



TUGAS AKHIR - TF181801

# ANALISIS UNJUK KERJA AUDIOMETRI RUANG TERBUKA DENGAN METODE *THREE-FORCED CHOICE*

RAHMA DEWI KARTIKA SARI  
NRP. 0231154000007

Dosen Pembimbing:

Dr. Dhany Arifianto, ST., M.Eng

Dr. Nyilo Purnami, dr. Sp. THT-KL (K) FICS, FICSM

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









**TUGAS AKHIR - TF181801**

# **ANALISIS UNJUK KERJA AUDIOMETRI RUANG TERBUKA DENGAN METODE *THREE-FORCED CHOICE***

**RAHMA DEWI KARTIKA SARI**  
NRP. 0231154000007

Dosen Pembimbing:  
Dr. Dhany Arifianto, ST., M.Eng  
Dr. Nyilo Purnami, dr. Sp. THT-KL (K) FICS, FICSM

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

Halaman ini memang dikosongkan



**FINAL PROJECT - TF181801**

# **ANALYSIS OF OPEN SPACE AUDIOMETRY WITH THREE-FORCED CHOICE METHOD**

**RAHMA DEWI KARTIKA SARI**  
NRP. 0231154000007

Supervisors:

Dr. Dhany Arifianto, ST., M.Eng

Dr. Nyilo Purnami, dr. Sp. THT-KL (K) FICS, FICSM

**DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS**  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2019

Halaman ini memang dikosongkan

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rahma Dewi Kartika Sari  
NRP : 02311540000007  
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS  
Fakultas : Teknologi Industri  
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul **“Analisis Unjuk Kerja Audiometri Ruang Terbuka dengan Metode *Three-Forced Choice*”** adalah benar-benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari orang lain. Apabila dikemudian hari pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 16 Agustus 2019

Yang membuat pernyataan,



Rahma Dewi Kartika Sari  
NRP. 02311540000007

Halaman ini memang dikosongkan

**LEMBAR PENGESAHAN  
ANALISIS UNJUK KERJA AUDIOMETRI RUANG  
TERBUKA DENGAN METODE *THREE-FORCED CHOICE***

**TUGAS AKHIR**

Oleh:

**RAHMA DEWI KARTIKA SARI**

**NRP: 0231154000007**

**Surabaya, 16 Agustus 2019**

**Menyetujui**

**Pembimbing I,**

**Pembimbing II,**



**Dr. Dhany Arifianto ST, M.Eng. NIP. 19731007 199802 1 001**

**Dr. Nyilo Purnami, dr. Sp. THT-KL (K) FICS, FICSM  
NIP. 19640724 198910 2 001**

**Mengetahui**

**Kepala Departemen Teknik Fisika**



**Agus Muhamad Hatta, ST, MSi, Ph.D**

**NIP. 19780902 200312 1002**

Halaman ini memang dikosongkan

**ANALISIS UNJUK KERJA AUDIOMETRI RUANG  
TERBUKA DENGAN METODE *THREE-FORCED CHOICE***

**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:**

**RAHMA DEWI KARTIKA SARI**

**NRP: 0231154000007**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Dhany Arifianto, ST., M.Eng.  (Pembimbing 1)
2. Dr. Nyilo Purnami, dr. Sp. THT-KL (K) FICS, FICSM  
 (Pembimbing 2)
3. Ir. Yerri Susatio, M.T.  (Penguji I)
4. Moh. Kamalul Wafi S.T, M. Sc, DIC  (Penguji II)

**SURABAYA  
AGUSTUS 2019**

Halaman ini memang dikosongkan

## **ANALISA UNJUK KERJA AUDIOMETRI RUANG TERBUKA DENGAN METODE *THREE-FORCED CHOICE***

Nama Mahasiswa : Rahma Dewi Kartika Sari  
NRP : 0231154000007  
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS  
Dosen Pembimbing : Dr. Dhany Arifianto, ST., M.Eng  
Dr. Nyilo Purnami, dr. Sp. THT-KL (K)  
FICS, FICSM

### **Abstrak**

Audiometri merupakan prosedur yang digunakan dalam pengujian kemampuan seseorang untuk mendengarkan bunyi dalam berbagai frekuensi, dan digunakan untuk mengidentifikasi serta mendiagnosis gangguan pendengaran. Saat ini audiometri masih menggunakan prosedur konvensional yang dalam pengujiannya masih menggunakan dua opsi jawaban atau “paradigma ya atau tidak” dengan pengoperasian alat di dalam ruang kedap suara dan dokter spesialis atau audiologis profesional sebagai operator. Akan tetapi, tidak semua tempat pelayanan kesehatan seperti puskesmas atau rumah sakit memiliki ruang kedap suara dan tenaga medis yang mampu mengoperasikan audiometer konvensional, karena teknik pengoperasiannya yang tergolong rumit. Penelitian ini mengusulkan cara pengujian audiometri baru dengan metode *Three-Forced Choice* (3AFC) pada perangkat lunak Psychoacoustic yang dilengkapi *headphone* dengan fitur *active noise cancellation* agar pengujian dapat dilakukan di ruang terbuka. Metode ini diujikan kepada 25 naracoba berpendengaran normal. Uji validasi dilakukan dengan membandingkan hasil uji audiometri dengan *golden standard*. Selain itu, penelitian ini juga dibandingkan dengan hasil uji audiometer KUDUwave. Analisis statistika menggunakan uji non parametrik Wilcoxon dengan koreksi Bonferroni menghasilkan bahwa audiometri ruang terbuka 3AFC bekerja kurang optimal karena tingginya selisih *mean* nilai ambang dengar dari kedua audiometer dan 44% nilai ambang dengar dari uji audiometri ruang

terbuka 3AFC memiliki selisih rata-rata absolut  $\pm 5$  dB. Selain itu hal tersebut juga tampak dari nilai ambang dengar setiap naracoba yang menunjukkan 10 naracoba tidak terbukti memiliki fungsi pendengaran yang normal pada kedua telinga. Sedangkan audiometer yang sama dengan pengoperasian di dalam ruang semi kedap suara menunjukkan bahwa semua naracoba memiliki fungsi pendengaran yang normal dan lebih dari 40% nilai ambang dengar kedua audiometer memiliki selisih  $\pm 5$  dB. Begitu juga dengan hasil uji yang ditunjukkan audiometer KUDUwave, dimana semua naracoba terbukti memiliki pendengaran yang normal dan 51% nilai ambang dengar yang ditunjukkan KUDUwave memiliki selisih  $\pm 5$ dB dengan yang ditunjukkan audiometer *golden standard*.

**Kata kunci:** audiometri ruang terbuka, Psychoacoustic, *three-forced choice*, KUDUwave

## ***ANALYSIS OF OPEN SPACE AUDIOMETRY WITH THREE-FORCED CHOICE METHOD***

*Name* : Rahma Dewi Kartika Sari  
*NRP* : 0231154000007  
*Department* : Engineering Physics  
*Supervisor* : Dr. Dhany Arifianto, ST., M. Eng  
Dr. Nyilo Purnami, dr. Sp. THT-KL (K)  
FICS, FICSM

### ***Abstract***

*Audiometry is a procedure used in testing a person's listening ability to sounds at various frequencies and used to identify the hearing loss. Currently, audiometry still uses conventional procedures which in its testing still use two answer options or yes-no paradigm by operating a tool in an anechoic chamber and a specialist or professional audiologist as an operator. However, not all health care facilities have an anechoic chamber and audiologists who are able to operate conventional audiometers due to its operating techniques are quite complex. This study proposes a new audiometric testing method with the Three-Forced Choice method (3AFC) using Psychoacoustic software that is equipped with an active noise cancellation headphone so that testing can be done in an open space. This method was tested on 25 normal-hearing respondents. The validation was done by comparing the results of the audiometric test with the golden standard. In addition, this study was also compared with the results of the KUDUwave audiometer test. Statistical analysis using the Wilcoxon non-parametric test with Bonferroni correction resulted that the open-space 3AFC Audiometry worked less optimally because of the high difference in the mean threshold of both audiometers and 44% of open-space 3AFC audiometry hearing thresholds having absolute mean differences  $\pm 5$ dB. Besides that, it was also seen from the hearing threshold values of each drug that showed 10 respondents not proven to have normal hearing function in both ears. Whereas the audiometer that is the same as operating*

*in a semi-anechoic chamber shows that all respondents have normal hearing and more than 40% of the hearing threshold values of the two audiometers have a difference of  $\pm 5$ dB. Likewise with the test results are shown by the KUDUwave audiometer, where all the respondents proved to have normal hearing and 51% of the hearing threshold values indicated by KUDUwave had a difference of  $\pm 5$ dB with what was shown by the golden standard audiometer.*

**Keywords:** *audiometry, open space audiometry, three-forced choice*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur diucapkan penulis kepada Tuhan Yang Maha Esa, Mahapengasih lagi Mahapenyayang. Karena dengan limpahan rahmat, ilmu, kekuatan, kesehaan, dan semangat sehingga tugas akhir yang berjudul “**Analisis Unjuk Kerja Audiometri Ruang Terbuka dengan Metode *Three-Forced Choice***” mampu diselesaikan penulis. Shalawat dan salam tidak lupa selalu dihaturkan penulis kepada Nabi Muhammad SAW, yang sangat berjasa karena telah membawa umat Islam menuju jalan kebenaran yang penuh dengan rahmat Allah SWT.

Dalam pembuatan tugas akhir ini, penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu terimakasih diucapkan penulis kepada:

1. Kedua orang tua (Bapak Rahmad Pamuji dan Ibu Sudarmamik) serta saudara penulis (Rahmania Wahyu Savitri) yang telah memberi dukungan moril serta doa kepada penulis selama pengerjaan tugas akhir.
2. Bapak Agus M. Hatta, S.T, M.Si, Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Fisika FTI-ITS.
3. Bapak Dr. Dhani Arifianto ST, M.Eng selaku dosen pembimbing, yang selalu memberikan dukungan moril dan materiil serta bimbingan dan arahan kepada penulis sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik, dan tepat waktu.
4. Ibu Dr. Nyilo Purnami, dr. Sp. THT-KL (K) FICS, FICSM selaku dosen pembimbing, yang selalu memberikan dukungan moril, bimbingan dan arahan kepada penulis sehingga permasalahan di RSUD Dr. Soetomo dapat teratasi dengan baik dan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik pula, dan tepat waktu.
5. Bapak Dr. Ir. Wiratno Argo Asmoro, MSc selaku kalab Vibrasi dan Akustik di Departemen Teknik Fisika FTI-ITS yang selalu memberikan bimbingan kepada penulis.
6. Dokter Soedarsono, Bapak/Ibu dokter dan staff Poli Audiologi dan Poli MDR-TB serta administrasi RSUD

Dr. Soetomo, Surabaya yang sudah memberikan dukungan dan bantuan sehingga keperluan di rumah sakit dapat teratasi dengan baik dan mudah.

7. Teman-teman seperjuangan Vibrastic Lab angkatan 2015 Mas Ihsan, Mbak Alif, Mbak Mayang, Mbak Tenti, Mas Aye, Mas Fery, Mbak Bina, Nanda, Bintang, Fiqiyah, dan teman-teman member Lab Vibrastik dan Teknik Fisika yang sudah membantu pengambilan data Tugas Akhir ini dan selalu memberikan dukungan kepada penulis.
8. Mbak Putri, Mbak Tesa, Mbak Arinta dan Mas Afif dari S2 Arsitektur yang sudah membantu pengambilan data dan selalu memberikan dukungan kepada penulis.
9. Angkatan 2015 Teknik Fisika ITS yang sudah menjadi teman berjuang selama 4 tahun di kampus perjuangan ini.
10. Diri penulis sendiri, karena telah mampu bertahan dan berjuang hingga akhir untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
11. Dan semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu, terimakasih.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna. Untuk itu, penulis mengharapkan saran serta kritik yang membangun dari semua pihak agar selanjutnya dapat disempurnakan.

Surabaya, 16 Agustus 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul.....	i
Pernyataan Bebas Plagiarisme.....	v
Lembar Pengesahan.....	vi
Abstrak .....	xi
<i>Abstract</i> .....	xiii
Kata Pengantar .....	xv
Daftar Isi.....	xvii
Daftar Gambar.....	xix
Daftar Tabel.....	xxi
Bab I. Pendahuluan.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
Bab II. Teori Penunjang.....	5
2.1 MDR-TB dan <i>Ototoxicity</i> .....	5
2.2 Anatomi dan Fisiologi Telinga.....	5
2.3 Resolusi Temporal Yang Diukur Oleh Diskriminasi <i>Stimuli</i> Dengan Spesimen Magnitudo Identik: Suara <i>Broadband</i> .....	7
2.4 <i>Hearing Loss</i> .....	12
2.5 Audiometri .....	13
2.6 Teori Deteksi Sinyal ( <i>Signal Detection Theory / SDT</i> ) ..	25
2.7 Fitur <i>Noise cancellation</i> pada <i>Headphone</i> .....	28
2.10 Parameter Akustik Lingkungan.....	31
2.11 Analisis Statistik.....	34
Bab III. Metodologi Penelitian.....	41
3.1 Sampel Uji.....	42
3.2 Uji Audiometri Konvensional .....	43
3.3 Uji Audiometri Psychoacoustic .....	46
3.4 Uji Audiometri KUDUwave .....	50

3.5	Teknik Pengolahan dan Analisis Data.....	55
Bab IV.	Analisa dan Pembahasan.....	57
4.1	Karakteristik Bising Latar Belakang Lokasi Pengukuran.....	57
4.2	Hasil Uji Audiometri .....	60
4.3	Pembahasan.....	75
Bab V.	Penutup.....	83
5.1	Kesimpulan.....	83
5.2	Saran.....	83
Daftar Pustaka	.....	85
Biodata Penulis	.....	93

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Struktur Telinga (Scanlon, 2007).....	6
<b>Gambar 2.2</b>	Contoh audiogram (KNCV <i>Tuberculosis Foundation</i> , 2017) .....	18
<b>Gambar 2.3</b>	Nilai Ambang Pendengaran Normal (ISO 226:2003 ( <i>Revision</i> )).....	18
<b>Gambar 2.4</b>	Batas Ambang Dengar Rata-Rata Setiap Frekuensi dengan 0 dBHL (ANSI S3.6, 2010) .....	19
<b>Gambar 2.5</b>	Visualisasi Perangkat Lunak Psychoacoustic (Carcagno, 2008).....	21
<b>Gambar 2.6</b>	Visualisasi Respon (Carcagno, 2008) .....	21
<b>Gambar 2.7</b>	Hasil Uji Audiometri Psychoacoustic .....	22
<b>Gambar 2.8</b>	Audiometer KUDUwave™ Pro (Anonim, 2018). ..	23
<b>Gambar 2.9</b>	<i>User Interface</i> KUDUwave™ Pro (Anonim, 2019) .....	25
<b>Gambar 2.10</b>	Distribusi Variabel Keputusan di Seluruh Uji <i>Noise</i> dan Sinyal.....	26
<b>Gambar 2.11</b>	Contoh Penggunaan Metode Pelacakan untuk Mengukur Ambang Batas Kontinu pada Ambang Sunyi dan Tertutup, Sebagai Fungsi dari Frekuensi Nada Uji (A) dan Kurva Tala Psikoakustik (B). ..	31
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Tugas Akhir .....	42
<b>Gambar 3.2</b>	Lokasi Pengambilan Data (Uji Audiometri) Ruang Semi Kedap Suara Laboratorium Vibrasi dan Akustik Teknik Fisika ITS .....	47
<b>Gambar 3.3</b>	Lokasi Pengambilan Data (Uji Audiometri Ruang Terbuka ) Lorong Poli MDR-TB SMF Pulmonologi .....	49
<b>Gambar 4.1</b>	Bising Latar Belakang Ruang Semi Kedap Suara Laboratorium Vibrasi dan Akustik Teknik Fisika ITS.....	57
<b>Gambar 4.2</b>	Bising Latar Belakang Ruang Kedap Suara Poli Audiologi, SMF THT-KL RSUD Dr.Soetomo, Surabaya.....	59
<b>Gambar 4.3</b>	Bising Latar Belakang Lorong Poli MDR-TB .....	60

**Gambar 4.4** *Waveform* Bising Latar Belakang Lorong Poli MDR-TB .....60

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 4.1</b>	Nilai <i>Mean</i> dan Standard Deviasi <i>Real</i> 25 Naracoba Normal Menggunakan Audiometer Konvensional....	62
<b>Tabel 4.2</b>	Nilai <i>Mean</i> dan Standard Deviasi Absolut 25 Naracoba Normal Menggunakan Audiometer Konvensional....	62
<b>Tabel 4.3</b>	Perbedaan Nilai <i>Mean</i> dan Standard Deviasi <i>Real</i> 25 Naracoba Normal Menggunakan Pychoacoustic pada Ruang Semi Kedap Suara dan Audiometer Konvensional.....	64
<b>Tabel 4.4</b>	Perbedaan Nilai <i>Mean</i> dan Standard Deviasi Absolut 25 Naracoba Normal Menggunakan Audiometer Konvensional dan Pychoacoustic pada Ruang Semi Kedap Suara .....	64
<b>Tabel 4.5</b>	Perbedaan Nilai <i>Mean</i> dan Standard Deviasi <i>Real</i> 25 Naracoba Normal Menggunakan Audiometer Pychoacoustic pada Ruang Terbuka Poli MDR-TB dan Konvensional.....	67
<b>Tabel 4.6</b>	Perbedaan Nilai <i>Mean</i> dan Standard Deviasi Absolut 25 Naracoba Normal Menggunakan Audiometer Konvensional dan Pychoacoustic pada Ruang Terbuka Poli MDR-TB .....	67
<b>Tabel 4.7</b>	Perbedaan Nilai <i>Mean</i> dan Standard Deviasi <i>Real</i> 25 Naracoba Normal Menggunakan Pychoacoustic di Dalam Ruang Semi Kedap Suara dan Pychoacoustic di Ruang Terbuka Poli MDR-TB .....	68
<b>Tabel 4.8</b>	Perbedaan Nilai <i>Mean</i> dan Standard Deviasi Absolut 25 Naracoba Normal Menggunakan Pychoacoustic di Dalam Ruang Semi Kedap Suara dan Pychoacoustic di Ruang Terbuka Poli MDR-TB .....	69
<b>Tabel 4.9</b>	Perbedaan Nilai <i>Mean</i> dan Standard Deviasi <i>Real</i> 25 Naracoba Normal Menggunakan KUDUwave di Ruang Terbuka dan Audiometer Konvensional.....	71
<b>Tabel 4.10</b>	Perbedaan Nilai <i>Mean</i> dan Standard Deviasi Absolut 25 Naracoba Normal Menggunakan KUDUwave di Ruang Terbuka dan Audiometer Konvensional .....	71

<b>Tabel 4.11</b>	Perbedaan Nilai <i>Mean</i> dan Standard Deviasi <i>Real</i> 7 Naracoba Normal Menggunakan KUDUwave di Dalam Ruang Kedap Suara dan Audiometer Konvensional .73
<b>Tabel 4.12</b>	Perbedaan Nilai <i>Mean</i> dan Standard Deviasi Absolut 7 Naracoba Normal Menggunakan KUDUwave di Dalam Ruang Kedap Suara dan Audiometer Konvensional .73
<b>Tabel 4.13</b>	Perbedaan Nilai <i>Mean</i> dan Standard Deviasi <i>Real</i> 7 Naracoba Normal Menggunakan KUDUwave di Dalam Ruang Kedap Suara dan KUDUwave di Ruang Terbuka Poli MDR-TB .....74
<b>Tabel 4.14</b>	Perbedaan Nilai <i>Mean</i> dan Standard Deviasi <i>Real</i> 7 Naracoba Normal Menggunakan KUDUwave di Dalam Ruang Kedap Suara dan KUDUwave di Ruang Terbuka Poli MDR-TB .....75
<b>Tabel 4.15</b>	Persentase Korespondensi Ambang Batas Pendengaran Telinga Kiri dan Kanan (n = 25) .....76

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Tuberkulosis (TB) sampai sekarang ini masih menjadi persoalan yang global. Menurut data *World Health Organization* (WHO), Tuberkulosis (TB) dicatat sebagai penyebab kematian kesembilan di seluruh dunia. Resisten ganda (*Multidrug Resistant Tuberculosis* atau MDR-TB) merupakan masalah terbesar terhadap pencegahan dan pemberantasan TB dunia. Pasien yang mengkonsumsi obat untuk MDR-TB dapat beresiko mengalami penurunan atau bahkan sampai hilangnya kemampuan pendengaran secara permanen (Reviono, 2014). Dalam artikel penelitian yang dilakukan enam ahli dari fakultas kesehatan di universitas Stellenbosch, dan Cape Town, dijelaskan bahwa kelas obat antibiotik yang dikenal efektif untuk mengobati penyakit MDR-TB memiliki "efek merugikan terkait dosis". Efek yang dihasilkan salah satunya adalah *ototoxicity* atau kerusakan pendengaran dan fungsi keseimbangan telinga yang dapat bersifat permanen (Harris, dkk, 2012). Oleh karena itu perlu dilakukan pengawasan gangguan pendengaran (audiometri) secara berkala terhadap pasien MDR-TB hingga pasien dinyatakan sembuh (Adriztina, dkk, 2014).

*Monitoring* kondisi pendengaran dengan audiometri bisa dilakukan dengan berbagai perangkat audiometer (KNCV Tuberculosis Foundation, 2017). Selama ini, uji audiometri dilakukan menggunakan audiometer konvensional yang pengoperasiannya harus dilakukan di dalam *mini audio booth* atau ruang kedap suara mini yang bisa diisi satu sampai dua orang (Franks, 1998). Akan tetapi tidak semua rumah sakit memiliki ruang kedap ini, sehingga uji audiometri hanya bisa dilakukan di beberapa rumah sakit tertentu. Selain itu pengujian audiometri ini tidak disarankan bagi pasien MDR-TB, karena ukuran ruang yang sempit dan sangat tertutup menyebabkan kurangnya sirkulasi udara. Hal ini dapat menyebabkan pasien MDR-TB kurang bisa berkonsentrasi, dikarenakan sesak napas dan batuk yang dialami

karena kurangnya udara bersih. Sempitnya ruang kedap yang menyebabkan dekatnya jarak pasien dan dokter penguji dikhawatirkan menyebabkan dokter mudah tertular. Selain itu, tertutupnya ruang dikhawatirkan virus TB dari pasien tetap tertinggal di dalam ruang kedap sehingga bisa menular ke pasien tanpa riwayat MDR-TB.

Salah satu solusi yang tersedia dan mulai dikembangkan saat ini adalah pemeriksaan audiometri yang dilakukan di ruang terbuka. Pemeriksaan audiometri pasien MDR-TB yang dilakukan di ruang terbuka ini bertujuan agar pasien lebih leluasa untuk bernapas yang mana dapat mengurangi kemungkinan untuk sesak napas, sehingga pasien diharapkan mampu lebih fokus dalam memberikan respon ketika pemeriksaan audiometri. Selain itu, bakteri TB yang ditularkan pasien melalui udara dapat terpapar sinar matahari secara langsung, sehingga bakteri lebih cepat mati. Adapun alat atau audiometer penunjang yang saat ini mulai digunakan, yaitu KUDUwave. Audiometer buatan perusahaan alat medis bernama eMoyo dari Afrika Selatan ini merupakan audiometer *portable* ruang terbuka yang pengoperasiannya dapat dilakukan di dalam ruang tertutup maupun ruang terbuka dan mampu membangkitkan bunyi nada murni berfrekuensi tinggi hingga mencapai 16kHz (Anonim, 2018). Diantara beberapa kelebihan yang sudah disebutkan, ada beberapa kekurangan yang dimiliki alat ini, yakni harganya yang terlampau mahal, sehingga kepemilikan di rumah sakit khususnya Indonesia sangat terbatas dan juga pengoperasiannya yang tergolong rumit, sehingga hanya audiologist dan dokter terlatih saja yang bisa mengoperasikannya.

Terbatasnya fasilitas pemeriksaan audiometri menyebabkan tidak semua penderita MDR-TB tertangani dengan baik. Dalam artian tidak semua pasien MDR-TB bisa melakukan pengawasan atau pemeriksaan secara berkala, sehingga efek obat yang dikonsumsi (*hearing loss*) baru bisa terdeteksi setelah pasien mengalami gangguan pendengaran yang parah. Sehingga dari permasalahan yang sudah disebutkan, penulis melakukan penelitian mengenai metode uji audiometri ruang terbuka dengan menggunakan perangkat lunak Psychoacoustic. Psychoacoustic

sendiri merupakan perangkat lunak yang berfungsi untuk mengukur nilai batas ambang pendengaran. Perangkat lunak audiometer buatan Samuele Carcagno sebelas tahun lalu ini mampu membangkitkan bunyi nada murni hingga frekuensi 20kHz. Penggunaan perangkat lunak Psychoacoustic dapat memudahkan pengawasan pada penderita gangguan pendengaran karena cara pengoperasiannya yang tergolong mudah. Psychoacoustic juga bisa digunakan secara portable di *laptop*, sehingga dapat digunakan kapan dan dimana saja, dibandingkan dengan menggunakan audiometri yang hanya bisa digunakan di dalam ruang kedap. Selain itu, dengan hanya menggunakan *headphone* penunjang berteknologi *Active Noise cancellation* audiometer Psychoacoustic sudah bisa dioperasikan di ruang terbuka. Sehingga dapat dikatakan bahwa untuk melakukan pemeriksaan audiometri pada ruang terbuka dengan mudah dan tanpa mengeluarkan banyak biaya dapat dilakukan dengan menggunakan audiometer Psychoacoustic.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian pada latar belakang, dirumuskan beberapa permasalahan yang akan diteliti dengan rincian sebagai berikut:

- a. Bagaimana hasil unjuk kerja audiometer ruang terbuka Psychoacoustic?
- b. Bagaimana perbandingan hasil unjuk kerja audiometer ruang terbuka Psychoacoustic dengan audiometer RSUD Dr. Soetomo, SMF Pulmonologi (Diagnostic Audiometer KUDUWave)?

## **1.3 Batasan Masalah**

Agar pembahasan tidak meluas dan menyimpang dari tujuan dan rumusan masalah, akan diberikan beberapa batasan permasalahan dari tugas akhir ini, yaitu sebagai berikut:

- a. Perangkat lunak yang digunakan dalam pengujian audiometri adalah Psychoacoustic.
- b. Alat uji audiometri yang digunakan merupakan alat audiometri pada Rumah Sakit Umum Daerah Dr. Soetomo, Surabaya.

- c. Analisis statistik yang digunakan adalah metode uji non-parametrik Wilcoxon dengan koreksi Bonferroni.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan latar belakang dan permasalahan yang dipaparkan sebelumnya, maka tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui unjuk kerja dari audiometer ruang terbuka Psychoacoustic.
- b. Membandingkan hasil unjuk kerja audiometer ruang terbuka Psychoacoustic dengan audiometer RSUD Dr. Soetomo, SMF Pulmonologi (Diagnostic Audiometer KUDUWave).

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian tugas akhir ini diharapkan dapat membawa manfaat, antara lain dalam segi pengembangan ilmu, penelitian ini dapat memberikan kontribusi data akurasi mengenai metode pengukuran batas ambang pendengaran manusia yang bisa dijadikan sebagai salah satu opsi untuk metode uji audiometri, serta rancangan alat audiometri yang diangkat dalam penelitian ini bisa direkomendasikan untuk dipertimbangkan menjadi salah satu alat kesehatan rujukan yang bisa digunakan di seluruh rumah sakit daerah dan puskesmas di Indonesia.

## **BAB II**

### **TEORI PENUNJANG**

#### **2.1 MDR-TB dan Ototoxicity**

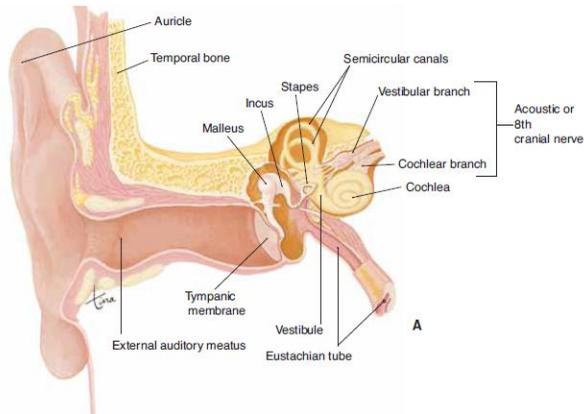
*Multi Drug Resistance – Tuberculosis* (MDR-TB) merupakan penyakit tuberkulosis yang resisten terhadap isoniazid dan rifampisin, dengan atau tanpa resisten terhadap obat anti TB lain. Pengobatan pasien MDR-TB terdiri atas 2 (dua) tahap yaitu tahap awal dan tahap lanjutan. Pengobatan MDR-TB memerlukan waktu yang lebih lama daripada pengobatan pasien TB biasa, yaitu sekitar 18-24 bulan. Pada tahap awal, pasien akan mendapat Obat Anti Tuberkulosis (OAT) lini kedua minimal empat jenis OAT yang masih sensitif. Salah satunya adalah OAT injeksi, yaitu amikasin, kanamisin atau kapreomisin. Pada tahap lanjutan, semua OAT lini kedua yang dipakai pada tahap awal dilanjutkan kecuali OAT injeksi. Pasien MDR-TB memerlukan pengobatan yang lebih kompleks, yaitu menggunakan OAT yang efek sampingnya lebih banyak (Anonim, 2011). Seperti yang sudah disebutkan pada latar belakang, bahwasanya obat yang digunakan oleh pasien MDR-TB memiliki efek samping yang cukup berbahaya, salah satunya adalah *ototoxicity* yang dampaknya bisa bersifat sementara hingga permanen. *Ototoxicity* adalah kerusakan pendengaran (struktur koklea) dan fungsi keseimbangan telinga (vestibuler) akibat paparan zat kimia (Schuman, 2006). Ototoksitas, khususnya pada pasien MDR-TB bisa dideteksi sejak dini dengan cara *monitoring* batas ambang pendengaran secara berkala hingga pasien dinyatakan sembuh.

#### **2.2 Anatomi dan Fisiologi Telinga**

Gambar 2.1 menggambarkan 3 bagian dari telinga manusia yaitu telinga luar, telinga tengah, dan telinga dalam. Telinga manusia berperan sebagai indra pendengaran dan sistem keseimbangan.

##### **a. Telinga Luar**

Telinga luar terdiri dari daun telinga (*pinna*), saluran telinga eksternal (*auditory meatus*), dan gendang telinga (*tympanic*



**Gambar 2. 1** Struktur telinga (Scanlon, 2007)

*membrane*). Daun telinga (*pinna*) berfungsi untuk mengumpulkan suara yang kemudian menuju saluran telinga. Suara tersebut nantinya akan ditransmisikan oleh gendang telinga (*tympanic membrane*). Gendang telinga ini berupa membran tipis yang memisahkan telinga luar dan telinga tengah (Scanlon, 2007).

b. Telinga Tengah

Telinga tengah mentransmisikan getaran dari gendang telinga (*tympanic membrane*) menuju telinga dalam. Telinga tengah terdapat tiga tulang pendengaran (*ossicles auditory*) yaitu tulang martil (*malleus*), tulang landasan (*incus*), dan tulang sanggurdi (*stapes*). Getaran suara yang diterima oleh gendang telinga (*tympanic membrane*) kemudian akan diteruskan ke *malleus*, *incus* dan *stapes* dan kemudian diterima koklea. Tulang pendengaran berfungsi untuk menguatkan gelombang suara yang diterima oleh gendang telinga.

Telinga tengah merupakan rongga berisi udara di dalam tulang temporalis yang terbuka melalui *tuba eustachius* ke nasofaring. *Tuba eustachius* akan terbuka ketika menguap, mengunyah dan menelan sehingga tekanan di kedua sisi gendang telinga seimbang (Scanlon, 2007).

c. Telinga Dalam

Telinga dalam terdiri dari dua bagian yaitu labirin dan rumah siput (koklea). Labirin adalah serangkaian saluran di dalam bagian petrosal tulang temporalis. Di dalam saluran ini terdapat labirin membranosa yang dikelilingi oleh cairan yang disebut perilimfe dan endolimfe, merupakan cairan di dalam struktur membran telinga dalam. Koklea merupakan saluran melingkar seperti rumah siput yang terbagi menjadi tiga kanal bagian yang berisi cairan. Getaran yang berasal dari gendang telinga diteruskan oleh tulang pendengaran yang menyebabkan tulang martil menutupi jendela oval, getaran tersebut menyebabkan gerakan pada membran basilar, merangsang sel-sel rambut di organ corti yang kemudian menghasilkan sinyal yang diteruskan ke otak melalui saraf pendengaran (Scanlon, 2007).

### 2.3 Resolusi Temporal yang Diukur oleh Perbedaan *Stimuli* dengan Spektra Magnitudo Identik: Bunyi Pita Lebar

Ambang diferensial adalah perubahan terkecil dalam rangsangan fisik yang dapat dideteksi oleh organ sensorik. Ambang batas diferensial sering disebut sebagai perbedaan nyata atau perbedaan limen (DL). Besarnya perbedaan ambang bernilai sebanding dengan besarnya *stimulus*, yang mana lebih dikenal sebagai Hukum Weber (Weber, 1834). Hukum Weber seperti yang tertulis pada Persamaan 2.1 menyatakan bahwa perubahan terkecil yang terlihat dalam besaran *stimulus* ( $\Delta I$ ) merupakan fraksi konstan dari besaran *stimulus* ( $I$ ) :

$$\frac{\Delta I}{I} = c = \text{const} \quad (2.1)$$

dimana  $c$  adalah konstanta yang disebut fraksi Weber (Weber, 1834). Ungkapan ini mengarah ke fungsi logaritmik yang menggambarkan ketergantungan perubahan nyata dalam magnitudo *stimulus*.

Setelah *stimulus* pendengaran terdeteksi, *stimulus* dapat dibedakan berdasarkan sejumlah sensasi pendengaran yang dapat

diperlakukan sebagai atribut dari citra internal *stimulus*. Tiga sensasi pendengaran pada dasarnya adalah kenyaringan (*loudness*), *pitch*, dan durasi yang dipersepsikan. Sensasi ini sangat berkorelasi dengan sifat fisik dari intensitas suara, frekuensi suara, dan durasi suara, tetapi sensasi tersebut juga dipengaruhi oleh dua sifat fisik suara yang lain, misalnya kenyaringan tidak hanya tergantung pada intensitas suara tetapi juga pada frekuensi dan durasi suara. Namun, ketika semua sifat fisik suara dipertahankan konstan, perubahan terkecil dalam intensitas, frekuensi, atau durasi suara dapat dideteksi menggunakan sensasi kenyaringan, nada, dan durasi yang dipersepsikan. DL dapat digunakan untuk mengukur ketajaman sistem pendengaran sehubungan dengan variabel fisik tertentu, misalnya resolusi intensitas, resolusi frekuensi (spektral), dan resolusi temporal, atau untuk menentukan perubahan terkecil dalam *stimulus* yang memiliki nilai praktis untuk pengembang sinyal dan sistem.

### 2.3.1 Perbedaan Intensitas

Dua ambang diferensial yang paling sering dibahas dalam psikoakustik adalah ambang diferensial untuk intensitas suara (intensitas DL) dan ambang diferensial untuk frekuensi suara (frekuensi DL). DL untuk intensitas suara adalah perubahan terkecil dalam tingkat intensitas suara yang diperlukan untuk melihat perubahan dalam kenyaringan suara. DL untuk intensitas suara biasanya sekitar 0,5 hingga 1,0 dB dalam berbagai intensitas (lebih besar dari 20 dB di atas ambang batas) dan di berbagai jenis rangsangan (Chocholle, 1968; Letowski, 1971; Riesz, 1928). Dari sini dapat dikatakan bahwa hukum Weber berlaku untuk bunyi sederhana dan kompleks dan berlaku untuk lingkungan yang sekitar yang tenang.

Intensitas DL untuk nada murni melebihi 50 dB SPL tidak bergantung pada frekuensi tetapi meningkat untuk frekuensi rendah dan tinggi untuk level suara kurang dari 50 dB SPL. Ketika nada disajikan di lokasi uji dengan bising latar belakang tipe *wide band*, intensitas DL bergantung pada rasio sinyal terhadap *noise* (SNR) untuk SNR rendah tetapi tidak tergantung pada SNR untuk SNR yang lebih dari 20 dB. Untuk SNR mendekati 0 dB, intensitas

DL kurang lebih sama dengan 6 hingga 8 dB (Henning, 1967). Nilai serupa untuk intensitas DL dilaporkan untuk ambang batas pendengaran dengan kondisi lokasi uji yang tenang.

### 2.3.2 Perbedaan Frekuensi

DL untuk frekuensi didefinisikan sebagai perubahan minimum frekuensi yang dapat terdeteksi yang diperlukan untuk mendeteksi perubahan nada. DL untuk frekuensi (dalam Hz) relatif tidak dipengaruhi oleh frekuensi dan meningkat secara logaritmik dengan frekuensi pada frekuensi menengah dan tinggi. Hal tersebut sesuai dengan hukum Weber, yaitu, perubahan frekuensi terkecil yang terlihat adalah fungsi frekuensi logaritmik. Misalnya, perubahan frekuensi terkecil yang dapat dideteksi adalah sekitar 1 Hz pada 1000 Hz dan sekitar 10 Hz pada 4000 Hz. Frekuensi DL tergantung pada frekuensi dan intensitas rangsangan yang dibandingkan. Itu juga tergantung pada durasi dan kompleksitas rangsangan. Untuk rangsangan tonal dengan intensitas melebihi 30 dB SPL, DL frekuensi rata-rata sekitar 1 hingga 2 Hz untuk frekuensi di bawah 500 Hz dan 0,1 hingga 0,4% untuk frekuensi di atas 1000 Hz (Koester, 1946; König, 1957; Letowski T. , 1982; Shower, 1931). Semua nilai ini setipe untuk tingkat intensitas suara rata-rata, dan mereka sama atau sedikit lebih kecil untuk peningkatan intensitas suara hingga sekitar 80 dB SL (Wier, 1977). Demikian pula, frekuensi DL berubah (menurun) dengan meningkatnya durasi rangsangan pendengaran pendek dan menjadi independen dari durasi untuk rangsangan melebihi 100 hingga 200 ms (Groben, 1971; Moore, 1973; Walliser, 1968; Walliser, 1969). Suara berfrekuensi rendah membutuhkan durasi yang lebih lama untuk dibedakan dari suara dengan frekuensi tinggi (Liang, 1961; Sekey, 1963). Frekuensi DL untuk *narrowband noise* lebih tinggi daripada DL nada murni dan dipengaruhi oleh lebar pita dari *noise*. Diskriminasi frekuensi untuk nada kompleks (frekuensi dasar dengan harmonik) adalah sama atau lebih baik daripada nada murni (Goldstein, 1973; Henning dan Grosberg, 1968). Gockel et al. (2007) melaporkan frekuensi DL masing-masing sebesar 0,1% dan 0,2% untuk nada kompleks dan harmonik tunggal. Namun, ketika diimplementasikan, dapat diasumsikan bahwa DL frekuensi untuk

nada kompleks cukup konstan dalam kisaran frekuensi 100 hingga 5000 Hz (Wier, Jesteadt dan Green, 1977).

### **2.3.3 Perbedaan Temporal**

Diskriminasi temporal pendengaran memiliki berbagai bentuk dan berbagai ambang diskriminasi. Dapat dikatakan dengan kemampuan manusia untuk membedakan antara rangsangan akustik atau interval diam dengan panjang yang berbeda, untuk mendeteksi celah diam dalam rangsangan yang terus menerus, untuk menyelesaikan antara satu atau dua klik yang disajikan dalam sukseksi, dan untuk mengidentifikasi perbedaan temporal dua rangsangan yang tumpang tindih. Tindakan diskriminasi temporal yang tersebut disebut DL durasi suara, ambang deteksi celah, resolusi temporal, dan diskriminasi urutan temporal, masing-masing.

DL durasi suara adalah kemampuan diskriminasi temporal yang paling umum diukur, dipengaruhi oleh konten sonik, amplop temporal suara, dan juga perlu untuk dilihat apakah itu berlaku untuk suara itu sendiri atau jeda (celah) antara dua suara. Secara umum, durasi DL dari suara seragam (*steady-state*) mengikuti Hukum Weber dengan fraksi Weber sekitar 0,1 hingga 0,2 untuk durasi waktu yang lebih besar dari sekitar 20 ms (Woodrow, 1951).

Jenis resolusi temporal pendengaran yang berbeda dapat dinilai dengan mengukur durasi minimum yang dapat dideteksi dari celah dalam suara kontinu. Diskriminasi urutan waktu memerlukan interval waktu yang jauh lebih lama daripada resolusi temporal atau deteksi celah.

### **2.3.4 Diskriminasi Kognitif**

Ambang diferensial yang dibahas sebelumnya berlaku untuk perubahan terkecil dalam dimensi fisik tunggal yang dapat diukur dan dinilai menggunakan salah satu sensasi pendengaran. Ambang tersebut penting untuk perancang sinyal dan peralatan, untuk mengoptimalkan kegunaan produk. Akan tetapi hal tersebut juga dipengaruhi oleh kemampuan kognitif keseluruhan pendengar individu dan keakraban mereka dengan situasi yang akan dinilai (Deary, Head, dan Egan, 1989; Helmbold, Troche dan Rammasayer, 2005; Smith, 1914; Watson, 1991). Dalam

diskriminasi kognitif ini, pendengar diminta untuk memutuskan suara mana yang memiliki level lebih tinggi, dan masuk karakteristik kelas mana. Proses kognitif yang terlibat dalam pengambilan keputusan semacam itu biasanya digambarkan sebagai klasifikasi, pengakuan, atau identifikasi.

### **2.3.5 Deteksi Gap pada *Broadband Noise***

Dalam mengkarakterisasi resolusi temporal (ketajaman) dalam sistem pendengaran, penting untuk mempertimbangkan penyaringan yang terjadi dalam sistem pendengaran perifer. Resolusi temporal tergantung pada dua proses utama, yaitu analisis pola waktu yang terjadi dalam setiap saluran frekuensi dan perbandingan pola waktu di seluruh saluran. Kesulitan utama dalam mengukur resolusi temporal dari sistem pendengaran adalah bahwa perubahan dalam pola waktu suara umumnya dikaitkan dengan perubahan dalam spektrum magnitudo. Dengan demikian, deteksi perubahan pola waktu kadang-kadang bisa bergantung tidak pada resolusi temporal *per se*, tetapi pada deteksi perubahan spektral. Sebagai contoh, pertimbangkan tugas membedakan satu klik singkat dari sepasang klik yang dipisahkan oleh interval waktu singkat. Asumsikan bahwa energi dari satu klik sama dengan energi dari sepasang klik, sehingga kedua bunyinya sama dalam kenyaringan. Pada pandangan pertama, tugas ini tampaknya memberikan ukuran langsung resolusi temporal. Hasil menunjukkan bahwa subjek dapat membedakan klik tunggal dari klik ganda ketika kesenjangan antara dua klik dalam klik ganda hanya beberapa puluh mikrodetik yang mana menunjukkan resolusi temporal yang sangat baik (Leshowitz, 1971).

Spektrum magnitudo dari klik ganda berbeda dari spektrum magnitudo satu klik; pada beberapa frekuensi klik tunggal memiliki lebih banyak energi dan pada yang lain memiliki lebih sedikit energi. Subjek dapat mendeteksi perbedaan spektral ini, baik dengan memonitor energi dalam satu pita klinis tunggal, atau dengan mendeteksi perbedaan dalam bentuk spektral dari dua suara. Perbedaan spektral dalam kasus ini paling mudah dideteksi pada frekuensi tinggi. Ketika *noise* ditambahkan untuk *masking* frekuensi di atas 10 kHz, nilai ambang kesenjangan meningkat

secara dramatis. Dengan demikian, hasil percobaan ini tidak dapat dianggap sebagai ukuran langsung dari resolusi sementara.

Ada dua pendekatan umum untuk mengatasi masalah ini. Salah satunya adalah menggunakan sinyal yang spektrum magnitudonya tidak berubah ketika pola waktu diubah. Sebagai contoh, spektrum magnitudo *noise* putih tetap datar meskipun *noise* tersebut dalam keadaan terganggu, yaitu ketika ada celah masuk ke dalam kebisingan. Pendekatan kedua menggunakan rangsangan yang spektrumnya diubah oleh pola perubahan dalam waktu, tetapi suara latar tambahan ditambahkan untuk menutupi perubahan spektral. Kedua pendekatan dijelaskan.

Seperti disebutkan di atas, spektrum magnitudo jangka panjang dari *white noise* tetap sama jika kebisingan terputus sebentar. Dengan demikian, ambang batas untuk mendeteksi celah dalam *noise broadband* memberikan ukuran resolusi temporal yang sederhana dan nyaman. Biasanya, prosedur 2-alternative terpaksa pilihan (2AFC) digunakan: subjek disajikan dengan dua ledakan berturut-turut dan baik ledakan pertama atau kedua (secara acak) terputus untuk menghasilkan celah. Tugas subjek adalah untuk mengindikasikan semburan mana yang berisi celah tersebut. Ambang batas biasanya 2-3 ms (Plomp, 1964; Penner, 1977). Ambang meningkat pada level suara yang sangat rendah, ketika level kebisingan mendekati ambang absolut, tetapi relatif tidak berubah dengan level untuk level sedang hingga tinggi.

#### **2.4 Hearing Loss**

Batas ambang pendengaran normal adalah kurang-sama dengan 25 desibel (dB) pada kedua telinga. Seseorang dikatakan mengalami gangguan pendengaran atau *hearing loss* jika kemampuan pendengaran mereka tidak sebaik orang berpendengaran normal. Gangguan pendengaran dikategorikan berdasarkan tingkat keparahannya. Hal tersebut dapat terjadi pada salah satu atau kedua telinga, sehingga dapat menyebabkan kesulitan dalam mendengarkan suara percakapan atau suara yang keras (WHO, 2018).

Kerusakan pada telinga bagian dalam (koklea) menyebabkan gangguan pendengaran sensorineural (SNHL), yang juga dikenal sebagai gangguan pendengaran terkait saraf. Kemungkinan penyebab atau faktor yang memperburuk gangguan pendengaran indera adalah toksisitas obat termasuk SLI (*second-line anti-TB injectables* atau obat injeksi anti TB lini kedua) (KNCV Tuberculosis Foundation, 2017). SLI ini merupakan salah satu yang berperan penting dalam proses pengobatan TB. Sayangnya, obat ini diketahui dapat menyebabkan reaksi merugikan yang mungkin dapat memberikan efek buruk jangka panjang, seperti gangguan pendengaran (Torun, et al., 2005; Selimoglu, 2007). Selama ini, SNHL tidak dapat disembuhkan secara medis atau pembedahan. Ini merupakan jenis gangguan pendengaran permanen yang paling umum. Berbeda dengan SNHL, gangguan pendengaran konduktif disebabkan oleh masalah pada saluran telinga, gendang telinga, telinga tengah dan tulang kecil (KNCV Tuberculosis Foundation, 2017).

Derajat kehilangan pendengaran berdasarkan *hearing-threshold* atau nilai ambang dengar (NAD) sesuai kriteria *World Health Organization* (WHO) yang terbagi menjadi beberapa grup, antara lain (KNCV Tuberculosis Foundation, 2017)

- a.  $NAD \leq 25$  dB, tidak terjadi kehilangan pendengaran (normal).
- b.  $NAD 26 - 40$  dB, kehilangan pendengaran derajat ringan.
- c.  $NAD 41 - 60$  dB, kehilangan pendengaran derajat sedang.
- d.  $NAD 61 - 80$  dB, kehilangan pendengaran derajat berat.
- e.  $NAD \leq 81$  dB, kehilangan pendengaran derajat sangat berat.

## 2.5 Audiometri

Audiometri berasal dari kata *audire* dan *metrios* yang berarti mendengar dan mengukur (uji pendengaran). Audiometri merupakan prosedur yang digunakan dalam pengujian kemampuan seseorang untuk mendengarkan bunyi dalam berbagai frekuensi, dan digunakan untuk mengidentifikasi serta mendiagnosis *hearing loss*. Audiometri tidak saja dipergunakan untuk mengukur ketajaman pendengaran, tetapi juga dapat dipergunakan untuk menentukan lokalisasi kerusakan anatomis yang menimbulkan

gangguan pendengaran (Dhingra, 2007). Alat yang digunakan dalam pengujian dinamakan audiometer (KNCV *Tuberculosis Foundation*, 2017).

Prosedur uji audiometri adalah pasien diminta duduk didalam ruang kedap suara dan melalui *headphone* akan diperdengarkan berbagai bunyi dengan berbagai tingkat kekerasan (*loudness level*, dB SPL). Pada prinsipnya sama dengan uji audiometri standard hanya saja dengan bantuan model dapat diperkirakan dengan akurasi tinggi untuk memudahkan dokter memberi resep dan menala amplifikasi (*gain*) alat bantu dengar (*hearing aids*).

### 2.5.1 Audiometri nada murni

Audiometri nada murni digunakan untuk memeriksa ambang dengar penderita hantaran udara dan hantaran tulang pada frekuensi 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2kHz, 4 kHz dan 8 khz, dinyatakan dalam satuan dB. Penelitian oleh Hwang dkk menghitung nilai ambang dengar dengan mengelompokkan menjadi nilai ambang dengar frekuensi rendah dan frekuensi tinggi. Nilai ambang dengar frekuensi rendah dihitung dari rerata ambang dengar pada frekuensi 250 Hz, 500 Hz dan 1 kHz. Nilai ambang dengar pada frekuensi tinggi dihitung dari rerata ambang dengar pada frekuensi 2 kHz, 4 kHz dan 8 Khz (Swanepoel, dkk, 2010).

Pada audiometri nada murni, ada beberapa istilah yang sering muncul, antara lain (Kutz, Meyers, & Bauer, 2012):

- Nada murni (*pure tone*): merupakan bunyi yang hanya mempunyai satu frekuensi, dinyatakan dalam jumlah getaran per detik.
- Bising: merupakan bunyi yang mempunyai banyak frekuensi, terdiri dari spectrum terbatas (*Narrow band*), spektrum luas (*White noise*).
- Frekuensi : merupakan nada murni yang dihasilkan oleh getaran suatu benda yang sifatnya harmonis sederhana (*simple harmonic motion*). Dengan satuannya dalam jumlah getaran per detik dinyatakan dalam Hertz (Hz).
- Intensitas bunyi: dinyatakan dalam desibel (dB). Dikenal dB HL (*hearing level*), dB SL (*sensation level*), dB SPL (*sound*

*pressure level*). dB HL dan dB SL dasarnya adalah subjektif, dan inilah yang biasanya digunakan pada audiometer, sedangkan dB SPL digunakan apabila ingin mengetahui intensitas bunyi yang sesungguhnya secara fisika.

- Ambang dengar: merupakan bunyi nada murni yang terlalu lemah pada frekuensi tertentu yang masih dapat didengar oleh telinga seseorang. Ketika bunyi *stimuli* terdengar dalam diam, ambang pendeteksian disebut ambang pendeteksian absolut (ambang pendengaran absolut), dan ketika disajikan bersama dengan suara lain, ambang pendeteksian disebut sebagai ambang pendeteksian terselubung (*masked threshold of hearing*). Terdapat ambang dengar menurut konduksi udara (AC) dan menurut konduksi tulang (BC). Bila ambang dengar ini dihubungkan dengan garis, baik AC maupun BC, maka akan didapatkan audiogram. Dari audiogram dapat diketahui jenis dan derajat ketulian.
- *Pure Tone Audiometry* (PTA) biasa disebut dalam hasil uji audiometri, dimana dalam konteks ini PTA berarti nilai ambang dengar rata-rata dari uji audiometri nada murni. Nilai ini diperoleh dengan cara menghitung rata-rata nilai ambang dengar pada empat frekuensi uji, yaitu frekuensi 500, 1000, 2000 dan 4000 Hz sesuai dengan Persamaan 2.2 (Soepardi E. A., 2008)

$$PTA = \frac{NAD\ 500\ Hz + NAD\ 1000\ Hz + NAD\ 2000\ Hz + NAD\ 4000\ Hz}{4} \dots (2.2)$$

- Nilai nol audiometrik (*audiometric zone*) dalam dB HL dan dB SL, yaitu intensitas nada murni yang terkecil pada suatu frekuensi tertentu yang masih dapat didengar oleh telinga rata-rata dewasa muda yang normal (18-30 tahun). Pada tiap frekuensi intensitas nol audiometrik tidak sama. Pada audiogram angka-angka intensitas dalam dB bukan menyatakan kenaikan linier, tetapi merupakan kenaikan logaritmik secara perbandingan. Terdapat dua standard yang dipakai adalah *International Organization for*

*Standardization (ISO) dan American Standard Association (ASA). Dengan nilai berupa*

0dB ISO = -10dB ASA atau 10dB ISO = 0 dB ASA

Kesalahan diagnosis atau hasil uji audiometri bisa dinyatakan tidak valid ketika ada salah satu nilai ambang dengar yang menjadi *outlier* atau memiliki nilai yang menyimpang jauh dibanding nilai ambang dengar pada frekuensi lainnya. Ada beberapa faktor yang menyebabkan nilai ambang dengar menjadi outlier, antara lain (WIlber, 1999):

- Jika *earphone* hanya berada di satu sisi atau dalam posisi tidak tepat menutup daun telinga, atau jika tekanan *headband* tidak terlalu kuat atau longgar.
- Jika *eartip* atau *earphone* yang dimasukkan saluran telinga terhalang serumen atau *eartip* tidak dimasukkan dengan benar (tidak terlalu dalam).
- Jika naracoba tidak melakukan tes di lokasi yang benar (sesuai standard, ruang dengan level bising latar belakang yang sangat rendah).
- Peralatan uji tidak terkalibrasi.
- Naracoba tidak kooperatif, tidak fokus, kelelahan.
- Ventilasi dan suhu ruang pemeriksaan.

### **2.5.2 Audiogram**

Audiogram adalah grafik yang menunjukkan hasil audiometri nada murni atau tes pendengaran yang dilakukan untuk menentukan batas ambang pendengaran atau nada paling samar yang dapat didengar seseorang pada nada atau frekuensi yang dipilih dari rendah ke tinggi (KNCV Tuberculosis Foundation, 2017). Audiogram ini menggambarkan jenis, derajat, dan konfigurasi gangguan pendengaran, dimana respon pasien dicatat pada grafik yang menunjukkan tingkat intensitas untuk setiap frekuensi yang diuji (lihat Gambar 2.2: Contoh audiogram), dengan garis merah yang mewakili telinga kanan dan garis kiri mewakili telinga kiri. Frekuensi atau nada suara disebut dalam Hertz (Hz), intensitas atau kenyaringan suara diukur dalam dB (KNCV Tuberculosis Foundation, 2017). Gambaran audiogram rata-rata sejumlah orang yang

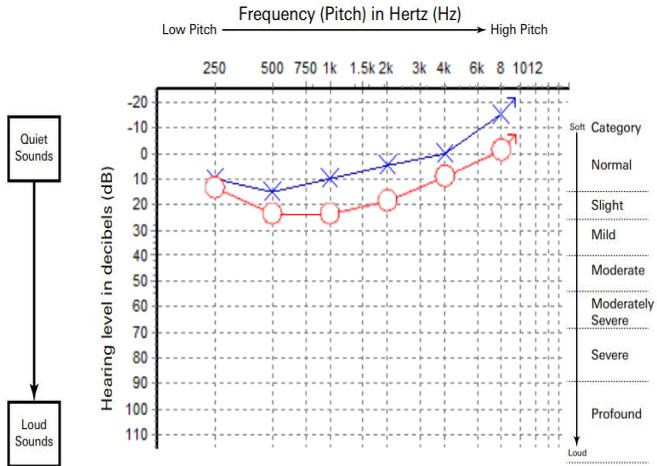
berpendengaran normal dan berusia sekitar 18-30 tahun merupakan nilai ambang baku pendengaran untuk nada murni (Levine, 1997; Soepardi E. A., 2008).

a. Interpretasi Audiogram Normal

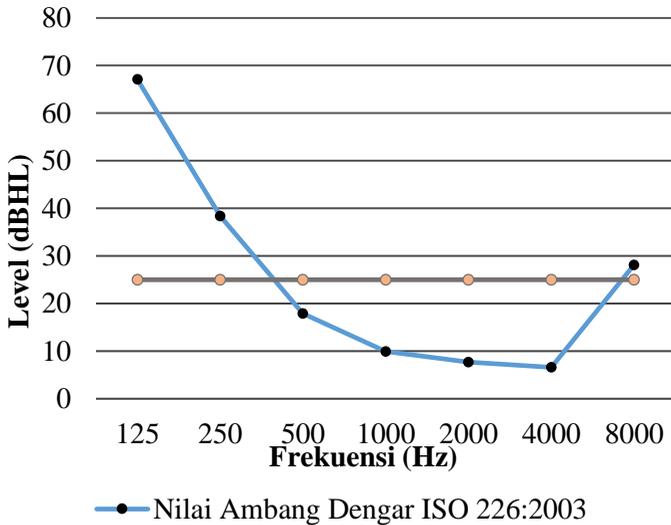
Secara teoritis, bila pendengaran normal, ambang dengar untuk hantaran udara maupun hantaran tulang tercatat sebesar 0 dB. Pada anakpun keadaan ideal seperti ini sulit tercapai terutam pada frekuensi rendah bila terdapat bunyi lingkungan (*ambient noise*). Gambar 2.3 merupakan grafik nilai ambang dengar dari naracoba berpendengaran normal berdasarkan ISO 226:2003 (*revision*) yang sudah dikonversi dalam satuan dBHL (garis biru). Sedangkan garis abu-abu merupakan nilai ambang dengar maksimum bagi seseorang berpendengaran normal, dimana seseorang dikatakan normal ketika nilai ambang dengar nya tidak lebih dari 25 dBHL. Dan dalam dunia medis, salah satu alasan seseorang dikatakan mengalami gangguan pendengaran adalah ketika memiliki nilai ambang dengar yang lebih dari 25 dBHL pada tiga frekuensi yang berdekatan (Torun, et al., 2005). Akan tetapi tidak semua orang berpendengaran normal memiliki tipe pola grafik nilai ambang dengar seperti pada Gambar 2.2 (garis berwarna biru) dikarenakan adanya beberapa faktor, salah satunya adalah tingginya level bising latar belakang lokasi uji (D.W Swanepoel, dkk, 2015). Dimana berdasarkan standard BS EN ISO 8253-1, pemeriksaan audiometri harus dilakukan di dalalam ruangan dengan tingkat kebisingan terendah sehingga kepekaan pendengaran pasien tidak terganggu. Suara tambahan tidak boleh lebih dari 38 dB (Dhingra, 2007; Kutz, Meyers, & Bauer, 2012).

b. *Hearing Level in Desibells*

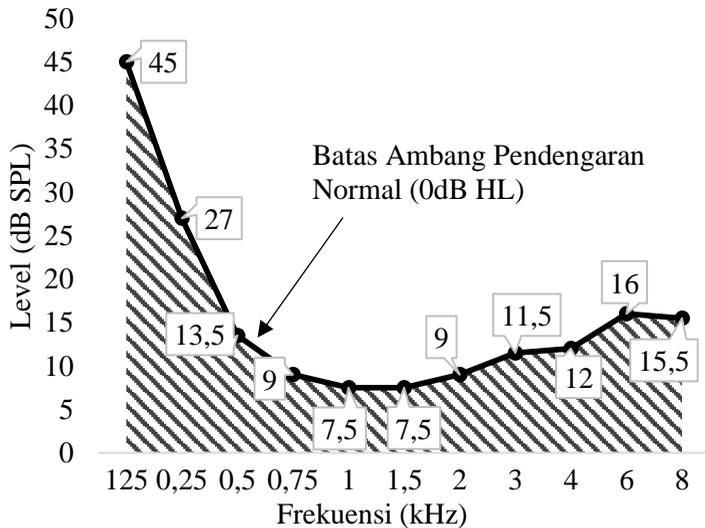
Desibel (dB) adalah unit pengukuran logaritmik yang digunakan untuk menyatakan besarnya suara relatif terhadap beberapa level referensi. Desibel dalam tingkat pendengaran, atau dB HL, umumnya digunakan dalam audiologi karena mengacu pada tingkat desibel pada



**Gambar 2.2** Contoh audiogram (*KNCV Tuberculosis Foundation, 2017*)



**Gambar 2.3** Nilai ambang pendengaran normal (ISO 226:2003 (*Revision*))



**Gambar 2.4** Batas ambang dengar rata-rata setiap frekuensi dengan 0 dBHL (ANSI S3.6, 2010)

audiometer. Level referensi untuk dB HL adalah "0" yang terkait dengan ambang rata-rata dalam level tekanan suara desibel (dB SPL) untuk rata-rata pendengaran normal. Pada Gambar 2.4, garis hitam pekat mewakili ambang pendengaran rata-rata dalam dB SPL pada setiap frekuensi audiometri. Setiap ambang dalam dB SPL, yang dicatat dalam Gambar 2.4, sama dengan 0 dB HL pada audiometer untuk frekuensi yang sesuai. Misalnya, pada frekuensi 125 Hz ; 0 dB HL = 45 dB SPL, 1000 Hz; 0 dB HL = 7,5 dB SPL (Roeser, 2007).

### 2.5.3 Audiometer Konvensional

Audiometri konvensional dianggap sebagai standard penilaian terbaik daripada ambang batas pendengaran anak-anak dengan usia di atas 5 tahun hingga orang dewasa, oleh karena itu pada tugas akhir ini uji audiometri konvensional dipilih sebagai uji referensi (ASHA, 2004). Audiometri manual dilakukan di dalam

ruang kedap suara (rerata ambient *noise* level 35 dBA dalam keadaan pintu tertutup). Audiometer konvensional di sini merujuk pada audiometer yang dalam pengoperasiannya dilakukan di dalam ruang kedap suara sesuai dengan standard yang dijelaskan dalam ISO 8253:1 dengan pembangkitan nada murni yang dilakukan secara manual oleh seorang *audiologist* (*International Organization for Standardization*, 1989). Audiometer konvensional ini menggunakan metode “*yes-no paradigm*” dalam proses uji nya.

Pada uji audiometri menggunakan audiometer konvensional dengan metode *yes-no paradigm* ini, hanya terdapat satu tombol respon sebagai alat respon bagi naracoba. Ketika nada murni dibangkitkan dan naracoba mendengar nada murni tersebut maka naracoba harus menekan tombol respon yang sudah diberikan, sedangkan kalau nada murni dibangkitkan dan naracoba tidak mendengar maka naracoba tidak perlu menekan tombol respon.

Pada uji audiometri nada murni menggunakan audiometer konvensional, ada beberapa alasan alat dan metode ini digunakan yaitu yang pertama, naracoba menyukai cara ini karena dianggap mudah untuk dilakukan, secara konseptual mudah dipahami dan durasi uji yang relatif singkat (Florentine, 2001). Sehingga, audiometri nada murni menggunakan audiometer konvensional menjadi metode paling umum yang di gunakan saat ini, khususnya di Indonesia.

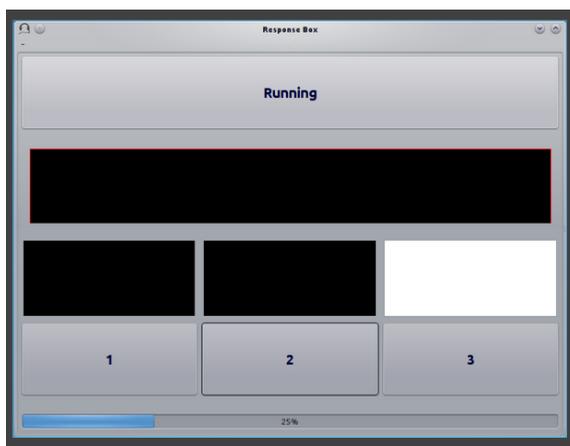
#### **2.5.4 Audiometer Pychoacoustic dengan Metode *Three-Forced Choice***

Pychoacoustic merupakan perangkat lunak yang dapat digunakan untuk mengukur batas ambang pendengaran pada frekuensi rendah hingga frekuensi tinggi sampai 20kHz (Carcagno, 2008).

Perangkat lunak audiometer buatan Samuele Carcagno sebelas tahun lalu ini memberikan keleluasaan bagi penggunaanya untuk memilih metode dan mengatur berapa jumlah dari kotak respon yang akan ditampilkan dengan tampilan jendela pengaturan seperti yang tampak pada Gambar 2.5. Pada tugas akhir ini, penulis memilih untuk menggunakan metode uji audiometri *three-forced*



**Gambar 2. 5** Visualisasi perangkat lunak Psychoacoustic  
(Carcagno, 2008)



**Gambar 2. 6** Visualisasi respon (Carcagno, 2008)

*choice* untuk ditampilkan pada perangkat lunak Psychoacoustic (Carcagno, 2008). Metode *three-forced choice* dipilih karena berdasarkan penelitian yang sudah pernah dilakukan, metode ini yang paling mampu meminimalkan variabilitas antar subjek (Shelton, 1984). Dengan metode *three-forced choice* ini, naracoba dipaksa untuk menjawab atau memilih salah satu dari tiga opsi

```

marocm1: puda.wave
Response Mode: Real Listener
Paradigm: Transformed Up-Down
Intervals: 3
Alternatives: 3
Procedure: Arithmetic
Corr. Resp. Move Track: Down
Rule Down: 2
Rule Up: 1
Initial Turnpoints: 4
Total Turnpoints: 16
Step Size 1: 4
Step Size 2: 2
Phones: Phones 1
Sample Rate: 48000
Bits: 16
Pre-Trial Silence (ms): 200
Warning Interval: No
Interval Light: Yes
Response Light: Feedback
Response Light Type: Light
Response Light Duration (ms): 500
ISI: 500

Ear: Right
Signal Type: Sinusoid
Frequency (Hz): 2000
Level (dB SPL): 50
Duration (ms): 180
Ramps (ms): 10
*****
30.00 34.00 18.00 22.00 | 14.00 16.00 8.00 10.00 8.00 14.00 8.00 12.00 8.00 12.00 8.00 12.00 |
turnpointMean = 10.83, s.d. = 2.89
B1 = 26, B2 = 20, B3 = 22

```

**Gambar 2. 7** Hasil uji audiometri Psychoacoustic

respon yang ditampilkan agar bisa lanjut ke tahap berikutnya (lihat Gambar 2.6). Gambar 2.6 merupakan tampilan dari tiga opsi respon yang ada pada metode *three-forced choice* pada uji audiometri menggunakan perangkat lunak Psychoacoustic. Frekuensi nada murni yang diujikan terdapat masing-masing tujuh frekuensi pita satu oktaf pada masing-masing telinga. Frekuensi yang dibangkitkan mulai dari frekuensi 125-8000 Hz. Sehingga Gambar 2.7 merupakan hasil uji audiometri yang dilakukan dalam format .txt.

### 2.5.5 Audiometer KUDUwave dengan Metode Yes-No Paradigm

KUDUwave (KUDUwave™ Pro) pada Gambar 2.8 merupakan perangkat audiometer yang dalam penggunaannya tidak memerlukan *audio booth* atau dengan kata lain, KUDUwave™ Pro merupakan audiometer *portable* tapak terbuka. Audiometer buatan perusahaan alat medis bernama eMoyo dari Afrika Selatan ini menggunakan metode yang sama dengan audiometer konvensional yang sudah dijelaskan sebelumnya, akan tetapi kelebihan KUDUwave™ Pro adalah pengoperasian dapat dilakukan secara manual dan secara otomatis, pembangkitan *stimuli*, penggambaran hasil dalam bentuk audiogram hingga interpretasinya pada Gambar 2.7 dapat dilakukan secara otomatis,

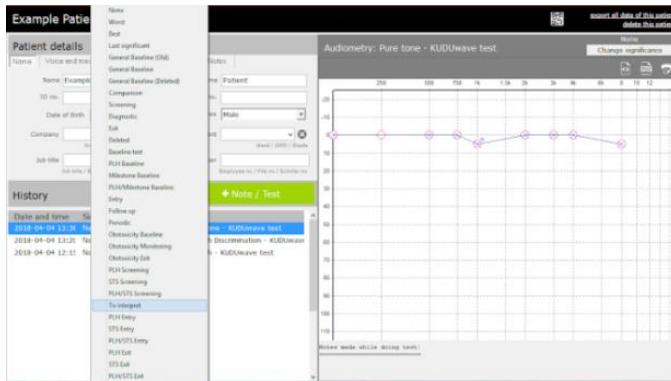
serta pengoperasiannya dapat dilakukan di ruang terbuka. Selain itu, terdapat fitur *active noise monitoring* yang berfungsi untuk memonitor tingginya level bising latar belakang saat melakukan uji audiometri, sehingga dimungkinkan untuk menghentikan sementara pengujian hingga level bising latar belakang kembali rendah (Anonim, 2018). *Headphone* pada audiometer KUDUwave ini mampu memberikan *masking* berupa *narrow-band noise* ketika uji audiometri nada murni berlangsung untuk menghalangi bising latar belakang masuk ke dalam pendengaran, dengan level bising latar belakang maksimal seperti pada Tabel 2.1 (Anonim, 2018; Anonim, 2019). Dari Tabel 2.1 dapat diketahui bahwa audiometer KUDUwave merupakan audiometer ruang terbuka yang sudah teruji dan memenuhi standard uji audiometri. Sehingga dari Tabel 2.1 tersebut, dapat dikatakan bahwa dengan menggunakan *headphone* dan audiometer KUDUwave, uji audiometri dapat dilakukan di ruang terbuka mana saja dengan bising latar belakang yang jauh lebih tinggi daripada di dalam ruang kedap suara. Karena *headphone* pada audiometer KUDUwave memiliki keunggulan yang tidak dimiliki oleh *headphone-headphone* lain, yaitu mampu memberikan “*double attenuation*” atau reduksi bising dua kali lipat dibanding *headphone* biasa, karena adanya *eartips* yang dimasukkan ke dalam lubang telinga yang kemudian ditutup oleh *circum-aural headphone* (Brennan-Jones, dkk, 2016).



**Gambar 2.8** Audiometer KUDUwave™ Pro (Anonim, 2018)

**Tabel 2. 1 Kemampuan Reduksi Bunyi Audiometer KUDUwave (Anonim, 2018)**

<b>Tingkat Bising Latar Belakang yang Diiijinkan</b>					
<b>Frekuensi (Hz)</b>	<b>Atenuasi Rata-Rata pada <i>Headset Active Noise Cancelling</i> (dBA)</b>	<b>Atenuasi Rata-Rata <i>Headphone</i> KUDUwave (dBA)</b>	<b>Selisih Atenuasi (dBA)</b>	<b>Level Bising Latar Belakang yang Diiijinkan untuk Melakukan <i>Screening</i> Audiometri (dBA)</b>	<b>Level Bising Latar Belakang Maksimal yang Diiijinkan Ketika Menggunakan KUDUwave (dBA)</b>
<b>125</b>	-14,19	14,81	11,81	35,80	63,81
<b>250</b>	-14,67	29,02	24,02	29,32	62,02
<b>500</b>	-18,25	40,55	33,55	18,75	55,55
<b>1000</b>	-30	40,80	25,80	24,00	49,80
<b>2000</b>	-35,80	39,30	13,30	32,20	44,30
<b>4000</b>	-44,04	53,26	22,26	37,96	59,26
<b>8000</b>	-40,14	44,66	20,66	33,86	55,66



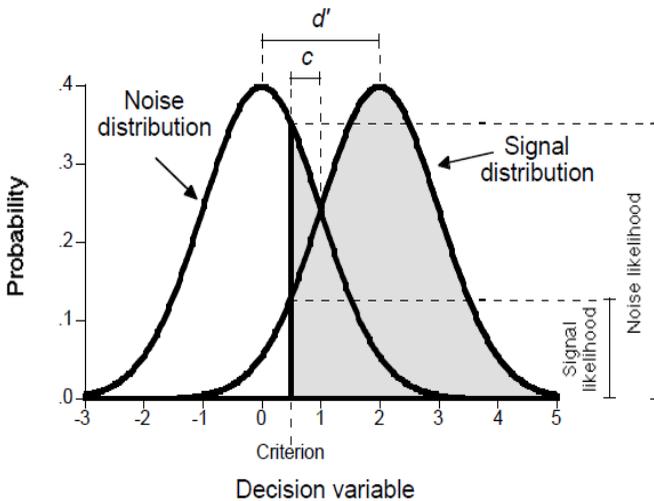
**Gambar 2.9** User interface KUDUwave™ Pro (Anonim, 2019)

## 2.6 Teori Deteksi Sinyal (*Signal Detection Theory or SDT*)

Pada uji audiometri yang dilakukan pada tugas akhir ini melibatkan dua metode deteksi sinyal, yaitu *yes-no paradigm* dan *three-forced choice* (Stanislaw & Todorov, 1999).

### 2.6.1 *Yes-no Paradigm*

*Yes-no paradigm* atau paradigma ya atau tidak ini merupakan percobaan sinyal yang membangkitkan satu atau lebih sinyal, dan percobaan *noise*, yang menghadirkan satu atau lebih *stimuli noise*. Misalnya, paradigma ya atau tidak dalam pengujian persepsi pendengaran membangkitkan *stimulus* berupa sinyal sinusoidal (nada murni) selama uji coba sinyal dan tidak membangkitkan *stimulus* berupa nada murni ketika uji *noise*. Setelah setiap langkah percobaan, subjek menunjukkan apakah mendengar sinyal (nada murni) yang dibangkitkan atau tidak. Berdasarkan teori deteksi sinyal, naracoba dalam uji *yes-no paradigm* memusatkan respon mereka pada nilai yang dicapai variabel ke putusan setiap percobaan. Jika variabel keputusan cukup tinggi selama percobaan yang diberikan, subjek menjawab ya (sinyal dibangkitkan) atau sebaliknya, jika tidak, subjek merespon tidak (tidak ada sinyal yang disajikan). Nilai yang mendefinisikan cukup tinggi disebut kriteria. Pada uji coba sinyal, respon dianggap benar jika “ya” dan disebut *hit*. Pada uji coba *noise*, respon “ya” dianggap salah dan



**Gambar 2. 10** Distribusi variabel keputusan di seluruh uji *noise* dan sinyal

disebut alarm palsu (*false alarm*). *Hit rate* (probabilitas merespon ya pada uji sinyal) dan *false-alarm* (probabilitas merespon ya pada uji *noise*) sepenuhnya menggambarkan kinerja metode ini. Jika naracoba menggunakan variabel keputusan yang sesuai, dan jika subjek mampu membedakan antara sinyal dan *noise*, variabel keputusan akan dipengaruhi oleh *stimuli* yang disajikan. Selain itu, faktor-faktor seperti *noise* pada saraf dan fluktuasi tingkat kefokusian dapat memengaruhi variabel keputusan, bahkan jika *stimulus* tetap konstan. Dengan demikian, variabel keputusan akan memiliki rentang nilai yang berbeda di seluruh uji sinyal dan berbagai nilai yang berbeda di seluruh uji coba *noise*.

Distribusi nilai yang *direalisasikan* oleh variabel keputusan terhadap percobaan sinyal adalah distribusi sinyal, sedangkan distribusi yang sesuai untuk uji *noise* adalah distribusi *noise*. *Hit rate* sama dengan proporsi dari distribusi sinyal yang melebihi kriteria, sedangkan laju *false alarm* sama dengan proporsi distribusi *noise* yang melebihi kriteria. Gambar 2.10 mengilustrasikan variabel keputusan (diukur secara random) memiliki rata-rata 0 dan standard deviasi 1 pada percobaan *noise*.

Pada uji sinyal, rerata lebih tinggi ( $M = 2$ ), tetapi standard deviasi tidak berubah. Tanggapan ya dibuat untuk percobaan dimana variabel keputusan melebihi 0,5; uji coba ini terletak di daerah yang diarsir dari dua distribusi. Daerah yang diarsir dari distribusi *noise* merupakan 30,85% dari seluruh distribusi *noise*, sehingga tingkat alarm palsu adalah 0,3085. Sebaliknya, 93,32% dari distribusi sinyal ditunjukkan pada bagian Gambar yang diarsir (lihat Gambar 2.10), yang berarti nilai *hit rate* sebesar 0,9332.

Jika kriteria diatur ke nilai yang lebih rendah (misalnya Pindah ke paling kiri pada Gambar 2.10), maka hampir selalu akan dilampaui pada uji sinyal. Sebagian besar akan menghasilkan respon ya dengan *hit rate* yang tinggi. Namun, kriteria tersebut juga akan dilampaui pada sebagian besar uji coba *noise*, menghasilkan proporsi jawaban ya yang tinggi pada uji coba *noise* (yaitu, tingkat alarm palsu yang tinggi). Dengan demikian, kriteria liberal bias subjek ke arah menjawab ya, terlepas dari *stimuli*. Sebaliknya, nilai yang tinggi, atau konservatif, untuk kriteria membuat bias subjek terhadap respon “tidak”, karena kriteria tersebut jarang akan dilampaui pada uji sinyal atau *noise*. Ini akan menghasilkan tingkat alarm palsu yang rendah, tetapi juga *hit rate* yang rendah. Satu-satunya cara untuk meningkatkan *hit rate* sekaligus mengurangi *false-alarm rate* adalah dengan mengurangi tumpang tindih antara sinyal dan distribusi *noise*. Hit dan *false-alarm* mencerminkan dua faktor: bias respon (kecenderungan umum untuk merespon ya atau tidak, sebagaimana ditentukan oleh lokasi kriteria) dan tingkat tumpang tindih antara sinyal dan distribusi kebisingan.

### 2.6.2 *n-Forced Choice*

Dalam uji *forced-choice*, pada setiap percobaan dibangkitkan satu sinyal dan satu atau lebih *stimuli noise*. Naracoba diminta menunjukkan *stimulus* mana yang merupakan sinyal. Opsi respon diberi label sesuai dengan jumlah total *stimuli* yang disajikan dalam setiap percobaan; pada uji *n-forced choice* dibangkitkan satu sinyal dan *stimuli noise* sejumlah  $n-1$ . Misalnya, pada uji *three-forced choice* dibangkitkan satu *stimulus* berupa sinyal sinusoidal (nada murni) dan dua gangguan (*noise*) dalam setiap percobaan. Dan pada pengujian yang berlangsung tersebut, naracoba dipaksa

untuk menunjukkan mana dari tiga rangsangan yang merupakan sinyal (nada murni).

Setiap *stimulus* dalam pengujian *n-forced choice* memengaruhi variabel keputusan. Dengan demikian, setiap pengujian *n-forced choice* menghasilkan nilai variabel keputusan  $n$ . Naracoba diasumsikan membandingkan nilai  $n$  (atau rasio kemungkinan yang sesuai) dengan satu sama lain dan menentukan mana yang terbesar dari sinyal yang dibangkitkan. Karena perbandingan ini tidak melibatkan kriteria, pengujian *n-forced choice* hanya cocok untuk mengukur sensitivitas.

Teori deteksi sinyal menyatakan bahwa, jika subjek tidak memilih beberapa dari alternatif  $n$  yang berkaitan, maka proporsi respon benar pada uji  $n$ -AFC adalah dengan mengukur sensitivitas yang tidak terpengaruh oleh bias respon (Green & Swets, 1966). Ukuran ini berkisar dari  $1/n$  (kinerja kesempatan) hingga maksimum 1 (kinerja sempurna). Nilai kurang dari  $1/n$  dapat dihasilkan dari error sampling atau respon ketidakpastian; nilai minimum yang memungkinkan sebesar 0.

## 2.7 Fitur *Noise cancellation* pada *Headphone*

*Headphone* yang digunakan pada tugas akhir ini adalah yang memiliki fitur *dual-microphone noise-rejecting* atau *active noise cancelling*. Fitur ini mampu mengurangi kebisingan eksternal untuk masuk ke pendengaran pengguna *headphone* tersebut dengan cara memberikan *masking*.

*Noise cancellation* pada *headphone* berfungsi untuk mengurangi sebagian atau total dari bising latar belakang. *Headphone* yang mampu mengurangi level bising latar belakang yang masuk ke telinga pengguna pada umumnya menggunakan fitur *active noise control* atau yang lebih sering disebut dengan *active noise cancellation*. Fitur ini memiliki dua jenis metode, yaitu aktif dan pasif (Agarwal, 2019).

*Headphone passive cancellation* mengurangi atau menghalangi bising eksternal dengan menggunakan bahan atau partisi yang mampu menyaring *noise* pada perangkat *headphone*-nya, pada umumnya bahan tersebut terdapat pada lapisan busa

(*earmuff*) atau bahan penyerap suara yang lain. Dengan begitu bising latar belakang bisa tereduksi 15-20 dB. Dan *headphone* dengan fitur *passive noise cancellation* bekerja optimum pada frekuensi tinggi (Milosevic & Schaufelberger, 2005; Harris W. , 2007; Agarwal, 2019).

Sedangkan *active noise cancellation* mengacu pada *noise cancellation* dimana suara yang tidak diinginkan dikurangi dengan penambahan suara kedua yang secara khusus dirancang untuk membatalkan yang pertama. Fitur ini memanfaatkan fenomena interferensi gelombang dalam prinsip kerjanya. Dimana ketika dua gelombang dengan amplitudo dan frekuensi yang sama, tetapi dengan fasa terbalik dan berjalan pada arah yang sama, maka kedua gelombang tersebut akan menetralkan satu sama lain, akibat adanya interferensi destruktif. Suara akan menghilang dan energi suara akan berubah menjadi panas. *Headphone* dengan fitur ini pada umumnya memiliki baterai yang terpasang agar sirkuit penghilang bising berfungsi dengan baik. *Active noise cancellation* tidak hanya menggunakan lapisan yang secara pasif memblokir suara, mikrofon yang ditanam di lubang telinga *headphone* secara aktif menganalisis tingkat kebisingan sekitar dan memantulkan gelombang suara kembali ke telinga pengguna hingga mampu meredam atau membatalkan kebisingan eksternal. *Active noise cancellation* adalah kontrol yang dilakukan menggunakan daya sebagai sumber. Dan fitur ini bekerja dengan baik pada semua frekuensi, akan tetapi paling optimum pada frekuensi rendah (Milosevic & Schaufelberger, 2005; Harris W. , 2007; Agarwal, 2019).

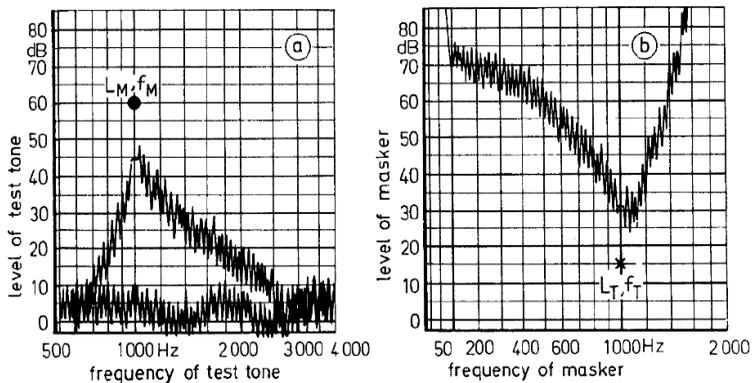
## 2.8 *Masking*

Ketika dua atau lebih nada murni diperdengarkan secara bersamaan, efek yang disebut sebagai “*masking*” dapat terjadi, dimana masing-masing nada menjadi lebih sulit atau tidak mungkin dipersepsikan oleh telinga akibat keberadaan nada lainnya. Pada kasus seperti itu, nada yang menyebabkan efek *masking* disebut *masking sound* atau *masker*, sedangkan nada yang ditutupi disebut *masked sound* atau *maskee*. *Masking* merupakan

ukuran efektifitas *filter* dalam mereduksi *maskee* akibat keberadaan *masker* yang digambarkan melalui grafik hubungan antara *masking loudness level* terhadap frekuensi *masker* sebagai kurva respon *filter* (Howard D. M., 2009). *Masking* dapat dibedakan menjadi dua jenis menurut *maskee* yang tereduksi, yaitu *masking* total dan *masking* parsial. Dengan *masking* total, maka bisung atau bunyi yang tidak termasking akan tidak terdengar sama sekali. Sedangkan *masking* parsial mampu mengurangi kenyaringan atau *loudness* nada uji tetapi tidak menutupi nada uji sepenuhnya. Efek ini sering terjadi dalam percakapan. Adapun beberapa jenis *masker* yang biasa digunakan, antara lain *broad-band noise*, *narrow-band noise*, *low-pass* atau *high-pass noise*, *pure* dan *complex tones* atau banyak nada (Fastl & Zwicker, 2007).

## 2.9 Psychoacoustic Tuning Curve

Efek *masking* nada murni dengan nada murni dapat diplot atau digambarkan dengan berbagai cara. Ada empat variabel, yaitu frekuensi dan level dari *tone* uji, frekuensi dan level *masking*. Pada umumnya, level ambang dari *tone* uji pada *masker* dengan level dan frekuensi tertentu yang dibangkitkan diplot sebagai fungsi frekuensi *tone* uji. Gambar 2.11 (a) merupakan pola *masking* yang diperoleh dengan metode *tracking* disertai kurva batas ambang dengar. Sedangkan kurva *tuning* psikoakustik memiliki pola yang berbeda, dimana pada kasus ini level *masker* yang diperlukan untuk menyamarkan nada uji dengan frekuensi dan level rendah yang diberikan diplot sebagai fungsi frekuensi *masker*, untuk pengukurannya juga menggunakan metode *tracking*. Pada kasus ini, subjek mendengarkan nada uji tetapi level *masker* divariasikan untuk membuat nada uji terdengar dan tidak terdengar. Gambar 2.11 (b) menampilkan hasil yang menunjukkan kurva pertukaran parameter dan ordinat dapat mengubah karakteristik kurva *masking*. Kurva *tuning* dapat diukur secara langsung oleh subjek berpengalaman menggunakan metode pelacakan Bekesy. Kurva *masking* klasik dan kurva *tuning* psikoakustik mewakili data identik yang dapat ditransformasikan dari satu ke yang lain dengan hanya menukar ordinat dan parameter. Sehingga *psychoacoustic*



**Gambar 2. 11** Contoh penggunaan metode pelacakan untuk mengukur ambang batas kontinu pada ambang sunyi dan tertutup, sebagai fungsi dari frekuensi nada uji (a) dan kurva tala psikoakustik (b).

*tuning curve* dan kurva *tuning* yang sudah disederhanakan merupakan salah satu *tools* yang berguna untuk mengukur profil frekuensi dan *power* pada telinga normal dan rusak. Kurva *tuning* dari telinga normal dan telinga rusak memiliki perbedaan yang khas (Zwicker & Schorn, 1978; Fastl & Zwicker, 2007).

## 2.10 Parameter Akustik Lingkungan

Bising latar belakang dapat didefinisikan sebagai suara yang berasal bukan dari sumber suara utama atau suara yang tidak diinginkan. Menurut ISO 3382-3, bising latar belakang yang digunakan merupakan bunyi kontinu yang bukan disebabkan oleh manusia melainkan suara dari sistem HVAC, bising kendaraan sekitar ruang, mesin kantor, atau sejenisnya. Dalam pelaksanaan uji audiometri, bising latar belakang berperan penting dalam penentuan nilai ambang dengar seseorang, karena semakin tinggi level dari bising latar belakang dapat memperbesar nilai ambang bunyi seseorang (D.W Swanepoel, dkk, 2015).

### 2.10.1 Tingkat Kebisingan Sinambung Setara (LAeq)

Tingkat kebisingan sinambung setara (*equivalent continuous level*) adalah tingkat kebisingan dari kebisingan yang berubah –

ubah (fluktuatif) selama selang waktu tertentu, yang setara dengan tingkat kebisingan sama (*steady*) pada selang waktu yang sama. Satuannya adalah dB(A). Tujuan dari LAeq adalah untuk menyediakan ukuran angka tunggal dari kebisingan rata – rata selama periode waktu tertentu yang harus selalu ditentukan (lihat Persamaan 2.3) (KepMenLH No.48/MenLH/11/1996). Persamaan LA eq ditunjukkan pada Persamaan 2.3 merupakan fungsi tidak linear logaritmis yang secara prinsip adalah rerata dari banyak pengukuran ke-i.

$$L_{aeq} = 10 \log(1/T) \sum T_i \cdot 10^{L_i/10} \text{ dB(A)} \quad (2.3)$$

dimana T adalah waktu referensi total,  $T_i$  adalah jangka waktu pada level  $L_i$ ,  $L_i$  adalah tingkat tekanan bunyi pertama.

### 2.10.2 Jenis-Jenis Noise

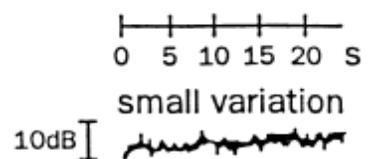
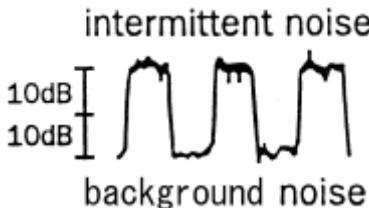
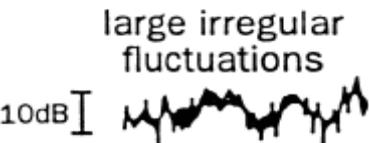
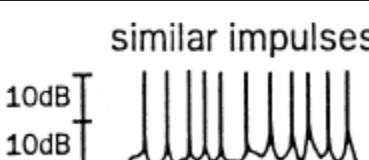
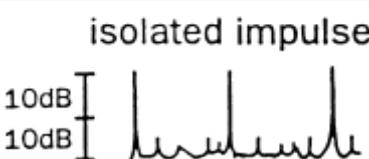
Berdasarkan ISO 12001, bising atau *noise* terbagi menjadi beberapa jenis, antara lain *steady noise*, *non steady noise*, *tonal* dan *impulsive noise*.

- a. *Steady noise* adalah *noise* dengan fluktuasi kecil .
- b. *Non-steady noise*, *noise* dikatakan tidak stabil ketika tingkat tekanan bunyi nya bergeser secara signifikan dalam suatu waktu. Jenis *noise* ini dapat dibagi menjadi *intermittent noise* dan *fluctuating noise*.
  - *Intermittent noise* adalah *noise* yang tingkat kekerasan bunyinya turun hingga satu tingkat dengan tingkat kekerasan bising latar belakang beberapa kali dalam suatu waktu.
  - *Fluctuating noise* adalah *noise* yang tingkat kekerasannya berubah secara terus-menerus.
  - *Impulsive noise* adalah *noise* yang terdiri dari satu atau lebih semburan energi bunyi, masing-masing dengan durasi kurang dari sekitar 1 detik.

Tabel 2.2 merupakan karakteristik *noise* yang diklasifikasikan berdasarkan variasi waktu terjadinya. Kebisingan konstan yang muncul dan hilang dinamakan kebisingan *intermittent*. Kebisingan fluktuatif bervariasi secara signifikan tetapi memiliki rata-rata

jangka panjang yang konstan (LAeq, T). Kebisingan impuls berlangsung selama kurang dari satu detik.

**Tabel 2. 2** Jenis-Jenis Kebisingan

	Karakteristik
 <p>0 5 10 15 20 s small variation 10dB</p>	Bunyi konstan dan kontinyu
 <p>intermittent noise 10dB 10dB background noise</p>	Konstan, tapi putus-putus
 <p>large irregular fluctuations 10dB</p>	Bunyi fluktuatif secara periodik
 <p>similar impulses 10dB 10dB</p>	Fluktuasi bunyi non-periodik
 <p>isolated impulse 10dB 10dB</p>	Impuls berulang

## 2.11 Analisis Statistik

Analisis statistik pada tugas akhir ini dilakukan dengan menggunakan beberapa perhitungan, antara lain

### 2.11.1 Penentuan Jumlah Sampel

Sampel adalah sebagian dari jumlah dan karakteristik yang dimiliki oleh suatu populasi (Sugiyono, 2008). Penentuan jumlah sampel naracoba pada tugas akhir ini dilakukan dengan menggunakan bantuan kalkulator sampling online Raosoft. Dengan pertimbangan beberapa hal, antara lain

a. *Margin of error*

*Margin of error* adalah elemen statistik yang merepresentasikan jumlah kesalahan dalam pengambilan sampel pada suatu survey. *Margin of error* mengukur seberapa dekat data yang didapat dari sampel dengan data yang ada pada populasi sesungguhnya. Makin besar *margin of error*, makin jauh suatu sampel dapat dikatakan mewakili populasi sesungguhnya. Makin kecil *margin of error*, makin dekat data pada sampel dengan data populasi sesungguhnya. *Margin of error* muncul karena data populasi yang tidak tersampel dengan sempurna (Anonim, Statistics Dictionary, 2018). Persamaan 2.4, 2.5 dan 2.6 merupakan beberapa rumus sederhana untuk menghitung nilai *margin of error* (E) dengan n yang merupakan jumlah sampel, antara lain

- *Margin of error* untuk sampel dengan derajat kepercayaan 99%

$$E = \frac{1,29}{\sqrt{n}} \times 100\% \quad (2.4)$$

- *Margin of error* untuk sampel dengan derajat kepercayaan 95%

$$E = \frac{0,98}{\sqrt{n}} \times 100\% \quad (2.5)$$

- *Margin of error* untuk sampel dengan derajat kepercayaan 90%

$$E = \frac{0,82}{\sqrt{n}} \times 100\% \quad (2.6)$$

- b. **Derajat Kepercayaan (*confidence level*)**  
Tingkat kepercayaan mengacu pada persentase dari semua sampel yang mungkin yang dapat diharapkan untuk memasukkan parameter populasi yang sebenarnya. Tingkat kepercayaan mengacu pada persentase dari semua sampel yang mungkin yang dapat diharapkan untuk memasukkan parameter populasi yang sebenarnya. Misalnya, semua sampel dianggap dipilih dari populasi yang sama, dan interval kepercayaan dihitung untuk setiap sampel. Derajat kepercayaan 99% menyiratkan bahwa 99% dari interval kepercayaan akan mencakup parameter populasi sebenarnya (Anonim, Statistics Dictionary, 2018).
- c. **Ukuran Populasi**  
Ukuran populasi dapat dikatakan sebagai jumlah aktual individu dalam suatu populasi. Pada tugas akhir ini ukuran populasi dari subjek penelitian dianggap sebesar 20000. Hal tersebut didasari oleh asumsi bahwa ukuran sampel tidak banyak berubah apabila populasi lebih besar dari 20000.
- d. **Distribusi Respon**  
Pada tugas akhir ini, distribusi respon diasumsikan sebesar 50%, dengan alasan jumlah tersebut mampu menampilkan ukuran sampel terbesar.

### 2.11.2 Uji Normalitas Shapiro-Wilk

Tes Shapiro-Wilk adalah salah satu tes yang paling populer untuk diagnosa asumsi normalitas yang memiliki sifat kekuatan yang baik dan didasarkan pada korelasi dalam pengamatan yang diberikan dan skor normal yang terkait. Statistik uji Shapiro-Wilk diturunkan oleh Shapiro dan Wilk (1965).

$$W = \frac{(\sum a_i y_{(i)})^2}{\sum (y - \bar{y})^2} \quad (2.7)$$

Persamaan 2.7 merupakan persamaan yang digunakan dalam pengujian normalitas Shapiro-wilk dimana  $y_{(i)}$  adalah statistik urutan ke- $i$  dan  $a_i$  adalah nilai yang diharapkan dari statistik urutan normal (Das, 2016). Untuk pengamatan yang didistribusikan secara independen dan identik, nilai  $a_i$  dapat diperoleh dari Tabel yang disajikan oleh Shapiro dan Wilk (1965) untuk ukuran sampel hingga 50.  $W$  dapat dinyatakan sebagai kuadrat dari koefisien korelasi antara  $i$  dan  $y_{(i)}$ . Jadi  $W$  adalah lokasi dan skala-invarian dan selalu kurang dari atau sama dengan 1. Dalam plot  $y_{(i)}$  terhadap  $i$  garis lurus yang tepat akan mengarah ke  $W$  sangat dekat dengan 1. Jadi jika  $W$  secara signifikan kurang dari 1, hipotesis Normalitas akan ditolak. Sehingga dari sini dapat diketahui langkah selanjutnya dalam menentukan metode uji statistik yang akan digunakan.

### 2.11.3 Rata-Rata (*Mean*) dan Standard Deviasi (SD)

*Mean* ( $\bar{x}$ ) atau yang biasa disebut sebagai rata-rata, merupakan jumlah kumpulan titik data ( $\sum x_i$ ) yang dibagi dengan jumlah titik data ( $n$ ) (lihat Persamaan 2.8).

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (2.8)$$

Standard deviasi adalah statistik yang mengukur dispersi dataset relatif terhadap rata-rata dan dihitung sebagai akar kuadrat dari varians. Nilai ini dihitung sebagai akar kuadrat dari varians dengan menentukan variasi antara setiap titik data relatif terhadap rata-rata. Jika titik data lebih jauh dari rata-rata, ada penyimpangan yang lebih tinggi dalam kumpulan data; dengan demikian, semakin menyebar data, semakin tinggi standard deviasi.

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2.9)$$

Persamaan 2.9 merupakan rumus yang digunakan untuk menghitung standard deviasi, dimana  $x_i$  merupakan nilai dari titik ke- $i$  dalam kumpulan data, sedangkan  $\bar{x}$  merupakan nilai rata-rata dari kumpulan data dan  $n$  adalah jumlah titik data dalam kumpulan data (Hargrave, 2019)

#### 2.11.4 Perbedaan Rata-Rata Absolut ( $QA_{i-avg}$ )

Perbedaan rata-rata absolut ini dihitung dengan alasan karena perbedaan rata-rata absolut lebih dianjurkan daripada perbedaan rata-rata nyata karena perbedaan rata-rata absolut dapat menghitung variasi nilai positif dan negatif, sedangkan pada perhitungan perbedaan rata-rata nyata, variasi positif dan negatifnya dapat saling menghilangkan (saling menjadi pembuat nilai nol) (Eikelboom, dkk, 2013; Swanepoel, dkk, 2010). Perhitungan ini didasarkan dari penelitian analisis statistik uji audiometri sebelumnya, dimana untuk perbedaan rata-rata absolut nilai ambang dengar dari dua uji audiometri dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.10 dan 2.11 berikut

$$QA_{i-avg} = |QA_{i1} - QA_{i2}| \quad (2.10)$$

$$QA_i = |Q_m - Q_i| \quad (2.11)$$

Dari Persamaan 2.10 dan 2.11 dapat diketahui bilamana perbedaan absolut rata-rata dapat diperoleh dari hasil mutlak selisih rata-rata perbedaan absolut dari nilai ambang dengar naracoba ( $Q_m$ ) dengan nilai ambang dengar normal ( $Q_i = 25$ ).

#### 2.11.5 Wilcoxon Signed Rank Test

Uji peringkat bertanda Wilcoxon adalah hipotesis statistik non-parametrik yang digunakan untuk membandingkan dua sampel terkait, sampel yang cocok, atau pengukuran berulang pada sampel tunggal untuk menilai apakah peringkat rata-rata populasi mereka berbeda. Ini dapat digunakan sebagai alternatif untuk uji-t siswa berpasangan, uji-t untuk pasangan yang cocok, atau uji-t untuk sampel dependen ketika populasi tidak dapat diasumsikan berdistribusi normal. Tes peringkat bertanda Wilcoxon adalah tes

nonparametrik yang dapat digunakan untuk menentukan apakah dua sampel dependen dipilih dari populasi yang memiliki distribusi yang sama. Tes ini dinamai untuk Frank Wilcoxon (1892-1965) yang, dalam satu makalah, mengusulkan keduanya dan peringkat peringkat untuk dua sampel independen (Wilcoxon, 1945) Tes ini dipopulerkan oleh Sidney Siegel (1956) dalam bukunya yang berpengaruh tentang statistik non-parametrik. Siegel menggunakan simbol T untuk nilai yang terkait, tetapi tidak sama. Karena itu, uji ini kadang-kadang disebut sebagai uji T Wilcoxon, dan statistik uji dilaporkan sebagai nilai T (Refugio, 2018).

Penulis memilih untuk menggunakan metode uji Kruskal Wallis ini karena mengetahui bahwa data penelitian tidak berdistribusi normal berdasarkan uji normalitas yang sudah dilakukan menggunakan metode Shapiro-Wilk pada perangkat lunak SPSS. Dimana ketika nilai signifikansi kurang dari nilai tingkat kepercayaan maka data dianggap tidak berdistribusi normal.

Adapun asumsi dari uji peringkat bertanda Wilcoxon ini, antara lain :

- a. Data dipasangkan dan berasal dari populasi yang sama.
- b. Setiap pasangan dipilih secara acak dan mandiri.
- c. Data diukur pada setidaknya skala interval ketika, seperti biasa, perbedaan dalam pasangan dihitung untuk melakukan tes (meskipun itu cukup bahwa perbandingan dalam pasangan berada pada skala ordinal).

Dasar pengambilan keputusan untuk menerima atau menolak  $H_0$  pada uji *wilcoxon signed rank test* adalah sebagai berikut:

- Asymp.Sig < 0,01 :  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima.
- Asymp.Sig > 0,01 :  $H_0$  diterima dan  $H_1$  ditolak.

Dengan  $H_0$  dan  $H_1$  sebagai berikut :

- $H_0$  : Tidak ada perbedaan yang signifikan antara kedua Audiometer.
- $H_1$  : ada perbedaan yang signifikan antara kedua audiometer.

#### **2.11.6 Koreksi Bonferroni**

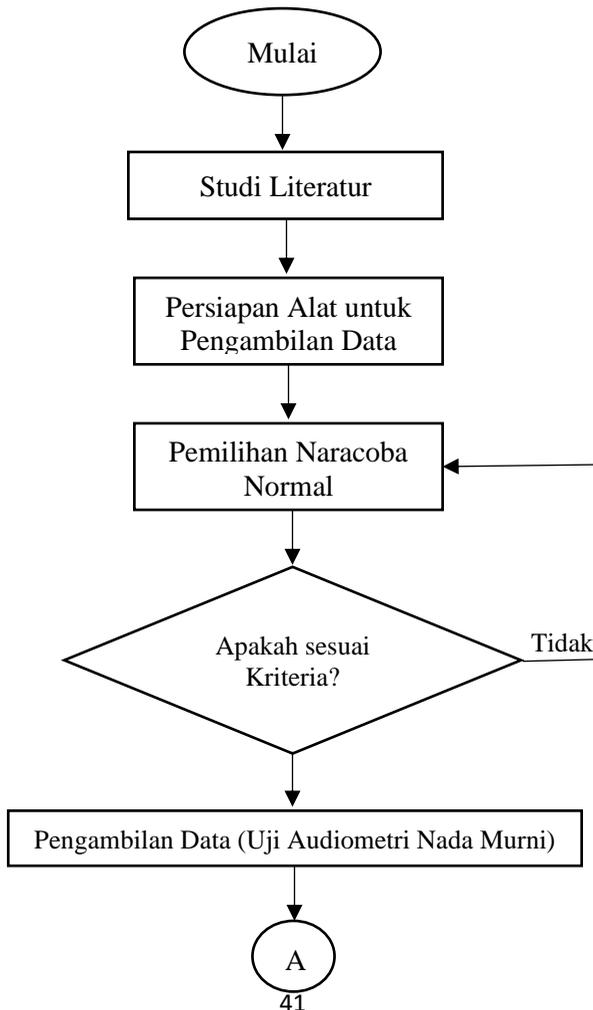
Koreksi Bonferroni adalah penyesuaian yang dilakukan pada nilai-nilai P ketika beberapa uji statistik dependen atau independen

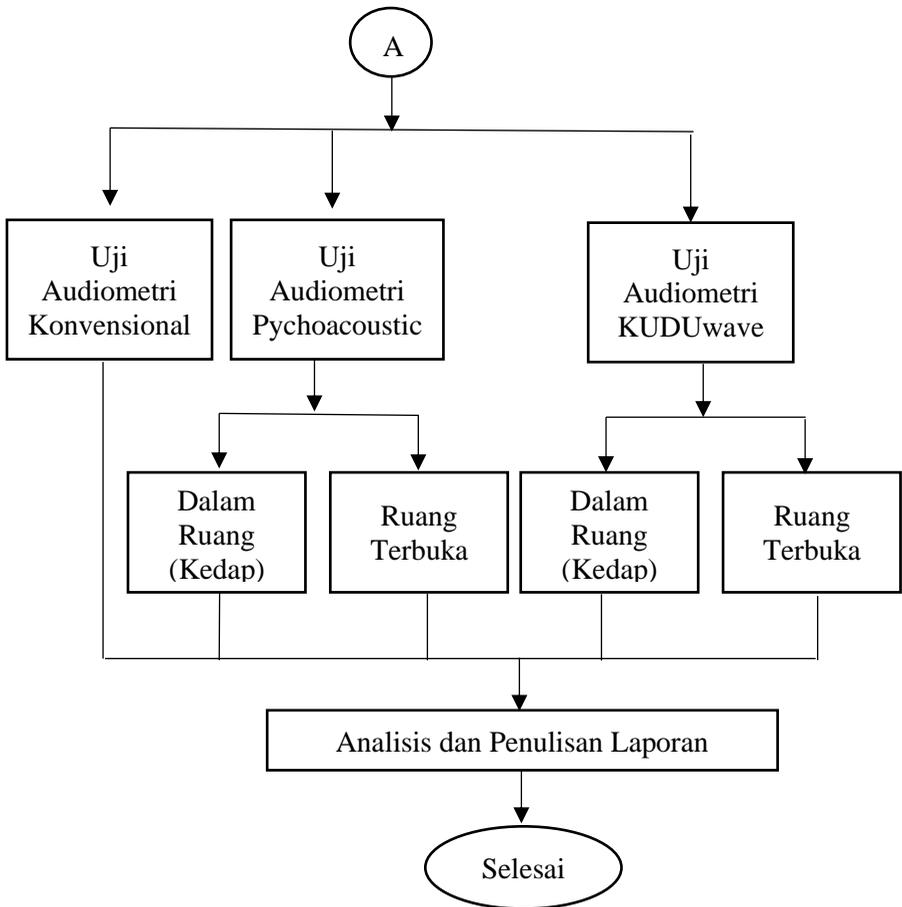
dilakukan secara bersamaan pada satu set data tunggal. Untuk melakukan koreksi Bonferroni, bagi nilai P kritis ( $\alpha$ ) dengan jumlah perbandingan yang dibuat. Misalnya, jika 10 hipotesis sedang diuji, nilai P kritis baru akan menjadi  $\alpha/10$ . Kekuatan statistik dari penelitian ini kemudian dihitung berdasarkan nilai P yang dimodifikasi ini. Koreksi Bonferroni digunakan untuk mengurangi kemungkinan mendapatkan hasil positif palsu (kesalahan tipe I) ketika beberapa tes berpasangan dilakukan pada satu set data. Pada tugas akhir ini, koreksi Bonferroni diterapkan untuk menyesuaikan beberapa perbandingan yang ada.

Halaman ini memang dikosongkan

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bahasan ini akan dijelaskan mengenai langkah-langkah dalam melakukan pengambilan data berupa hasil pengujian audiometri. Gambar 3.1 merupakan diagram alir dari penelitian yang dilakukan.





**Gambar 3.1** Diagram alir tugas akhir

### 3.1 Sampel Uji

Penentuan jumlah naracoba sebagai sampel uji dilakukan dengan bantuan kalkulator online Raosoft. Dengan pertimbangan beberapa kondisi yang sudah dijelaskan pada sub bab 2.7.1, diperoleh jumlah sampel sebanyak 25 naracoba dengan asumsi jumlah tersebut mampu mewakili 74,2% dari jumlah populasi sesungguhnya dengan derajat kepercayaan sebesar 99%. Dan piloting sejumlah 7 orang naracoba.

### 3.2 Uji Audiometri Konvensional

Uji audiometer konvensional pada tugas akhir ini dilakukan dengan menggunakan audiometer konvensional (Itera dan Madsen astera<sup>2</sup>) yang ada di Poli Audiologi RSUD Dr. Soetomo, Surabaya.

Tes audiometri tersebut menggunakan metode *yes-no paradigm* dengan Hughson-Westlake yang dimodifikasi (ISO 8253-1:2010), dengan frekuensi uji *air conduction* 125, 250, 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 6000 dan 8000 Hz (Schmidt J. H., et al., 2009; Kutz, dkk, 2012; Brennan-Jones, dkk, 2016). Pada uji audiometri menggunakan audiometer konvensional dengan metode *yes-no paradigm* ini, hanya terdapat satu tombol respon sebagai alat respon bagi naracoba. Ketika nada murni dibangkitkan dan naracoba mendengar nada murni tersebut maka naracoba harus menekan tombol respon yang sudah diberikan, sedangkan kalau naracoba tidak perlu menekan tombol respon. Selain itu, biasanya audiometer konvensional ini juga tidak disertai tombol respon. Dalam keadaan tersebut, naracoba diminta untuk memberikan respon dengan cara lain ketika mendengar nada murni yang dibangkitkan, yaitu dengan mengucapkan kata “ya”, “dengar” atau yang lain sesuai arahan dari dokter penguji. Adapun prosedur pemeriksaan pada uji audiometri nada murni, yakni dimulai dengan sinyal nada yang paling sering didengar (*familiarization*) kemudian baru dilakukan pengukuran ambang pendengaran. Untuk menentukan nada *familiarization* ini ada dua cara yang bisa dilakukan, yakni :

- a. Dengan memulai dari 1000 Hz, dimana pendengaran paling stabil, lalu secara bertahap meningkatkan oktaf lebih tinggi hingga terdengar.
- b. Pemberian nada 1000 Hz pada 30 dB. Jika terdengar, lakukan pemeriksaan ambang pendengaran. Jika tidak terdengar nada awal di tingkatkan intensitas bunyi hingga 50 dB, dengan menaikkan tiap 10 dB hingga terdengar.

*Familiarization* ini tidak selalu dilakukan kepada setiap kasus, terutama pada kasus forensik atau pasien dengan riwayat ketulian (Dhingra, 2007).

Pengujian audiometri menggunakan audiometer konvensional dimulai dengan membangkitkan *tone* secara acak pada tingkat yang mudah didengar (untuk uji audiometri konvensional dimulai dari level 30 dBHL), dan kemudian naracoba diminta untuk menekan tombol respon apabila mendengar bunyi nada murni yang dibangkitkan. Jika tidak terdapat respon dari naracoba maka level dinaikkan 5 dBHL hingga naracoba mendengar, dan apabila terdapat respon dari naracoba maka level akan diturunkan 10dBHL hingga naracoba tidak memberikan respon. Setelah level awal ditetapkan, level suara diubah menggunakan metode “10 down, 5 up” sebagai berikut (Howard & Angus, 2009):

1. Uji audiometri dimulai dengan membangkitkan nada murni frekuensi 1000 Hz pada level 30 dBHL.
2. Level dikurangi 10 dBHL hingga bunyi tidak didengar naracoba.
3. Level dinaikkan 5 dBHL hingga suara terdengar.
4. Langkah 2 dan 3 diulangi sampai subjek merespon pada tingkat yang sama setidaknya 50% dari waktu, yang didefinisikan sebagai dua dari dua, dua dari tiga atau dua dari empat tanggapan.
5. Langkah 1-4 diulangi pada frekuensi yang lain.

- Lokasi

Lokasi yang digunakan dalam pengambilan data tugas akhir ini adalah di dalam ruang kedap suara Poli Audiologi SMF THT-KL Rumah Sakit Umum Daerah Dr. Soetomo, Surabaya. Pemilihan lokasi ini didasari oleh alasan bahwa audiometer konvensional ini hanya bisa dioperasikan di dalam ruang kedap suara oleh tenaga ahli. Selain itu, setelah dilakukan *monitoring* bising menggunakan *Sound Level Meter* kelas I – Onosokki, diketahui bahwa ruang kedap suara di Poli Audiologi memiliki level bising latar belakang yang sangat rendah, sehingga sangat mendukung untuk kevalidan data (Dhingra, 2007; Kutz, Meyers, & Bauer, 2012).

- Subjek Penelitian

Uji audiometri menggunakan audiometer konvensional ini

dilakukan kepada 25 naracoba berpendengaran normal, 14 laki laki dan 11 perempuan yang dibuktikan oleh hasil tes pendengaran yang dilakukan oleh dokter spesialis THT-KL pada rentang usia 18-30 tahun tahun (Levine, 1997) (Soepardi, 2008), dengan rata-rata usia 20,88 tahun. Jumlah naracoba tersebut dipilih berdasarkan pendapat yang dikemukakan oleh Robinson dan Dadson dalam penelitiannya, bilamana untuk mendapatkan hasil yang stabil umumnya diperoleh dengan kelompok homogen yang terdiri dari sekitar 30 orang (Robinson & Dadson, 1956).

- Uji Audiometri

Pengambilan data dilakukan untuk mengukur nilai ambang pendengaran yang dilakukan kepada dua puluh lima naracoba berpendengaran normal. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan bantuan audiometer konvensional menggunakan metode *yes-no paradigm* dengan membangkitkan *tone* atau nada murni pada rentang frekuensi yang sudah disebutkan dengan dokter spesialis THT-KL sebagai penguji. Berikut merupakan tahapan dalam melakukan pemeriksaan.

1. Naracoba diminta duduk membelakangi penguji di dalam ruang kedap (*chamber*).
2. *Headphone* dipasang ke kedua telinga naracoba oleh penguji untuk menghindari salah posisi.
3. Tombol respon diberikan kepada naracoba.
4. Arahan pemeriksaan dijelaskan oleh penguji kepada naracoba
  - Naracoba diminta untuk menekan tombol respon ketika mendengar bunyi *tone* yang dibangkitkan penguji.
  - Dan tidak menekan tombol respon ketika tidak mendengar apapun.
5. Nada murni akan dibangkitkan penguji secara acak.
6. Pemeriksaan berlangsung. Dan ketika selesai, naracoba diminta untuk meninggalkan ruang kedap (*chamber*).

### 3.3 Uji Audiometri Psychoacoustic

Uji audiometri yang kedua pada tugas akhir ini dilakukan dengan menggunakan audiometer Psychoacoustic dengan metode *three-forced choice*.

Uji audiometri dilakukan dengan naracoba memakai *headphone* dan memberikan tanggapan (respon) pada *stimulus* bunyi nada murni (*tone*) yang didengar. Naracoba akan melihat tiga kotak pada layar monitor komputer. Setiap kotak akan berkedip (*flashed*) menandakan *stimuli* diperdengarkan. Namun hanya ada satu kotak saja yang berisi bunyi. Naracoba merespon bunyi yang didengar dengan menekan angka 1, 2, 3 pada *keyboard*. Bila benar maka *loudness* akan secara adaptif turun dan sebaliknya bila salah akan naik.

Pengujian dimulai dengan membangkitkan *tone* secara acak pada tingkat yang mudah didengar (untuk uji audiometri menggunakan Psychoacoustic dimulai dari level 50 dBHL), dan kemudian naracoba diminta untuk menekan tombol respon pada kotak opsi yang terdengar bunyi nada murni nya.

Naracoba dipaksa untuk menekan tombol respon baik mendengar atau tidak agar bisa lanjut ke langkah berikutnya. Setelah level awal ditetapkan, level suara diubah menggunakan metode “2 up, 1 down”, dimana tingkat awal kekerasan *stimulus* dibangkitkan adalah 50 dB, dan apabila naracoba mendengar bunyi stimulus yang dibangkitkan maka tingkat kekerasan akan dikurangi 5 dB sebanyak dua kali uji, kemudian tingkat kekerasan akan dinaikkan 5dB. Setelah dua pembalikan prosedur adaptif, tingkat kekerasan bunyi *stimulus* (nada murni) yang dibangkitkan dikurangi menjadi 2dB. Setelah itu, prosedur berlanjut sampai 10 pembalikan lebih. Kemudian nilai ambang dengar diambil sebagai rata-rata dari 8 pembalikan terakhir. Sedangkan frekuensi *stimulus* dibangkitkan secara acak (Gatehouse & Davis, 1992).

- Subjek Penelitian

Uji audiometri menggunakan audiometer Psychoacoustic ini dilakukan kepada 30 naracoba berpendengaran normal, 15 laki laki dan 15 perempuan serta 1 orang naracoba dengan gangguan pendengaran yang dibuktikan oleh hasil tes

pendengaran yang dilakukan oleh dokter spesialis THT-KL pada rentang usia 18-30 tahun tahun (Levine, 1997), dengan rata-rata usia 20,88 tahun. Jumlah naracoba tersebut dipilih berdasarkan pendapat yang dikemukakan oleh Robinson dan Dadson dalam penelitiannya, bilamana untuk mendapatkan hasil yang stabil umumnya diperoleh dengan kelompok homogen yang terdiri dari sekitar 30 orang (Robinson & Dadson, 1956).

- Lokasi I

Lokasi pertama yang digunakan dalam pengambilan data tugas akhir ini adalah di dalam ruang semi kedap suara Laboratorium Vibrasi dan Akustik Departemen Teknik Fisika ITS yang ditampilkan pada Gambar 3.2. Pemilihan lokasi ruang semi kedap suara ini didasari oleh alasan sebagai pembanding hasil uji yang dilakukan di ruang terbuka, dan Selain itu, setelah dilakukan *monitoring* bising menggunakan *Sound Level Meter* kelas I – Onosokki, diketahui bahwa ruang semi kedap suara laboratoium Vibrastic memiliki level bising latar belakang yang cukup rendah ketika pagi hari(06.00-09.00 WIB), sehingga sangat mendukung untuk kevalidan data (Dhingra, 2007; Kutz, Meyers, & Bauer, 2012).



**Gambar 3. 2** Lokasi pengambilan data (uji audiometri) ruang semi kedap suara laboratorium Vibrasi dan Akustik Teknik Fisika ITS

- Uji Audiometri Psychoacoustic di Dalam Ruang Semi Kedap Suara

Pengambilan data dilakukan untuk mengukur nilai ambang pendengaran yang dilakukan kepada dua puluh lima naracoba berpendengaran normal. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan bantuan audiometer Psychoacoustic bermetode *three-forced choice* dengan membangkitkan *tone* atau nada murni pada rentang frekuensi 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 dan 8000 Hz (Kutz, dkk, 2012). Pengujian yang dilakukan di ruang semi kedap suara laboratorium Vibrasi dan Akustik ini membutuhkan beberapa alat penunjang, antara lain *laptop* yang sudah terpasang perangkat lunak Psychoacoustic, *soundcard* dan *Headphone* Sennheiser.

Berikut merupakan tahapan dalam melakukan pemeriksaan.

1. Naracoba diminta duduk di kursi yang sudah disediakan di dalam ruang semi kedap suara (*chamber*).
2. *Headphone* dipasangkan ke kedua telinga naracoba oleh penguji untuk menghindari salah posisi.
3. Arahan pengujian dijelaskan oleh penguji kepada naracoba
  - Naracoba diminta untuk menekan tombol respon ketika mendengar atau tidak mendengar bunyi agar bisa lanjut ke langkah berikutnya.
  - Terdapat tiga opsi respon yang terpampang pada monitor (dilambangkan dengan kotak segi empat bertuliskan angka 1, 2 dan 3). Dan masing-masing opsi respon akan berkedip secara bergantian.
  - Bunyi nada murni akan terdengar di salah satu kedipan.
4. Nada murni akan dibangkitkan secara acak.
5. Pengujian berlangsung. Dan ketika selesai, naracoba diminta untuk meninggalkan lokasi (*chamber*).

- Lokasi II

Lokasi kedua yang digunakan dalam pengambilan data tugas akhir ini adalah di ruang terbuka Poli MDR-TB SMF Pulmonologi Rumah Sakit Umum Daerah Dr. Soetomo, Sura-



**Gambar 3.3** Lokasi pengambilan data (uji audiometri ruang terbuka ) lorong Poli MDR-TB SMF Pulmonologi

baya yang ditampilkan pada Gambar 3.3. Pemilihan lokasi ruang terbuka ini didasari oleh tujuan penelitian yang memang untuk menganalisis hasil unjuk kerja audiometri ruang terbuka Psychoacoustic selain itu didasari dengan pertimbangan tingginya bising latar belakang dan distraksi lainnya, dimana berdasarkan teori yang sudah dijelaskan pada sub bab audiogram dan *background noise* pada bab sebelumnya, pemeriksaan audiometri harus dilakukan ketika lokasi uji memiliki level bising latar belakang terendah atau minimum, dan distraksi suara atau bunyi lainnya dengan level tidak lebih dari 38 dB (Dhingra, 2007; Kutz, Meyers, & Bauer, 2012). Untuk pemilihan lokasi uji ruang terbuka pada Poli MDR-TB RSUD Dr.Soetomo, sangat sulit untuk mendapatkan kondisi sesuai standard, sehingga penulis memilih untuk melakukan pengujian dengan titik lokasi yang berubah-ubah menyesuaikan dengan level bising minimum meskipun memiliki selisih level (lebih tinggi) dengan standard yang sudah dijelaskan, dengan harapan naracoba tidak merasakan distraksi yang berarti ketika melakukan uji audiometri.

- Uji Audiometri Psychoacoustic di Ruang Terbuka Poli MDR-TB SMF Pulmonologi

Pengambilan data dilakukan untuk mengukur nilai ambang pendengaran yang dilakukan kepada dua puluh lima naracoba berpendengaran normal. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan bantuan audiometer Psychoacoustic dengan membangkitkan *tone* atau nada murni pada rentang frekuensi 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 dan 8000 Hz (Kutz, dkk, 2012). Pengujian yang dilakukan di ruang terbuka Poli MDR-TB ini membutuhkan beberapa alat penunjang, antara lain *laptop* yang sudah terpasang perangkat lunak Psychoacoustic dan *Headphone* dengan fitur *Active Noise cancellation*. Berikut merupakan tahapan dalam melakukan pemeriksaan.

1. Naracoba diminta duduk di lokasi yang sudah disediakan.
2. *Headphone* dipasangkan ke kedua telinga naracoba oleh penguji untuk menghindari salah posisi.
3. Arahan pengujian dijelaskan oleh penguji kepada naracoba
  - Naracoba diminta untuk menekan tombol respon ketika mendengar bunyi.
  - Terdapat tiga opsi respon yang terpampang pada monitor (dilambangkan dengan kotak segi empat bertuliskan angka 1, 2 dan 3). Dan masing-masing opsi respon akan berkedip secara bergantian.
  - Bunyi nada murni akan terdengar di salah satu kedipan.
4. Nada murni akan dibangkitkan secara acak.
5. Pengujian berlangsung. Dan ketika selesai, naracoba diminta untuk meninggalkan lokasi.

### 3.4 Uji Audiometri KUDUwave

Audiometer KUDUwave ini merupakan audiometer modern yang menggunakan *yes-no paradigm* dalam proses pengujiannya dengan metode Hughson Westlake (ISO 8253-1:2010), seperti audiometer konvensional yang dijelaskan pada sub bab 2.3.1.1 sebelumnya. Pengujian audiometri menggunakan audiometer KUDUwave dimulai dengan membangkitkan *tone* secara acak

pada tingkat yang mudah didengar (yang dimulai dari level 30 dBHL), dan kemudian naracoba diminta untuk menekan tombol respon apabila mendengar bunyi nada murni yang dibangkitkan. Jika tidak terdapat respon dari naracoba maka level dinaikkan 5 dBHL hingga naracoba mendengar, dan apabila terdapat respon dari naracoba maka level akan diturunkan 10dBHL hingga naracoba tidak memberikan respon. Setelah level awal ditetapkan, level suara diubah menggunakan metode “10 down, 5 up” sebagai berikut (Howard & Angus, 2009; Swanepoel, et al, 2015):

1. Uji audiometri dimulai dengan membangkitkan nada murni frekuensi 1000 Hz pada level 30 dBHL.
2. Level dikurangi 10 dBHL hingga bunyi tidak didengar naracoba.
3. Level dinaikkan 5 dBHL hingga suara terdengar.
4. Langkah 2 dan 3 diulangi sampai subjek merespon pada tingkat yang sama setidaknya 50% dari waktu, yang didefinisikan sebagai dua dari dua, dua dari tiga atau dua dari empat tanggapan.
5. Langkah 1-4 diulangi pada frekuensi yang lain dengan urutan 1000, 500, 250, 2000, 4000, 8000 Hz. Pada sesi paling akhir dari pengujian, frekuensi 1000 Hz kembali dibangkitkan untuk melakukan *retest*, dengan tujuan memastikan bahwa hasil pengujian memang benar-benar valid.

Uji audiometri yang kedua pada tugas akhir ini dilakukan dengan menggunakan audiometer KUDUwave dengan metode *yes-no paradigm*.

- Subjek Penelitian

Uji audiometri menggunakan audiometer konvensional ini dilakukan kepada 25 naracoba berpendengaran normal, 14 laki laki dan 11 perempuan yang dibuktikan oleh hasil tes pendengaran yang dilakukan oleh dokter spesialis THT-KL pada rentang usia 18-30 tahun tahun (Levine, 1997), dengan rata-rata usia 20,88 tahun. Jumlah naracoba tersebut dipilih berdasarkan pendapat yang dikemukakan oleh Robinson dan Dadson dalam penelitiannya, bilamana untuk mendapatkan hasil yang stabil umumnya diperoleh dengan kelompok

homogen yang terdiri dari sekitar 30 orang (Robinson & Dadson, 1956). Dua puluh lima naracoba tersebut diminta untuk melakukan uji audiometri menggunakan KUDUwave di ruang terbuka. Dan tujuh dari dua puluh lima naracoba tersebut diminta untuk melakukan uji audiometri menggunakan KUDUwave di dalam ruang kedap suara sebagai piloting.

- Lokasi I  
Lokasi pertama yang digunakan dalam pengambilan data tugas akhir ini adalah di ruang terbuka Poli MDR-TB SMF Pulmonologi Rumah Sakit Umum Daerah Dr. Soetomo, Surabaya seperti yang tampak pada Gambar 3.3. Pemilihan lokasi ruang terbuka ini didasari dengan pertimbangan tingginya bising latar belakang dan distraksi lainnya, dimana berdasarkan teori yang sudah dijelaskan pada sub bab audiogram dan *background noise* pada bab sebelumnya, pemeriksaan audiometri harus dilakukan ketika lokasi uji memiliki level bising latar belakang terendah atau minimum, dan distraksi suara atau bunyi lainnya dengan level tidak lebih dari 38 dB (Dhingra, 2007; Kutz, Meyers, & Bauer, 2012). Untuk pemilihan lokasi uji ruang terbuka pada Poli MDR-TB RSUD Dr. Soetomo, sangat sulit untuk mendapatkan kondisi sesuai standard, sehingga penulis memilih untuk melakukan pengujian dengan titik lokasi yang berubah-ubah menyesuaikan dengan level bising minimum meskipun memiliki selisih level (lebih tinggi) dengan standard yang sudah dijelaskan, dengan harapan naracoba tidak merasakan distraksi yang berarti ketika melakukan uji audiometri.
- Uji Audiometri KUDUwave di Ruang Terbuka Poli MDR-TB SMF Pulmonologi  
Pengujian audiometri keempat untuk mengukur nilai ambang dengar pada tahap ini dilakukan kepada dua puluh lima naracoba yang sudah melakukan uji audiometri tahap pertama hingga tahap ketiga. Uji audiometri tahap empat ini dilakukan dengan menggunakan perangkat audiometri yang bernama KUDUwave. KUDUwave merupakan perangkat audiometri

yang bisa digunakan baik di dalam maupun di luar *audio booth*. Sama seperti sebelumnya, untuk mendapatkan hasil berupa nilai ambang dengar, perlu dibangkitkan *tone* atau nada murni dengan rentang frekuensi 125-8000 Hz dengan berbagai tingkat kekerasan. Berikut merupakan tahapan dalam melakukan pemeriksaan.

1. Naracoba diminta duduk di lokasi yang disediakan dengan posisi menghadap penguji.
  2. *Eartips* (busa pendedap suara) dipasang pada ujung selang penyalur bunyi.
  3. Busa disusutkan dan dimasukkan ke dalam rongga telinga sebelum mengembang kembali.
  4. *Headphone* KUDUwave dipasang pada penguji kepada naracoba hingga menutupi daun telinga.
  5. Tombol respon diberikan kepada naracoba.
  6. Arahan pemeriksaan dijelaskan oleh penguji kepada naracoba
    - Naracoba diminta untuk menekan tombol respon ketika mendengar bunyi dan tidak menekan tombol respon ketika tidak mendengar bunyi nada murni yang dibangkitkan.
  7. Nada murni dibangkitkan penguji secara acak.
  8. Pemeriksaan berlangsung. Dan ketika selesai, naracoba diminta untuk meninggalkan lokasi.
- Lokasi II  
 Lokasi kedua yang digunakan dalam pengambilan data tugas akhir ini adalah di dalam ruang kedap suara Poli Audiologi SMF THT-KL Rumah Sakit Umum Daerah Dr. Soetomo, Surabaya. Pemilihan lokasi ini didasari oleh alasan bahwa setelah dilakukan *monitoring* bising menggunakan *Sound Level Meter* kelas I – Onosokki, diketahui bahwa ruang kedap suara di Poli Audiologi memiliki level bising latar belakang yang sangat rendah, sehingga sangat mendukung untuk kevalidan data (Dhingra, 2007; Kutz, Meyers, & Bauer, 2012). Selain itu juga untuk mengetahui perbandingan unjuk

kerja audimetri KUDUwave di dalam ruang kedap suara dibanding ruang terbuka.

- Uji Audiometri dengan Audiometer KUDUwave di Dalam Ruang Kedap Suara Poli Audiologi  
 Pengujian audiometri kelima untuk mengukur nilai ambang dengar pada tahap ini dilakukan kepada tujuh naracoba yang sudah melakukan uji audiometri tahap pertama hingga tahap keempat. Uji audiometri tahap lima ini dilakukan dengan menggunakan perangkat audiometri yang bernama KUDUwave. KUDUwave merupakan perangkat audiometri yang bisa digunakan baik di dalam maupun di luar *audio booth*. Sama seperti sebelumnya, untuk mendapatkan hasil berupa nilai ambang dengar, perlu dibangkitkan *tone* atau nada murni dengan rentang frekuensi 125-8000 Hz dengan berbagai tingkat kekerasan. Berikut merupakan tahapan dalam melakukan pemeriksaan.
  1. Naracoba diminta duduk di lokasi yang disediakan dengan posisi menghadap penguji (tidak menghadap *laptop*).
  2. *Eartips* (busa pendedap suara) dipasangkan pada ujung selang penyalur bunyi.
  3. Busa disusutkan dan dimasukkan ke dalam rongga telinga sebelum mengembang kembali.
  4. *Headphone* KUDUwave dipasangkan penguji kepada naracoba hingga menutupi daun telinga.
  5. Tombol respon diberikan kepada naracoba.
  6. Arahan pemeriksaan dijelaskan oleh penguji kepada naracoba
    - Naracoba diminta untuk menekan tombol respon ketika mendengar bunyi dan tidak menekan tombol respon ketika tidak mendengar apapun.
  7. Nada murni dibangkitkan penguji secara acak.
  8. Pemeriksaan berlangsung. Dan ketika selesai, naracoba diminta untuk meninggalkan lokasi.

### 3.5 Teknik Pengolahan dan Analisis Data

Analisis validasi pada penelitian ini dilakukan pada data uji audiometri *air conduction* pada frekuensi uji 250, 500, 1000, 2000, 4000, dan 8000 Hz untuk audiometri ruang semi kedap suara Pychoacoustic, ruang terbuka Pychoacoustic, konvensional dan ruang terbuka KUDUwave. *Mean* dan standard deviasi dihitung untuk setiap frekuensi serta perbedaan rata-rata *real* dan absolut antara referensi (Pychoacoustic ruang semi kedap suara dan ruang terbuka, serta ruang terbuka KUDUwave) dan ambang batas pendengaran uji indeks (audiometri konvensional). Perbedaan rata-rata absolut merupakan opsi analisis yang cukup lebih baik dibandingkan dengan perbedaan rata-rata nyata karena perbedaan absolut dapat menjelaskan variasi data positif dan negatif, sedangkan variasi positif dan negatif dapat membatalkan satu sama lain ketika menggunakan perbedaan rata-rata nyata (Eikelboom et al, 2013). Ambang uji referensi (Pychoacoustic ruang semi kedap suara dan ruang terbuka, serta ruang terbuka KUDUwave) dikurangi dari ambang uji indeks (audiometri konvensional) untuk menghitung perbedaan, sesuai dengan metodologi dari studi serupa (Eikelboom et al, 2013; Swanepoel et al, 2010). Analisis non parametrik Wilcoxon dengan koreksi Bonferroni digunakan untuk menghitung perbedaan signifikan dalam ambang batas pendengaran. Excel 2010 dan SPSS merupakan beberapa perangkat lunak yang digunakan untuk analisis dalam tugas akhir ini.

Halaman ini memang dikosongkan

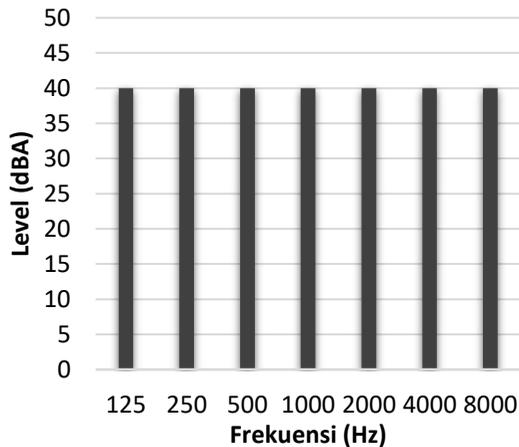
## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai data yang telah diperoleh berdasarkan pengukuran bising latar belakang dan pengujian audiometri yang sudah dilakukan di empat lokasi pengukuran. Kemudian data tersebut diolah dan dievaluasi berdasarkan langkah-langkah yang sudah dijelaskan pada bab 3. Berdasarkan data yang sudah diperoleh, diolah, dievaluasi dan dianalisis, kemudian dapat diketahui spesifitas dari masing-masing audiometer yang digunakan.

### 4.1 Karakteristik Bising Latar Belakang Lokasi Pengukuran

Karakteristik bising pada beberapa lokasi uji dapat dilihat pada beberapa Gambar berikut. Dimana karakteristik bising pada ruang semi kedap suara laboratorium Vibrasi dan Akustik ditunjukkan pada Gambar 4.1, ruang kedap Poli Audiologi pada Gambar 4.2 dan beberapa daerah di sekitar Poli MDR-TB pada Gambar 4.3.

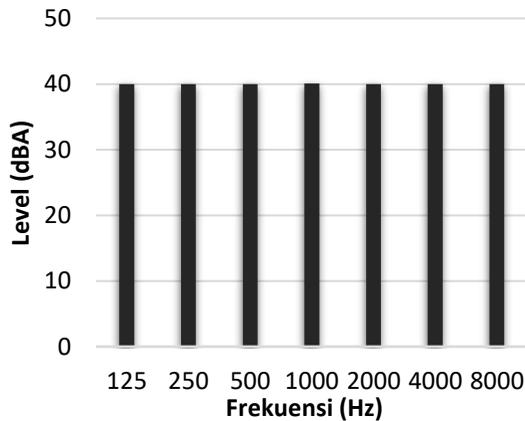
Gambar 4.1 merupakan gambaran hasil pengukuran bising latar belakang pada ruang semi kedap suara laboratorium Vibrasi



**Gambar 4.1** Bising latar belakang ruang semi kedap suara laboratorium Vibrasi dan Akustik Teknik Fisika ITS

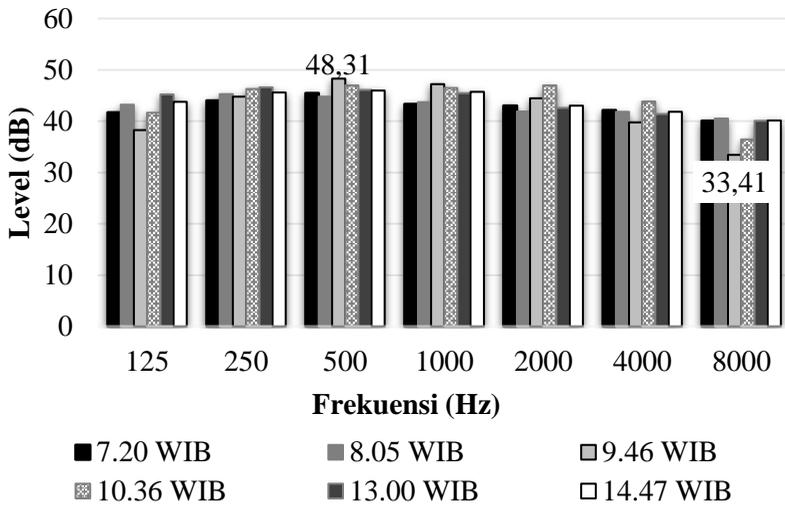
dan Akustik pada pukul 06.00 – 09.00 WIB. Dari Gambar 4.1 dapat diketahui bahwa untuk level bising pada semua frekuensi uji memiliki nilai yang sama, yaitu 40 dBA. Gambar 4.2 menginformasikan level bising latar belakang ruang kedap Poli Audiologi, dapat dilihat bahwa level bising latar belakang pada lokasi tersebut memiliki karakter bising yang sama dengan ruang semi kedap suara laboratorium Vibrasi dan Akustik Teknik Fisika. Meskipun pada saat pengukuran, pintu ruang kedap suara Poli Audiologi berada dalam keadaan terbuka. Dari kedua Gambar tersebut dapat dikatakan bahwa level bising latar belakang kedua lokasi tersebut berada di bawah batas maksimum level bising latar belakang yang dapat ditutupi oleh audiometer KUDUwave seperti yang sudah dijelaskan pada sub bab audiometer KUDUwave pada bab 2 sebelumnya (Anonim, 2018). Sehingga berdasarkan nilai tersebut, pengujian audiometri dapat dilakukan di lokasi tersebut tanpa ada gangguan bising yang berarti. Selain itu pada lokasi dan jam tersebut, tidak ada distraksi bising yang memiliki level lebih dari 38 dB, sehingga sesuai dengan standard pemeriksaan audiometri yang sudah dijelaskan pada penelitian Dhingra dan Kutz pada sub bab 2.4 sebelumnya maka kondisi dengan level bising latar belakang yang dipilih ini masih masuk dalam kriteria pengujian (Dhingra, 2007; Kutz, Meyers, & Bauer, 2012).

Gambar 4.3 menginformasikan hasil pengukuran level bising latar belakang ruang terbuka Poli MDR-TB. Pada pengukuran level bising di lokasi ini dilakukan beberapa kali pada waktu yang berbeda, sehingga dapat diketahui bahwa lorong MDR-TB ini memiliki karakteristik bising yang dominan pada frekuensi tengah, yaitu 500 dan 1000 Hz, meskipun begitu level yang cukup tinggi juga dimiliki frekuensi-frekuensi yang lain. Dari Gambar 4.3 tersebut juga dapat diketahui bahwa dari rentang jam 09.00-11.00 memiliki nilai bising latar belakang pada frekuensi 2000 Hz yang cukup tinggi yaitu dengan level kurang lebih 48 dBA, dimana level tersebut 4 dBA lebih tinggi daripada level bising latar belakang yang mampu ditutupi oleh *headphone* KUDUwave (Anonim, 2018). Gambar 4.4 merupakan gambaran *waveform* dari hasil rekaman bising ruang terbuka Poli MDR-TB yang membuktikan

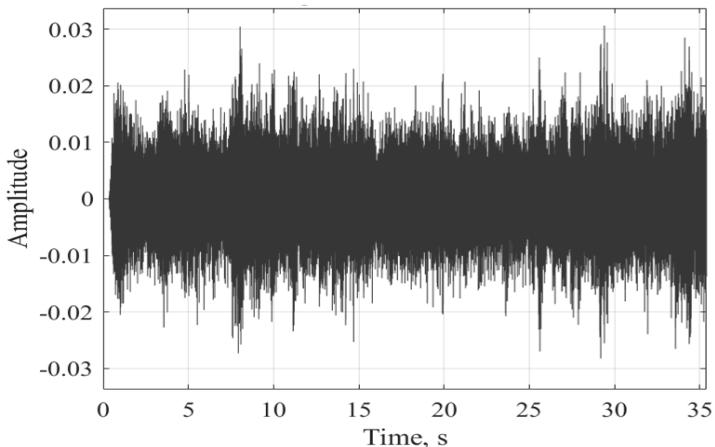


**Gambar 4.2** Bising Latar Belakang Ruang Kedap Suara Poli Audiologi, SMF THT-KL RSUD Dr.Soetomo, Surabaya

bahwa bising pada ruang terbuka Poli MDR-TB termasuk bising kontinyu (*broadband noise*). Adapun beberapa sumber bunyi penyumbang bising latar belakang yang ada di lorong Poli MDR-TB yaitu suara kicauan burung, suara orang yang bercakap cakap, bunyi gesekan sapu dan tanah milik petugas kebersihan dan juga bunyi mesin *exhaust*. Berdasarkan nilai tersebut, dapat dikatakan pengujian audiometri dapat dilakukan di lokasi tersebut akan tetapi dengan beberapa gangguan-gangguan bising yang berarti, sehingga dapat memengaruhi nilai ambang dengar naracoba. Oleh karena itu, ketika pengujian audiometri akan berlangsung, penulis mencoba untuk menghindari waktu-waktu dengan bising latar belakang yang cukup tinggi tersebut dan sebelum pengujian dimulai, penulis melakukan pengukuran bising latar belakang terlebih dahulu, dan apabila level setiap frekuensinya cukup tinggi, maka lokasi uji dipindah ke lokasi lain di sekitar Poli MDR-TB yang memiliki nilai bising latar belakang yang lebih rendah atau pengujian ditunda hingga waktu dimana sumber bising berkurang hingga level bunyi setiap frekuensinya tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap hasil pengujian audiometri naracoba.



**Gambar 4. 3** Bising latar belakang lorong Poli MDR-TB



**Gambar 4. 4** *Waveform* bising latar belakang lorong Poli MDR-TB

## 4.2 Hasil Uji Audiometri

Setelah melakukan uji otologis bersama dokter spesialis THT-KL di RSUD Dr.Soetomo, didapatkan dua puluh lima naracoba

dengan kriteria untuk mendapatkan hasil yang cukup stabil seperti yang sudah dijelaskan pada bab 2 dan 3 mengenai pendapat yang dikemukakan Robinson dan Dadson dalam penelitiannya (Robinson & Dadson, 1956). Dari sini kemudian penulis membuat pengelompokan naracoba, yaitu naracoba normal untuk naracoba yang memiliki fungsi pendengaran normal dan naracoba *hearing loss* untuk naracoba yang dinyatakan memiliki gangguan pendengaran oleh dokter. Kedua puluh lima satu naracoba tersebut kemudian diminta untuk melakukan serangkaian uji audiometri menggunakan tiga audiometer pada beberapa lokasi yang berbeda. Adapun hasil dari uji audiometri yang sudah dilakukan, antara lain

#### **4.2.1 Uji Audiometri Konvensional**

Uji audiometri merupakan uji audiometri tahap awal yang harus dilakukan naracoba. Uji audiometri dilakukan menggunakan audiometer konvensional di dalam ruang kedap suara yang ada di Poli Audiologi RSUD Dr. Soetomo Surabaya, dengan dokter spesialis THT-KL sebagai penguji. Hasil dari uji audiometri konvensional ini dijadikan sebagai penentu apakah naracoba dapat terus berpartisipasi pada uji audiometri tahap selanjutnya serta nilai ambang dengar dijadikan sebagai nilai *gold standard* atau acuan untuk dibandingkan dengan hasil uji audiometri yang lain (ASHA, 2004).

Naracoba dapat dikatakan memiliki pendengaran normal ketika nilai PTA yang diperoleh dari Persamaan (2) bernilai  $\leq 25$  dB dan tidak ada nilai ambang dengar yang lebih dari 25 dB pada tiga frekuensi yang berdekatan (KNCV Tuberculosis Foundation, 2017). Sehingga pada tahap awal ini didapatkan dua puluh naracoba dengan pendengaran normal dan satu naracoba yang dinyatakan mengalami gangguan pendengaran.

Tabel 4.1 dan 4.2 merupakan ringkasan rata-rata dan standard deviasi *real* dan absolut dari hasil uji audiometri konvensional. Kisaran nilai rata-rata *real* untuk semua ambang batas pendengaran pada uji audiometri konvensional (Tabel 4.1) adalah 7,2 – 17,20 dB dengan standard deviasi antara 3,44 hingga 9,44 dB. Dari data tersebut dapat dikatakan bahwa hasil uji audiometri konvensional menunjukkan variasi nilai yang cukup kecil, dengan asumsi batas

**Tabel 4. 1** Nilai *Mean* dan Standard Deviasi *Real* 25 Naracoba Normal Menggunakan Audiometer Konvensional

<i>Mean</i> (SD)	Frekuensi (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<b>AC</b>	13,60	12,60	11,80	11,40	9,40	8,80	7,00
<b>Left</b>	(4,45)	(4,36)	(5,18)	(5,69)	(7,12)	(5,82)	(5,00)
<b>AC</b>	17,20	15,80	14,40	11,20	10,40	12,20	7,20
<b>Right</b>	(6,14)	(3,44)	(4,41)	(6,50)	(5,39)	(6,30)	(9,44)

**Tabel 4. 2** Nilai *Mean* dan Standard Deviasi Absolut 25 Naracoba Normal Menggunakan Audiometer Konvensional

<i>Mean</i> (SD)	Frequency (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<b>AC</b>	11,40	12,40	13,20	13,60	16,00	16,20	18,00
<b>Left</b>	(4,45)	(4,36)	(5,18)	(5,69)	(7,12)	(5,82)	(5,00)
<b>AC</b>	8,60	9,20	10,60	13,80	14,60	12,80	17,80
<b>Right</b>	(4,90)	(3,44)	(4,41)	(6,50)	(5,39)	(6,30)	(9,44)

ambang pendengaran maksimal dalam kategori normal bernilai 25 dB. Sedangkan nilai rata-rata absolut (Tabel 4.2) untuk semua ambang batas pendengaran berada pada kisaran 8,60 – 18,00 dB dengan rentang standard deviasi 3,44 – 9,44 dB.

#### 4.2.2 Uji Audiometri Psychoacoustic

Uji audiometri Psychoacoustic dilakukan dengan metode uji *three-forced choice* di dalam ruang semi kedap suara Laboratorium Vibrastic dan di ruang terbuka Poli MDR-TB RSUD Dr. Soetomo. Perbedaan lokasi ini bertujuan untuk mengetahui apakah metode uji *three-forced choice* dan fitur *noise cancellation* pada *headphone* uji dapat menampilkan hasil yang sama baiknya ketika berada di ruang terbuka dengan level bising latar belakang yang cukup tinggi. Sedangkan berdasarkan teori yang disampaikan Swanepoel pada sub bab 2.4, level bising latar belakang adalah salah satu penyebab terjadinya ketidak-akuratan hasil uji audiometri atau tidak sesuai kurva ambang dengar dengan standard (Swanepoel, dkk, 2015; Dhingra, 2007; Kutz, Meyers, &

Bauer, 2012). Berdasarkan teori yang lain, *headphone active noise cancellation* dapat bekerja dengan baik, yaitu meredam atau membatalkan bising eksternal untuk terdengar pada semua frekuensi (Milosevic & Schaufelberger, 2005; Harris W. , 2007; Agarwal, 2019).

Dari uji audiometri yang sudah dilakukan kedua puluh lima naracoba diperoleh nilai ambang dengar (lihat Lampiran I) dan kemudian dibandingkan hasilnya dengan hasil uji audiometri konvensional menggunakan analisis statistik. Dengan menggunakan uji normalitas Shapiro-Wilk, diketahui bahwa tidak semua data hasil uji audiometri Psychoacoustic berdistribusi normal, dengan bukti nilai signifikansi yang  $< 0,01$ . Sehingga penulis memutuskan untuk menggunakan uji non-parametrik Wilcoxon dengan koreksi Bonferroni untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan yang signifikan pada kedua audiometer. Selain itu penulis juga memutuskan untuk menghitung perbedaan nilai *mean* secara *real* dan absolut pada setiap frekuensi uji antara hasil uji audiometri konvensional dan audiometri Psychoacoustic di dalam ruang semi kedap suara (Brennan-Jones, dkk, 2016). Untuk perhitungan perbedaan rata-rata absolut lebih dianjurkan daripada perbedaan rata-rata nyata karena perbedaan rata-rata absolut dapat menghitung variasi nilai positif dan negatif, sedangkan pada perhitungan perbedaan rata-rata nyata, variasi positif dan negatifnya dapat saling menghilangkan (saling menjadi pembuat nilai nol) (Eikelboom, dkk, 2013; Swanepoel, dkk , 2010).

a. Uji Audiometri Psychoacoustic *Indoor*

Satu dari dua uji audiometri menggunakan audiometer Psychoacoustic dilakukan di dalam ruang semi kedap suara Laboratorium Vibrastic pada rentang jam 06.00 – 09.00 WIB. Rentang waktu ini dipilih berdasarkan hasil pengukuran bising latar belakang yang ditampilkan pada Gambar 4.2 di atas, dimana dari Gambar grafik tersebut dapat diketahui tingginya level bising latar belakang pada ruang semi kedap suara laboratorium Vibrastic. Dengan harapan naracoba bisa fokus dalam melakukan uji audiometri tanpa ada distraksi yang berarti (Swanepoel, dkk, 2015; Dhingra, 2007; Kutz,

Meyers, & Bauer, 2012). Dari uji audiometri yang sudah dilakukan kedua puluh lima naracoba diperoleh nilai ambang dengar masing-masing naracoba pada masing-masing telinga (lihat Lampiran I) dan kemudian dibandingkan hasilnya dengan hasil uji audiometri Konvensional menggunakan analisis statistik.

**Tabel 4. 3** Perbedaan Nilai *Mean* dan Standard Deviasi *Real* 25 Naracoba Normal Menggunakan Psychoacoustic pada Ruang Semi Kedap Suara dan Audiometer Konvensional

<i>Mean</i> (SD)	Frekuensi (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<b>AC</b>	7,11*	1,97	-2,26	-8,3*	-6,39*	-8,24*	5,25*
<b>Left</b>	1,15	1,19	1,30	1,77	1,82	2,16	2,34
<b>AC</b>	8,91*	2,61	-0,13	-5,2*	-6,83*	-11,6*	5,69
<b>Right</b>	1,56	1,13	1,46	1,66	1,64	1,94	2,58

**Tabel 4. 4** Perbedaan Nilai *Mean* dan Standard Deviasi Absolut 25 Naracoba Normal Menggunakan Audiometer Konvensional dan Psychoacoustic pada Ruang Semi Kedap Suara

<i>Mean</i> (SD)	Frekuensi (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<b>AC</b>	6,74*	1,97	2,26	8,33*	5,99*	8,24	10,60
<b>Left</b>	1,09	1,189	1,298	1,768	2,092	2,156	1,838
<b>AC</b>	5,05*	2,37	0,77	5,18*	6,83	11,57*	6,00
<b>Right</b>	1,19	1,069	1,24	1,665	1,642	1,938	2,167

Dari uji audiometri menggunakan Psychoacoustic di dalam ruang semi kedap suara, diperoleh hasil berupa nilai ambang dengar yang menyatakan dan mampu membuktikan sesuai hasil yang diperoleh dari uji audiometri menggunakan metode konvensional bilamana semua naracoba dinyatakan memiliki fungsi pendengaran normal (KNCV Tuberculosis Foundation, 2017). Akan tetapi, meskipun semua naracoba

dinyatakan normal, nilai ambang dengar yang dideteksi oleh audiometri Psychoacoustic dan konvensional tidak menunjukkan angka yang sama persis. Sehingga dilakukan analisis statistik lebih lanjut untuk mengetahui lebih detail mengenai perbedaan unjuk kerja kedua audiometer.

Tabel 4.3 dan 4.4 menampilkan perbedaan rata-rata antara audiometri Konvensional dan Psychoacoustic dan hasil (Brennan-Jones, dkk, 2016). Pada Tabel 4.3, kisaran nilai rata-rata *real* untuk semua ambang batas pendengaran uji audiometri konvensional dengan Psychoacoustic pada ruang semi kedap suara adalah -11,57 – 8,91 dB dengan standard deviasi antara 1,13 hingga 2,58 dB. Sedangkan pada Tabel 4.4, nilai rata-rata absolut untuk semua ambang batas pendengaran berada pada kisaran 0,77 – 11,57 dB dengan rentang standard deviasi 1,069 – 2,167 dB. Prosentase nilai ambang dengar pada semua frekuensi yang memiliki perbedaan rata-rata absolut  $\pm 5$ dB dari uji audiometri konvensional pada Tabel 4.13 adalah 42,57%, dalam  $\pm 10$  dB adalah 33,71% dan dalam  $\pm 15$ dB adalah 15,71% dari batas ambang pendengaran dua puluh lima naracoba.

Berdasarkan analisis statistik non parametrik Wilcoxon menunjukkan tidak adanya perbedaan yang signifikan (Asymp. Sig > 0,01) pada rata-rata ambang batas pendengaran oleh audiometri Psychoacoustic yang dioperasikan di dalam ruang semi kedap suara dengan audiometri konvensional pada frekuensi rendah (250 & 500 Hz) baik pada telinga kiri maupun telinga kanan dalam keadaan nilai *real* maupun absolut serta pada frekuensi 2000 Hz pada nilai absolut telinga kanan, 4000 Hz pada nilai perbedaan absolut telinga kiri dan pada frekuensi 8000 Hz dengan nilai *real* (telinga kanan) dan absolut pada kedua telinga, dan selebihnya menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan (Asymp. Sig < 0,01). Hasil uji signifikansi tersebut berlaku pada data pada Tabel 4.3 dan 4.4.

- b. Uji Audiometri Psychoacoustic – Ruang Terbuka

Satu dari dua uji audiometri menggunakan audiometer Psychoacoustic dilakukan di ruang terbuka Poli MDR-TB RSUD Dr.Soetomo, Surabaya pada saat jam operasional rumah sakit. Seperti yang sudah dijelaskan pada bab 3, pemilihan lokasi dan waktu uji berdasarkan tingginya level bising latar belakang pada lokasi uji seperti yang sudah ditampilkan pada grafik di Gambar 4.3. Sehingga, seperti yang sudah disampaikan di bab 3 bilamana sebelum melakukan pengujian perlu dilakukan pengukuran level bising latar belakang untuk mengetahui apakah tempat yang diukur tersebut bisa dijadikan sebagai lokasi uji.

Dari uji audiometri menggunakan Psychoacoustic di dalam ruang terbuka, diperoleh hasil berupa nilai ambang dengar yang menyatakan bahwa pada telinga kiri terdapat enam naracoba yang memiliki gangguan pendengaran ringan dan empat orang yang mengalami gangguan pendengaran ringan pada telinga kanan. Sehingga jika dibandingkan dengan hasil uji audiometri konvensional, hasil uji audiometri menggunakan Psychoacoustic di ruang terbuka kurang dapat membuktikan bahwa semua naracoba memiliki fungsi pendengaran yang normal (KNCV *Tuberculosis Foundation*, 2017). Sehingga dilakukan analisis statistik lebih lanjut untuk mengetahui lebih detail mengenai perbedaan unjuk kerja kedua audiometer.

Tabel 4.5 dan 4.6 menampilkan perbedaan rata-rata dan standard deviasi *real* dan absolut dari hasil uji audiometri konvensional dengan ruang terbuka Psychoacoustic. Pada Tabel 4.5, kisaran nilai perbedaan rata-rata *real* untuk semua ambang batas pendengaran pada uji audiometri ruang terbuka Psychoacoustic dengan konvensional adalah  $-5,21 - 11,77$  dB dengan standard deviasi antara  $1,39$  hingga  $2,70$  dB. Pada Tabel 4.6 ditamikan kisaran nilai perbedaan rata-rata absolut untuk semua ambang batas pendengaran pada uji audiometri ruang terbuka Psychoacoustic dengan konvensional adalah  $0,22 - 7,81$  dB dengan standard deviasi antara  $0,973$  hingga  $2,08$  dB. Prosentase nilai ambang dengar yang ditampilkan

pada Tabel 13 menginformasikan bahwa pada semua frekuensi yang memiliki perbedaan rata-rata absolut  $\pm 5$  dB dari uji audiometri konvensional adalah 44%, dalam  $\pm 10$  dB adalah 43,14% dan dalam  $\pm 15$  dB adalah 10,86% dari batas ambang pendengaran dua puluh lima naracoba.

Berdasarkan analisis statistik non parametrik Wilcoxon menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan (Asymp. Sig < 0,01) pada rata-rata ambang batas pendengaran oleh audiometri Psychoacoustic yang dioperasikan pada ruang ter-

**Tabel 4. 5** Perbedaan Nilai *Mean* dan Standard Deviasi *Real* 25 Naracoba Normal Menggunakan Audiometer Psychoacoustic pada Ruang Terbuka Poli MDR-TB dan Konvensional

<i>Mean</i> (SD)	Frekuensi (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<b>AC</b>	11,8 *	10,45*	7,74*	8,28*	1,59	-2,81	6,92*
<b>Left</b>	1,68	1,77	1,78	1,63	1,94	1,45	2,01
<b>AC</b>	8,85*	7,03*	5,63*	9,16*	-1,27	-5,2*	3,14
<b>Right</b>	2,51	1,39	1,57	1,80	1,39	1,81	2,70

**Tabel 4.6** Perbedaan Nilai *Mean* dan Standard Deviasi Absolut 25 Naracoba Normal Menggunakan Audiometer Konvensional dan Psychoacoustic pada Ruang Terbuka Poli MDR-TB

<i>Mean</i> (SD)	Frekuensi (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<b>AC</b>	5,63*	6,29*	5,74*	6,49*	1,99	2,81	5,88*
<b>Left</b>	1,199	1,312	1,44	1,32	1,801	1,447	1,75
<b>AC</b>	2,62*	3,87*	3,75*	7,81*	1,27	5,76*	0,22
<b>Right</b>	2,08	0,973	1,241	1,622	1,394	1,563	1,837

\* Menunjukkan perbedaan signifikan ( $p < 0,01$ ) dalam akurasi ambang batas sesuai dengan uji Wilcoxon dengan koreksi Bonferroni

buka Poli MDR-TB dan Konvensional pada frekuensi rendah (125-1000 Hz) baik pada telinga kiri maupun telinga kanan. Dan menunjukkan tidak adanya perbedaan signifikan pada perbedaan nilai ambang dengar frekuensi 2000 Hz pada kedua telinga dan frekuensi 4000 Hz pada perbedaan *real* dan absolut telinga kiri (Asymp. Sig > 0,01), tetapi juga terdapat perbedaan yang cukup signifikan pada frekuensi 8000 telinga kiri (kedua nilai). Hasil uji signifikansi tersebut berlaku pada data di Tabel 4.5 dan 4.6.

Selain analisis statistik yang telah dilakukan sebelumnya, kemudiaan data nilai ambang dengar dari kedua kondisi lokasi uji dibandingkan untuk mengetahui apakah ada perubahan nilai ambang dengar ketika pengujian dilangsungkan di lokasi uji yang berbeda dengan kondisi uji yang berbeda, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan 4.8. Dari Tabel tersebut dapat diketahui bahwa terjadi perubahan nilai ambang dengar bunyi ketika pengujian dilakukan di lokasi uji dengan kondisi yang berbeda, dengan mayoritas perubahan yang terjadi adalah penurunan nilai ambang dengar yang ditandai dengan nilai negatif pada *mean* pada Tabel 4.7. Dari Tabel 4.7 dapat diketahui kisaran perubahan nilai rata-rata *real* untuk semua ambang batas pendengaran pada uji audiometri konvensional adalah -16,61 – 2,547 dB dengan standard deviasi antara 1,195 – 2,77 dB. Pada Tabel 4.8 sedangkan

**Tabel 4. 7** Perbedaan Nilai *Mean* dan Standard Deviasi *Real* 25 Naracoba Normal Menggunakan Psychoacoustic di Dalam Ruang Semi Kedap Suara dan Psychoacoustic di Ruang Terbuka Poli MDR-TB

<i>Mean</i> (SD)	Frekuensi (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<b>AC</b>	-4,66	-8,474	-9,999	-16,61	-7,98	-5,434	-1,672
<b>Left</b>	1,60	1,736	1,641	1,792	2,151	2,007	2,77
<b>AC</b>	0,058	-4,42	-5,76	-14,34	-5,556	-6,354	2,547
<b>Right</b>	1,195	1,195	1,589	2,289	2,699	1,512	2,138

**Tabel 4. 8** Perbedaan Nilai *Mean* dan Standard Deviasi Absolut 25 Naracoba Normal Menggunakan Pychoacoustic di Dalam Ruang Semi Kedap Suara dan Pychoacoustic di Ruang Terbuka Poli MDR-TB

<i>Mean</i> (SD)	Frekuensi (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<b>AC</b>	1,11	4,31	8,00	14,83	7,98	5,43	2,78
<b>Left</b>	1,020	1,271	1,271	1,511	2,151	2,007	2,045
<b>AC</b>	2,43	1,50	4,52	12,99	5,56	5,81	3,73
<b>Right</b>	1,956	1,069	1,234	1,423	1,523	1,737	2,407

kisaran perubahan nilai rata-rata absolut untuk semua ambang batas pendengaran pada uji audiometri konvensional untuk semua ambang batas pendengaran berada pada kisaran 1,11 – 14,83 dB dengan rentang standard deviasi 1,020 – 2,407 dB.

#### 4.2.3 Uji Audiometri KUDUwave

Uji audiometri menggunakan perangkat audiometri dilakukan di ruang terbuka Poli MDR-TB oleh 25 naracoba dan di dalam ruang kedap suara Poli Audiologi oleh sebagian naracoba dengan jumlah tujuh orang. Hal ini dilakukan penulis dengan tujuan untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh kondisi lingkungan uji terhadap hasil uji audiometri meskipun alat yang digunakan sudah teruji klinis dan terbukti akurat. Sedangkan berdasarkan teori yang disampaikan Swanepoel pada sub bab 2.4, level bising latar belakang adalah salah satu penyebab terjadinya ketidak-akuratan hasil uji audiometri atau tidak sesuai kurva ambang dengar dengan standard (Swanepoel, dkk, 2015; Dhingra, 2007; Kutz, Meyers, & Bauer, 2012).

Dengan menggunakan uji normalitas Shapiro-Wilk, diketahui bahwa tidak semua data berdistribusi normal, dengan bukti nilai signifikansi yang  $< 0,01$ . Sehingga penulis memutuskan untuk menggunakan uji non-parametrik Wilcoxon dengan koreksi Bonferroni untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan yang signifikan pada kedua audiometer. Selain itu penulis juga memutuskan untuk menghitung perbedaan nilai *mean* secara *real*

dan absolut pada setiap frekuensi uji antara hasil uji audiometri konvensional dan audiometri KUDUwave di ruang terbuka Poli MDR-TB dan ruang kedap suara Poli Audiologi (Brennan-Jones, dkk, 2016). Untuk di dalam ruang semi kedap suara (Brennan-Jones, dkk, 2016). Perhitungan perbedaan rata-rata absolut lebih dianjurkan daripada perbedaan rata-rata nyata karena perbedaan rata-rata absolut dapat menghitung variasi nilai positif dan negatif, sedangkan pada perhitungan perbedaan rata-rata nyata, variasi positif dan negatifnya dapat saling menghilangkan (saling menjadi pembuat nilai nol) (Eikelboom, dkk, 2013; Swanepoel, dkk, 2010).

a. Uji Audiometri KUDUwave Ruang Terbuka

Uji audiometri menggunakan audiometer KUDUwave ini dilakukan di ruang terbuka Poli MDR-TB RSUD Dr. Soetomo, Surabaya pada saat jam operasional rumah sakit. Seperti yang sudah dijelaskan pada bab 3, pemilihan lokasi dan waktu uji berdasarkan tingginya level bising latar belakang pada lokasi uji seperti yang sudah ditampilkan pada grafik di Gambar 4.3. Sehingga, seperti yang sudah disampaikan di bab 3 bilamana sebelum melakukan pengujian perlu dilakukan pengukuran level bising latar belakang untuk mengetahui apakah tempat yang diukur tersebut bisa dijadikan sebagai lokasi uji.

Dari uji audiometri menggunakan KUDUwave di ruang terbuka Poli MDR-TB, diperoleh hasil berupa nilai ambang dengar yang menyatakan dan mampu membuktikan sesuai hasil yang diperoleh dari uji audiometri menggunakan metode konvensional bilamana semua naracoba dinyatakan memiliki fungsi pendengaran normal (KNCV *Tuberculosis Foundation*, 2017). Akan tetapi, meskipun semua naracoba dinyatakan normal, ada beberapa nilai ambang dengar yang dideteksi oleh audiometer KUDUwave dan konvensional tidak menunjukkan angka yang sama persis. Sehingga dilakukan analisis statistik lebih lanjut untuk mengetahui lebih detail mengenai perbedaan unjuk kerja kedua audiometer. Perbedaan rata-rata dan standard deviasi *real* dan

**Tabel 4.9** Perbedaan Nilai *Mean* dan Standard Deviasi *Real* 25 Naracoba Normal Menggunakan KUDUwave di Ruang Terbuka dan Audiometer Konvensional

<i>Mean</i> (SD)	Frekuensi (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
AC	-0,8	0,20	-2,60	-1,80	-2,80	-8,2*	-10,6*
Left	2,19	2,18	2,11	1,95	2,43	1,96	1,84
AC	-4,2	-2,80	-2,60	1,20	1,40	-7,6*	-4,40
Right	2,14	1,89	2,16	2,13	1,91	2,66	2,79

**Tabel 4.10** Perbedaan Nilai *Mean* dan Standard Deviasi Absolut 25 Naracoba Normal Menggunakan KUDUwave di Ruang Terbuka dan Audiometer Konvensional

<i>Mean</i> (SD)	Frekuensi (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
AC	1,60	0,60	2,60	1,80	2,80	8,2*	10,60
Left	1,99	1,98	2,11	1,95	2,18	1,91	1,838
AC	5,00	4,40	3,80	0,40	0,60	9,20	6,00
Right	1,53	1,36	1,82	1,66	1,66	2,06	2,167

\* Menunjukkan perbedaan signifikan ( $p < 0,01$ ) dalam akurasi ambang batas sesuai dengan uji Wilcoxon dengan koreksi Bonferroni

dan absolut dari hasil uji audiometri ruang terbuka KUDUwave dengan konvensional masing-masing ditampilkan pada Tabel 4.9 dan 4.10. Kisaran perbedaan nilai rata-rata *real* untuk semua ambang batas pendengaran pada uji audiometri KUDUwave dengan konvensional (Tabel 4.9) adalah -10,6 – 1,40 dB dengan standard deviasi antara 1,84 hingga 2,79 dB. Sedangkan nilai rata-rata absolut (Tabel 4.10) untuk semua ambang batas pendengaran berada pada kisaran 0,40 – 10,60 dB dengan rentang standard deviasi 1,36 – 2,185 dB. Prosentase nilai ambang dengar pada semua frekuensi yang memiliki perbedaan rata rata absolut  $\pm 5$ dB dari uji

audiometri konvensional (Tabel 4.13) adalah 51,14%, dalam  $\pm 10$  dB adalah 25,14% dan dalam  $\pm 15$  dB adalah 13,71% dari batas ambang pendengaran dua puluh lima naracoba.

Berdasarkan analisis statistik non parametrik Wilcoxon menunjukkan tidak adanya perbedaan yang signifikan (Asymp. Sig > 0,01) pada rata-rata ambang batas pendengaran oleh audiometri KUDUwave dan Konvensional hampir di semua frekuensi (125-8000 Hz) telinga kiri dan kanan kecuali pada nilai perbedaan absolut frekuensi 4000 (di kedua telinga pada nilai *real* dan telinga kiri pada nilai absolut) dan 8000 Hz pada telinga kiri nilai *real*. Hasil uji signifikansi tersebut berlaku pada data pada Tabel 4.9 dan 4.10.

b. Uji Audiometri KUDUwave – Ruang Kedap Suara

Uji audiometri menggunakan audiometer KUDUwave ini dilakukan di dalam ruang kedap suara Poli Audiologi dalam keadaan pintu yang terbuka pada saat jam operasional rumah sakit. Tingginya level bising latar belakang pada lokasi uji ini tidak jauh berbeda dengan level bising latar belakang pada ruang semi kedap suara laboratorium Vibrastic, yaitu tidak lebih dari 40 dB seperti yang sudah tergambar pada Gambar 4.2.

Dari uji audiometri menggunakan KUDUwave di dalam ruang kedap suara dengan pintu terbuka pada Poli Audiologi, diperoleh hasil berupa nilai ambang dengar yang menyatakan dan mampu membuktikan sesuai hasil yang diperoleh dari uji audiometri menggunakan metode konvensional bilamana semua naracoba dinyatakan memiliki fungsi pendengaran normal (KNCV *Tuberculosis Foundation*, 2017). Akan tetapi, meskipun semua naracoba dinyatakan normal, ada beberapa nilai ambang dengar yang dideteksi oleh audiometer KUDUwave dan konvensional tidak menunjukkan angka yang sama persis. Sehingga dilakukan analisis statistik lebih lanjut untuk mengetahui lebih detail mengenai perbedaan unjuk kerja kedua audiometer.

Analisis statistik non-parametrik Wilcoxon dengan koreksi Bonferroni diterapkan digunakan untuk membandingkan perbedaan rata-rata dan standard deviasi *real* dan absolut dari hasil uji audiometri KUDUwave yang dioperasikan di dalam ruang kedap suara dengan pintu terbuka dengan konvensional yang masing-masing ditampilkan pada Tabel 4.11 dan 4.12. Kisaran nilai rata-rata *real* untuk semua ambang batas pendengaran pada uji audiometri konvensional (Tabel 4.11) adalah -15 – -1,429 dB dengan standard deviasi antara 0,845 hingga 2,903 dB. Sedangkan nilai rata-rata absolut (Tabel 4.12) untuk semua

**Tabel 4. 11** Perbedaan Nilai *Mean* dan Standard Deviasi *Real* 7 Naracoba Normal Menggunakan KUDUwave di Dalam Ruang Kedap Suara dan Audiometer Konvensional

<i>Mean</i> (SD)	Frekuensi (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<b>AC</b>	-5,714	-2,857	-4,286	-6,429	-5,714	-7,143	-13,57
<b>Left</b>	1,839	0,845	1,345	2,104	2,43	1,813	1,964
<b>AC</b>	-7,714	-7,143	-3,571	-5,714	-1,429	-12,86	-15
<b>Right</b>	1,43	1,175	1,113	2,420	2,903	1,618	1,496

**Tabel 4. 12** Perbedaan Nilai *Mean* dan Standard Deviasi Absolut 7 Naracoba Normal Menggunakan KUDUwave di Dalam Ruang Kedap Suara dan Audiometer Konvensional

<i>Mean</i> (SD)	Frekuensi (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<b>AC</b>	2,86	2,86	4,29	6,43	4,29	7,14	13,57
<b>Left</b>	0,422	0,42	0,673	1,052	1,023	0,906	0,982
<b>AC</b>	7,14	7,14	3,57	5,71	4,29	12,86	15,00
<b>Right</b>	0,715	0,59	0,556	1,21	1,029	0,809	0,748

ambang batas pendengaran berada pada kisaran 2,86 – 15 dB dengan rentang standard deviasi 0,42 – 1,21 dB.

Berdasarkan analisis statistic non parametrik Wilcoxon menunjukkan tidak adanya perbedaan yang signifikan (Asymp. Sig > 0,01) pada semua perbedaan rata-rata ambang batas pendengaran oleh audiometri KUDUwave yang dioperasikan di dalam ruang kedap suara dengan pintu terbuka dan Konvensional dan Hasil uji signifikansi tersebut berlaku pada data pada Tabel 4.9 dan 4.10.

Selain analisis statistik yang telah dilakukan sebelumnya, kemudiaan data nilai ambang dengar dari kedua kondisi lokasi uji dibandingkan untuk mengetahui apakah ada perubahan nilai ambang dengar ketika pengujian dilangsungkan di lokasi uji yang berbeda dengan kondisi uji yang berbeda, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.13 dan 4.14. Dari Tabel tersebut dapat diketahui bahwa terjadi perubahan nilai ambang dengar bunyi ketika pengujian dilakukan di lokasi uji dengan kondisi yang berbeda, dengan mayoritas perubahan yang terjadi adalah penurunan nilai ambang dengar yang ditandai dengan nilai negatif pada *mean* pada Tabel 4.13. Kisaran perubahan nilai rata-rata *real* untuk semua ambang batas pendengaran pada uji audiometri konvensional (Tabel 4.13) adalah -7,143 – 2,143 dB dengan standard

**Tabel 4. 13** Perbedaan Nilai *Mean* dan Standard Deviasi *Real* 7 Naracoba Normal Menggunakan KUDUwave di Dalam Ruang Kedap Suara dan KUDUwave di Ruang Terbuka Poli MDR-TB

<i>Mean</i> (SD)	Frekuensi (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<b>AC</b>	-2,857	2,86	-4,286	-6,429	-7,143	2,143	0
<b>Left</b>	1,431	1,43	1,345	2,138	2,104	1,447	1,464
<b>AC</b>	-3,571	-3,57	-1,429	-4,286	0	-2,143	-5,714
<b>Right</b>	1,195	1,195	1,589	2,289	2,699	1,512	2,138

**Tabel 4. 14** Perbedaan Nilai *Mean* dan Standard Deviasi *Real* 7 Naracoba Normal Menggunakan KUDUwave di Dalam Ruang Kedap Suara dan KUDUwave di Ruang Terbuka Poli MDR-TB

<i>Mean</i> (SD)	Frekuensi (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<b>AC</b>	2,93	3,45	6,59	14,76	3,83	8,07	6,55
<b>Left</b>	0,531	0,497	0,386	0,43	1,167	1,272	1,262
<b>AC</b>	0,57	1,93	4,40	16,05	5,05	7,84	2,36
<b>Right</b>	0,784	0,413	0,568	0,503	0,566	0,927	1,173

deviasi antara 1,345 hingga 2,699 dB. Sedangkan kisaran perubahan nilai rata-rata *real* untuk semua ambang batas pendengaran pada uji audiometri konvensional (Tabel 4.14) untuk semua ambang batas pendengaran berada pada kisaran 0,57 – 16,05 dB dengan rentang standard deviasi 0,386 – 1,272 dB.

### 4.3 Pembahasan

Menurut standard ISO 8253-1: 2010 saat ini, variabilitas standard untuk menentukan tingkat ambang dengar pada frekuensi di bawah 4000 Hz adalah 4,9 dB, dalam lingkungan yang level bising latar belakangnya dikontrol, tanpa *masking* dan dengan asumsi tidak ada distraksi lainnya. Dua puluh lima naracoba dalam penelitian ini melakukan empat rangkaian uji audiometri dan tujuh orang diantaranya dipilih secara acak untuk melakukan uji audiometri tahap lima. Untuk uji audiometri pertama adalah uji audiometri konvensional yang pelaksanaannya dilaksanakan di dalam ruang kedap suara Poli Audiologi, dengan hasil uji yang dijadikan sebagai *golden standard* (ASHA, 2004). Yang kedua adalah naracoba melakukan uji audiometri menggunakan perangkat lunak Psychoacoustic yang pelaksanaannya dilakukan di dalam ruang semi kedap suara dan di ruang terbuka Poli MDR-TB, dengan tujuan untuk mengetahui unjuk kerja dari audiometer ketika ada dan tidak ada bising latar belakang yang mengganggu. Dan yang terakhir, na-

**Tabel 4. 15** Persentase Korespondensi Ambang Batas Pendengaran Telinga Kiri dan Kanan (n = 25)

Correspondence (%)	Audiometer	Frekuensi (Hz)							ALL (%)
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
0 to $\pm$ 5 dB	Konv - Psks*	32	64	66	30	36	28	42	42,57
	Konv - Prt*	42	38	46	24	64	44	50	44
	Konv - Kw*	74	58	62	60	60	24	20	51,14
$\pm$ 10 dB	Konv - Psks*	68	32	32	40	22	16	26	33,71
	Konv - Prt*	56	52	40	46	26	52	30	43,14
	Konv - Kw*	20	32	24	36	20	18	26	25,14
$\pm$ 15 dB	Konv - Psks*	0	4	2	28	32	20	24	15,71
	Konv - Prt*	0	10	14	30	10	4	8	10,86
	Konv - Kw*	4	8	6	2	16	32	28	13,71
$>$ $\pm$ 15 dB	Konv - Psks*	0	0	0	2	10	36	8	8
	Konv - Prt*	2	0	0	0	0	0	12	2
	Konv - Kw*	2	2	8	2	4	26	26	10

\*Psks, Psychoacoustic di dalam ruang semi kedap suara

Prt , Psychoacoustic di rung terbuka Poli MDR-TB

Kw, KUDUwave

Konv, Konvensional

racoba diminta untuk melakukan uji audiometri menggunakan perangkat KUDUwave di ruang terbuka Poli MDR-TB, dan tujuh naracoba yang sudah disebutkan diminta untuk melakukan uji audiometri KUDUwave di dalam ruang kedap suara Poli Audiologi dalam keadaan pintu terbuka.

Perbedaan perlakuan atau metode dan lokasi uji merupakan salah satu penyebab munculnya variasi data pada penelitian ini, selain itu level bising latar belakang dan distraksi yang melebihi standard rekomendasi ISO 8253-1: 2010 merupakan beberapa faktor yang mungkin saja telah berkontribusi untuk memunculkan variasi data hasil uji audiometri (Brennan-Jones, dkk, 2016). Selain faktor-faktor yang mempengaruhi yang sudah disebutkan, ada beberapa faktor lain yang mungkin juga memunculkan variabilitas data dalam penelitian ini, antara lain variabilitas standard tes, perbedaan kondisi fungsi pendengaran antar naracoba dan kondisi lingkungan uji merupakan beberapa hal yang memberikan pengaruh yang cukup signifikan (Brennan-Jones, dkk, 2016).

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, diketahui bahwa kedua puluh lima naracoba terbukti memiliki fungsi pendengaran yang normal setelah melakukan uji audiometri konvensional, begitu juga dengan apa yang disampaikan oleh hasil uji audiometri menggunakan Psychoacoustic di dalam ruang kedap suara Laboratorium Vibrastic Teknik Fisika ITS dan audiometri KUDUwave. Akan tetapi hal tersebut tidak berlaku pada hasil uji audiometri menggunakan audiometer Psychoacoustic yang dioperasikan di ruang terbuka Poli MDR-TB. Seperti yang sudah dijelaskan pada sub bab 4.2, ketika semua naracoba melakukan uji audiometri ruang terbuka menggunakan Psychoacoustic di Poli MDR-TB, diketahui bahwa tujuh orang yang sama dideteksi mengalami gangguan pendengaran ringan pada telinga kiri dan atau telinga kanannya. Perlu diketahui, mayoritas dari hasil uji audiometri yang menyatakan naracoba mengalami *hearing loss* berasal dari nilai ambang dengar frekuensi rendah-menengah. Hal tersebut bisa saja terjadi dengan alasan yang diasumsikan antara lain karena tingginya level bising latar belakang pada saat melakukan uji audiometri di ruang terbuka

(Gambar 4.3) yang melebihi level bising yang bisa ditutupi oleh *headphone* yang digunakan untuk uji audiometri, sehingga akibat distraksi tersebut, fokus naracoba menjadi terpecah (Swanepoel, dkk, 2015; WIlber, 1999). Selain itu, level bising latar belakang yang ada di lorong Poli MDR-TB beberapa desibel lebih tinggi daripada bising latar belakang yang ada pada lokasi uji di penelitian sebelumnya (2015) mengenai tingkat akurasi KUDUwave yang dilakukan oleh Swanepoel dkk. Dimana pada penelitian tersebut, level bising latar belakang maksimal yang ada adalah 46,3 dB SPL (frekuensi 250 Hz) dan minimum 33,7 dB SPL (frekuensi 8000 Hz) (Swanepoel, dkk, 2015).

Dari nilai ambang dengar yang diperoleh dari empat rangkaian uji audiometri, dilakukan analisis unjuk kerja dari masing-masing audiometer yang digunakan, dengan audiometer konvensional sebagai golden standard (ASHA, 2004). Analisis ini dilakukan menggunakan metode statistik uji non-parametrik dengan metode Wilcoxon disertai koreksi Bonferroni (Brennan-Jones, Eikelboom, dkk, 2016; Swanepoel, dkk, 2015). Analisis dilakukan menggunakan uji non-parametrik dikarenakan adanya kelompok data yang tidak berdistribusi normal berdasarkan hasil dari uji normalitas Saphiro-Wilk yang menunjukkan nilai signifikansi  $< 0,01$ .

Berdasarkan uji statistik Wilcoxon dengan koreksi Bonferroni yang sudah dilakukan, dapat diketahui bahwa hasil uji audiometri menggunakan Psychoacoustic di dalam ruang semi kedap suara memiliki perbedaan yang cukup signifikan dengan uji audiometri konvensional di beberapa frekuensi uji, yaitu pada frekuensi 250, 500, 2000, 4000 dan 8000 Hz. Hal tersebut juga dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan 4.4 yang menunjukkan hasil uji statistik koreksi Bonferroni yang mana menginformasikan bahwa terdapat perbedaan *mean* dan standard deviasi yang cukup besar pada frekuensi tersebut. Selain itu prosentase nilai ambang dengar pada semua frekuensi uji yang dapat dilihat pada Tabel 4.15 menunjukkan lebih dari 75% nilai ambang dengar naracoba memiliki rentang selisih absolut  $\pm 10$  dB dibanding nilai ambang dengar hasil uji audiometri konvensional, dan 91,99% nilai

ambang dengar naracoba memiliki rentang selisish absolut  $\pm 15$  dB dibanding nilai ambang dengar dari hasil uji audiometri konvensional.

Hasil uji audiometri menggunakan Psychoacoustic di ruang terbuka Poli MDR-TB, menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan dengan uji audiometri konvensional di beberapa frekuensi uji, yaitu pada frekuensi 125, 250, 500, dan 1000 Hz. Hal tersebut juga dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan 4.6 yang menunjukkan hasil uji statistik koreksi Bonferroni yang mana menginformasikan bahwa terdapat perbedaan *mean* yang sangat besar pada frekuensi tersebut. Selain itu prosentase nilai ambang dengar pada semua frekuensi uji yang dapat dilihat pada Tabel 4.15 menunjukkan lebih dari 87,14% nilai ambang dengar naracoba memiliki rentang selisish absolut  $\pm 10$  dB dibanding nilai ambang dengar hasil uji audiometri konvensional, dan 98% nilai ambang dengar naracoba memiliki rentang selisish absolut  $\pm 15$  dB dibanding nilai ambang dengar dari hasil uji audiometri konvensional. Jumlah prosentase tersebut jauh lebih besar dibanding yang ditunjukkan oleh audiometer psychoacoustic yang dioperasikan di dalam ruang semi kedap suara. Hal tersebut menunjukkan apabila variabilitas atau persebaran nilai ambang dengar yang diukur menggunakan audiometri ruang terbuka Psychoacoustic adalah cukup kecil, dapat diatakan cukup merata, akan tetapi untuk nilai ambang dengar yang ditunjukkan bernilai lebih besar dibanding yang ditunjukkan oleh audiometer Psychoacoustic di dalam ruang semi kedap suara. Beberapa penyebab yang berkaitan dengan pernyataan-pernyataan tersebut seperti yang sudah dijelaskan pada bab 2, salah satunya adalah tingginya level bising latar belakang dan banyaknya distraksi menyebabkan fokus dari naracoba terpecah, selain itu lamanya durasi uji audiometri menyebabkan naracoba merasa lelah, sehingga mampu memengaruhi hasil uji audiometri yang dilakukan (Swanepoel, dkk, 2015; WIIber, 1999)

Dari kedua uji audiometri menggunakan Psychoacoustic yang dioperasikan di dua lokasi uji dengan kondisi yang berbeda menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai ambang dengar (nilai

*real*) hampir pada semua frekuensi, dengan rentang penurunan -16,61 – 2,574 dB, dan 1,11 – 14,83 dB pada nilai absolut. Perbedaan standard deviasi yang ditunjukkan keduanya tidak terlalu besar, sehingga dapat dikatakan bahwa variasi atau persebaran nilai antara keduanya hampir sama, tidak berbeda jauh.

Hasil uji audiometri menggunakan KUDUwave di ruang terbuka Poli MDR-TB, menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan dengan uji audiometri konvensional pada frekuensi 4000 Hz. Hal tersebut juga dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan 4.8 yang menunjukkan hasil uji statistik koreksi Bonferroni yang mana menginformasikan bahwa terdapat perbedaan *mean* dan standard deviasi yang cukup besar pada frekuensi tersebut yaitu -8,2 dan -7,6 dB dengan standard deviasi 1,96 dan 2,66 (telinga kiri, telinga kanan) pada nilai *real* dan 8,2 dan 9,2 dengan standard deviasi 1,906 dan 2,063 (telinga kiri, kanan) pada nilai absolut. Selain itu prosentase nilai ambang dengar pada semua frekuensi uji yang dapat dilihat pada Tabel 4.15 menunjukkan lebih dari 75% nilai ambang dengar naracoba memiliki rentang selisih yang lebih dari  $\pm 10$  dB dibanding nilai ambang dengar hasil uji audiometri konvensional, jumlah prosentase tersebut sedikit lebih kecil dibanding yang ditunjukkan oleh audiometer psychoacoustic yang dioperasikan di dalam ruang semi kedap suara dan di ruang terbuka. Nilai tersebut kurang sesuai dengan penelitian yang sudah dilakukan oleh Christopher G. Brennan-Jones, dkk tiga tahun yang lalu, dimana pada penelitian tersebut diketahui bahwa lebih dari 85% nilai ambang dengar naracoba berpendengaran normal yang diuji menggunakan KUDUwave memiliki rentang selisih  $\pm 10$  dB dengan nilai ambang dengar yang diuji menggunakan audiometer konvensional (Brennan-Jones, dkk, 2016). Begitu juga dengan penelitian empat tahun yang lalu yang dilakukan oleh Swanepoel, dimana lebih dari 90% nilai ambang dengar naracoba normal yang diuji menggunakan KUDUwave di ruang terbuka memiliki selisih  $\pm 10$  dB dengan uji audiometri yang dilakukan di ruang kedap suara (Swanepoel, dkk, 2015).

Selain di ruang terbuka, uji audiometri menggunakan KUDUwave juga dilakukan oleh tujuh orang naracoba yang dipilih

secara acak dari dua puluh lima naracoba yang sudah ada di ruang kedap suara Poli audiologi dengan keadaan pintu terbuka dan level bising latar belakang yang jauh lebih kecil dibanding di ruang terbuka. Dari nilai ambang dengar yang diperoleh, dapat diketahui bahwa nilai ambang dengar yang ditunjukkan oleh KUDUwave di dalam ruang kedap suara memiliki selisih yang sangat jauh dibanding yang ditunjukkan oleh audiometri konvensional, dalam artian nilai tersebut menunjukkan bahwa naracoba memiliki nilai yang jauh lebih sensitif atau peka dibanding apa yang diketahui sebelumnya dari hasil uji audiometri Konvensional. selain itu, untuk persebaran nilai juga dapat dikatakan hampir sama dengan yang ditunjukkan oleh uji audiometri konvensional, dapat dilihat dari nilai perbedaan standard deviasi yang cukup kecil.

Dari kedua uji audiometri menggunakan KUDUwave yang dioperasikan di dua lokasi uji dengan kondisi yang berbeda menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai ambang dengar (nilai *real*) hampir pada semua frekuensi, dengan rentang penurunan - 7,143 – 2,143 dB, dan 0,57 – 16,05 dB pada nilai absolut. Perbedaan standard deviasi yang ditunjukkan keduanya tidak terlalu besar, sehingga dapat dikatakan bahwa variasi atau persebaran nilai antara keduanya hampir sama, tidak berbeda jauh. Nilai tersebut jauh lebih kecil dibanding selisih nilai yang ditunjukkan audiometer psychoacoustic, sehingga dapat dikatakan bahwa jenis *headphone* yang digunakan sangat berpengaruh dalam uji audiometri, dan karena adanya kemampuan double attenuation yang dimiliki *headphone* KUDUwave, perbedaan nilai yang ditunjukkan ketika melakukan uji audiometri di dua lokasi dengan kondisi berbeda tidak sebesar yang ditunjukkan oleh uji audiometri Psychoacoustic (Brennan-Jones, dkk, 2016). Sehingga dari data tersebut dapat dikatakan bahwa KUDUwave mampu menjadi audiometer ruang terbuka yang menampilkan hasil uji paling mendekati hasil uji *golden standard*, yaitu hasil uji dari audiometri konvensional yang dilakukan di dalam ruang kedap suara.

Dari analisis dan pembahasan yang sudah dilakukan, dapat dikatakan bahwa uji audiometri ruang terbuka yang paling mampu menandingi audiometer konvensional saat ini adalah KUDUwave.

Sedangkan audiometer Psychoacoustic kurang bekerja optimal pada ruang terbuka dikarenakan tingginya level bising latar belakang, kurangnya kemampuan reduksi bising pada *headphone* yang digunakan dan lamanya durasi uji. Penulis berasumsi bahwa diperlukan headphone *circum-aural* dengan fitur *active* dan *pasive noise cancellation* yang lebih baik lagi agar mampu menampilkan hasil uji audiometri yang lebih maksimal meskipun dengan level bising latar belakang yang cukup tinggi (Berger E. , 1983; Berger, dkk, 2003).

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- a. Perangkat audiometer ruang terbuka Psychoacoustic kurang mampu menampilkan nilai ambang dengar yang sesuai dengan yang ditunjukkan audiometer *golden standard* (audiometer konvensional). Dimana 10 naracoba tidak terbukti memiliki fungsi pendengaran yang normal pada kedua telinga. Sedangkan audiometer yang sama dengan pengoperasian di dalam ruang semi kedap suara menunjukkan bahwa semua naracoba memiliki fungsi pendengaran yang normal.
- b. Hasil unjuk kerja yang ditunjukkan audiometer Psychoacoustic yang dioperasikan di ruang terbuka dengan metode *three-forced choice* tidak menunjukkan kinerja yang optimal dibanding audiometer *golden standard*. Dimana prosentase selisih *mean* ( $\pm 5$  dB) yang cukup kecil dari kedua hasil uji audiometer (44%). Sedangkan hal tersebut berkebalikan dengan yang ditunjukkan audiometer KUDUwave, dimana semua naracoba terbukti memiliki pendengaran yang normal dan lebih dari 50% nilai ambang dengar yang ditunjukkan KUDUwave memiliki selisih rata-rata  $\pm 5$  dB dengan yang ditunjukkan audiometer *golden standard*.

#### **5.2 Saran**

Saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah perlunya melakukan penelitian lebih lanjut dalam menentukan level bising latar belakang maksimal yang mampu *dimasking* oleh *headphone* yang digunakan dalam penelitian, dan penentuan lokasi uji perlu dipersiapkan dengan baik agar hasil uji audiometri yang diperoleh mampu menunjukkan hasil yang signifikan. Selain itu, peneliti juga perlu menambah variasi dari sampel uji atau naracoba, yaitu dengan menambahkan pasien gangguan pendengaran sebagai

subjek penelitian atau naracoba, sehingga dapat diketahui evaluasi unjuk kerja dari audiometri ruang terbuka Psychoacoustic pada pasien dengan gangguan pendengaran.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adriztina, I., Adnan, A., & Haryuna, S. H. (2014). Gangguan Pendengaran dan Keseimbangan pada Penderita Tuberkulosis yang Mendapat Pengobatan Antituberkulosis Kategori 1 dan 2.
- Agarwal, S. (2019, Maret 5). *A Comparison between Active and Passive Noise Cancellation in Headphones*. Diambil kembali pada 20 Mei 2019 dari Rich Bean: <https://www.richbeanindia.com/a-comparison-between-active-and-passive-noise-cancellation-in-headphones/>
- Anonim. (2011). *Pengendalian TB Resisten Obat*. Diambil kembali dari Departemen Kesehatan Republik Indonesia.
- Anonim. (2014, Februari 24). *What is the Bonferroni Method?* Dipetik Mei 29, 2019, dari Minitab Express Support: <https://support.minitab.com/en-us/minitab-express/1/help-and-how-to/modeling-statistics/anova/supporting-topics/multiple-comparisons/what-is-the-bonferroni-method/>
- Anonim. (2018). Datasheet KUDUwave™ Pro. Northcliff, Johannesburg, South Africa.
- Anonim. (2018, September 1). *Maximum Permissible Ambient Noise Levels of the KUDUwave Audiometer*. Diambil kembali pada 29 Mei 2019 dari Help Desk For KUDUwave Audiometers: <https://helpdesk.kuduwave.com/mpanls>
- Anonim. (2018). *Portable, Diagnostic, Booth-Free Audiometers: The Freedom to Make a Difference*. Dipetik July 7, 2018, dari eMOYO: <https://kuduwave.com/>
- Anonim. (2018). *Statistics Dictionary*. Diambil kembali dari Stat Trek: <https://stattrek.com/statistics/dictionary.aspx>
- Anonim. (2019, June 19 ). Diambil kembali pada 30 Juni 2019 dari HowStuffWorks.com: <https://electronics.howstuffworks.com/gadgets/audio-music/noise-canceling-headphone.htm>
- Anonim. (2019). *KUDUwave™ User Manual*. Diambil kembali pada 20 Mei 2019 dari KUDUwave.

- ASHA. (2004). *Guidelines for the Audiologic Assessment of Children from Birth to 5 Years of Age*. Rockville: American Speech-Language-Hearing.
- Berger, E. (1983). Laboratory Attenuation of Earmuffs and Earplugs Both Singly and in Combination. *Am Ind Hyg Assoc J*, 44(5), 321-329.
- Berger, E., Kieper, R., & Gauger, D. (2003). Hearing Protection: Surpassing the Limits to Attenuation Imposed by Bone-Conduction Pathways. *J Acoustic Soc Am*, 114(4), 1955-1967.
- Brennan-Jones, G. C., Eikelboom, R., Swanepoel, D. W., Friedland, P. L., & Atlas, M. D. (2016). Clinical Validation of Automated Audiometry with Continuous Noise-Monitoring in a Clinically Heterogeneous Population Outside a Soundtreated Environment. *International Journal of Audiology*, 1-7.
- British Society of Audiology. (2011). *Pure-tone air-conduction and bone-conduction threshold audiometry with and without masking*. Berkshire: The British Society of Audiology.
- Carcagno, S. (2008). *Psychoacoustic*. Diambil kembali pada 30 April 2019 dari <https://psychoacoustics.readthedocs.io/en/latest/intro.html>
- Chocholle, R. a. (1968). Les seuils auditifs différentiels d'intensité en fonction de la durée des stimuli. *Comptes Rendus de la Société de Biologie* 162, 848-885.
- Dhingra, P. (2007). Assessment of Hearing. Dalam *Disease of Ear, Nose and Throat 4th Edition*. Elsevier.
- Eikelboom, R., Swanepoel, D., Motakef, S., & Upson, G. (2013). Clinical Validation of the AMTAS Automated Audiometer. *International Journal of Audiology*, 342-349.
- eMoyo. (t.thn.). *KUDUwave User Manual*. South Africa: eMoyo.
- Fastl, H., & Zwicker, E. (2007). Masking. Dalam H. Fastl, & E. Zwicker, *Psycho-Acoustics Facts and Models Third Edition* (hal. 60-74). Verlag Berlin Heidelberg: Springer.

- Florentine, M. M. (2001). Maximum-likelihood Yes-No procedure for gap detection: Effect of track length. *J Am Acad Audiol* 12, 113–120.
- Franks, J. R. (1998). *Hearing Measurement*. Cincinnati, Ohio, USA: National Institute for Occupational Safety and Health.
- Gatehouse, S., & Davis, A. (1992). Clinical Pure-Tone versus Three-Interval Forced-Choice Threshold : Effect of Hearing Level and Age. *Audiology*, 31-44.
- Groben, L. (1971). Appreciation of short tones. *Proceedings of the 7th ICA Congress on Acoustics, Paper 19-H-6*. Budapest (Hungary): International Commission on Acoustics (ICA).
- Hargrave, M. (2019, Mei 25). *Standard Deviation Definition*. Dipetik 24 Juli 2019, dari Investopedia: <https://www.investopedia.com/terms/s/standarddeviation.asp>
- Harris, T., Bardien, S., Schaaf, H. S., Petersen, L., Jong, G. d., & Fagan, J. J. (2012). Aminoglycoside-induced hearing loss in HIV-positive and HIV-negative multidrug-resistant tuberculosis patients. *South African Medical Journal*, 102(6), 363-366.
- Harris, W. (2007, February 15). *How Noise-canceling Headphones Work*.
- Henning, G. a. (1967). Amplitude discrimination in noise. *Journal of the Acoustical Society of America* 41, 1365-1366.
- Hersh, M. A., & Johnson, M. A. (2003). *Anatomy and physiology of hearing, hearing impairment and treatment*. In : Keener J, Sneyd J., eds. *Mathematical physiology 2nd ed*. London: Springer Verlag.
- Howard, D. M. (2009). *Acoustics and Psychoacoustics*. Britain: Elsevier Ltd.
- Howard, D. M., & Angus, J. A. (2009). Pure-tone and Speech Audiometry. Dalam *Acoustics and Psychoacoustics*. Focal Press.
- Kantasubrata, J. (2008). *Jaminan Mutu Data Hasil Pengujian : Kontrol Sampel dan Aplikasinya*. Bandung: RC Chem Learning Centre.

- KepMenLH No.48/MenLH/11/1996, K. (1996). *Baku Tingkat Kebisingan*. Jakarta: Kementrian Negara Lingkungan Hidup.
- Keya Rani Das, A. H. (2016). A Brief Review of Tests for Normality. *American Journal of Theoretical and Applied Statistics Vol. 5, No. 1*, 5-12.
- Kim, H.-Y. (2014). Analysis of Variance (ANOVA) Comparing Means of More than Two Groups. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 2234-7666.
- KNCV Tuberculosis Foundation. (2017). *Audiometry in the Management of Drug-Resistant Tuberculosis*. Challenge TB 2017.
- KNCV Tuberculosis Foundation. (2017). *Audiometry in the Management of Drug-Resistant Tuberculosis*. Challenge TB 2017.
- Koester, T. a. (1946). The effect of context upon judgment of pitch differences. *Journal of Experimental Psychology* 36, 417-430.
- König, E. (1957). Effect of time on pitch discrimination thresholds under several psychophysical procedures. *Journal of the Acoustical Society of America* 29, 606-612.
- Kutz, J. W., Meyers, A., & Bauer, C. A. (2012, Mei 22). *Audiology Pure-Tone Testing*. Diambil kembali pada 20 Maret 2019 dari <http://www.emedicine.medscape.com/article/1822962-overview>
- Letowski, T. (1982). A note on the differential limen for frequency differentiation. *Journal of Sound and Vibration* 85, 579-583.
- Letowski, T. a. (1971). The DL for loudness of musical sounds. *Proceedings of the VII ICA* (hal. 325-328). Budapest, Hungary: International Commission on Acoustics (ICA) 19-H-5.
- Levine, S. (1997). Audilogi. Dalam L. S, *BOIES Buku Ajar Penyakit THT* (hal. 46-74). Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.
- Liang, C. a. (1961). Frequency difference limens as a function of tonal duration. *Soviet Physical Acoustics* 6, 75-80.

- Milosevic, A. & Schaufelberger, U. (2005). *Active Noise Control*. Rapperswil: University of Applied Sciences Rapperswil HSR.
- Moller, A. R. (2005). *Physiological aspects of cochlear hearing loss*. In : Jackler RK, Brackmann DE, eds. *Neurotology 2nd ed*. Philadelphia: Elsevier Mosby.
- Montgomery, D., & Runger, G. (2003). *Applied Statistics and Probability for Engineers*. New York: John Wiley & Sons.
- Moore, B. (1973). Frequency difference limes for short-duration tones. *Journal of the Acoustical Society of America* 54, 610-619.
- Ostertagová, E., & Ostertag, O. (2013, ). Methodology and Application of One-way ANOVA. *American Journal of Mechanical Engineering*, Vol. 1, No. 7, pp. 256-261.
- Ostertagová, E., Ostertag, O., & Jozef, K. (2014). *Methodology and Application of the Kruskal-Wallis Test*. Switzerland: Trans Tech Publications.
- Otometrics*. (t.thn.). Dipetik 5 Januari 2019, dari Natus: <https://otometrics.natus.com/products-services/madsen-astera2>
- Refugio, C. N. (2018). *An Empirical Study on Wilcoxon Signed Rank Test*. Jerman: ResearchGate.
- Reviono, d. (2014). Multidrug Resistant Tuberculosis (MDR-TB): Tinjauan Epidemiologi dan Faktor Risiko Efek Samping Obat Anti Tuberkulosis. *MKB*, 46 (4), , 189-196.
- Riesz, R. (1928). Differential intensity sensitivity of the ear. *Physics Review* 31, 867-875.
- Robinson, D. W., & Dadson, M. A. (1956). A Re-determination of The Equal-Loudness Relations for Pure Tones. *IOP-Science*.
- Roeser, R. J.-D. (2007). *Audiology: Diagnosis 2nd ed*. New York Thieme Medical Publishers, Inc.
- Schmidt, J. H., Brandt, C., Jakob, C.-D., Andersen, T., Bælum, J., & Poulsen, T. (2009). Test Person Operated 2-Alternative Forced Choice Audiometry Compared to Traditional Audiometry. *Proceedings of ISAAR*, 383.
- Schmidt, J., Brandt, C., Dalsgaard, J., Andersen, T., Bælum, J., & Poulsen, T. (2009). Test person operated 2-Alternative Forced

- Choice Audiometry compared to traditional audiometry. *2nd International Symposium on Auditory and Audiological Research*. Denmark: ISAAR 2009: Binaural Processing and Spatial Hearing.
- Schuman, R. (2006). Ototoxicity. Dalam *In: Bailey BJ. Head & Neck Surgery - Otolaryngology, 4th edition* (hal. 465). New York: Lippincott Williams & Walkins.
- Sekey, A. (1963). Short-term auditory frequency discrimination. *Journal of the Acoustical Society of America* 35, 682-690.
- Selimoglu, E. (2007). Aminoglycoside-induced Ototoxicity. *Current Pharmaceutical Design Journal*, 13(1), 119-126.
- Shelton, B., & Scarrow, I. (1984). Two-Alternative Versus Three-Alternative Procedures for Threshold Estimation. *Perception & Psychophysics*, 35(4), 385-392.
- Shower, E. a. (1931). Differential pitch sensitivity. *Journal of the Acoustical Society of America* 3, 275-287.
- Soepardi, E. A. (2008). Gangguan Pendengaran dan Kelainan Telinga. Dalam *Buku Ajar Ilmu Kesehatan Telinga, Hidung, Tenggorokan, Kepala Leher* (hal. 10-22). Jakarta: Balai Penerbit FKUI.
- Soepardi, E. A. (2008). Gangguan Pendengaran dan Kelainan Telinga. Dalam E. A. Soepardi, *Buku Ajar Ilmu Kesehatan Telinga, Hidung, Tenggorokan, Kepala Leher* (hal. 10-22). Jakarta: Balai Penerbit FKUI.
- Stanislaw, H., & Todorov, N. (1999). Calculation of Signal Detection Theory Measures. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 137-149.
- Swanepoel, D., Mngemane, S., Molemong, S., & Mkwanzazi, H. (2010). Hearing Assessment-Reliability, Accuracy, and Efficiency of Automated Audiometry. *Telemed J E Health*, 557-563.
- Swanepoel, D. W., Clark, J. L., & Koekemoer, D. (2010). Telehealth in audiology: The need and potential to reach underserved communities. *Int J. Audio*, 195-202.
- Swanepoel, D. W., Matthysen, C., EEikelboom, H. R., Clark, L. J., & Iii, J. W. (2015). Pure-Tone Audiometry Outside a Sound

- Booth Using Earphone Attenuation, Integrated Noise Monitoring, and Automation. *International Journal of Audiology*, 777–785.
- Torun, T., Gungor, G., Ozmen, Y., Bolukba, I., Maden , E., Bicakci, B., & Atac, G. (2005). Side Effects of Associated with the Treatment of Multidrug-Resistant Tuberculosis. *The International Journal of Tuberculosis and Lung Disease*, 9(12), 1317-1377.
- Triton. (2005). *SPSS 13.00 Terapan Statistik*. Yoyakarta: Penerbit Andi.
- Walliser, K. (1968). *Zusammenwirkung von Hüllkurven-periode und Toneheit bei der Bildung der Periodentonhöhe*. München (Germany): München Technische Hochschule.
- Walliser, K. (1969). Über die Abhängigkeiten der Tonhöhenempfindung von Sinustönen vom Schallpegel von überlagertem drosselndem Störschall und von der Darbietungsdauer. *Acustica* 21, 211-221.
- Weber, E. (1834). *Annotationes Anatomicae et Physiologicae*. Dalam E. Weber, *De Pulsu, Resorpitone, Auditu et Tactu*. Germany: Koehler.
- WHO. (2018, Maret 15). *Deafness and Hearing Loss*. Dipetik Januari 15, 2019, dari World Health Organization: <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss>
- Wier, C. J. (1977). Frequency discrimination as a function of frequency and sensation level. *Journal of the Acoustical Society of America* 61, 178-184.
- Wilber, L. (1999). Pure-tone audiometry: air and bone conduction. Dalam L. Wilber, *Contemporary Perspectives in Hearing Assessment* (hal. 1-20). Needham Heights: MA: Allyn & Bacon.
- Wilcoxon, F. (1945). Individual Comparisons by Ranking Methods. *Biometrics Bulletin* , 80–83.
- Zwicker , E., & Schorn, K. (1978). Psychoacoustical Tuning Curves in Audiology. *International Journal of Audiology*, 120-140.

Halaman ini memang dikosongkan

**LAMPIRAN I**  
 Nilai Ambang Dengar Naracoba

**Tabel 1** Nilai PTA Telinga Kiri Naracoba Normal

<b>Nara coba</b>	<b>Pycho Luar</b>	<b>Pycho Dalam</b>	<b>Konven Sional</b>	<b>KUDUwave</b>
BNA (P)	HL- Ringan PTA 22,58	Normal PTA 8,08	Normal PTA 23,75	Normal PTA 16,25
RMA (P)	Normal PTA 18,08	Normal PTA 11,46	Normal PTA 12,50	Normal PTA 5,00
RIZ (P)	Normal PTA 3,50	Normal PTA -7,29	Normal PTA 3,75	Normal PTA 2,50
ASH (P)	HL- Ringan PTA 19,92	Normal PTA 4,96	Normal PTA 6,25	Normal PTA 5,00
FRY (L)	Normal PTA 10,38	Normal PTA -1,38	Normal PTA 6,25	Normal PTA 10,00
LNA (P)	HL- Ringan PTA 20,50	Normal PTA 3,75	Normal PTA 5,00	Normal PTA -18,75
RCM (P)	HL- Ringan PTA 17,75	Normal PTA 0,04	Normal PTA 8,75	Normal PTA 3,75
ALF (P)	HL- Ringan PTA 10,54	Normal PTA 4,92	Normal PTA 16,25	Normal PTA 7,50

ANN (P)	Normal PTA 19,96	Normal PTA 2,04	Normal PTA 5,00	Normal PTA -7,50
AGG (L)	Normal PTA 9,84	Normal PTA 1,67	Normal PTA 12,50	Normal PTA 8,75
BTG (L)	Normal PTA 9,96	Normal PTA -1,96	Normal PTA 6,25	Normal PTA 6,25
ADY (L)	Normal PTA 10,46	Normal PTA 6,50	Normal PTA 10,00	Normal PTA 12,50
TNT (P)	Normal PTA 19,42	Normal PTA 7,58	Normal PTA 16,25	Normal PTA 16,25
DBR (P)	Normal PTA 8,75	Normal PTA -1,33	Normal PTA 8,75	Normal PTA 2,50
MYG (P)	HL- Ringan PTA 21,46	Normal PTA 10,83	Normal PTA 8,75	Normal PTA 5,00
DNI (L)	Normal PTA 16,75	Normal PTA 10,08	Normal PTA 16,25	Normal PTA 6,25
IBN (L)	Normal PTA 15,21	Normal PTA 7,00	Normal PTA 16,25	Normal PTA 17,50
VND (L)	Normal PTA 10,08	Normal PTA 9,46	Normal PTA 10,00	Normal PTA 6,25
ISN (L)	Normal PTA 9,42	Normal PTA 5,92	Normal PTA 7,50	Normal PTA 6,25
PTR (L)	Normal PTA 11,71	Normal PTA 6,75	Normal PTA 15,00	Normal PTA 10,00
MFT (L)	Normal PTA 13,25	Normal PTA 9,96	Normal PTA 12,50	Normal PTA 8,75

RDI (L)	Normal PTA 12,33	Normal PTA -2,63	Normal PTA 7,50	Normal PTA 8,75
AMM (L)	Normal PTA 17,38	Normal PTA 8,38	Normal PTA 8,75	Normal PTA 13,75
AFS (L)	Normal PTA 7,92	Normal PTA -1,30	Normal PTA 10,00	Normal PTA 5,00
VRI (L)	Normal PTA 14,17	Normal PTA -1,92	Normal PTA 5,00	Normal PTA 5,00

**Tabel 2** Nilai PTA Telinga Kanan Naracoba Normal

<b>Nara coba</b>	<b>Pycho Luar</b>	<b>Pycho Dalam</b>	<b>Konven sional</b>	<b>KUDUwave</b>
BNA (P)	HL- Ringan PTA 20.83	Normal PTA 5,30	Normal PTA 21.25	Normal PTA 15,00
RMA (P)	Normal PTA 14,25	Normal PTA 6,21	Normal PTA 15,00	Normal PTA 2,50
RIZ (P)	Normal PTA 12,58	Normal PTA 4,46	Normal PTA 7,50	Normal PTA 3,75
ASH (P)	HL- Ringan PTA 20,71	Normal PTA 4,83	Normal PTA 10,00	HL-Ringan PTA 22,50
FRY (L)	Normal PTA 11,79	Normal PTA -0,29	Normal PTA 10,00	Normal PTA 8,75
LNA (P)	HL- Ringan PTA 22,42	Normal PTA 4,21	Normal PTA 10,00	Normal PTA -3,75

RCM (P)	Normal PTA 18,37	Normal PTA 0,38	Normal PTA 12,50	Normal PTA 2,50
ALF (P)	Normal PTA 12,84	Normal PTA 4,25	Normal PTA 17,50	Normal PTA 7,50
ANN (P)	Normal PTA 19,96	Normal PTA 8,37	Normal PTA 15,00	Normal PTA 13,75
AGG (L)	Normal PTA 11,96	Normal PTA 5,04	Normal PTA 13,75	Normal PTA 38,75
BTG (L)	Normal PTA 10,21	Normal PTA 1,33	Normal PTA 10,00	Normal PTA 8,75
ADY (L)	Normal PTA 11,13	Normal PTA 6,46	Normal PTA 3,75	Normal PTA 0,00
TNT (P)	HL- Ringan PTA 18,58	Normal PTA 9,67	Normal PTA 17,50	Normal PTA 13,75
DBR (P)	Normal PTA 7,63	Normal PTA 4,21	Normal PTA 11,25	Normal PTA 5,00
MYG (P)	Normal PTA 15,96	Normal PTA 20,88	Normal PTA 11,25	Normal PTA 10,00
DNI (L)	Normal PTA 19,67	Normal PTA 10,17	Normal PTA 16,25	Normal PTA 11,25
IBN (L)	Normal PTA 11,00	Normal PTA 8,17	Normal PTA 17,50	Normal PTA 16,25

VND (L)	Normal PTA 13,83	Normal PTA 8.84	Normal PTA 11,25	Normal PTA 7,50
ISN (L)	Normal PTA 7,13	Normal PTA 6,17	Normal PTA 8,75	Normal PTA 11,25
PTR (L)	Normal PTA 11,08	Normal PTA 9,69	Normal PTA 15,00	Normal PTA 11,25
MFT (L)	Normal PTA 12,67	Normal PTA 5,87	Normal PTA 10,00	Normal PTA 10,00
RDI (L)	Normal PTA 12,92	Normal PTA 6,92	Normal PTA 6,25	Normal PTA 8,75
AMM (L)	Normal PTA 14,08	Normal PTA 11,33	Normal PTA 12,50	Normal PTA 17,50
AFS (L)	Normal PTA 7,59	Normal PTA 2,04	Normal PTA 12,50	Normal PTA 7,50
VRI (L)	Normal PTA 14,04	Normal PTA -1,38	Normal PTA 5,00	Normal PTA 3,75

## LAMPIRAN II

### Audiometer Konvensional

<b>Tipe / Model</b>	MADSEN Astera <sup>2</sup> / GN Otometrics A/S tipe 1066
	
<b>Dimensi / Berat</b>	325 x 255 x 60 mm / 1300 gr
<b>Temperatur Operasional</b>	15°C – 35°C <i>Eartips</i>
<b>Tekanan Ambient Operasional</b>	980 hPa – 1040 hPa
<b>Kelembabab Operasional</b>	30% to 90% (non-condensing)
<b>Durasi Pemanasan</b>	< 5 menit
<b>Uji Audiometri Nada Murni Konduksi Udara</b>	
<b>Standard Audiometri</b>	IEC60645-1, Type 1, IEC60645-2 dan ANSI S3.6
<b>Tranduser Konduksi Udara</b>	TDH39, HDA 300, dan <i>Insert Earphones</i>
<b>Tipe Stimulus</b>	<i>Tone, warble, pulsed tone, pulsed warble, fresh noise, pulsed fresh noise</i>
<b>Range Freuensi (Stimulus Nada Murni dan Noise)</b>	<i>Headphone TDH39 : 125 - 12500 Hz Headphone HDA : 125 - 20000 Hz Insert earphones : 125 - 8000 Hz BC : 250 - 8000 Hz SF: 125 - 20000 Hz</i>

<b>Akurasi Frekuensi (nada murni)</b>	> 0.03%
<b>Resolusi Frekuensi</b>	1/48, 1/24, 1/12 dan 1/6 oktaf, 1Hz <i>step</i>
<b>Akurasi Kekerasan Stimulus</b>	125 – 5000 Hz : ± 3 dB 5000 – 20000 Hz : ± 5 dB
<b>Masking</b>	<i>Narrow band noise, speech weighted noise, white noise</i>
<b>Keluaran maksimum</b>	-10 – 120 dBHL (500 – 4000 Hz ; <i>headphone supra-aural</i> )
<b>Distorsi Harmonik Total</b>	< 2,5 %

**LAMPIRAN III**  
**SPEC-TECH KUDUwave™ Pro**

<b>Type / Model</b>	KUDUwave™ Pro
 <p style="text-align: right;"><i>Eartips</i></p>	
<b>Dimensi / Berat</b>	210 x 260 x 110 mm / 250 gr
<b>Power Supply</b>	2x Port USB <i>Laptop</i> Standard (5 V, Max Per Port 500 mA) ; <i>Laptop</i> tidak dalam keadaan tersambung aliran listrik saat pengujian
<b>Pengiriman Data</b>	Kabel USB KUDUwave™
<b>Temperatur Operasional</b>	13-35°C
<b>Tekanan Ambient Operasional</b>	98 – 104 kPa
<b>Kelembabab Operasional</b>	30-90% (tanpa kondensasi)
<b>Durasi Pemanasan</b>	10-20s
<b>Respon Pasien</b>	Tombol respon genggam (USB)
<b>Saluran Bunyi</b>	Pvc 80 Shore standard medis, bening dengan haris X-Ray

		Putih, L 180 mm; ID 1,5 mm; OD 2,9 mm
<b>Talk Forward</b>		40-100 dBHL (dapat disesuaikan)
<b>Uji Audiometri Nada Murni Konduksi Udara</b>		
<b>Kelengkapan</b>		<i>Eartips</i> [ kuning : dewasa ; coklat : anak-anak (sekali pakai)]
<b>Standard</b>	<b>Audiometri</b>	BS EN 60645-1 (tipe 3)
	<b>Kalibrasi</b>	BS EN 60645-1, EN 60645-2, SANS 10154-1 dan SANS 10154-2
<b>Tranduser Konduksi Udara</b>		<i>Earphone</i> internal
<b>Coupler Kalibrasi Konduksi Udara</b>		IEC 60318-4 (IEC 711) Ear Simulator RETSPL as per ISO 389-2, ISO 389-4*
<b>Nada (<i>stimuli</i>)</b>		Nada murni
<b>Range Frekuensi</b>		125 – 8 kHz
<b>Akurasi Frekuensi</b>		< 0,05%
<b>Distorsi Harmonik Total</b>		< 3%
<b>Masking</b>		<i>Narrow band noise</i> (otomatis terpusat pada frekuensi uji)
<b>Mode Operasional</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manual</li> <li>- <i>Automatic shortened ascending</i> (Metode Hughson &amp; Wetlake – ISO 8253-1)</li> <li>- <i>Automatic standard ascending</i></li> <li>- <i>Shortened And Standard Bracketing</i></li> <li>- <i>Fixed Frequency Békésy</i></li> </ul>

	<i>Sweep (Optional)</i> <i>- Pure Tone Stenger</i> <i>(Optional)</i>
<b>Atenuasi</b>	
<b>Karakteristik Atenuasi Bunyi Konduksi Udara`</b>	14,81 dBA pada 125 Hz 29,03 dBA pada 250 Hz 40,55 dBA pada 500 Hz 40,80 dBA pada 1000 Hz 39,30 dBA pada 2000 Hz 53,26 dBA pada 4000 Hz 44,66 dBA pada 8000 Hz
<b>Tingkat Tekanan Bunyi Bising Latar Belakang Operasional untuk Menguji hingga 0 dBHL</b>	< 53,81 dBA SPL pada 125 Hz < 60,32 dBA SPL pada 250 Hz < 54,75 dBA SPL pada 500 Hz < 53,00 dBA SPL pada 1000 Hz < 51,20 dBA SPL pada 2000 Hz < 59,96 dBA SPL pada 4000 Hz < 57,86 dBA SPL pada 8000 Hz

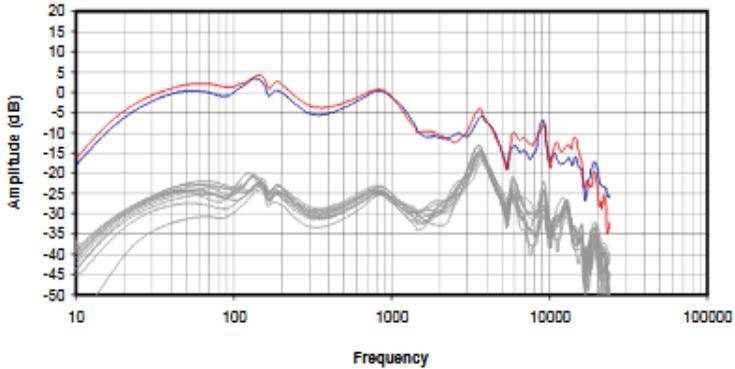
**LAMPIRAN IV**  
**Spesifikasi Teknik *Headphone Active Noise Cancelling***

Tipe / Model	Bose Quietcomfort 35 (serie 1)
 <p>The diagram labels the following components:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>备用音频线缆接头 / Back-up audio cable connector</li> <li>耳机控件 / Headphone controls</li> <li>NFC 接触点 / NFC touchpoint</li> <li>USB 充电线缆接头 / USB charging connector</li> <li>电源/Bluetooth 按钮 (三位) / Power/Bluetooth button (three-position)</li> <li>麦克风 / Microphone</li> <li>电池和 Bluetooth* 指示灯 / Battery and Bluetooth* indicators</li> </ul>	
<b>Dimensi / Berat</b>	3.1 x 6.7 x 7.1 inch / 830gr

Baterai

1 Baterai Lithium

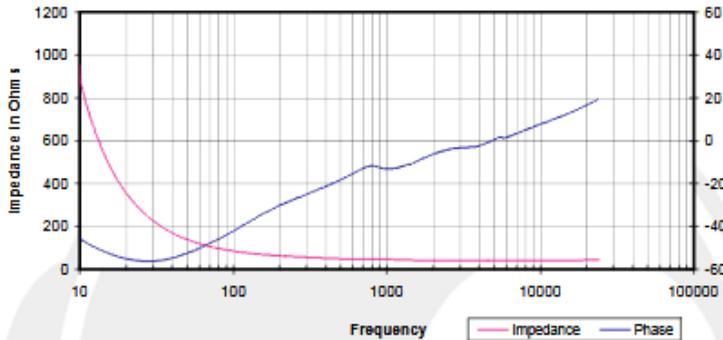
### Respon Frekuensi



Atas - Terkompensasi dan Rata-rata

Bawah - Data Mentah untuk Lima Posisi *Headphone*

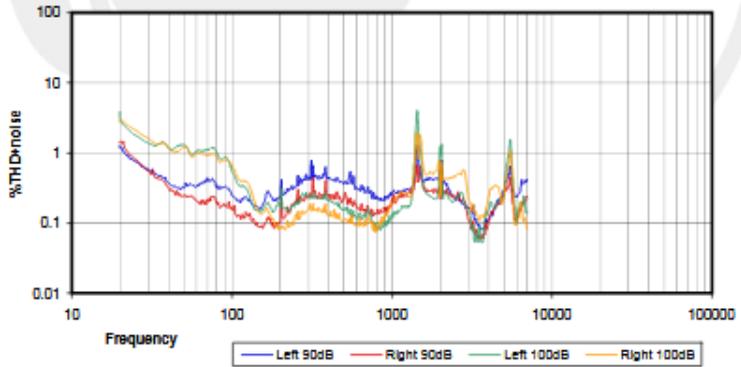
### Impedansi dan Fasa Listrik



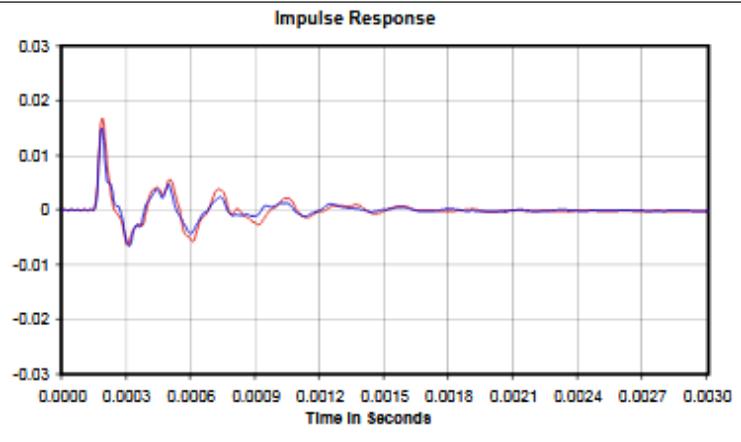
Impedance @ 1kHz: 47 Ohms

\* Diukur dengan impedansi output 600 Ohm

### %THD+noise @ 90dB and 100dB



### Respon Impuls



## Isolasi (Reduksi Suara Eksternal vs. Frekuensi)

-14,19 dBA pada 125 Hz

-14,67 dBA pada 250 Hz

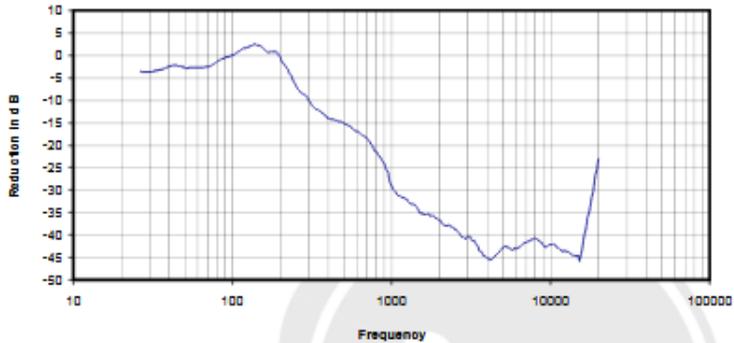
-18,25 dBA pada 500 Hz

-30 dBA pada 1000 Hz

-35,80 dBA pada 2000 Hz

-44,04 dBA pada 4000 Hz

-40,14 dBA pada 8000 Hz



**LAMPIRAN V**  
**Dokumentasi Pengambilan Data**

**1. Uji Audiometri Konvensional – Ruang Kedap Poli Audiologi**



## 2. Uji Audiometri *Three-Forced Choice* (Psychoacoustic) – Ruang Semi Kedap Suara Lab. Vibrastic



**3. Uji Audiometri Ruang Terbuka *Three-Forced Choice* (Psychoacoustic) – Lorong Poli MDR-TB**



**4. Uji Audiometri Ruang Terbuka KUDUwave – Poli MDR-TB**



## 5. Uji Audiometri KUDUwave – Ruang Kedap Poli Audiologi



## BIODATA PENULIS



Nama lengkap penulis adalah Rahma Dewi Kartika Sari yang lahir di Jombang, 7 AGUSTUS 1997 dari ayah bernama Rahmad Pamuji dan ibu bernama Sudar Mamik. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN Losari I tahun 2003, SMPN 2 Jombang tahun 2009, SMAN 2 Jombang tahun 2012, kemudian Teknik Fisika FTI ITS sebagai mahasiswa angkatan 2015. Pada tahun 2019, penulis telah berhasil menyelesaikan gelar sarjana Strata 1 di Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif di Paguyuban Karya Salemba Empat ITS sebagai staff departemen Internal di tahun kedua. Selain itu, penulis juga bergabung di Laboratorium Fisika Rekayasa sebagai member pada tahun kedua dan Laboratorium Vibrasi dan Akustik sebagai member pada tahun ketiga hingga penulis menyelesaikan masa studinya sebagai mahasiswa. Penulis dapat dihubungi melalui email [rahmaiikka@gmail.com](mailto:rahmaiikka@gmail.com) dan [rahmadewikartikasari@gmail.com](mailto:rahmadewikartikasari@gmail.com).