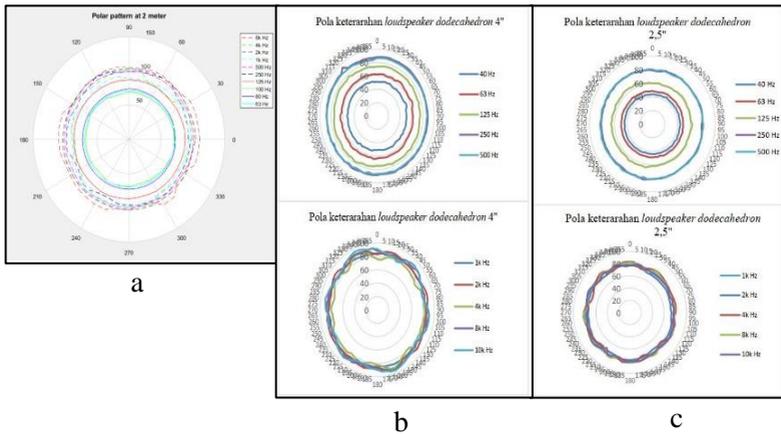
Gambar 4.30 merupakan *directivity* V-Dec yang diperoleh dari pengukuran di ruang *anechoic chamber*. Gambar 4.30a adalah *directivity* V-Dec generasi pertama, gambar 4.30b adalah *directivity* V-Dec generasi kedua, gambar 4.30c adalah *directivity* V-Dec generasi ketiga. Pada gambar 4.30a menunjukkan bahwa V-Dec generasi pertama memiliki *omnidirectional directivity* pada rentang pita frekuensi 50 Hz – 630 Hz, hal ini dibuktikan dengan nilai SPL yang sama pada setiap titik ukur di setiap pita frekuensi (50 Hz – 630 Hz) dan bentuk grafik yang menyerupai segi delapan. Sedangkan pada frekuensi 800 Hz – 16.000 Hz V-Dec generasi pertama mempunyai *directional directivity*, hal ini dibuktikan dengan nilai SPL yang berbeda pada setiap titik ukur di frekuensi

tersebut. Gambar 4.30b menunjukkan bahwa V-Dec generasi kedua memiliki *omnidirectional directivity* pada rentang pita frekuensi 50 Hz – 2000 Hz, hal ini dibuktikan dengan nilai SPL yang sama pada setiap titik ukur di setiap pita frekuensi (50 Hz – 2000 Hz) dan bentuk grafik yang menyerupai segi delapan. Sedangkan pada frekuensi 4000 Hz – 20.000 Hz V-Dec generasi kedua mempunyai *directional directivity*, hal ini dibuktikan dengan nilai SPL yang berbeda pada setiap titik ukur di frekuensi tersebut. Gambar 4.30c menunjukkan bahwa V-Dec generasi ketiga memiliki *omnidirectional directivity* pada rentang pita frekuensi 50 Hz – 2000 Hz, hal ini dibuktikan dengan nilai SPL yang sama pada setiap titik ukur di setiap pita frekuensi (50 Hz – 2000 Hz) dan bentuk grafik yang menyerupai segi delapan. Sedangkan pada frekuensi 4000 Hz – 20.000 Hz V-Dec generasi ketiga mempunyai *directional directivity*, hal ini dibuktikan dengan nilai SPL yang berbeda pada setiap titik ukur di frekuensi tersebut.



Gambar 4.30 Directivity di ruang *anechoic chamber* hasil pengukuran, a. V-Dec generasi pertama, b. V-Dec generasi kedua, c. V-Dec generasi ketiga

b. Di luar ruangan

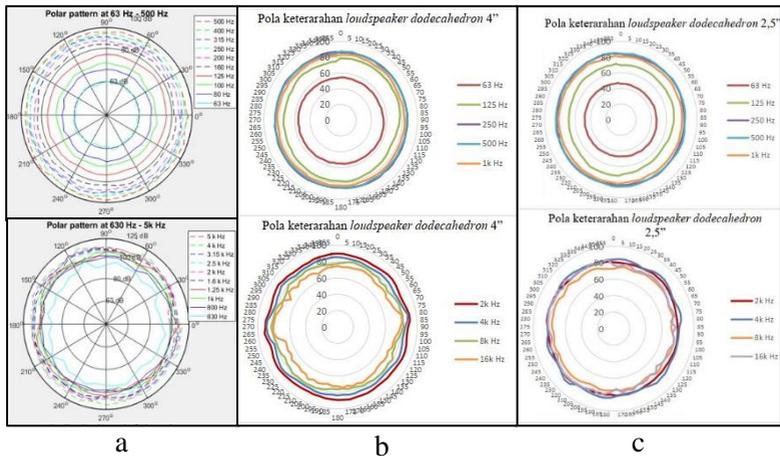


Gambar 4.31 Directivity di luar ruangan hasil pengukuran, a. V-Dec generasi pertama, b. V-Dec generasi kedua, c. V-Dec generasi ketiga

Gambar 4.31 merupakan *directivity* V-Dec pada pengukuran di luar ruangan. Gambar 4.31a adalah *directivity* V-Dec generasi pertama, gambar 4.31b adalah *directivity* V-Dec generasi kedua dan gambar 4.31c adalah *directivity* V-Dec generasi ketiga. Pada gambar 4.31a menunjukkan bahwa V-Dec generasi pertama memiliki *omnidirectional directivity* pada frekuensi 63 Hz – 500 Hz dibuktikan dengan bentuk grafik (garis berwarna kebiruan) yang menyerupai lingkaran. Sedangkan pada frekuensi 1000 Hz – 5000 Hz mempunyai *directional directivity* dibuktikan dengan bentuk grafik (garis berwarna selain kebiruan) yang tidak menyerupai lingkaran. Pada gambar 4.31b menunjukkan bahwa V-Dec generasi kedua memiliki *omnidirectional directivity* pada frekuensi 63 Hz – 500 Hz dibuktikan dengan bentuk grafik (gambar 4.31b atas) yang menyerupai lingkaran. Sedangkan pada pita frekuensi 1000 Hz – 10.000 Hz mempunyai *directional directivity* dibuktikan dengan bentuk grafik (Gambar 4.31b bawah) yang tidak menyerupai lingkaran. Pada gambar 4.31c menunjukkan bahwa V-Dec generasi ketiga memiliki *omnidirectional directivity* pada

frekuensi 63 Hz – 500 Hz dibuktikan dengan bentuk grafik (Gambar 4.31c atas) yang menyerupai lingkaran. Sedangkan, pada pita frekuensi 1000 Hz – 10.000 Hz mempunyai *directional directivity* dibuktikan dengan bentuk grafik (Gambar 4.31c bawah) yang tidak menyerupai lingkaran.

c. Di dalam ruangan



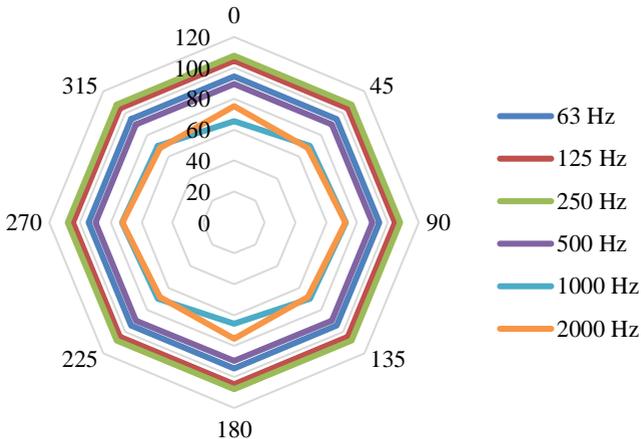
Gambar 4.32 Directivity di dalam ruangan hasil pengukuran, a. V-Dec generasi pertama, b. V-Dec generasi kedua, c. V-Dec generasi ketiga

Gambar 4.32 merupakan *directivity* V-Dec yang diperoleh dari pengukuran di dalam ruangan. Gambar 4.32a adalah *directivity* V-Dec generasi pertama, gambar 4.32b adalah *directivity* V-Dec generasi kedua, gambar 4.32c adalah *directivity* V-Dec generasi ketiga. Pada gambar 4.32a menunjukkan bahwa V-Dec generasi pertama memiliki *omnidirectional directivity* pada frekuensi 63 Hz – 400 Hz dibuktikan dengan bentuk grafik (Gambar 4.32a atas) yang menyerupai lingkaran. Sedangkan, pada frekuensi 500 Hz – 5000 Hz mempunyai *directional directivity* dibuktikan dengan bentuk grafik (Gambar 4.32a bawah) yang tidak menyerupai

lingkaran. Pada gambar 4.32b, menunjukkan bahwa V-Dec generasi kedua memiliki *omnidirectional directivity* pada frekuensi 63 Hz – 500 Hz dibuktikan dengan bentuk grafik (gambar 4.32b atas) yang menyerupai lingkaran. Sedangkan, pada pita 1000 Hz – 16.000 Hz mempunyai *directional directivity* dibuktikan dengan bentuk grafik (gambar 4.32b bawah) yang tidak menyerupai lingkaran. Pada gambar 4.32c menunjukkan bahwa V-Dec generasi ketiga memiliki *omnidirectional directivity* pada frekuensi 250 Hz – 500 Hz dibuktikan dengan bentuk grafik (Gambar 4.32c atas) yang menyerupai lingkaran. Sedangkan, pada pita frekuensi di bawah 250 Hz dan pada frekuensi 2000 Hz – 10.000 Hz mempunyai *directional directivity* dibuktikan dengan bentuk grafik (Gambar 4.32c bawah) yang tidak menyerupai lingkaran.

d. V-Dec generasi pertama

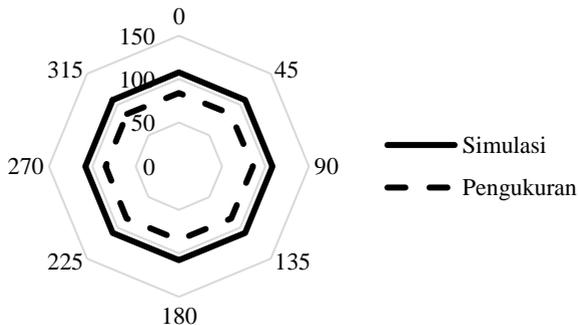
Berikut adalah hasil simulasi *directivity* V-Dec generasi pertama pada ruang *anechoic chamber*. Gambar 4.33 merupakan *directivity* di ruang *anechoic chamber*.



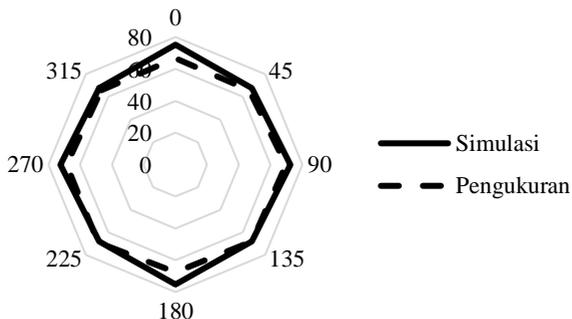
Gambar 4. 33 *Directivity* V-Dec generasi pertama di ruang *anechoic chamber*

Gambar 4.33 adalah *directivity* V-Dec generasi pertama yang dibentuk menyesuaikan dengan hasil pengukuran pada ruang

anechoic chamber. Jika dilihat pada gambar 4.33 dapat disimpulkan bahwa V-Dec generasi pertama memiliki *omnidirectional directivity* pada rentang frekuensi 63 Hz – 1000 Hz, dibuktikan dengan grafik yang memiliki bentuk segi delapan sempurna. Sedangkan pada frekuensi lebih dari 2000 Hz, V-Dec generasi pertama sudah tidak memiliki *omnidirectional directivity* dibuktikan dengan grafik yang memiliki bentuk segi delapan yang tidak sempurna. Apabila dibandingkan nilai SPL pada setiap sudut titik ukur antara *directivity* hasil simulasi (Gambar 4.33) dengan *directivity* hasil pengukuran (Gambar 4.30a), terdapat selisih SPL pada setiap titik sudutnya, antara lain sudut 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270° dan 315°. Perbandingan SPL dapat dilihat pada gambar 4.34 dan gambar 4.35.



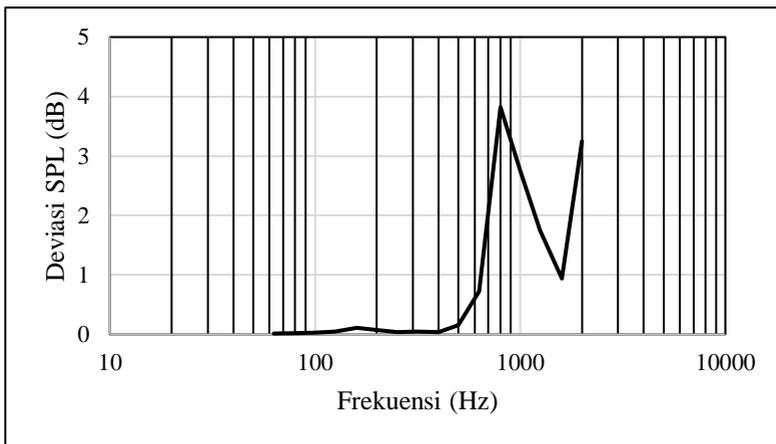
Gambar 4. 34 Perbandingan *directivity* V-Dec generasi pertama pada frekuensi 250 Hz



Gambar 4. 35 Perbandingan *directivity* V-Dec generasi pertama pada frekuensi 2000 Hz

Berdasarkan gambar 4.34 dan gambar 4.35 dapat diketahui bahwa pada frekuensi rendah, *directivity* V-Dec generasi pertama hasil simulasi dan pengukuran di ruang *anechoic chamber* memiliki nilai yang sama namun memiliki selisih SPL pada setiap titik sudutnya. Pada frekuensi tinggi, *directivity* V-Dec generasi pertama hasil simulasi dan pengukuran di ruang *anechoic chamber* memiliki nilai yang berbeda terutama pada sudut 0° dan 180° , pada sudut tersebut juga memiliki selisih SPL yang paling tinggi dibandingkan dengan sudut yang lain.

Nilai *omnidirectional cut-off frequency* terdapat pada frekuensi dengan nilai deviasi SPL pada frekuensi tersebut mulai melebihi 0,5 dB. Nilai deviasi pada setiap frekuensi dapat dilihat pada gambar 4.36.



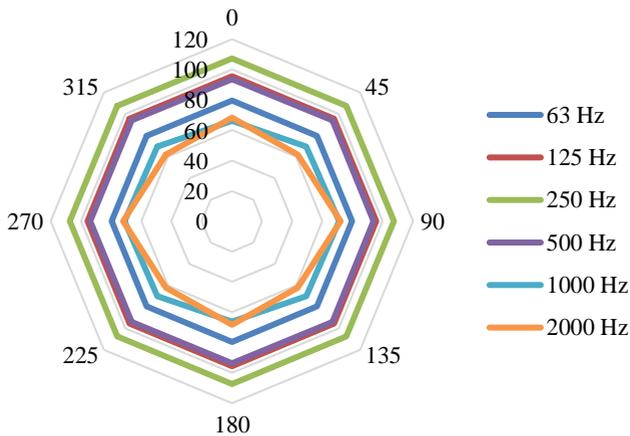
Gambar 4. 36 Deviasi SPL V-Dec generasi pertama

Berdasarkan gambar 4.36, dapat diketahui bahwa nilai *omnidirectional cut-off frequency* V-Dec generasi pertama berada pada rentang 500 Hz – 630 Hz. Hal ini dibuktikan dengan nilai deviasi SPL pada frekuensi 500 Hz bernilai 0,2 dB dan deviasi SPL pada frekuensi 630 Hz bernilai 0,7 dB. Hasil simulasi SPL pada gambar 4.13, jika nilai SPL pada titik ukur bernilai sama maka *directivity* bersifat *omnidirectional*, dimana pada gambar 4.13 pada

frekuensi 500 Hz nilai SPL pada titik ukur bernilai sama sehingga keterarahannya bersifat *omnidirectional*, sedangkan pada frekuensi 1000 Hz nilai SPL pada titik ukur memiliki nilai yang berbeda sehingga keterarahannya tidak *omnidirectional*. Jika dibandingkan antara hasil simulasi SPL dan nilai *omnidirectional cut-off frequency* dengan rentang 500 Hz – 630 Hz, maka hasil simulasi telah memiliki kesesuaian.

e. V-Dec generasi kedua

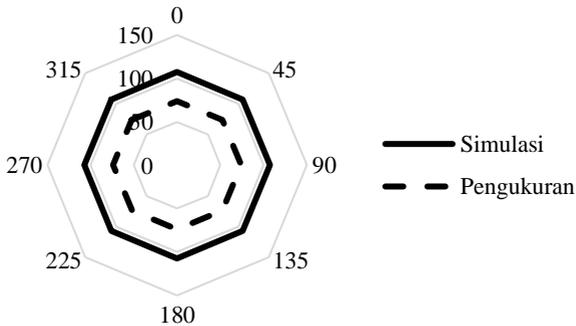
Berikut adalah hasil simulasi *directivity* V-Dec generasi kedua pada ruang *anechoic chamber*, luar ruangan dan di dalam ruangan. Gambar 4.37 merupakan *directivity* V-Dec generasi kedua yang dibuat menyesuaikan pengukuran di ruang *anechoic chamber*.



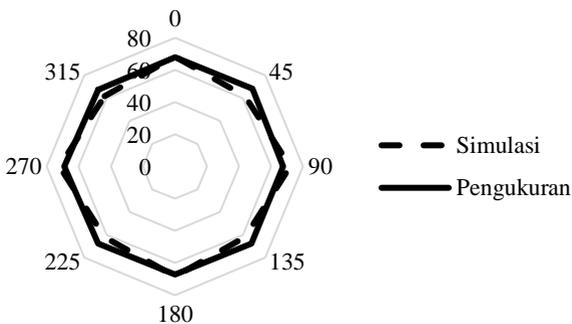
Gambar 4. 37 *Directivity* V-Dec generasi kedua di ruang *anechoic chamber*

Gambar 4.37 adalah *directivity* V-Dec generasi kedua yang dibentuk menyesuaikan dengan hasil pengukuran pada ruang *anechoic chamber*. Jika dilihat pada gambar 4.37 dapat disimpulkan bahwa V-Dec generasi kedua memiliki *omnidirectional directivity* pada rentang frekuensi 63 Hz – 1000 Hz, dibuktikan dengan grafik yang memiliki bentuk segi delapan

sempurna. Sedangkan pada frekuensi lebih dari 2000 Hz, V-Dec generasi kedua sudah tidak memiliki *omnidirectional directivity* dibuktikan dengan grafik yang memiliki bentuk segi delapan yang tidak sempurna. Apabila dibandingkan nilai SPL pada setiap sudut titik ukur antara *directivity* hasil simulasi (Gambar 4.37) dengan *directivity* hasil pengukuran (Gambar 4.30b), terdapat selisih SPL pada setiap titik sudutnya, antara lain sudut 0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° dan 315° . Perbandingan SPL dapat dilihat pada gambar 4.38 dan gambar 4.38. Gambar 4.38 merupakan perbandingan SPL antara hasil simulasi dengan pengukuran pada frekuensi 250 Hz dan gambar 4.39 merupakan perbandingan SPL antara hasil simulasi dengan pengukuran pada frekuensi 2000 Hz.

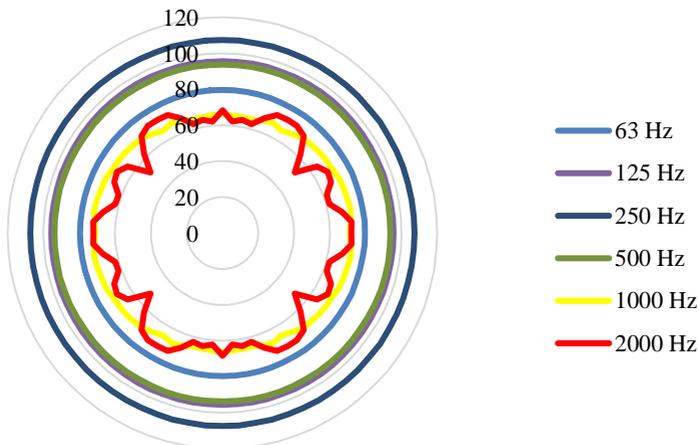


Gambar 4. 38 Perbandingan *directivity* V-Dec generasi kedua pada frekuensi 250 Hz



Gambar 4. 39 Perbandingan *directivity* V-Dec generasi kedua pada frekuensi 2000 Hz

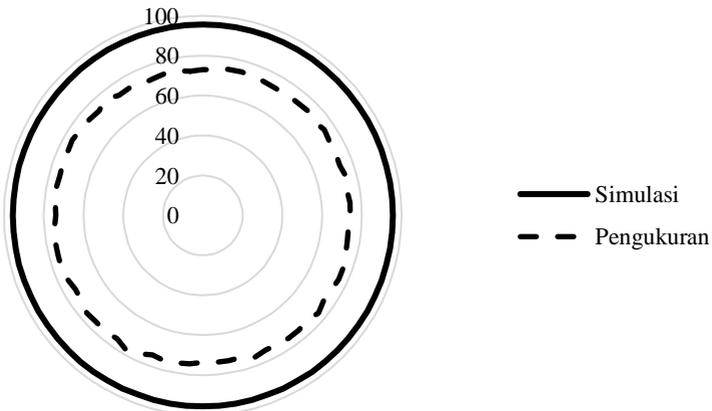
Berdasarkan gambar 4.38 dan gambar 4.39 dapat diketahui bahwa pada frekuensi rendah, *directivity* V-Dec generasi kedua hasil simulasi dan pengukuran di ruang *anechoic chamber* memiliki nilai yang sama namun memiliki selisih SPL pada setiap titik sudutnya. Pada frekuensi tinggi, *directivity* V-Dec generasi kedua hasil simulasi dan pengukuran di ruang *anechoic chamber* memiliki nilai yang berbeda terutama pada sudut 45° , 135° , 225° dan 315° , pada sudut tersebut juga memiliki selisih SPL yang paling tinggi dibandingkan dengan sudut yang lain.



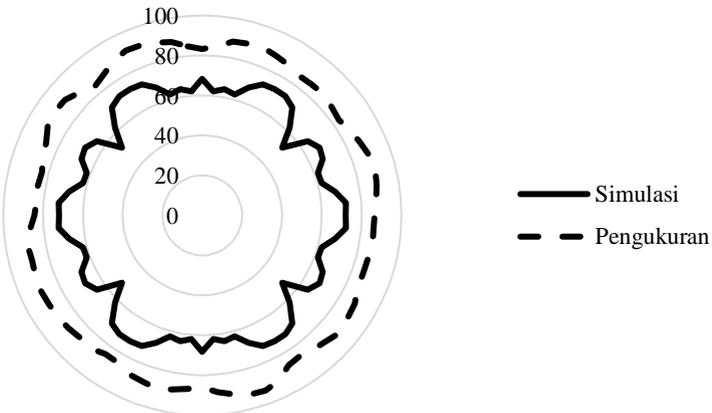
Gambar 4. 40 *Directivity* V-Dec generasi kedua di luar ruangan

Gambar 4.40 adalah *directivity* V-Dec generasi kedua yang dibentuk menyesuaikan dengan hasil pengukuran di luar ruangan. Jika dilihat pada gambar 4.40 dapat disimpulkan bahwa V-Dec generasi kedua memiliki *omnidirectional directivity* pada rentang frekuensi 63 Hz – 1000 Hz, dibuktikan dengan grafik yang memiliki bentuk lingkaran sempurna. Sedangkan pada frekuensi lebih dari 2000 Hz, V-Dec generasi kedua sudah tidak memiliki *omnidirectional directivity* dibuktikan dengan grafik yang memiliki bentuk lingkaran yang tidak sempurna. Apabila dibandingkan nilai SPL pada setiap sudut titik ukur antara *directivity* hasil simulasi (Gambar 4.40) dengan *directivity* hasil

pengukuran (Gambar 4.31b), terdapat selisih SPL pada setiap titik sudutnya. Perbandingan SPL dapat dilihat pada gambar 4.41 dan gambar 4.42. Gambar 4.41 merupakan perbandingan SPL antara hasil simulasi dengan pengukuran pada frekuensi 125 Hz dan gambar 4.42 merupakan perbandingan SPL antara hasil simulasi dengan pengukuran pada frekuensi 2000 Hz.

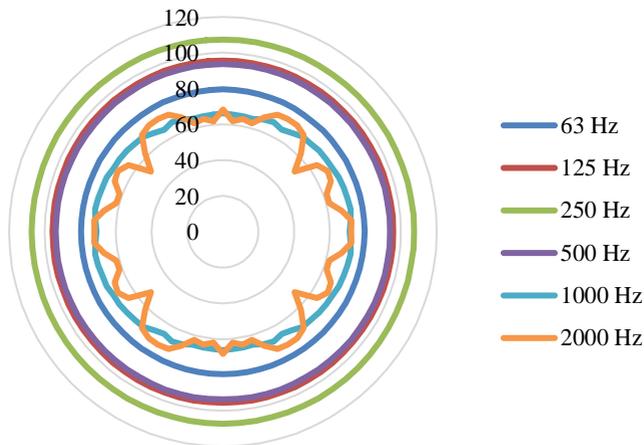


Gambar 4. 41 Perbandingan *directivity* V-Dec generasi kedua pada frekuensi 125 Hz



Gambar 4. 42 Perbandingan *directivity* V-Dec generasi kedua pada frekuensi 2000 Hz

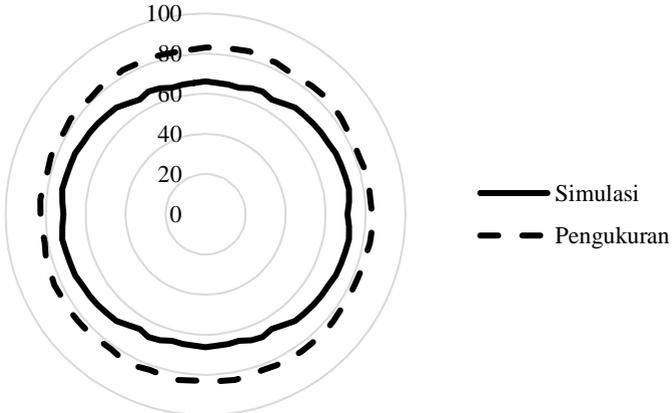
Berdasarkan gambar 4.41 dapat diketahui bahwa *directivity* V-Dec generasi kedua pada pengukuran di luar ruangan memiliki *directivity* yang sama pada frekuensi rendah dibuktikan dengan bentuk grafik yang sama antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran. Sedangkan pada gambar 4.42 menunjukkan bahwa *directivity* V-Dec generasi kedua pada pengukuran di luar ruangan memiliki *directivity* yang berbeda pada frekuensi tinggi dibuktikan dengan bentuk grafik yang jauh berbeda antara hasil simulasi dengan pengukuran.



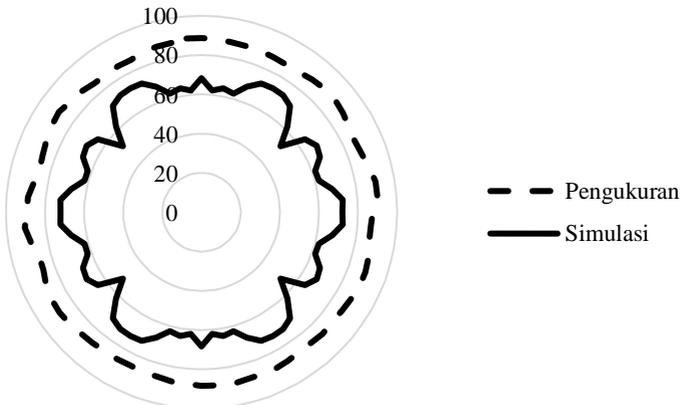
Gambar 4. 43 *Directivity* V-Dec generasi kedua di dalam ruangan

Gambar 4.43 adalah *directivity* V-Dec generasi kedua yang dibentuk menyesuaikan dengan hasil pengukuran di dalam ruangan. Jika dilihat pada gambar 4.43 dapat disimpulkan bahwa V-Dec generasi kedua memiliki *omnidirectional directivity* pada rentang frekuensi 125 Hz – 1000 Hz, dibuktikan dengan grafik yang memiliki bentuk lingkaran sempurna. Sedangkan pada frekuensi lebih dari 2000 Hz, V-Dec generasi kedua sudah tidak memiliki *omnidirectional directivity* dibuktikan dengan grafik yang memiliki bentuk lingkaran yang tidak sempurna. Apabila dibandingkan nilai SPL pada setiap sudut titik ukur antara *directivity* hasil simulasi (Gambar 4.43) dengan *directivity* hasil

pengukuran (Gambar 4.32b), terdapat selisih SPL pada setiap titik sudutnya. Perbandingan SPL dapat dilihat pada gambar 4.44 dan gambar 4.45. Gambar 4.44 merupakan perbandingan SPL antara hasil simulasi dengan pengukuran pada frekuensi 1000 Hz dan gambar 4.45 merupakan perbandingan SPL antara hasil simulasi dengan pengukuran pada frekuensi 2000 Hz.



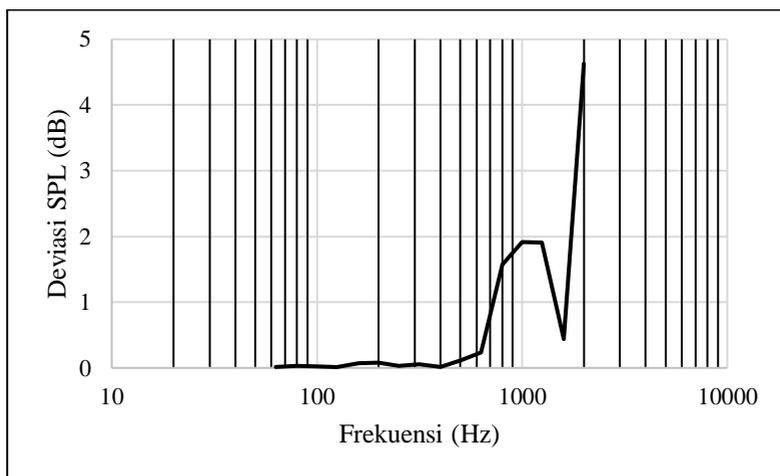
Gambar 4. 44 Perbandingan *directivity* V-Dec generasi kedua pada frekuensi 1000 Hz



Gambar 4. 45 Perbandingan *directivity* V-Dec generasi kedua pada frekuensi 2000 Hz

Berdasarkan gambar 4.44 dapat diketahui bahwa *directivity* V-Dec generasi kedua pada pengukuran di dalam ruangan memiliki *directivity* yang sama pada frekuensi rendah dibuktikan dengan bentuk grafik yang mirip antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran. Sedangkan pada gambar 4.45 menunjukkan bahwa *directivity* V-Dec generasi kedua pada pengukuran di dalam ruangan memiliki *directivity* yang berbeda pada frekuensi tinggi dibuktikan dengan bentuk grafik yang berbeda antara hasil simulasi dengan pengukuran.

Nilai *omnidirectional cut-off frequency* terdapat pada frekuensi dengan nilai deviasi SPL pada frekuensi tersebut mulai melebihi 0,5 dB. Nilai deviasi pada setiap frekuensi dapat dilihat pada gambar 4.46.



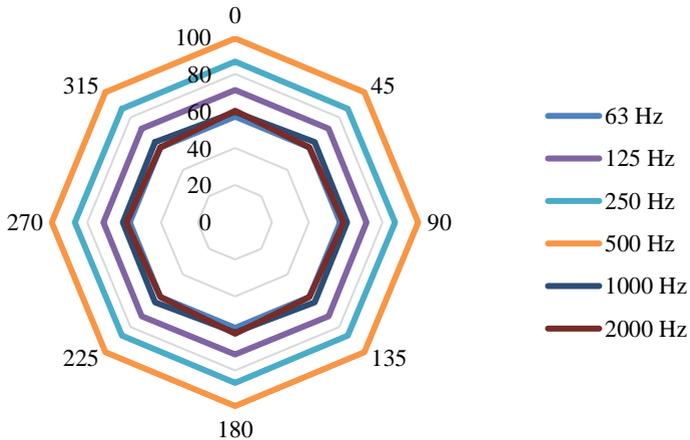
Gambar 4. 46 Deviasi SPL V-Dec generasi kedua

Berdasarkan gambar 4.46, dapat diketahui bahwa nilai *omnidirectional cut-off frequency* V-Dec generasi kedua berada pada rentang 500 Hz – 630 Hz. Hal ini dibuktikan dengan nilai deviasi SPL pada frekuensi 630 Hz bernilai 0,2 dB dan deviasi SPL pada frekuensi 800 Hz bernilai 1,6 dB. Hasil simulasi SPL pada gambar 4.21, jika nilai SPL pada titik ukur bernilai sama maka

directivity bersifat *omnidirectional*, dimana pada gambar 4.18 pada frekuensi 500 Hz nilai SPL pada titik ukur bernilai sama sehingga keterarahannya bersifat *omnidirectional* sedangkan pada frekuensi 1000 Hz nilai SPL pada titik ukur memiliki nilai yang berbeda sehingga keterarahannya tidak *omnidirectional*. Jika dibandingkan antara hasil simulasi SPL dan nilai *omnidirectional cut-off frequency* dengan rentang 630 Hz – 800 Hz, maka hasil simulasi telah memiliki kesesuaian.

f. V-Dec generasi ketiga

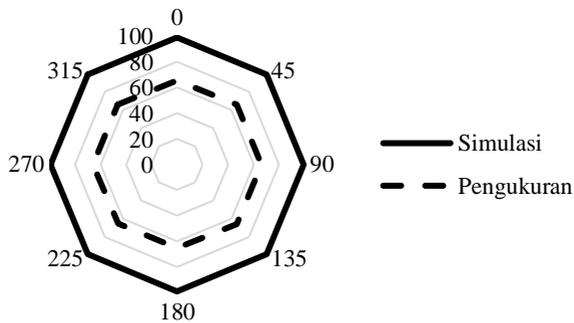
Berikut adalah hasil simulasi *directivity* V-Dec generasi kedua pada ruang *anechoic chamber*, luar ruangan dan di dalam ruangan.



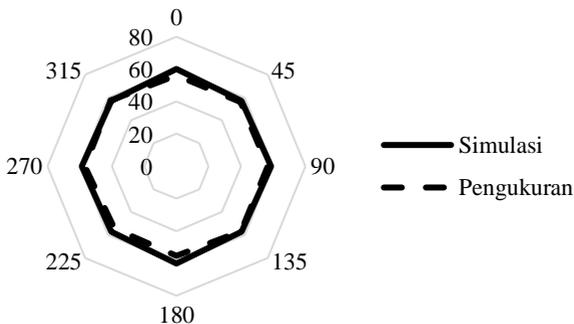
Gambar 4.47 *Directivity* V-Dec generasi ketiga di ruang *anechoic chamber*

Gambar 4.47 merupakan *directivity* V-Dec generasi ketiga hasil simulasi yang dibuat menyesuaikan hasil pengukuran pada ruang *anechoic chamber*. Jika dilihat pada gambar 4.47 dapat disimpulkan bahwa V-Dec generasi ketiga memiliki *omnidirectional directivity* pada rentang frekuensi 63 Hz – 1000 Hz, dibuktikan dengan grafik yang memiliki bentuk segi delapan sempurna. Sedangkan pada frekuensi lebih dari 2000 Hz, V-Dec

generasi ketiga sudah tidak memiliki *omnidirectional directivity* dibuktikan dengan grafik yang memiliki bentuk segi delapan yang tidak sempurna. Apabila dibandingkan nilai SPL pada setiap sudut titik ukur antara *directivity* hasil simulasi (Gambar 4.47) dengan *directivity* hasil pengukuran (Gambar 4.30c), terdapat selisih SPL pada setiap titik sudutnya, antara lain sudut 0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° dan 315° . Perbandingan SPL dapat dilihat pada gambar 4.38 dan gambar 4.48. Gambar 4.48 merupakan perbandingan SPL antara hasil simulasi dengan pengukuran pada frekuensi 500 Hz dan gambar 4.49 merupakan perbandingan SPL antara hasil simulasi dengan pengukuran pada frekuensi 2000 Hz.

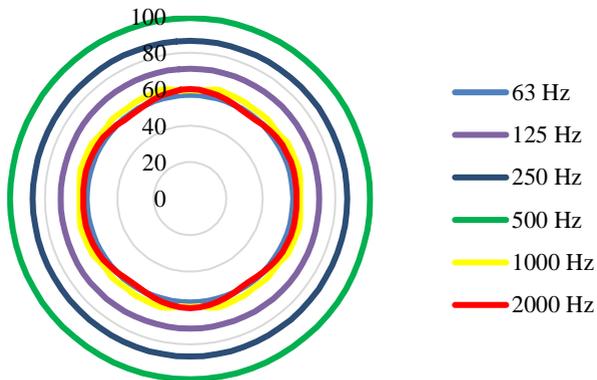


Gambar 4. 48 Perbandingan *directivity* V-Dec generasi ketiga pada frekuensi 500 Hz



Gambar 4. 49 Perbandingan *directivity* V-Dec generasi ketiga pada frekuensi 2000 Hz

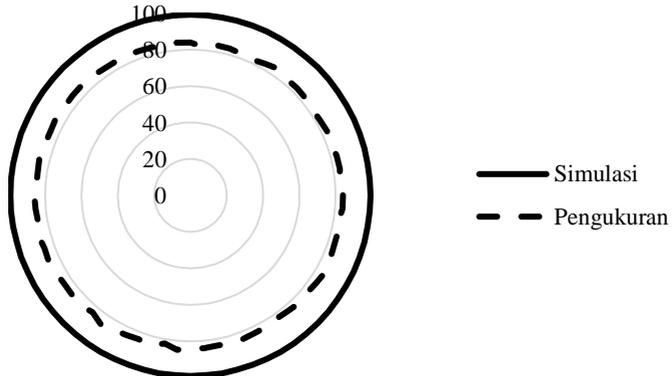
Berdasarkan gambar 4.48 dan gambar 4.49 dapat diketahui bahwa pada frekuensi rendah, *directivity* V-Dec generasi ketiga hasil simulasi dan pengukuran di ruang *anechoic chamber* memiliki nilai yang sama namun memiliki selisih SPL pada setiap titik sudutnya. Pada frekuensi tinggi, *directivity* V-Dec generasi ketiga hasil simulasi dan pengukuran di ruang *anechoic chamber* memiliki nilai yang berbeda terutama pada sudut 0° , dan 180° , pada sudut tersebut juga memiliki selisih SPL yang paling tinggi dibandingkan dengan sudut yang lain.



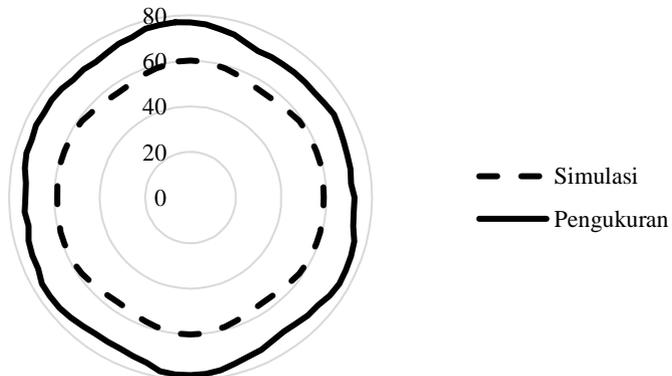
Gambar 4. 50 *Directivity* V-Dec generasi ketiga di luar ruangan

Gambar 4.50 adalah *directivity* V-Dec generasi ketiga yang dibentuk menyesuaikan dengan hasil pengukuran di luar ruangan. Jika dilihat pada gambar 4.50 dapat disimpulkan bahwa V-Dec generasi ketiga memiliki *omnidirectional directivity* pada rentang frekuensi 63 Hz – 1000 Hz, dibuktikan dengan grafik yang memiliki bentuk lingkaran sempurna. Sedangkan pada frekuensi lebih dari 2000 Hz, V-Dec generasi ketiga sudah tidak memiliki *omnidirectional directivity* dibuktikan dengan grafik yang memiliki bentuk lingkaran yang tidak sempurna. Apabila dibandingkan nilai SPL pada setiap sudut titik ukur antara *directivity* hasil simulasi (Gambar 4.50) dengan *directivity* hasil pengukuran (Gambar 4.31c), terdapat selisih SPL pada setiap titik

sudutnya. Perbandingan SPL dapat dilihat pada gambar 4.51 dan gambar 4.52.



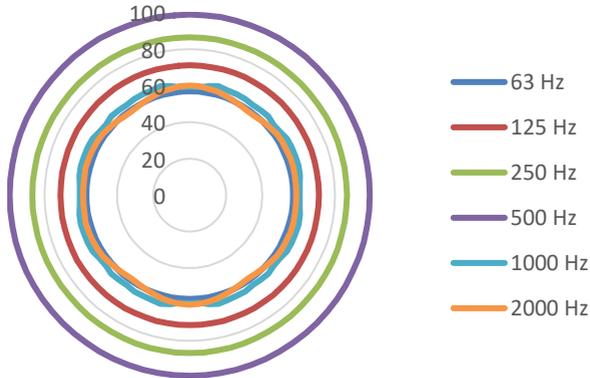
Gambar 4. 51 Perbandingan *directivity* V-Dec generasi ketiga pada frekuensi 500 Hz



Gambar 4. 52 Perbandingan *directivity* V-Dec generasi ketiga pada frekuensi 2000 Hz

Berdasarkan gambar 4.51 dapat diketahui bahwa *directivity* V-Dec generasi ketiga pada pengukuran di luar ruangan memiliki *directivity* yang sama pada frekuensi rendah dibuktikan dengan bentuk grafik yang sama antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran. Sedangkan pada gambar 4.52 menunjukkan bahwa

directivity V-Dec generasi ketiga pada pengukuran di luar ruangan memiliki *directivity* yang mirip antara pada frekuensi tinggi dibuktikan dengan bentuk grafik yang mirip antara hasil simulasi dengan pengukuran.

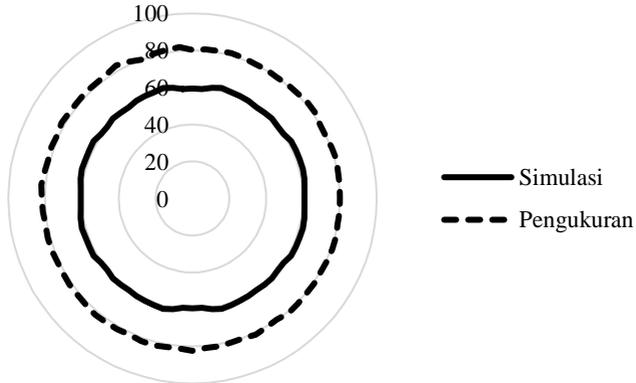


Gambar 4. 53 *Directivity* V-Dec generasi ketiga di dalam ruangan

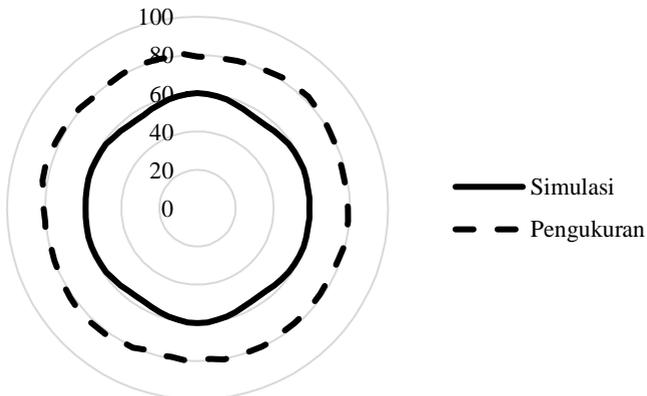
Gambar 4.53 adalah *directivity* V-Dec generasi ketiga yang dibentuk menyesuaikan dengan hasil pengukuran di dalam ruangan. Jika dilihat pada gambar 4.53 dapat disimpulkan bahwa V-Dec generasi ketiga memiliki *omnidirectional directivity* pada rentang frekuensi 63 Hz – 1000 Hz, dibuktikan dengan grafik yang memiliki bentuk lingkaran sempurna. Sedangkan pada frekuensi lebih dari 2000 Hz, V-Dec generasi ketiga sudah tidak memiliki *omnidirectional directivity* dibuktikan dengan grafik yang memiliki bentuk lingkaran yang tidak sempurna. Apabila dibandingkan nilai SPL pada setiap sudut titik ukur antara *directivity* hasil simulasi (Gambar 4.53) dengan *directivity* hasil pengukuran (Gambar 4.32c), terdapat selisih SPL pada setiap titik sudutnya. Perbandingan SPL dapat dilihat pada gambar 4.54 dan gambar 4.55.

Berdasarkan gambar 4.54 dapat diketahui bahwa *directivity* V-Dec generasi ketiga pada pengukuran di dalam ruangan memiliki *directivity* yang mirip pada frekuensi rendah

dibuktikan dengan bentuk grafik yang mirip antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran. Sedangkan pada gambar 4.55 menunjukkan bahwa *directivity* V-Dec generasi ketiga pada pengukuran di dalam ruangan memiliki *directivity* yang berbeda pada frekuensi tinggi dibuktikan dengan bentuk grafik yang berbeda antara hasil simulasi dengan pengukuran.

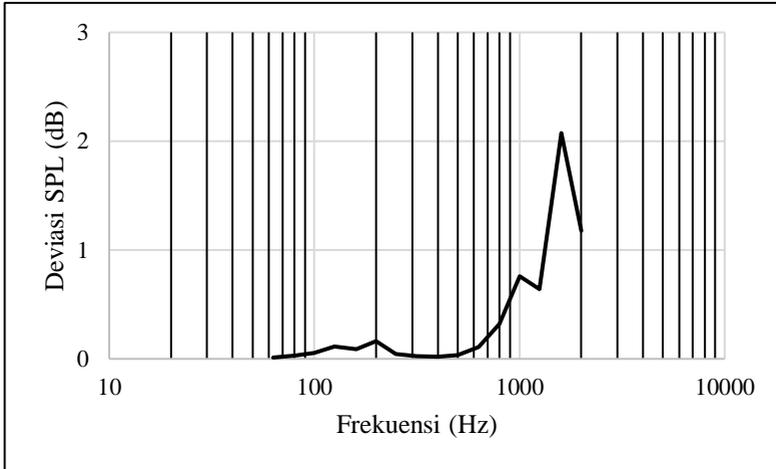


Gambar 4. 54 Perbandingan *directivity* V-Dec generasi ketiga pada frekuensi 1000 Hz



Gambar 4. 55 Perbandingan *directivity* V-Dec generasi ketiga pada frekuensi 1000 Hz

Nilai *omnidirectional cut-off frequency* terdapat pada frekuensi dengan nilai deviasi SPL pada frekuensi tersebut mulai melebihi 0,5 dB. Nilai deviasi pada setiap frekuensi dapat dilihat pada gambar 4.56.



Gambar 4. 56 Deviasi SPL V-Dec generasi ketiga

Berdasarkan gambar 4.56, dapat diketahui bahwa nilai *omnidirectional cut-off frequency* V-Dec generasi ketiga berada pada rentang 800 Hz – 1000 Hz. Hal ini dibuktikan dengan nilai deviasi SPL pada frekuensi 800 Hz bernilai 0,3 dB dan deviasi SPL pada frekuensi 1000 Hz bernilai 0.8 dB. Hasil simulasi SPL pada gambar 4.25, jika nilai SPL pada titik ukur bernilai sama maka *directivity* bersifat *omnidirectional*, dimana pada gambar 4.25 pada frekuensi 500 Hz nilai SPL pada titik ukur bernilai sama sehingga keterarahannya bersifat *omnidirectional* sedangkan pada frekuensi 1000 Hz nilai SPL pada titik ukur memiliki nilai yang berbeda sehingga keterarahannya tidak *omnidirectional*. Jika dibandingkan antara hasil simulasi SPL dan nilai *omnidirectional cut-off frequency* V-Dec generasi ketiga dengan rentang 800 Hz – 1000 Hz, maka hasil simulasi telah memiliki kesesuaian.

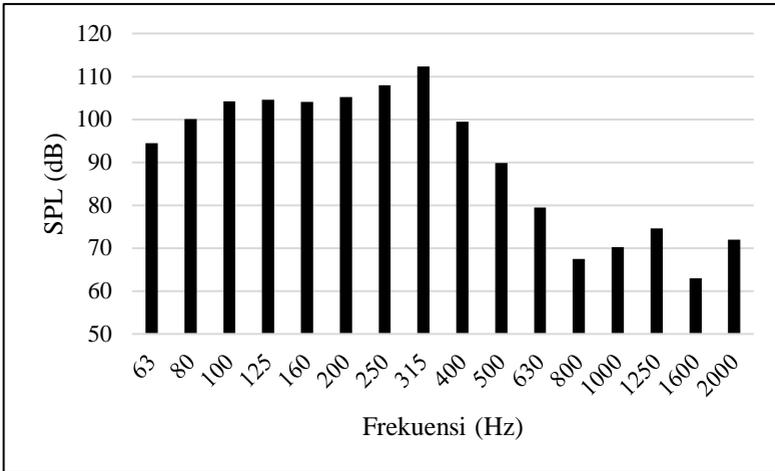
Berdasarkan perbandingan yang telah dilakukan kepada tiga jenis V-Dec antara hasil simulasi dan pengukuran, didapatkan hasil

nilai *omnidirectional cut-off frequency* dari masing masing V-Dec. Oleh karena itu, V-Dec telah sesuai berdasarkan teori yang dikemukakan oleh (Leishman, 2006) dimana setiap RPL memiliki nilai *omnidirectional cut-off frequency*. Nilai *omnidirectional cut-off frequency* semakin tinggi seiring dengan semakin kecilnya dimensi V-Dec. Hal ini dibuktikan dengan nilai *omnidirectional cut-off frequency* V-Dec generasi pertama, generasi kedua dan generasi ketiga berturut -turut adalah 500 Hz – 630 Hz, 630 Hz – 800 Hz dan 800 Hz – 1000 Hz.

Pada perbandingan *directivity* antara hasil simulasi dan hasil pengukuran terdapat banyak perbedaan terutama pada frekuensi tinggi, ditandai dengan bentuk grafik yang tidak lagi membentuk segi delapan sempurna ataupun lingkaran sempurna. Hal ini disebabkan oleh adanya *gain* yang sangat mempengaruhi *directivity* dari V-Dec. Berdasarkan teori yang dikemukakan oleh (Pasqual, 2014), *gain* yang ditambahkan pada SPL akan semakin tinggi seiring dengan bertambahnya frekuensi suara yang dibangkitkan oleh karena itu grafik yang dihasilkan antara simulasi dan pengukuran memiliki bentuk yang tidak beraturan pada frekuensi tinggi dan pada sudut 0° dan 180°.

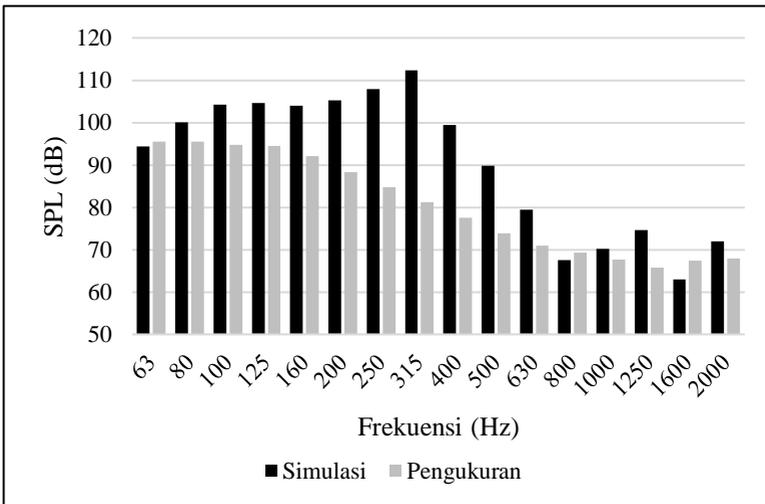
4.2.4 Respon Frekuensi

Respon frekuensi yang diharapkan dari seluruh generasi V-Dec adalah *flat* pada seluruh pita frekuensi. Pada umumnya, nilai respon frekuensi ini dilihat pada rentang frekuensi 100 Hz – 4000 Hz (Ristanty, 2017). Respon frekuensi sebuah *loudspeaker* dikatakan *flat* apabila nilai SPL pada rentang frekuensi tertentu memiliki nilai yang sama atau sedikit memiliki perbedaan (± 3 dB). Hal ini dikarenakan manusia dapat dengan mudah membedakan perbedaan bunyi jika terjadi penurunan atau kenaikan *level* sebesar 3 dB. Gambar 4.57 merupakan respon frekuensi dari V-Dec generasi pertama hasil simulasi. Berdasarkan gambar 4.57 dapat diketahui bahwa hasil simulasi menunjukkan V-Dec generasi pertama memiliki respon frekuensi yang tidak *flat* namun mampu menghasilkan SPL 65 dB – 113 dB pada rentang frekuensi 63 Hz – 2000 Hz.



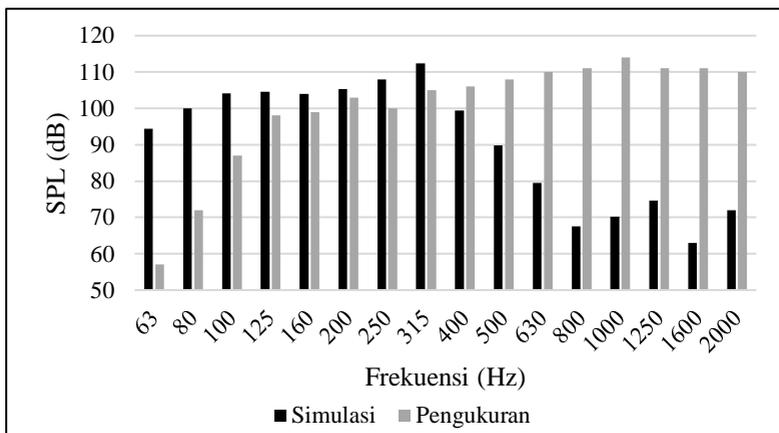
Gambar 4. 57 Respon frekuensi V-Dec generasi pertama

Untuk memvalidasi hasil simulasi maka dilakukan pengukuran. Nilai respon frekuensi V-Dec generasi pertama dapat dilihat pada gambar 4.58, gambar 4.59 dan gambar 4.60.



Gambar 4. 58 Respon frekuensi V-Dec generasi pertama di ruang *anechoic chamber*

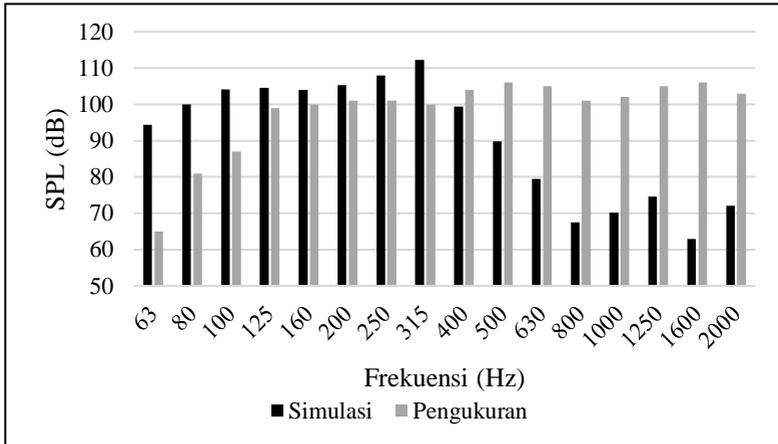
Gambar 4.58 merupakan perbandingan respon frekuensi V-Dec generasi pertama hasil simulasi dengan pengukuran di ruang *anechoic chamber*. Berdasarkan hasil perbandingan pada gambar 4.58 dapat diketahui bahwa V-Dec generasi pertama memiliki respon frekuensi yang tidak *flat* pada frekuensi 63 Hz – 2000 Hz pada ruang *anechoic chamber* dan mampu menghasilkan SPL 66 dB – 96 dB. Berdasarkan perbandingan pada gambar 4.58, nilai SPL hasil pengukuran memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan hasil simulasi.



Gambar 4.59 Respon frekuensi V-Dec generasi pertama di luar ruangan

Gambar 4.59 merupakan perbandingan respon frekuensi V-Dec generasi pertama dengan pengukuran di luar ruangan. Berdasarkan hasil perbandingan pada gambar 4.59 dapat diketahui bahwa V-Dec generasi pertama memiliki respon yang tidak *flat* pada frekuensi 63 Hz – 2000 Hz di luar ruangan dan mampu menghasilkan SPL 57 dB – 114 dB. Berdasarkan perbandingan pada gambar 4.59, SPL yang dibangkitkan V-dec generasi pertama pada pengukuran di luar ruangan selalu lebih rendah daripada SPL hasil simulasi pada frekuensi 63 Hz – 315 Hz, sedangkan pada frekuensi 400 Hz – 2000 Hz nilai SPL yang dibangkitkan pada

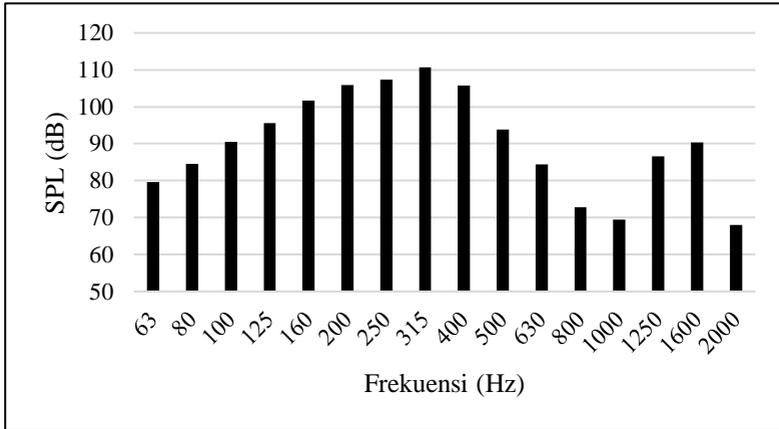
pengukuran di luar ruangan selalu lebih besar daripada SPL hasil simulasi.



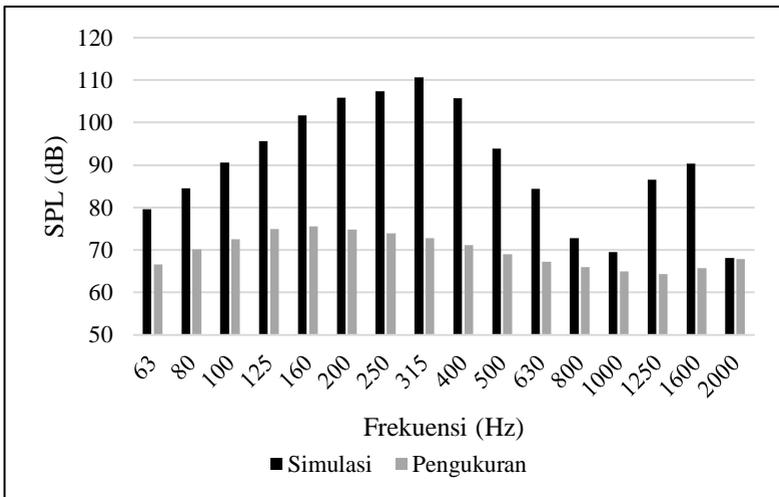
Gambar 4. 60 Respon frekuensi V-Dec generasi pertama di dalam ruangan

Gambar 4.60 merupakan perbandingan respon frekuensi V-Dec generasi pertama dengan pengukuran di dalam ruangan. Berdasarkan hasil perbandingan pada gambar 4.60 dapat diketahui bahwa V-Dec generasi pertama memiliki respon frekuensi yang tidak *flat* pada frekuensi 63 Hz – 2000 Hz di dalam ruangan dan mampu menghasilkan SPL 65 dB – 106 dB. Berdasarkan perbandingan pada gambar 4.60, SPL yang dibangkitkan V-Dec generasi pertama pada pengukuran di dalam ruangan selalu lebih rendah daripada SPL hasil simulasi pada frekuensi 63 Hz – 315 Hz, sedangkan pada frekuensi 400 hz – 2000 Hz nilai SPL yang dibangkitkan pada pengukuran di dalam ruangan selalu lebih besar daripada hasil simulasi.

Gambar 4.61 merupakan respon frekuensi V-Dec generasi kedua hasil simulasi. Berdasarkan gambar 4.61 dapat diketahui bahwa V-Dec generasi kedua memiliki respon frekuensi yang tidak *flat* namun mampu membangkitkan SPL 69 dB – 111 dB pada rentang 63 Hz – 2000 Hz.



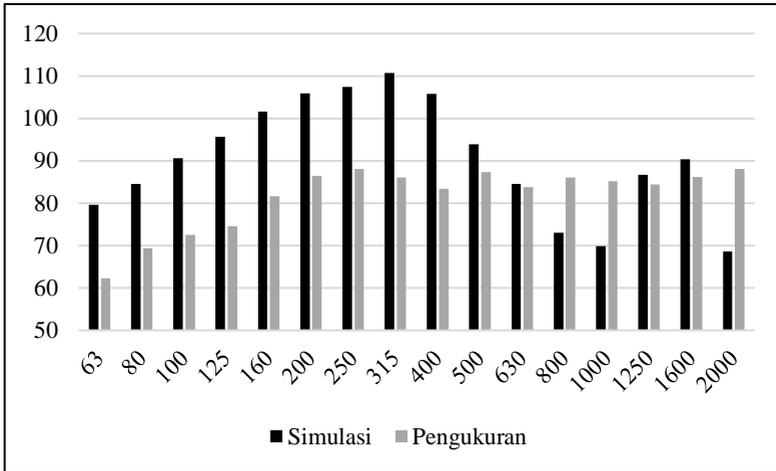
Gambar 4. 61 Respon frekuensi V-Dec generasi kedua



Gambar 4. 62 Respon frekuensi V-Dec generasi kedua di ruang *anechoic chamber*

Gambar 4.62 merupakan perbandingan respon frekuensi V-Dec generasi kedua dengan pengukuran di ruang *anechoic chamber*. Berdasarkan hasil perbandingan pada gambar 4.62 dapat

diketahui bahwa V-Dec generasi kedua memiliki respon frekuensi yang tidak *flat* pada frekuensi 63 Hz – 2000 Hz di ruang *anechoic chamber* dan mampu menghasilkan SPL 64 dB – 76 dB. Berdasarkan perbandingan pada gambar 4.62, SPL yang dibangkitkan V-Dec generasi kedua pada pengukuran di ruang *anechoic chamber* selalu lebih rendah daripada SPL hasil simulasi.

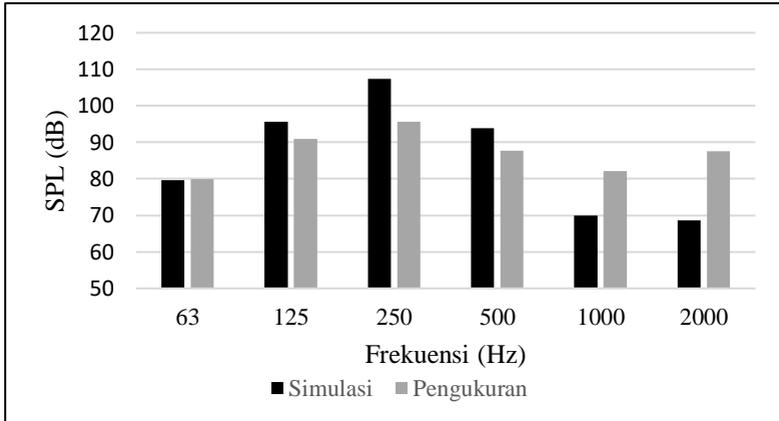


Gambar 4. 63 Respon frekuensi V-Dec generasi kedua di luar ruangan

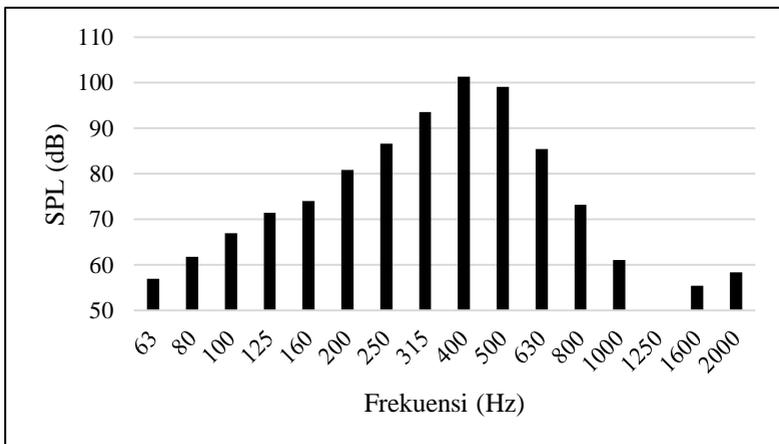
Gambar 4.63 merupakan perbandingan respon frekuensi V-Dec generasi kedua dengan pengukuran di luar ruangan. Berdasarkan hasil perbandingan pada gambar 4.63 dapat diketahui bahwa V-Dec generasi kedua memiliki respon frekuensi yang tidak *flat* pada frekuensi 63 Hz – 2000 Hz di luar ruangan dan mampu menghasilkan SPL 62 dB – 88 dB. Berdasarkan perbandingan pada gambar 4.63, SPL yang dibangkitkan V-Dec generasi kedua pada pengukuran di luar ruangan lebih rendah daripada SPL hasil simulasi.

Gambar 4.64 merupakan perbandingan respon frekuensi V-Dec generasi kedua dengan pengukuran di dalam ruangan. Berdasarkan hasil perbandingan pada gambar 4.64 dapat diketahui

bahwa V-Dec generasi kedua memiliki respon frekuensi yang tidak *flat* pada frekuensi 63 Hz – 2000 Hz di dalam ruangan dan mampu menghasilkan SPL 80 dB – 96 dB. Berdasarkan perbandingan pada gambar 4.64, SPL yang dibangkitkan V-Dec generasi kedua pada pengukuran di dalam ruangan lebih rendah daripada SPL hasil simulasi.

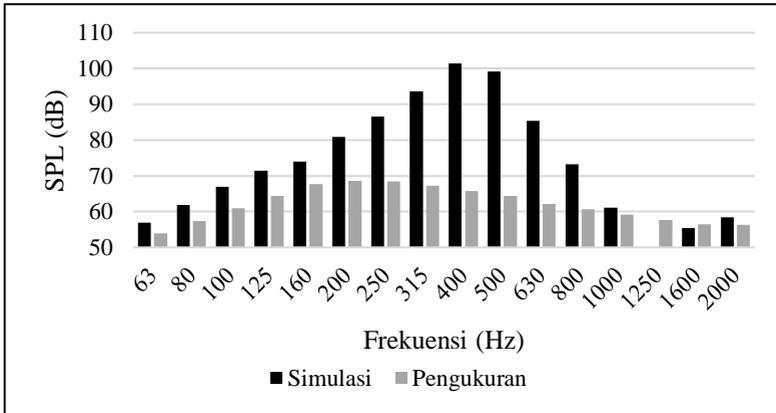


Gambar 4. 64 Respon frekuensi V-Dec generasi kedua di dalam ruangan



Gambar 4. 65 Respon frekuensi V-Dec generasi ketiga

Gambar 4.65 merupakan respon frekuensi V-Dec generasi ketiga hasil simulasi. Berdasarkan gambar 4.65 dapat diketahui bahwa V-Dec generasi ketiga memiliki respon frekuensi yang tidak *flat* namun mampu membangkitkan SPL 50 dB – 101 dB pada rentang 63 Hz – 2000 Hz.

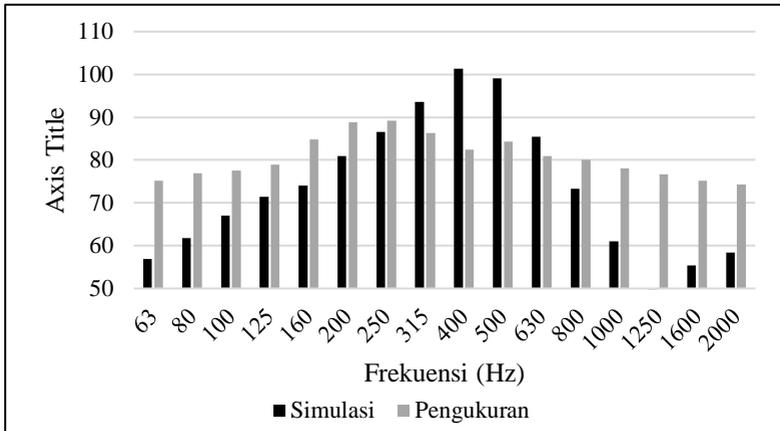


Gambar 4. 66 Respon frekuensi V-Dec generasi ketiga di ruang *anechoic chamber*

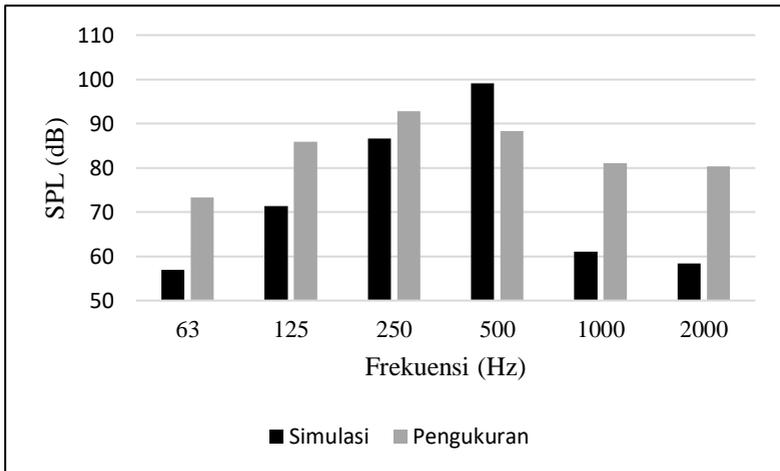
Gambar 4.66 merupakan perbandingan respon frekuensi V-Dec generasi ketiga dengan pengukuran di ruang *anechoic chamber*. Berdasarkan hasil perbandingan pada gambar 4.66 dapat diketahui bahwa V-Dec generasi ketiga memiliki respon frekuensi yang tidak *flat* pada frekuensi 63 Hz – 2000 Hz di ruang *anechoic chamber* dan mampu menghasilkan SPL 64 dB – 69 dB. Berdasarkan perbandingan pada gambar 4.66, SPL yang dibangkitkan V-Dec generasi ketiga pada pengukuran di ruang *anechoic chamber* selalu lebih rendah daripada SPL hasil simulasi.

Gambar 4.67 merupakan perbandingan respon frekuensi V-Dec generasi ketiga dengan pengukuran di luar ruangan. Berdasarkan hasil perbandingan pada gambar 4.67 dapat diketahui bahwa V-Dec generasi ketiga memiliki respon frekuensi yang tidak *flat* pada frekuensi 63 Hz – 2000 Hz di luar ruangan dan mampu menghasilkan SPL 74 dB – 89 dB. Berdasarkan perbandingan pada

gambar 4.67, SPL yang dibangkitkan V-Dec generasi ketiga pada pengukuran di luar ruangan lebih tinggi daripada SPL hasil simulasi.



Gambar 4. 67 Respon frekuensi V-Dec generasi ketiga di luar ruangan



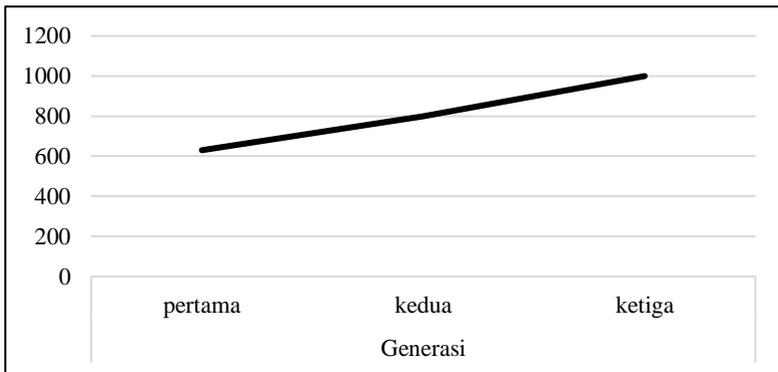
Gambar 4. 68 Respon frekuensi V-Dec generasi ketiga di dalam ruangan

Gambar 4.68 merupakan perbandingan respon frekuensi V-Dec generasi ketiga dengan pengukuran di dalam ruangan. Berdasarkan hasil perbandingan pada gambar 4.68 dapat diketahui bahwa V-Dec generasi ketiga memiliki respon frekuensi yang tidak *flat* pada frekuensi 63 Hz – 2000 Hz di dalam ruangan dan mampu menghasilkan SPL 73 dB – 93 dB. Berdasarkan perbandingan pada gambar 4.68, SPL yang dibangkitkan V-Dec generasi ketiga pada pengukuran di dalam ruangan selalu lebih tinggi daripada SPL hasil simulasi.

4.3 Rekomendasi

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari simulasi dan pengukuran dapat disimpulkan bahwa perubahan dimensi pada V-Dec mempengaruhi kinerja dari V-Dec itu sendiri. Namun hipotesa awal yang menyatakan jika semakin kecil dimensi V-Dec akan membuat kinerja semakin buruk tidak sepenuhnya benar. Untuk membuktikan hipotesa tersebut maka dilakukan perbandingan pada setiap parameter spesifikasi yaitu *directivity*, respon frekuensi dan SPL. Perbandingan tersebut dapat dilihat pada pembahasan berikut.

Perbandingan *directivity* pada V-Dec dilihat dari perbandingan nilai *omnidirectional cut-off frequency*. Perbandingan nilai *omnidirectional cut-off frequency* dapat dilihat pada gambar 4.69.

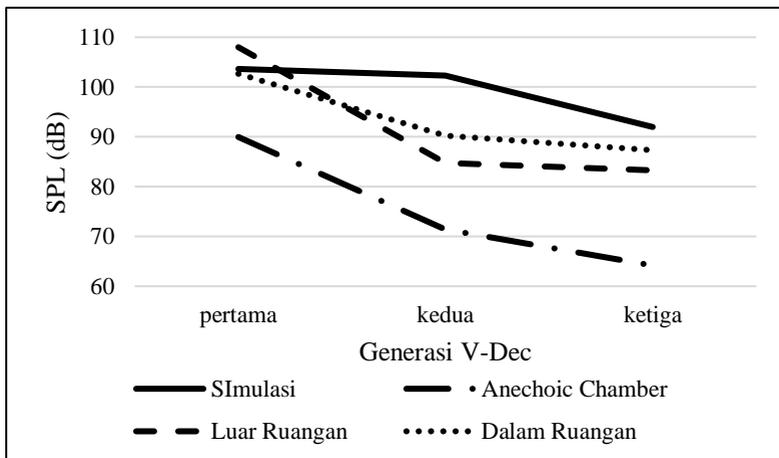


Gambar 4. 69 Perbandingan *omnidirectional cut-off frequency* V-Dec

Berdasarkan gambar 4.69 dapat diketahui bahwa semakin kecil dimensi V-Dec akan membuat nilai *omnidirectional cut-off frequency* V-Dec akan semakin besar. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil dimensi V-Dec maka rentang frekuensi yang memiliki *omnidirectional directivity* akan semakin lebar. Jadi dapat disimpulkan bahwa dimensi yang digunakan untuk membuat V-Dec dengan *omnidirectional directivity* pada rentang frekuensi yang lebih lebar harus lebih kecil dari dimensi V-Dec yang telah dibuat.

Perbandingan respon frekuensi yang dihasilkan oleh V-Dec, seperti yang telah dibahas pada subbab 4.2.4, berdasarkan hasil simulasi menunjukkan bahwa V-Dec tidak memiliki respon frekuensi yang flat namun berdasarkan hasil pengukuran menunjukkan bahwa semakin kecil dimensi V-Dec akan membuat respon frekuensi yang dihasilkan tidak flat. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dimensi yang digunakan untuk membuat V-Dec memiliki respon frekuensi yang flat pada rentang frekuensi yang lebih lebar harus lebih besar daripada dimensi V-Dec yang telah dibuat.

Perbandingan SPL yang dihasilkan V-Dec dapat dilihat pada gambar 4.70.



Gambar 4. 70 Perbandingan SPL V-Dec

Pada gambar 4.70 merupakan perbandingan SPL yang dihasilkan oleh V-Dec berdasarkan hasil simulasi dan pengukuran. Berdasarkan gambar 4.70 dapat diketahui bahwa semakin kecil dimensi V-Dec akan membuat SPL yang dibangkitkan akan semakin rendah. Hal ini ditunjukkan dengan nilai SPL hasil simulasi dan pengukuran yang semakin rendah seiring dengan semakin kecilnya dimensi V-Dec. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dimensi yang digunakan untuk membuat V-Dec memiliki nilai SPL yang lebih tinggi harus lebih besar daripada dimensi V-Dec yang telah dibuat.

Berdasarkan tiga perbandingan tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar dimensi V-Dec akan menghasilkan V-Dec dengan SPL yang tinggi dan respon frekuensi flat yang lebih lebar namun rentang frekuensi yang memiliki *omnidirectional directivity* lebih sempit, sedangkan semakin kecil dimensi V-Dec akan menghasilkan V-Dec dengan rentang frekuensi yang memiliki *omnidirectional directivity* lebih lebar namun memiliki SPL yang kecil dan respon frekuensi yang tidak flat.

Berdasarkan nilai *displacement* yang dihasilkan oleh V-Dec dapat diketahui bahwa semakin rendah frekuensi suara yang dibangkitkan akan membuat nilai *displacement* semakin besar. Nilai *displacement* yang besar akan membuat transfer energi listrik menjadi energi suara pada V-Dec semakin rendah yang mengakibatkan SPL yang dibangkitkan semakin rendah. Untuk menanggulangi hal tersebut dan untuk meningkatkan kinerja V-Dec pada frekuensi rendah, (Kinsler, 2000) menggunakan beberapa cara antara lain :

a. Menambah radius driver speaker yang digunakan

Dengan menambahkan radius speaker akan membuat efisiensi *speaker* dalam membangkitkan *audible sound* meningkat. Namun cara ini tidak begitu signifikan dalam meningkatkan efisiensi *speaker* dalam membangkitkan *audible sound* karena massa *cone speaker* akan bertambah seiring bertambahnya radius *driver speaker*. Dalam memilih dimensi *driver speaker* yang akan digunakan harus mempertimbangkan rasio dimensi *speaker*, dengan menggunakan persamaan (2.1) (Pasqual, 2014).

- b. Mengganti *driver speaker* dengan *driver* dengan *cone speaker* yang memiliki material dengan tingkat kekakuan yang lebih kecil.

Dengan tingkat kekakuan yang lebih kecil membuat *cone driver speaker* akan mengalami *displacement* yang lebih besar sehingga mampu membangkitkan *audible sound* yang mempunyai nilai SPL yang lebih tinggi.

Halaman ini memang dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian tugas akhir ini dilakukan simulasi pada tiga seri speaker Vibrastic Dodecahedron yang telah dibuat sebelumnya. Dan hasil penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. Faktor utama yang mempengaruhi kinerja *speaker dodecahedron* adalah dimensi dan frekuensi kerja dari *speaker dodecahedron* tersebut. Dimensi yang sangat berpengaruh antara lain dimensi *driver speaker* yang digunakan, dimensi *enclosure* dari *speaker dodecahedron*. Frekuensi suara yang dibangkitkan oleh *speaker dodecahedron* sangat berpengaruh pada *directivity speaker* karena *speaker dodecahedron* mempunyai *omnidirectional cut-off frequency*, apabila frekuensi yang dibangkitkan di bawah nilai tersebut maka *directivity speaker* akan *omnidirectional* dan apabila frekuensi yang dibangkitkan sama atau bahkan melebihi nilai tersebut maka *directivity speaker* akan menjadi *directional*.
- b. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, perubahan dimensi sangat berpengaruh terhadap kinerja *speaker Vibrastic Dodecahedron* diantaranya adalah perbedaan nilai *sound pressure level (SPL)* yang dihasilkan oleh *speaker*, pola keterarahan atau *directivity* dan vibrasi yang terjadi pada *speaker*. Nilai SPL yang memenuhi spesifikasi yang diinginkan, yaitu mempunyai nilai SPL pada rentang 80-100 dB. Berdasarkan hasil simulasi adalah *speaker Vibrastic* Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan menunjukkan bahwa SPL yang mampu dihasilkan oleh V-Dec generasi pertama berada pada rentang 74 dB - 115 dB, V-Dec generasi kedua berada pada rentang 80 dB – 114 dB, V-Dec generasi ketiga berada pada rentang 61 dB – 104 dB. Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan menunjukkan bahwa V-Dec mempunyai *omnidirectional directivity*, namun tidak seluruh pita frekuensi memiliki *omnidirectional*

directivity karena V-Dec memiliki nilai *omnidirectional cut-off frequency*. Nilai *omnidirectional cut-off frequency* V-Dec generasi pertama pada rentang 630 Hz – 800 Hz, V-Dec generasi kedua pada rentang 1000 Hz – 2000 Hz dan V-Dec generasi ketiga pada rentang 800 Hz – 1000 Hz. Vibrasi yang terjadi pada V-Dec ditunjukkan dengan besarnya *displacement* pada *cone speaker*. *Displacement* yang besar membuat nilai SPL yang dibangkitkan menjadi lebih rendah terutama pada frekuensi rendah. Untuk menanggulangi hal tersebut dapat dilakukan dengan cara menambah radius *driver speaker* atau mengganti *driver speaker* dengan *driver speaker* yang memiliki material dengan tingkat kekakuan lebih kecil.

5.2 Saran

Penulis memberikan saran untuk pengembangan penelitian lebih lanjut sebagai berikut:

- a. Dalam pembuatan V-Dec selanjutnya sebaiknya dilakukan simulasi terlebih dahulu agar dapat diketahui spesifikasi dan kinerja dari V-Dec yang akan dibuat.
- b. Penentuan pemilihan dimensi sebaiknya mengacu pada persamaan 2.1 sehingga bisa didapatkan V-Dec dengan hasil yang lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Acoustic Glossary*. (2019). Retrieved Juni 30, 2019, from <http://www.acoustic-glossary.co.uk>
- Bies, D. A. (2003). *Engineering Noise Control*. New York: Spon Press.
- Coxeter, H. (1963). *Regular Polytopes, 2nd Ed.* New York: Macmillan.
- Fahy, F. (1995). *Sound Intensity, 2nd Edition*. London: E & FN Spon.
- Hanindita, T. (2018). *Perancangan Loudspeaker Dodecahedron Mini Untuk Pengukuran Akustik Ruang*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Havelock, D. (2008). *Handbook of Signal Processing in Acoustics*. Springer Science and Business Media.
- Hosoe, S. (2006). Development of Micro-Dodecahedral Loudspeaker for Measuring Head-Related Transfer Function in The Proximal Region. *ICASSP*, 329-332.
- Hughes, C. (2013, January 16). *ProSoundWeb*. Retrieved from https://www.prosoundweb.com/topics/education/protecting_loudspeakers_using_limiters_to_help_protect_your_investment/
- ISO3382-1. (2009).
- Kinsler, L. E. (2000). *Fundamentals of Acoustics 4th Ed.*
- Krott, L. (2013). *The Mathematics of Multi-Input Sound Field Recording*. Blacksburg: Virginia Tech.
- Leishman, T. W. (2006). An Experimental Evaluation of Regular Polyhedron Loudspeakers as Omnidirectional Sources of Sound. *Journal Acoustics Society of America*, 120, 1411-1422.
- Martin, R. S. (2010). Theoretical and Analysis Directivity of Dipole and Monopole Sources.
- Pasqual, A. (2014). Spherical harmonic Analysis of The Sound Radiation from Omnidirectional Loudspeaker Arrays. *Journal of Sound and Vibration*, 333, 4930-3941.
- Pasqual, A. (2014). Spherical Harmonic Analysis of The Sound

- Radiation From Omnidirectional Loudspeaker Arrays. *Journal of Sound and Vibration*, 333, 4930-4941.
- Pavlovic, D. S. (2008). A Simple impulse Sound Source for Measurements in Room Acoustics. *Applied Acoustics*, 69, 378-283.
- Ristanty, I. A. (2017). *Perancangan Loudspeaker Dodecahedron Untuk Pengukuran Akustik Ruang*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Schmidt, R.-H. M. (2017). *Low Frequency Sound Generation by Loudspeaker Drivers*. Netherland: RMS Acoustics & Mechatronics and Grimm Audio.
- Tahara, Y. (2003). Acoustic Scale Model Experiment Using a Piezoelectric Dodecahedral Speaker System. *Journal of Acoustics Society Japan*, 56, 614-621.
- Wenmeaker, L. (2014, May). *The Sources Directional of a Dodecahedron Sound Sources Determined by Stepwise Rotation*. Akustikum.

LAMPIRAN A
SPEKIFIKASI DRIVER SPEAKER

Tabel 1 Spesifikasi *Speaker* SBAcoustics 5” SB15NRXC30-8

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

Tabel 2 Spesifikasi *Speaker* SBAcoustics 4" SB12CAC25-8

Besaran	Besaran	Data	Satuan SI
Z	Impedansi	8 ohm	8 ohm
R _e	Resistansi DC	6.4 ohm	6.4 ohm
L _e	Induktansi coil	0.34 mH	0.34 Mh
Q _{es}	Q-faktor elektik	0.4	0.4
Q _{ts}	Total Q-faktor	0.37	0.37
Rms	<i>Mechanical Loss</i>	0.35 kg/s	0.35 kg/s
BI	Faktor gaya	5.2 Tm	5.2 Tm
Cms	<i>Compliance</i>	1.84 mm/N	1.84 mm/N
F _s	Resonansi udara bebas	51 Hz	51 Hz
TTB _{se}	Sensitivitas (2.83 V/ 1m)	85.5 dB	85.5 dB
V	<i>Rating power handling</i>	30 W	30 W
m	Massa <i>speaker</i>	0.92 kg	0.92 kg

Tabel 3 Spesifikasi *Speaker* SBAcoustics2.5”SB65WBAC25-4

Besaran	Besaran	Data	Satuan SI
Z	Impedansi	4 ohm	4 ohm
R _e	Resistansi DC	3.6 ohm	3.6 ohm
L _e	Induktansi coil	0.15 mH	0.15 Mh
Q _{es}	Q-faktor elektik	0.77	0.77
Q _{ts}	Total Q-faktor	0.68	0.68
Rms	<i>Mechanical Loss</i>	0.3 kg/s	0.3 kg/s
BI	Faktor gaya	2.9 Tm	2.9 Tm
Cms	<i>Compliance</i>	0.77 mm/N	0.77 mm/N
Fs	Resonansi udara bebas	115 Hz	115 Hz
TTB _{se}	Sensitivitas (2.83 V/ 1m)	83.5 dB	83.5 dB
V	<i>Rating power handling</i>	20 W	20 W
m	Massa <i>speaker</i>	0.14 kg	0.14 kg

Halaman ini memang dikosongkan

LAMPIRAN B
DATA PENGUKURAN *SOUND PRESSURE LEVEL*
(SPL)

Tabel 4 Pengukuran *driver speaker* SBAcoustics 5”
 SB15NRXC30-8

Frekuensi (Hz)	SPL (dB)
63	84
80	87
100	88
125	87
160	87
200	87
250	89
315	89
400	87
500	89
630	89
800	89
1000	87
1250	87
1600	86
2000	87
2500	89
3150	89
4000	90

Tabel 5 Pengukuran *driver speaker* SBAcoustics 4”
SB12CAC25-8

Titik Sudut	Frekuensi (Hz)								
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
0	71	72	83	93	94	103	98	110	80
10	71	71	82	91	93	102	94	108	72
20	70	71	82	92	92	99	96	103	58
30	70	71	81	91	90	100	92	97	63
40	68	69	79	87	89	96	91	97	54
50	66	67	77	85	86	96	91	93	54
60	65	66	75	83	82	93	90	87	61
70	62	61	72	77	80	92	91	94	61
80	60	60	68	74	81	90	85	92	58
90	56	57	62	71	81	90	83	92	57
100	62	61	70	81	84	83	78	90	49
110	64	63	73	82	86	84	82	81	55
120	66	64	75	80	86	81	81	91	58
130	67	67	76	79	86	82	85	95	53
140	68	67	77	82	86	89	86	86	60
150	70	69	80	85	89	92	83	92	62
160	72	71	83	89	89	92	84	93	60
170	72	72	84	87	91	95	86	97	58
180	72	72	84	87	90	94	91	98	61
190	72	72	84	88	91	95	88	92	61
200	71	71	82	87	91	90	88	89	58
210	71	70	82	87	95	93	84	87	63
220	70	69	79	83	87	89	86	86	59
230	68	66	78	83	87	85	89	93	58
240	66	65	74	79	86	86	86	95	63
250	64	62	72	79	84	84	85	89	64
260	60	60	71	80	82	83	76	79	64
270	57	60	71	80	81	82	75	84	55
280	59	60	70	76	80	87	86	87	59
290	62	61	72	77	81	84	85	96	54
300	65	64	74	79	83	91	90	97	55
310	67	67	78	82	86	93	89	95	66
320	70	67	81	86	87	95	91	96	53
330	71	70	81	89	90	95	95	97	56
340	72	70	82	90	92	98	93	105	58
350	73	72	84	91	94	101	98	109	60

Tabel 6 Pengukuran *driver speaker* SBAcoustics 2.5”
SB65WBAC25-4

Titik Sudut	Frekuensi (Hz)								
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
0	66	63	65	74	83	88	92	92	66
10	68	63	66	74	79	83	89	90	66
20	68	62	64	72	78	83	90	74	63
30	68	62	64	73	79	81	89	78	61
40	66	61	63	73	78	81	86	82	52
50	65	61	61	72	77	79	80	79	50
60	65	63	60	71	77	79	82	73	50
70	65	71	59	70	76	79	81	73	54
80	65	72	58	68	77	77	81	66	47
90	64	71	57	66	74	76	83	68	50
100	64	69	55	63	75	78	83	70	44
110	64	70	56	65	72	80	81	75	46
120	64	69	57	65	74	80	77	75	49
130	64	69	60	67	71	84	80	80	46
140	63	69	60	68	73	86	88	77	49
150	63	70	63	70	74	86	91	75	47
160	63	71	63	71	75	86	88	79	47
170	63	71	64	71	77	83	87	79	49
180	64	71	64	73	74	84	83	71	51
190	64	72	64	74	79	83	84	78	58
200	65	73	64	73	80	85	79	80	58
210	65	73	63	71	80	83	77	79	53
220	65	73	63	73	79	84	79	80	57
230	65	73	63	71	78	79	76	71	51
240	64	72	61	71	79	84	73	81	58
250	65	71	61	70	78	80	67	84	61
260	65	72	59	69	75	82	83	83	60
270	65	72	58	67	73	84	86	82	53
280	66	74	57	67	76	85	84	81	61
290	69	75	59	68	79	88	89	83	65
300	70	76	60	68	81	89	89	85	65
310	71	77	63	72	79	91	90	89	66
320	70	77	64	72	82	90	92	91	66
330	68	76	65	73	79	90	90	94	65
340	67	75	64	73	78	89	93	94	65
350	67	75	65	74	81	89	92	94	67

Halaman ini memang dikosongkan

LAMPIRAN C

DATA PENGUKURAN V-DEC

C.1 Ruang *Anechoic Chamber*

Tabel 7 V-Dec generasi pertama

Frekuensi (Hz)	Titik Sudut							
	0	45	90	135	180	225	270	315
63	69	69	70	70	69	69	69	69
80	73	73	74	73	73	73	73	73
100	75	76	76	76	76	76	76	75
125	78	78	79	79	78	79	78	78
160	78	79	79	79	79	79	79	78
200	77	77	78	78	77	77	77	77
250	76	76	77	77	76	76	76	76
315	74	75	75	75	75	75	74	74
400	72	72	73	73	73	73	73	73
500	70	71	71	71	71	71	70	70
630	69	69	70	69	69	69	69	69
800	68	69	69	69	69	68	68	68
1000	67	68	68	68	67	67	67	68
1250	66	67	67	67	66	65	67	66
1600	68	68	69	68	69	69	69	67
2000	68	67	71	69	69	70	70	67

Tabel 8 V-Dec generasi kedua

Frekuensi (Hz)	Titik Sudut							
	0	45	90	135	180	225	270	315
63	66	67	67	66	66	67	67	67
80	70	70	70	70	70	70	70	70
100	72	73	73	72	72	73	73	73
125	75	75	75	75	75	75	75	75
160	75	76	76	75	76	76	76	76
200	75	75	75	75	75	75	75	75
250	74	74	74	74	74	74	74	74
315	73	73	73	73	73	73	73	73
400	71	71	71	71	71	71	71	71
500	69	69	69	69	69	69	69	69
630	67	67	67	67	67	67	67	67
800	66	66	66	66	66	66	66	66
1000	65	64	65	65	65	65	65	65
1250	65	64	65	64	64	63	65	64
1600	66	65	67	65	65	65	67	66
2000	68	69	68	68	67	67	69	68

Tabel 9 V-Dec generasi ketiga

Frekuensi (Hz)	Titik Sudut							
	0	45	90	135	180	225	270	315
63	54	54	54	54	54	53	54	54
80	57	58	58	58	57	57	58	57
100	61	61	61	61	60	60	61	61
125	64	65	65	65	64	64	65	65
160	67	68	68	68	67	67	68	68
200	68	69	69	69	68	68	69	69
250	68	69	69	69	68	68	69	68
315	67	67	68	68	67	67	67	67
400	66	66	66	66	65	65	66	66
500	64	65	65	65	64	64	65	65
630	62	62	62	63	62	62	62	62
800	60	61	61	61	60	60	61	61
1000	59	59	59	59	59	59	59	59
1250	57	58	58	58	57	57	58	58
1600	56	56	57	57	56	56	57	57
2000	56	56	57	57	55	55	57	58

Halaman ini memang dikosongkan

C.2 Luar Ruangan

Tabel 10 V-Dec generasi kedua

No	Sudut	SPL															
		63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
1	0	61	69	71	73	80	85	88	87	81	87	84	86	85	85	85	83
2	5	62	68	71	73	80	85	88	87	81	87	83	86	84	84	84	85
3	10	62	69	72	74	81	86	88	86	82	87	83	86	85	83	84	88
4	15	61	69	72	74	80	86	88	87	82	87	83	86	84	83	84	89
5	20	61	68	72	74	81	85	88	87	82	87	83	86	85	83	85	89
6	25	62	69	72	74	81	85	88	87	82	87	84	86	84	84	85	88
7	30	60	68	71	73	81	85	88	87	82	87	84	86	85	85	84	87
8	35	63	70	72	74	81	86	88	87	81	87	83	86	85	85	85	85
9	40	64	69	71	74	81	85	89	86	82	87	83	86	85	86	86	86
10	45	63	69	72	74	81	86	88	86	82	87	83	86	85	86	86	86
11	50	61	69	72	73	80	85	88	87	82	86	84	86	85	86	85	85
12	55	62	69	72	75	81	86	88	87	82	87	84	86	85	84	85	84
13	60	61	69	73	74	81	87	87	86	82	87	82	86	85	84	84	85
14	65	61	69	72	74	81	86	87	86	83	87	82	86	85	83	84	87
15	70	64	70	72	73	81	86	88	86	83	87	83	86	84	82	84	89
16	75	64	70	73	75	82	86	87	84	84	87	84	86	85	82	84	90
17	80	61	69	72	73	81	86	88	86	82	87	83	86	84	82	84	89
18	85	61	69	72	74	82	86	88	86	83	87	83	86	84	83	84	88
19	90	62	69	72	74	82	87	88	87	83	88	83	86	86	84	85	86
20	95	62	69	71	73	81	86	88	86	83	87	83	86	85	84	85	86
21	100	63	72	74	74	82	86	88	86	83	87	83	86	85	84	86	87
22	105	62	71	74	75	82	87	89	86	83	87	83	86	86	84	86	86
23	110	63	70	73	75	82	86	88	86	83	87	83	86	85	84	85	86
24	115	62	70	73	75	82	86	88	86	83	87	83	86	85	84	85	86
25	120	62	69	72	75	82	87	88	83	85	89	83	86	85	82	85	89
26	125	61	69	72	74	81	86	88	86	83	87	83	87	85	82	86	89
27	130	62	69	73	76	83	87	88	83	86	88	84	86	86	84	86	91
28	135	63	69	72	74	82	86	88	86	83	87	83	86	85	83	86	89
29	140	63	69	72	75	82	86	87	86	84	87	84	86	85	84	87	87
30	145	63	68	71	75	82	87	88	87	83	87	83	86	85	84	87	86
31	150	63	70	73	75	81	86	88	86	83	87	82	87	86	86	88	87
32	155	62	70	73	75	82	87	87	86	83	88	84	87	86	87	89	91
33	160	62	72	75	76	82	88	89	86	82	88	86	86	86	89	89	93
34	165	63	70	72	74	81	86	88	86	82	87	84	86	86	88	90	93
35	170	63	69	72	74	81	85	88	87	82	87	83	86	85	87	89	91
36	175	62	70	72	74	80	86	87	87	82	87	83	86	85	86	88	89
37	180	63	69	72	74	81	86	88	86	82	87	83	86	85	85	86	86
38	185	64	68	72	75	81	85	88	86	83	88	83	86	85	84	86	87
39	190	62	69	73	75	82	86	88	86	83	85	84	87	85	83	86	88
40	195	63	69	72	75	82	87	88	85	84	89	85	84	85	83	86	90
41	200	62	69	73	74	83	86	87	86	83	87	83	86	85	83	86	88
42	205	63	70	74	76	83	88	89	85	83	86	85	86	85	83	86	88
43	210	63	70	75	78	84	88	89	84	85	88	85	84	86	85	87	85
44	215	62	70	73	75	82	87	87	85	85	86	84	85	86	84	87	85
45	220	63	70	74	76	83	88	88	83	85	89	83	87	86	85	87	87
46	225	64	68	72	76	83	87	88	82	86	88	83	87	86	84	86	87
47	230	62	70	74	76	83	88	88	83	86	89	84	84	86	85	86	88
48	235	62	69	72	75	82	87	88	83	85	89	83	86	85	82	85	89
49	240	62	69	72	74	81	86	87	85	84	86	84	85	85	83	85	89
50	245	62	69	72	75	83	88	88	83	85	89	84	85	86	83	86	90
51	250	62	70	73	76	82	87	87	83	86	88	83	86	84	83	85	89
52	255	62	69	73	75	83	87	89	86	85	88	84	86	85	83	85	88
53	260	62	69	73	75	82	86	87	86	84	88	84	86	85	83	85	89
54	265	63	69	73	75	82	86	88	86	83	88	83	86	85	83	84	87
55	270	64	70	72	74	82	87	88	86	83	88	83	86	85	84	85	84
56	275	61	69	73	75	82	87	88	86	83	88	83	86	85	84	86	84
57	280	62	68	72	75	82	87	88	86	83	88	84	86	86	85	86	84
58	285	61	69	72	75	82	87	88	86	83	87	84	86	86	85	86	83
59	290	62	69	72	75	83	87	89	87	84	88	84	85	85	84	86	85
60	295	62	69	72	75	82	87	88	86	84	88	84	86	85	84	86	86
61	300	62	70	73	76	82	87	88	86	84	88	83	86	85	83	86	89
62	305	62	69	72	75	82	87	88	86	84	87	83	86	85	83	86	91
63	310	62	69	72	75	82	87	89	87	84	88	84	86	85	83	85	90
64	315	62	69	71	74	82	87	88	87	83	88	84	86	85	83	84	87
65	320	63	70	74	76	84	90	94	87	82	87	84	87	85	85	84	84
66	325	62	70	73	74	81	86	87	87	82	87	84	87	85	86	87	86
67	330	62	69	72	74	81	85	88	88	82	87	84	87	85	87	89	89
68	335	62	70	73	73	78	85	87	88	85	86	87	85	85	86	89	91
69	340	62	70	73	73	77	84	86	87	84	84	87	85	84	86	89	91
70	345	62	69	73	74	78	83	87	88	84	85	86	85	84	86	88	89
71	350	62	69	73	74	78	84	87	88	84	84	86	84	84	85	87	88
72	355	62	70	73	72	78	84	87	88	84	84	86	85	84	85	86	85

Tabel 11 V-Dec generasi ketiga

No	Sudut	SPL															
		63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
1	0	75	76	76	76	83	87	88	85	80	84	81	80	78	76	75	77
2	5	74	76	76	77	82	87	86	85	82	82	81	80	78	76	76	76
3	10	74	76	76	77	82	87	87	84	81	84	81	80	77	76	75	75
4	15	74	76	76	75	82	87	90	88	80	83	81	80	77	77	74	74
5	20	75	77	77	76	81	87	89	87	82	82	82	79	78	76	75	72
6	25	76	77	77	76	82	88	89	87	81	82	83	79	78	76	74	71
7	30	76	77	77	77	81	87	89	87	83	83	82	79	78	76	74	71
8	35	75	76	76	76	80	86	89	89	82	85	81	79	78	76	74	71
9	40	75	77	78	78	81	87	89	88	83	83	82	79	78	76	75	71
10	45	75	78	78	78	81	86	89	88	82	83	83	79	77	76	74	71
11	50	76	78	79	79	82	86	88	86	83	83	81	81	76	77	74	71
12	55	75	77	78	78	81	86	88	86	84	82	81	80	77	77	75	72
13	60	76	78	78	78	81	86	89	88	83	82	82	80	77	76	75	73
14	65	75	77	77	77	82	87	89	87	82	83	82	80	77	76	75	72
15	70	76	77	77	78	82	88	89	87	82	83	82	80	77	77	75	72
16	75	75	77	77	78	81	88	90	88	82	83	82	80	77	76	75	72
17	80	75	77	78	77	82	87	89	88	82	83	82	79	78	76	74	72
18	85	75	77	78	77	81	87	89	88	82	83	83	80	77	77	74	71
19	90	75	77	78	80	84	87	87	83	85	84	79	82	77	77	75	72
20	95	75	78	78	79	83	87	87	85	82	84	81	80	78	76	75	72
21	100	74	76	77	77	83	88	89	86	82	83	82	80	77	77	75	73
22	105	76	77	76	77	82	88	89	87	82	84	82	79	77	77	75	75
23	110	75	76	76	77	83	88	89	88	81	84	82	80	78	76	76	75
24	115	75	77	77	76	83	87	89	90	81	85	81	80	78	77	76	76
25	120	76	77	78	78	83	87	89	89	81	85	81	80	77	77	76	76
26	125	75	77	78	78	84	88	89	89	82	84	82	80	78	77	76	75
27	130	75	77	77	77	83	87	88	89	83	84	82	80	78	77	75	73
28	135	75	77	78	78	83	87	88	89	83	84	82	80	77	76	75	73
29	140	76	77	78	78	82	88	88	88	84	83	82	80	77	76	75	72
30	145	75	77	78	78	82	87	88	88	84	83	83	79	78	76	75	72
31	150	75	77	78	78	82	87	88	89	83	83	83	80	78	76	75	72
32	155	76	78	78	77	83	88	89	88	81	84	82	79	78	77	75	74
33	160	76	78	78	78	82	88	89	88	82	84	82	80	77	77	76	74
34	165	74	77	77	78	83	89	90	86	81	84	82	80	77	77	76	76
35	170	75	78	78	77	84	88	90	87	81	84	82	80	77	77	76	77
36	175	75	77	78	78	83	88	89	87	81	84	81	81	78	77	77	78
37	180	75	78	78	78	84	88	90	86	81	84	81	80	78	77	76	78
38	185	75	78	79	79	84	89	90	85	79	85	83	80	77	77	76	78
39	190	75	77	78	81	86	91	92	87	78	82	81	81	78	78	77	77
40	195	75	77	77	80	85	90	90	84	82	85	78	80	78	76	75	75
41	200	75	76	77	80	86	89	89	84	84	84	79	80	78	77	75	74
42	205	75	77	78	80	87	91	90	86	80	85	80	81	78	76	75	73
43	210	75	75	77	80	85	90	90	84	82	85	79	80	78	76	74	73
44	215	75	76	78	82	87	89	89	81	85	86	77	81	78	76	75	73
45	220	75	77	77	79	86	89	88	85	82	84	79	80	79	77	75	74
46	225	75	76	77	79	86	90	89	85	82	85	79	80	79	76	75	75
47	230	75	76	77	80	87	90	90	85	83	85	80	80	79	77	76	75
48	235	75	77	78	80	87	90	90	85	82	85	80	81	79	77	76	76
49	240	76	77	78	80	87	90	89	85	83	85	80	80	79	77	75	76
50	245	76	77	78	80	87	90	90	83	82	86	81	80	78	78	75	74
51	250	76	77	78	80	87	91	90	83	84	86	79	81	79	77	76	74
52	255	75	77	78	80	87	90	90	82	84	87	79	80	79	79	76	74
53	260	75	77	79	81	87	90	89	83	84	85	79	81	78	76	75	73
54	265	75	77	78	80	87	90	89	83	85	86	79	80	79	77	75	73
55	270	75	77	79	82	88	91	90	84	83	86	82	79	80	78	74	73
56	275	75	77	78	80	87	90	89	85	83	85	80	81	79	77	75	73
57	280	75	77	78	81	87	90	89	84	83	85	80	81	78	77	76	74
58	285	76	78	77	80	86	90	90	83	83	86	79	79	79	76	75	75
59	290	76	77	77	79	86	90	89	84	83	85	80	80	79	77	75	74
60	295	76	78	78	81	87	92	91	84	82	85	81	80	79	77	75	75
61	300	75	76	77	80	87	90	89	83	83	85	79	80	79	77	75	74
62	305	75	76	77	80	86	90	91	86	82	85	79	80	79	76	76	75
63	310	75	77	78	79	87	89	89	86	82	85	79	80	79	77	75	74
64	315	75	77	78	81	87	91	91	86	85	85	81	80	79	77	74	73
65	320	76	77	78	81	88	90	90	84	84	85	80	79	79	77	75	73
66	325	75	77	77	81	88	91	91	84	85	84	81	80	79	78	75	73
67	330	74	77	77	79	86	90	89	84	84	84	79	82	78	75	76	73
68	335	75	77	78	81	86	91	90	85	82	84	80	81	78	77	76	75
69	340	75	77	77	79	85	89	90	86	81	84	78	80	78	76	75	75
70	345	75	76	75	78	85	88	88	86	80	84	79	80	77	76	74	77
71	350	75	76	75	77	84	88	89	85	79	84	78	80	78	76	74	77
72	355	75	76	75	77	84	88	89	86	80	84	78	79	77	76	74	77

C.3 Dalam Ruangan

Tabel 12 V-Dec generasi kedua

No	Sudut	SPL					
		63	125	250	500	1000	2000
1	0	81	95	95	90	83	89
2	5	81	94	95	90	83	89
3	10	80	95	95	91	84	88
4	15	80	94	95	89	84	88
5	20	80	95	95	89	83	87
6	25	80	95	95	90	83	87
7	30	80	95	95	90	82	87
8	35	80	94	95	88	82	87
9	40	80	94	96	89	83	88
10	45	80	94	95	90	84	89
11	50	80	95	96	90	83	89
12	55	80	95	95	90	83	88
13	60	80	94	95	90	82	87
14	65	80	94	95	89	82	86
15	70	80	95	95	90	82	87
16	75	81	95	95	89	83	89
17	80	81	94	95	90	83	90
18	85	82	94	96	90	83	90
19	90	82	93	95	89	83	87
20	95	82	92	95	89	84	87
21	100	83	91	95	89	83	87
22	105	82	90	95	89	83	88
23	110	83	90	96	89	83	89
24	115	83	89	96	89	82	89
25	120	82	89	96	89	83	88
26	125	82	90	96	89	83	87
27	130	83	91	96	89	83	87
28	135	82	91	96	89	84	87
29	140	82	91	95	89	83	87
30	145	82	91	96	90	84	87
31	150	82	92	96	89	83	88
32	155	82	92	96	89	83	88
33	160	82	93	96	90	83	88
34	165	82	94	95	90	83	88
35	170	82	94	95	90	84	89
36	175	82	94	95	90	83	88
37	180	81	93	94	88	83	88
38	185	81	93	95	88	83	88
39	190	81	94	94	89	84	87
40	195	82	93	94	89	83	87
41	200	81	94	95	89	83	87
42	205	81	93	95	88	83	86
43	210	81	93	95	88	83	86
44	215	82	93	95	88	82	86
45	220	81	92	96	89	82	87
46	225	81	92	95	89	83	87
47	230	82	92	95	89	83	88
48	235	81	92	95	89	83	89
49	240	81	90	95	89	83	89
50	245	81	91	95	89	83	88
51	250	82	91	95	89	83	86
52	255	82	90	94	88	83	86
53	260	81	90	94	89	82	88
54	265	81	91	95	88	82	91
55	270	81	90	93	89	82	89
56	275	82	90	93	89	83	89
57	280	82	90	93	89	83	87
58	285	81	90	94	89	82	86
59	290	81	90	94	89	82	86
60	295	82	90	94	89	83	87
61	300	81	90	95	89	82	88
62	305	81	91	95	88	83	89
63	310	81	92	95	88	82	88
64	315	80	92	94	88	82	87
65	320	81	92	94	88	82	86
66	325	80	91	94	88	82	85
67	330	80	91	94	88	83	86
68	335	80	90	94	88	83	86
69	340	80	90	95	88	83	87
70	345	80	90	96	88	82	87
71	350	80	91	96	88	82	88
72	355	80	91	95	87	82	89

Tabel 13 V-Dec generasi ketiga

No	Sudut	SPL					
		63	125	250	500	1000	2000
1	0	72	86	92	88	80	79
2	5	72	86	91	87	81	79
3	10	72	86	91	88	81	79
4	15	72	87	91	88	81	80
5	20	72	87	92	88	81	80
6	25	72	87	92	88	80	80
7	30	72	87	92	88	80	81
8	35	72	87	92	87	80	82
9	40	72	86	92	88	80	82
10	45	71	86	93	87	81	82
11	50	72	86	93	89	81	82
12	55	72	86	93	88	81	81
13	60	72	86	93	88	80	80
14	65	73	86	93	88	80	80
15	70	73	87	92	88	81	79
16	75	73	87	92	88	81	78
17	80	72	86	92	88	80	79
18	85	73	86	92	87	80	79
19	90	73	85	92	87	80	79
20	95	73	85	92	88	80	79
21	100	74	84	92	88	80	79
22	105	74	84	92	89	81	79
23	110	74	83	92	89	81	79
24	115	74	82	92	88	80	78
25	120	74	82	92	88	80	78
26	125	74	82	93	87	80	79
27	130	74	83	93	87	80	79
28	135	74	83	93	87	81	79
29	140	74	84	94	87	81	79
30	145	74	83	93	87	80	79
31	150	74	84	93	88	80	80
32	155	74	85	93	88	81	80
33	160	74	85	92	89	80	80
34	165	74	85	93	89	81	80
35	170	73	86	93	89	81	80
36	175	74	86	92	88	81	79
37	180	73	88	92	89	82	79
38	185	74	88	92	89	81	80
39	190	73	88	92	88	82	79
40	195	74	88	93	87	82	80
41	200	73	88	93	88	82	79
42	205	73	88	93	88	81	80
43	210	74	89	93	88	82	80
44	215	74	88	94	88	82	82
45	220	74	87	93	89	82	82
46	225	74	87	94	89	82	82
47	230	74	86	94	89	81	82
48	235	74	85	94	89	81	82
49	240	73	85	94	89	81	81
50	245	74	84	94	88	81	80
51	250	74	85	94	88	81	80
52	255	73	85	94	88	81	80
53	260	74	84	92	89	81	81
54	265	74	85	93	89	82	80
55	270	73	84	92	89	82	81
56	275	73	85	92	88	82	81
57	280	74	84	92	88	81	83
58	285	74	84	92	88	81	83
59	290	74	85	92	88	82	82
60	295	74	84	93	89	81	82
61	300	74	85	93	89	82	82
62	305	74	85	94	89	81	81
63	310	74	86	92	88	81	81
64	315	74	87	93	89	82	80
65	320	74	87	93	88	81	79
66	325	73	86	93	88	82	80
67	330	73	86	94	89	83	80
68	335	74	87	94	88	82	81
69	340	73	87	94	89	80	81
70	345	73	87	95	90	81	81
71	350	73	87	94	89	81	80
72	355	73	88	94	89	82	81

BIODATA PENULIS



Nama penulis Fery Dwi Purwanto dilahirkan di Probolinggo, tanggal 12 April 1997 dari bapak yang bernama Suharto dan ibu bernama Qomariah. Saat ini penulis tinggal di Jalan Mangga No. 48 RT 4 RW 02, Desa Sumber Wetan, Kecamatan Kedopok, Kota Probolinggo, Provinsi Jawa Timur. Penulis telah menyelesaikan pendidikan di SD Taruna Dra. Zulaeha pada tahun 2009, pendidikan di SMP Taruna Dra.

Zulaeha pada tahun 2012, pendidikan di SMA Taruna Dra. Zulaeha pada tahun 2015 dan sedang menempuh pendidikan S1 Teknik Fisika FTI di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya hingga sekarang.

Pada bulan Juni 2019 penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Analisis Pengaruh Perubahan Dimensi Terhadap Kinerja Speaker Dodecahedron**. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, maka dapat menghubungi penulis melalui *email* : ferydwipurwanto@gmail.com