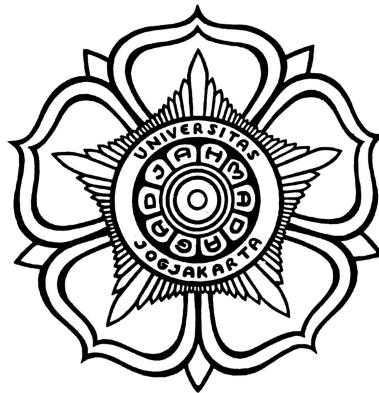


**RANCANG BANGUN SISTEM VISUALISASI INTERAKTIF  
DATA DIREKTIVITAS *BUNDENGAN***

**SKRIPSI**

untuk memenuhi sebagian persyaratan  
untuk memperoleh derajat Sarjana  
Program Studi Teknik Fisika



diajukan oleh  
**ALVIANAKA FEBRIANTORO**  
17/413539/TK/45979

kepada  
**DEPARTEMEN TEKNIK NUKLIR DAN TEKNIK FISIKA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS GADJAH MADA**  
**YOGYAKARTA**  
**2022**

## **PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Alvianaka Febriantoro  
NIM : 17/413539/TK/45979  
Tahun terdaftar : 2017  
Program Studi : Teknik Fisika  
Fakultas : Teknik

menyatakan bahwa dokumen ilmiah Skripsi ini tidak terdapat bagian dari karya ilmiah lain yang telah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu lembaga Pendidikan Tinggi, dan juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang/lembaga lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dalam dokumen ini dan disebutkan sumbernya secara lengkap dalam daftar pustaka.

Dengan demikian saya menyatakan bahwa dokumen ilmiah ini bebas dari unsur-unsur plagiasi dan apabila dokumen ilmiah Skripsi ini di kemudian hari terbukti merupakan plagiasi dari hasil karya penulis lain dan/atau dengan sengaja mengajukan karya atau pendapat yang merupakan hasil karya penulis lain, maka penulis bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum yang berlaku.

Yogyakarta, Februari 2022  
Yang menyatakan,

(*Materai Rp10.000,-*)

Alvianaka Febriantoro  
NIM. 17/413539/TK/45979

## **HALAMAN PENGESAHAN**

### **SKRIPSI**

#### **RANCANG BANGUN SISTEM VISUALISASI INTERAKTIF DATA DIREKTIVITAS BUNDENGAN**

Nama Mahasiswa : Alvianaka Febriantoro  
Nomor Mahasiswa : 17/413539/TK/45979  
Pembimbing Utama : Dr. Gea O. F. Parikesit, S.T., M.Sc.  
Pembimbing Pendamping : Dr. Indraswari Kusumaningtyas, S.T., M.Sc.

Skripsi ini telah dipertahankan di depan Tim Pengaji  
pada tanggal 21 Maret 2022

Ketua Sidang : Dr. Gea O. F. Parikesit, S.T., M.Sc.  
Pengaji Utama : Nama Lengkap Pengaji Utama  
Anggota Pengaji : Nama Lengkap Anggota Pengaji

Skripsi ini telah diterima dan dinyatakan memenuhi  
syarat kelulusan pada tanggal .....

Ketua Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika  
Fakultas Teknik UGM

Dr. Alexander Agung, S.T., M.Sc.  
NIP. 19720916 199803 1 002

*...Dengan bangga kupersembahkan karya ini untuk diriku sendiri yang mampu tetap  
yakin untuk berkontribusi pada upaya konservasi kebudayaan...*

*"If I had nine hours to chop down a tree, I'd spend the first six sharpening my axe"*

Abraham Lincoln

## **KATA PENGANTAR**

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa karena atas kehendak-Nya penulis dapat menyelesaikan penggerjaan Tugas Akhir dan penulisan Skripsi yang berjudul "Rancang Bangun Sistem Visualisasi Interaktif Data Direktivitas *Bundengan*". *Bundengan* adalah alat musik tradisional yang sangat unik namun saat ini terancam punah. Sejak tahun 2017, para insinyur dari Fakultas Teknik UGM telah berupaya membantu konservasi *bundengan* melalui bidang rekayasa. Tujuan besar yang ingin dicapai saat ini adalah terciptanya pementasan *bundengan* yang baik supaya *bundengan* semakin dikenal di masyarakat. Melalui penelitian ini, penulis ingin berkontribusi dalam upaya melestarikan budaya tradisional. Penulis berharap penelitian ini dapat membantu proses pelestarian *bundengan* menjadi satu langkah lebih maju.

Penelitian ini tidak akan pernah selesai tanpa bantuan dan dukungan berbagai pihak. Dengan berakhirnya penelitian ini, penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak-pihak berikut, di antaranya:

1. Dr. Gea Oswah Fatah Parikesit, S.T., M.Sc. dan Dr. Indraswari Kusumaningtyas, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing penulis. Terima kasih atas kepercayaan dan kesempatan yang diberikan pada penulis untuk mengerjakan penelitian ini. Terima kasih juga untuk segala ilmu yang diberikan selama proses penggerjaan. Penelitian ini adalah pengalaman yang tidak akan pernah penulis lupakan.
2. (Nama Lengkap Penguji Utama) dan (Nama Lengkap Anggota Penguji) selaku dosen penguji. Terima kasih atas koreksi dan saran yang disampaikan selama ujian pendadaran untuk perbaikan hasil penelitian penulis.

3. Mas Sa'id selaku narasumber yang bersedia direpotkan penulis selama proses penggerjaan penelitian.
4. Keluarga penulis yang selalu memberi dukungan dan menjadi alasan kuat penulis menyelesaikan studi.
5. Sasa yang selalu hadir dan memberi senyuman selama proses penggerjaan penelitian ini.
6. Teman-teman Tim Akustika Musik: Mas Fairuz, Mas Rachmat, Mba Usi, Astyo, dan Tama.
7. Teman-teman terdekat penulis yang telah membantu banyak hal selama masa perkuliahan: Arzy, Adnan, Alfi, Basith, Bobby, Diyos, Farrel, Hafidz, Irfan, Jordan, dan Ragil.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan. Kritik dan saran dari para pembaca sangatlah berarti untuk perbaikan pekerjaan penulis ke depannya. Terakhir, semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu teknologi dan konservasi kebudayaan.

Yogyakarta, Februari 2022

Alvianaka Febriantoro

## **DAFTAR ISI**

<b>HALAMAN JUDUL</b>	i
<b>PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI</b>	ii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	iii
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b>	iv
<b>HALAMAN MOTO</b>	v
<b>KATA PENGANTAR</b>	vi
<b>DAFTAR ISI</b>	viii
<b>DAFTAR TABEL</b>	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	xii
<b>DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN</b>	xvi
<b>INTISARI</b>	xviii
<b><i>ABSTRACT</i></b>	xix
<b>I. PENDAHULUAN</b>	1
I.1. Latar Belakang . . . . .	1
I.2. Perumusan Masalah . . . . .	4
I.3. Batasan Masalah . . . . .	8
I.4. Tujuan . . . . .	9
I.5. Manfaat . . . . .	9

<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>11</b>
II.1. Material dan Konstruksi <i>Bundengan</i> . . . . .	11
II.2. Bunyi <i>Bundengan</i> . . . . .	15
II.2.1. Mekanisme Senar- <i>Bandul</i> . . . . .	15
II.2.2. <i>Kowangan</i> sebagai Resonator <i>Bundengan</i> . . . . .	20
II.3. Direktivitas <i>Bundengan</i> . . . . .	22
II.4. Visualisasi Data Akustika Musik . . . . .	27
II.5. Kontribusi Penelitian Penulis . . . . .	31
<b>III. DASAR TEORI</b>	<b>33</b>
III.1. Parameter Akustika pada Instrumen Musik . . . . .	33
III.1.1. Tingkat Tekanan Bunyi . . . . .	33
III.1.2. Frekuensi . . . . .	35
III.1.3. Direktivitas Bunyi . . . . .	37
III.2. Visualisasi . . . . .	39
III.2.1. Dasar Visualisasi . . . . .	42
III.2.2. Teknik Visualisasi untuk Data Multivariabel . . . . .	47
III.3. Perancangan dan Pengembangan Produk . . . . .	52
III.3.1. Identifikasi Kebutuhan Pengguna . . . . .	52
III.3.2. Penetapan Spesifikasi Produk . . . . .	54
III.3.3. Uji Konsep Produk . . . . .	57
<b>IV. PELAKSANAAN PENELITIAN</b>	<b>64</b>
IV.1. Alat dan Bahan Penelitian . . . . .	64
IV.2. Tata Laksana Penelitian . . . . .	64
IV.2.1. Studi Literatur . . . . .	64
IV.2.2. Identifikasi Kebutuhan Pengguna . . . . .	66

IV.2.3.	Penentuan Spesifikasi Sistem Visualisasi . . . . .	66
IV.2.4.	Penyusunan Data Direktivitas <i>Bundengan</i> . . . . .	67
IV.2.5.	Pembuatan Model Visualisasi Data Direktivitas <i>Bundengan</i> . .	67
IV.2.6.	Pembuatan GUI Sistem Visualisasi . . . . .	67
IV.2.7.	Pengujian Sistem Visualisasi pada Pengguna . . . . .	68
IV.3.	Rencana Analisis Hasil . . . . .	68
<b>V.</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>69</b>
V.1.	Proses Identifikasi Kebutuhan Pengguna . . . . .	69
V.2.	Penentuan dan Perancangan Spesifikasi Sistem Visualisasi . . . .	72
V.2.1.	Rancangan Laman Bantuan . . . . .	72
V.2.2.	Rancangan Grafik Kontur . . . . .	73
V.2.3.	Rancangan Plot Diagram Polar . . . . .	78
V.3.	Pembangunan Sistem Visualisasi Data Direktivitas <i>Bundengan</i> . .	78
V.3.1.	Penyusunan Data . . . . .	79
V.3.2.	Pembuatan Model Visualisasi . . . . .	81
V.3.3.	Pembuatan GUI Sistem . . . . .	83
V.4.	Pengujian Sistem oleh Calon Pengguna . . . . .	84
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		<b>85</b>
<b>LAMPIRAN</b>		
<b>VI.</b>	<b>TAUTAN EKSTERNAL</b>	<b>90</b>
VI.1.	Contoh Gambar pada Lampiran . . . . .	90
VI.2.	Contoh Penulisan Tabel pada Lampiran . . . . .	90
VI.3.	Contoh Penulisan Persamaan pada Lampiran . . . . .	92

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Hasil pengukuran frekuensi getaran <i>kowangan</i> pada 19 titik ukur dengan 20 kali pengulangan [28]. . . . .	21
Tabel 2.2.	Perbandingan nilai direktivitas senar 1, 2, dan 3 pada <i>bundengan</i> 1 dengan senar 4, 6, 8 pada <i>bundengan</i> 2 yang memiliki nilai frekuensi fundamental cukup dekat [8]. . . . .	26
Tabel 3.1.	Hubungan antara tekanan bunyi dengan skala desibel untuk beberapa sumber bunyi [35]. . . . .	35
Tabel 3.2.	Hubungan nilai frekuensi dengan nada musik [12]. . . . .	36
Tabel 3.3.	Faktor-faktor penentu pemilihan ukuran sampel [17]. . . . .	58
Tabel 3.4.	Kesesuaian perbedaan format survei dengan setiap cara pengekspressoan konsep produk [17]. . . . .	61
Tabel 3.5.	SUS ( <i>System Usability Scale</i> ) dalam bahasa Indonesia [38]. . .	62
Tabel 4.1.	Daftar alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian. . . . .	64
Tabel 5.1.	Interpretasi kebutuhan berdasarkan pernyataan calon pengguna. . . . .	71
Tabel 5.2.	Hubungan metrik sistem dengan kebutuhan calon pengguna . . .	72
Tabel 5.3.	Frekuensi alami setiap senar <i>bundengan</i> berdasarkan deteksi puncak menggunakan pustaka SciPy. . . . .	82
Tabel 6.1.	Contoh penulisan tabel dan peletakkan tabel. . . . .	90
Tabel 6.2.	Faktor non- $1/v$ . . . . .	91

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Alat musik tradisional <i>bundengan</i> [7]. . . . .	2
Gambar 1.2. Beberapa bagian <i>bundengan</i> selain <i>kowangan</i> ; (a) pelat bambu dan (b) senar dengan <i>bandulan</i> [6]. . . . .	2
Gambar 1.3. Penggembala bebek sedang (a) menggunakan <i>kowangan</i> sebagai pelindung kepala dan (b) memainkan <i>kowangan</i> [4]. . . . .	3
Gambar 1.4. Pementasan <i>bundengan</i> [9]. . . . .	4
Gambar 1.5. Perbandingan direktivitas sebuah biola pada frekuensi 1.250 Hz dan derau sempit dengan frekuensi pusat 1.250 Hz [12]. . . . .	6
Gambar 1.6. Hasil olah data direktivitas bunyi salah satu senar <i>bundengan</i> [8]. . . . .	7
Gambar 1.7. Penggalan notasi musik lagu "Gundul Pacul" [16]. . . . .	8
Gambar 1.8. Penyusunan <i>bundengan</i> dan perlengkapan dalam pengukuran data direktivitas <i>bundengan</i> [8]. . . . .	9
Gambar 2.1. Beberapa bagian bambu yang digunakan sebagai material penyusun <i>bundengan</i> ; (a) potongan bambu [6], (b) <i>slumpring</i> [19], dan (c) bilah bambu [5]. . . . .	12
Gambar 2.2. Proses pembuatan <i>kowangan</i> ; Mahrumi sedang (a) menganyam kerangka kemudian (b) memincuk ujung kerangka [5], sedangkan Yatno (c) memasang <i>slumpring</i> lalu (d) mengikatnya dengan ijuk [19]. . . . .	13
Gambar 2.3. Konstruksi alat musik <i>bundengan</i> [5]. . . . .	14

Gambar 2.4. Data hasil pengukuran: (a) Durasi getaran (dalam detik) sebagai fungsi posisi relatif <i>bandulan</i> , (b) nilai frekuensi dengan amplitudo maksimum (dalam dB) sebagai fungsi posisi relatif <i>bandulan</i> [18]. . . . .	16
Gambar 2.5. Spektrum frekuensi untuk lima posisi relatif <i>bandulan</i> pada senar [18]. . . . .	17
Gambar 2.6. Spektrum frekuensi senar <i>bundengan</i> dengan satu <i>bandulan</i> pada posisi 0,06 m yang dipetik di (a) bagian panjang dan (b) bagian pendek [22]. . . . .	19
Gambar 2.7. Model fisik <i>kowangan</i> ; (a) tampak kiri dan (b) tampak kanan [27]. . . . .	21
Gambar 2.8. Pemfokusan bunyi pada bentuk dasar perisai <i>kowangan</i> [10]. .	22
Gambar 2.9. Bentuk <i>kowangan</i> yang telah diperbarui dengan bentuk dasar seperdelapan bola [10]. . . . .	24
Gambar 2.10. Salah satu penggalan nyanyian gereja dengan notasi <i>neumes</i> di setiap bagian atas kata [32]. . . . .	28
Gambar 2.11. <i>Neumes</i> dengan empat garis paranada [32]. . . . .	29
Gambar 2.12. Contoh penulisan notasi <i>mensural</i> [32]. . . . .	29
Gambar 2.13. Diagram polar untuk pengukuran direktivitas bunyi pada frekuensi (a) 250 Hz dan (b) 4 kHz diukur di luar ruangan, lalu (c) 4 kHz untuk perekaman pada ruang kelas yang dapat terjadi pemantulan bunyi [33]. . . . .	30
Gambar 3.1. (a) Penggambaran fluktuasi tekanan udara dan analoginya dengan (b) gelombang transversal [34]. . . . .	36
Gambar 3.2. Visualisasi tekanan bunyi sumber monopol pada diagram polar [36]. . . . .	37

Gambar 3.3. Sumber bunyi dipol. Untuk nilai $dz \rightarrow 0$ , $Q \rightarrow \infty$ , nilai momen dipol sebesar $\mu = Q dz$ [21]. . . . .	38
Gambar 3.4. Visualisasi tekanan bunyi sumber dipol pada diagram polar [36]. . . . .	38
Gambar 3.5. Pola direktivitas oboe untuk beberapa nilai frekuensi. Arah $0^\circ$ menunjukkan arah axis oboe [12]. . . . .	39
Gambar 3.6. Alur proses visualisasi [13]. . . . .	40
Gambar 3.7. Dua tipe produk visual: (a) Simbol dengan arti yang jelas [14] dan (b) representasi data dengan arti yang kompleks [8]. . . . .	42
Gambar 3.8. Contoh penggunaan bentuk berbeda dalam notasi musik [14]. . . . .	45
Gambar 3.9. <i>Hue</i> dan saturasi pada pilihan warna Microsoft [13]. . . . .	46
Gambar 3.10. Visualisasi data spesifikasi mobil dengan teknik berbasis titik [13]. . . . .	48
Gambar 3.11. Visualisasi data spesifikasi mobil menggunakan teknik berbasis garis dengan 7-dimensi data pada koordinat paralel [13]. Garis dengan warna yang disorot menandakan data individual yang dipilih. . . . .	50
Gambar 3.12. Visualisasi data spesifikasi mobil menggunakan teknik berbasis area dengan lensa tabel [13]. . . . .	51
Gambar 3.13. Perbandingan total skor SUS dengan peringkat sifat, peringkat nilai sekolah, dan rentang penerimaan [39]. . . . .	63
Gambar 4.1. Diagram alir tata laksana penelitian. . . . .	65
Gambar 5.1. Calon pengguna. . . . .	70
Gambar 5.2. (a) Peta warna jet dan (b) peta warna viridis [41]. . . . .	73

Gambar 5.3. Foto <i>slumpring</i> dipetakan dengan peta warna (a) jet dan (b) viridis. . . . .	74
Gambar 5.4. Perbedaan visualisasi data hasil perekaman jika ditampilkan dengan peta warna (a) jet dan (b) viridis. . . . .	75
Gambar 5.5. Perbedaan visualisasi data hasil perekaman jika ditampilkan dengan peta warna viridis dalam bentuk (a) jaring-jaring warna dan (b) kontur warna. . . . .	76
Gambar 5.6. Perbedaan akhir model visualisasi data hasil perekaman pada (a) penelitian sebelumnya [8] dan (b) sistem visualisasi yang hendak dibangun. . . . .	77
Gambar 5.7. BundenganDVis ditampilkan dalam <i>activity diagram</i> . . . . .	79
Gambar 5.8. Frekuensi alami yang terdeteksi pada data senar 1 <i>bundengan</i> 1. .	82
Gambar 5.9. Plot diagram polar frekuensi <i>overtone</i> pertama senar 1 <i>bundengan</i> 2. . . . .	83
Gambar 6.1. Contoh penulisan judul gambar dan peletakkan gambar. Gambar harus dilengkapi dengan informasi yang memadai sehingga mudah ditafsirkan tanpa harus membaca isi teks ( <i>self-contained</i> ). . . . .	90

## DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN

### Lambang Romawi

<i>Lambang</i>	<i>Kuantitas</i>	<i>Satuan</i>
$c$	cepat rambat gelombang	m/s
$d$	diameter <i>bandulan</i>	mm
$f$	frekuensi getaran	Hz
$f_1$	frekuensi fundamental bunyi <i>bundengan</i>	Hz
$f_2$	frekuensi <i>overtone</i> pertama <i>bundengan</i>	Hz
$f_3$	frekuensi <i>overtone</i> kedua <i>bundengan</i>	Hz
$f_4$	frekuensi <i>overtone</i> ketiga <i>bundengan</i>	Hz
$h$	tinggi <i>bandulan</i>	mm
$j$	bilangan kompleks	-
$k$	bilangan gelombang	$\text{m}^{-1}$
$n$	Jumlah getaran	-
$p$	tekanan bunyi	Pa
$p_0$	tekanan fluida sekitar	Pa
$p_1$	fluktuasi tekanan fluida	Pa
$p_T$	tekanan fluida total	Pa
$p_{ref}$	tekanan bunyi referensi	Pa
$Q$	debit udara berdenyut	$\text{kg}/\text{m}^3$
$r$	Jarak radius perambatan bunyi	m
$T$	periode getaran	s
$t$	waktu	s

## Lambang Yunani

<i>Lambang</i>	<i>Kuantitas</i>	<i>Satuan</i>
$\theta$	sudut titik ukur terhadap arah getar sumber dipol	°
$\mu$	momen dipol	$\text{m}^4/\text{s}$
$\rho$	massa jenis medium	$\text{kg}/\text{m}^3$
$\omega$	frekuensi denyut bunyi	rad/s

## Singkatan

GUI	<i>Graphical User Interface</i>
SUS	<i>System Usability Scale</i>
TTB	Tingkat Tekanan Bunyi
UNESCO	<i>United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization</i>

# **RANCANG BANGUN SISTEM VISUALISASI INTERAKTIF**

## **DATA DIREKTIVITAS *BUNDENGAN***

oleh

Alvianaka Febriantoro  
17/413539/TK/45979

Diajukan kepada Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika Fakultas Teknik  
Universitas Gadjah Mada pada tanggal 21 Maret 2022  
untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk memperoleh derajat  
Sarjana Program Studi Teknik Fisika

### **INTISARI**

*Bundengan* adalah alat musik tradisional dari Jawa Tengah yang saat ini terancam punah. Salah satu upaya konservasi yang telah dilakukan adalah menampilkan *bundengan* pada pementasan publik. Meskipun demikian, upaya ini belum sepenuhnya berhasil karena kualitas bunyi *bundengan* yang diterima pendengar kurang optimal. Para insinyur telah berupaya memecahkan masalah ini dengan terlebih dahulu mempelajari bagaimana direktivitas *bundengan*. Meski begitu, para musisi *bundengan* belum dapat memahami data direktivitas menggunakan model visualisasi yang sudah ada. Hal ini mengakibatkan upaya pemecahan masalah pementasan *bundengan* belum dapat dilakukan karena belum adanya kesepahaman antara para insinyur dan para musisi *bundengan*. Dalam penelitian ini penulis merancang dan membangun sebuah sistem visualisasi yang dapat membantu para musisi memahami data direktivitas *bundengan*.

Sistem visualisasi yang dibangun berupa perangkat lunak komputer desktop yang dapat menampilkan data pada pengguna secara interaktif. Sistem ini dibangun dengan modul PyQt pada bahasa pemrograman Python. Terdapat dua model visualisasi data pada program ini, yaitu grafik kontur warna dan plot pada diagram polar. Grafik kontur warna merupakan hasil perbaikan dari model visualisasi versi sebelumnya. Dengan sistem ini, skema penyampaian data direktivitas menjadi lebih efektif karena pengguna dapat dengan mudah memilih data sesuai parameter yang diinginkan. Selain itu, kemampuan membandingkan antar frekuensi serta adanya narasi bantuan adalah hal baru yang belum ada di versi sebelumnya. Hasil penilaian responden menunjukkan sistem ini cukup dapat diterima namun mengindikasikan bahwa bimbingan para insinyur ketika para musisi menggunakan sistem tetap diperlukan, khususnya pada penggunaan pertama.

**Kata kunci:** *Bundengan*, direktivitas, visualisasi data, PyQt.

Pembimbing Utama: Dr. Gea O. F. Parikesit, S.T., M.Sc.  
Pembimbing Pendamping: Dr. Indraswari Kusumaningtyas, S.T., M.Sc.

# **DESIGN AND FABRICATION OF AN INTERACTIVE VISUALIZATION SYSTEM FOR *BUNDENGAN* DIRECTIVITY DATA**

by

Alvianaka Febriantoro  
17/413539/TK/45979

Submitted to the Department of Nuclear Engineering and Engineering Physics  
Faculty of Engineering Universitas Gadjah Mada on March 21st, 2022  
in partial fulfillment of the requirement for the Degree of  
Bachelor of Engineering in Engineering Physics

## **ABSTRACT**

*Bundengan* is an endangered traditional musical instrument from Central Java. One of the conservation efforts that have been carried out is displaying *bundengan* on stage performances. However, this effort has not been successful because the quality of the *bundengan* sound received by the audience is not optimal. Engineers have tried to solve this problem by first studying how the directivity of the *bundengan* is. Nevertheless, *bundengan* musicians have not been able to understand directivity data using the existing visualization model. This resulted in efforts to solve the problem of *bundengan* performances that could not be carried out because there was no understanding between engineers and *bundengan* musicians. In this study, the author design and build a visualization system that can help *bundengan* musicians to understand the existing directivity data.

The visualization system built by the author is in the form of a desktop computer software program that can display data to the user interactively. This program is built with PyQt module in Python programming language. There are two data visualization models in this program, namely a color contour graph and a plot on polar diagram. The color contour graph is an improvement of visualization model from the previous version. With this system, the directivity data delivery scheme becomes more effective because the user can easily select the data according to the desired parameters. In addition, the ability to compare between frequencies and the presence of help narratives are new things that have not been in the previous version. Assessment results indicate that this system is quite acceptable but indicates that the role of engineers in guiding musicians in using the system are still needed, especially for the first time.

**Keywords:** *Bundengan*, directivity, data visualization, PyQt.

Supervisor: Dr. Gea O. F. Parikesit, S.T., M.Sc.

Co-supervisor: Dr. Indraswari Kusumaningtyas, S.T., M.Sc.

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1. Latar Belakang**

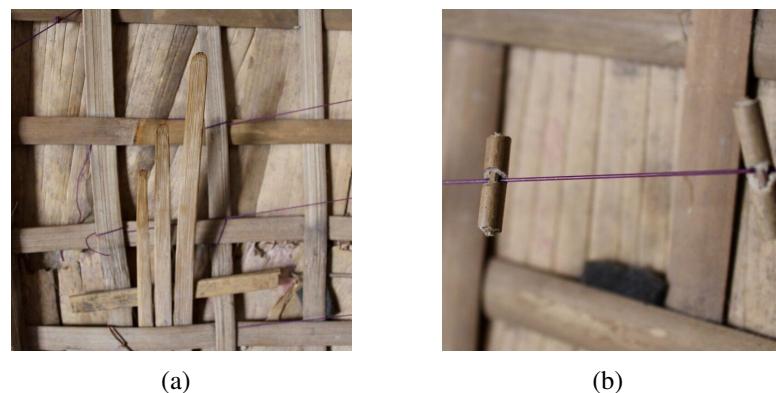
Indonesia adalah sebuah negara adi kuasa di bidang budaya. Begitulah ungkapan Fransesco Bandarin selaku Asisten Dirjen UNESCO (*United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization*) Bidang Budaya pada sidang UNESCO ke-39 di Paris tahun 2017 [1]. Bagaimana tidak, Indonesia merupakan rumah bagi 1.340 suku bangsa dengan 2.500 jenis bahasa, serta kekayaan warisan budaya baik benda maupun tak benda yang jumlahnya mencapai ribuan. Salah satu bentuk warisan budaya Indonesia yang cukup menarik adalah seni musik tradisional. Musik tradisional lahir dan berkembang dari budaya daerah tertentu dan diwariskan secara turun-temurun [2]. Seni musik tradisional memiliki beberapa unsur penyusun, salah satu yang terpenting adalah alat musik tradisional [3].

Keanekaragaman budaya Indonesia juga tercermin pada alat musik tradisional. Setiap daerah memiliki alat musik tradisionalnya masing-masing. Sebagai contoh, daerah Wonosobo di Jawa Tengah memiliki alat musik bernama *bundengan* (Gambar 1.1). Berdasarkan dokumentasi awal yang dilakukan oleh Kunst pada tahun 1949, alat musik ini pada awalnya disebut *kowangan*, sebuah anyaman bilah bambu yang disusun seperti perisai. *Kowangan* digunakan sebagai pelindung kepala dari panas dan hujan oleh para penggembala bebek [4]. Ketika sedang menunggu bebeknya yang sedang makan, mereka akan duduk di bawah *kowangan* dan menghibur diri mereka sendiri dengan memainkan lagu-lagu tradisional [5]. Para penggembala bebek bermain musik menggunakan *kowangan* dengan cara memasangkan senar dan bilah bambu (Gambar 1.2(a)) pada bagian dalam *kowangan*. Selain itu, pada senar yang

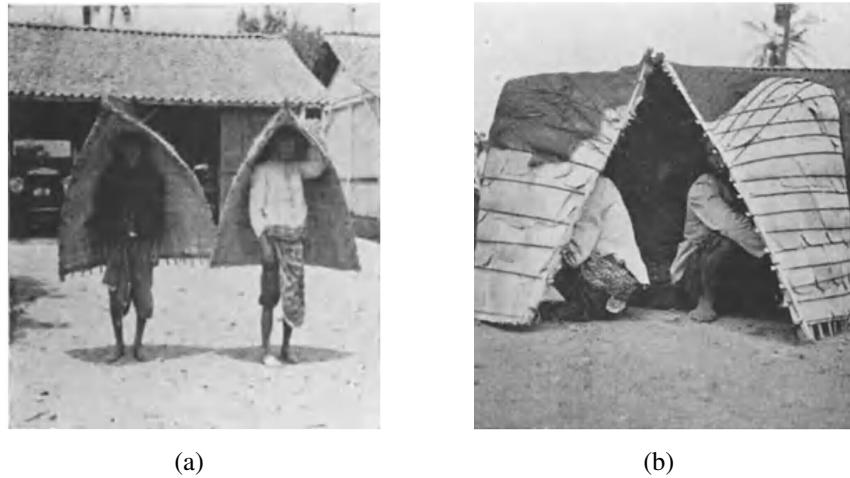


**Gambar 1.1.** Alat musik tradisional *bundengan* [7].

terpasang juga disematkan potongan ranting bambu yang disebut *bandulan* (Gambar 1.2(b)). Gambar 1.3 memperlihatkan bagaimana *kowangan* digunakan sebagai pelindung kepala dan dimainkan oleh para penggembala bebek. Ketika *kowangan* berubah fungsinya menjadi sebuah instrumen musik, benda ini tidak lagi disebut sebagai *kowangan*, melainkan sesuatu yang benar-benar baru: *bundengan* [6].



**Gambar 1.2.** Beberapa bagian *bundengan* selain *kowangan*; (a) pelat bambu dan (b) senar dengan *bandulan* [6].



**Gambar 1.3.** Penggembala bebek sedang (a) menggunakan *kowangan* sebagai pelindung kepala dan (b) memainkan *kowangan* [4].

Seiring dengan berkembangnya zaman, profesi penggembala bebek semakin berkurang. Akibatnya, eksistensi *bundengan* juga terancam punah [8]. Berbagai upaya dilakukan dalam rangka menjaga kelestarian *bundengan*, seperti menghadirkan *bundengan* pada pembelajaran di lingkup sekolah formal. Bukti nyata dari upaya ini dapat ditemukan di SMP Negeri 2 Selomerto, Kabupaten Wonosobo [5]. Siswa-siswi di sekolah tersebut diajak untuk mengenal musik *bundengan* sebagai ciri khas kederahan oleh guru seninya. Selain sebagai sarana pembelajaran, *bundengan* juga kerap dihadirkan sebagai sarana pertunjukan. Pertunjukan yang dimaksud adalah ditempatkannya permainan musik *bundengan* di ruang pementasan dan dipertontonkan ke khalayak umum. Pementasan *bundengan* biasanya dilakukan pada acara karnaval budaya, festival, pentas seni tradisional, atau undangan hajatan masyarakat [5]. Gambar 1.4 memperlihatkan salah satu pementasan *bundengan*.

Sayangnya, upaya konservasi *bundengan* melalui pementasan panggung tidak berjalan dengan baik. Musik yang dihasilkan oleh *bundengan* berasal dari bunyi petikan senar dan bilah bambu. Senar dan bilah bambu ini terpasang pada struktur utama *bundengan*, yakni *kowangan*. Bentuk dan struktur dari *kowangan* mengakibatkan bu-



**Gambar 1.4.** Pementasan *bundengan* [9].

nyi yang dihasilkan senar dan bilah bambu terfokus pada area yang diselimuti oleh *kowangan* [10]. Hal ini menyebabkan pengalaman terbaik dalam mendengarkan musik *bundengan* berada pada posisi pemain, sehingga para pendengar dalam pementasan *bundengan* akan mendapatkan kualitas musik yang kurang maksimal. Untuk mengatasi masalah ini, musisi *bundengan* telah mencoba menggunakan pengeras suara, namun bunyi yang diterima pendengar tidak sesuai dengan bunyi asli dari *bundengan* seperti yang dinikmati oleh musisi yang duduk di bawah *kowangan* [10]. Memang, jika meninjau kembali bagaimana *bundengan* diciptakan, alat musik ini hanya hadir sebagai alat musik untuk menghibur diri sang pemain [11].

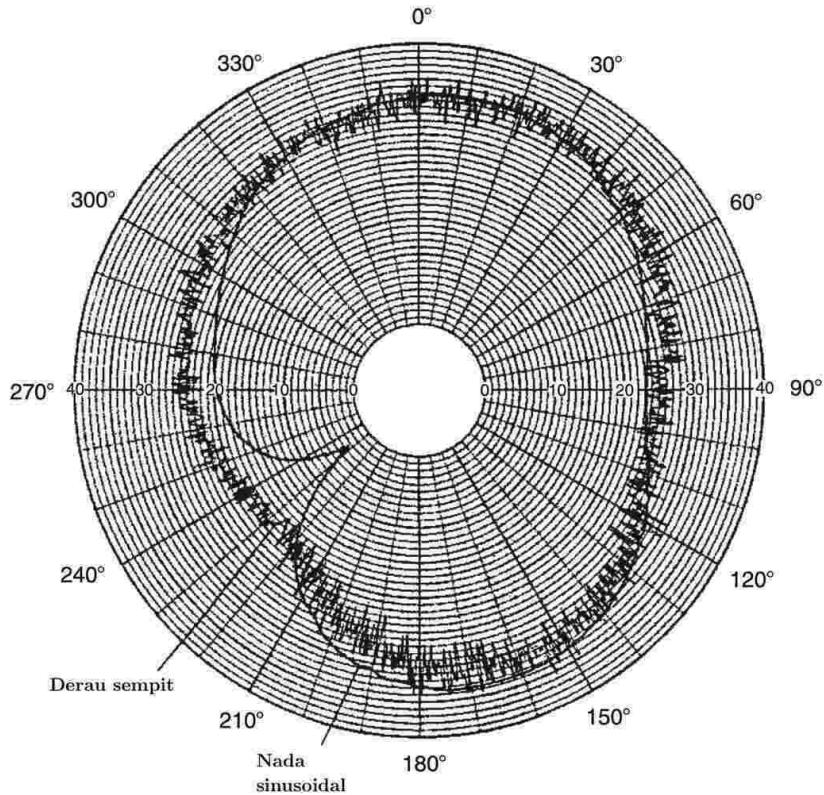
## I.2. Perumusan Masalah

Pementasan *bundengan* membantu memperkenalkan *bundengan* kepada masyarakat umum. Langkah ini sangat tepat sebagai upaya konservasi dari alat musik *bundengan*. Oleh sebab itu, masalah mengenai kualitas musik *bundengan* saat pementasan panggung akan menghambat terlaksananya konservasi *bundengan*. Masalah teknis ini tidak hanya perlu dihadapi oleh musisi dan pegiat *bundengan* saja, namun juga perlu dihadapi oleh para insinyur di Indonesia.

Pementasan musik dapat dikatakan ideal ketika pendengar dapat mendengar dengan jelas musik yang sedang dimainkan. Dengan kata lain, pendengar dapat merasakan dengan jelas setiap nada yang dimainkan. Setiap pendengar memiliki persepsi yang berbeda terhadap tingkat kekerasan bunyi alat musik yang dimainkan maka untuk mengukurnya secara objektif digunakan besaran yang disebut TTB (Tingkat Tekanan Bunyi). TTB didefinisikan sebagai tingkat fluktuasi tekanan udara yang disebabkan oleh sumber bunyi [12]. Perubahan tekanan ini merambat melalui ruang dalam bentuk gelombang. Ketika sampai di telinga, fluktuasi tekanan ini diterjemahkan menjadi sebuah bunyi. Tingkat perbedaan tekanan ini menentukan seberapa keras bunyi yang dirasakan oleh telinga.

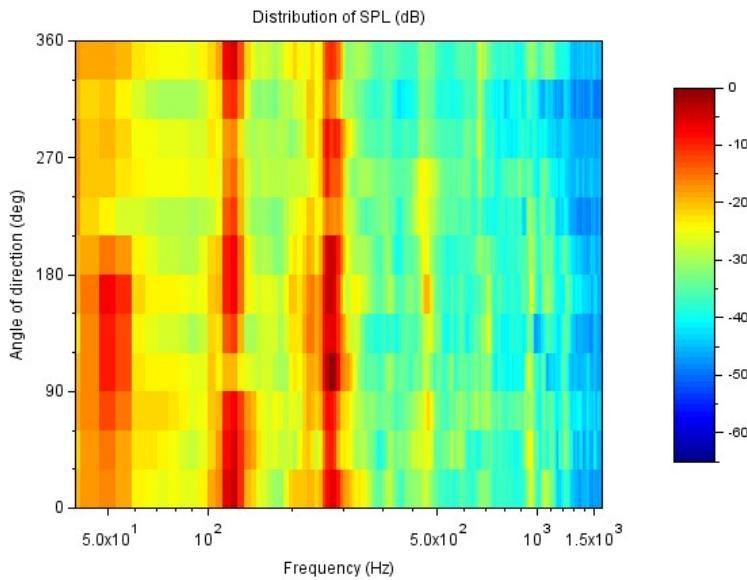
Setiap sumber bunyi menghasilkan gelombang bunyi yang merambat dalam ruang. Meskipun demikian, intensitas bunyi yang dihasilkan tidak selalu sama untuk setiap arah rambatnya. Fenomena ketergantungan nilai TTB terhadap arah rambat ini dikenal dengan istilah karakteristik direksional atau direktivitas [12]. Pada Gambar 1.5 diperlihatkan pola direktivitas dari salah satu nada biola. Gambar 1.5 juga memperlihatkan pola direktivitas derau dengan frekuensi pusat yang sama dengan nada biola tersebut. Pola direktivitas tersebut ditampilkan dalam diagram polar. Radius dari diagram polar mewakili besarnya nilai TTB yang berkisar antara 0 dB sampai 40 dB. Dapat dilihat bahwa untuk arah 220°-300° bunyi dari nada biola tidak dapat didengar karena tertutup oleh derau.

Posisi pemain *bundengan* dan pendengar yang berbeda tentu memiliki kemungkinan perbedaan kualitas musik yang diterima. Karena masalah yang dihadapi adalah kualitas musik *bundengan* yang kurang baik pada posisi penonton maka untuk menentukan solusi dari masalah ini perlu terlebih dahulu dipahami bagaimana direktivitas dari alat musik *bundengan*.



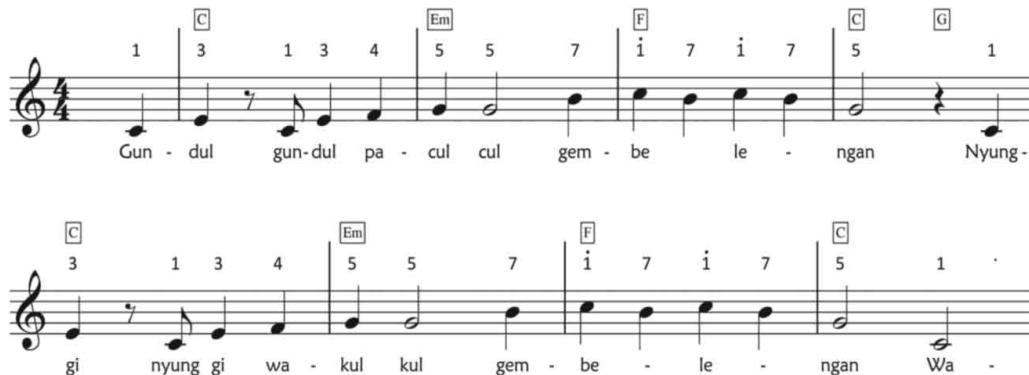
**Gambar 1.5.** Perbandingan direktivitas sebuah biola pada frekuensi 1.250 Hz dan derau sempit dengan frekuensi pusat 1.250 Hz [12].

Dalam konteks pementasan *bundengan*, data direktivitas telah berhasil diperoleh. Meskipun begitu, pengaplikasian dari data direktivitas tersebut belum dapat terlaksana. Hingga saat ini, data direktivitas yang diperoleh sulit untuk dipahami oleh kalangan musisi maupun pegiat *bundengan*. Pasalnya data ini ditampilkan dalam bentuk yang maknanya masih sulit dipahami. Pada Gambar 1.6 diperlihatkan salah satu hasil olah data direktivitas *bundengan* yang telah diukur. Hasil olah data tersebut memperlihatkan perbedaan warna sebagai perbedaan nilai TTB untuk setiap variasi nilai frekuensi (sumbu mendatar) dan arah rambat bunyinya (sumbu tegak). Dengan data ini sebetulnya sudah dapat diketahui nilai TTB untuk setiap arah dan frekuensi tertentu. Namun, dari sudut pandang musisi dan pegiat *bundengan* bentuk penyajian data yang kompleks ini cukup sulit dimengerti.



**Gambar 1.6.** Hasil olah data direktivitas bunyi salah satu senar *bundengan* [8].

Penyampaian informasi dapat dilakukan dengan berbagai cara, lisan maupun tulisan. Manusia pada dasarnya adalah makhluk hidup yang menggunakan penglihatan sebagai indera utama untuk memperoleh informasi. Visualisasi adalah metode penyampaian informasi menggunakan representasi secara grafis. Terkadang, penyampaian informasi menggunakan satu halaman tulisan ataupun beberapa kalimat lisan tidak efektif digunakan dalam menyampaikan informasi yang kompleks. Sebuah gambar dapat mengandung lebih banyak informasi dan dapat diproses lebih cepat dibanding satu halaman kata-kata. Ini karena interpretasi gambar dilakukan secara paralel dalam sistem persepsi manusia, sementara kecepatan analisis teks dibatasi oleh proses membaca yang berurutan [13]. Dalam ranah musik, sebetulnya para komposer dan musisi telah cukup lama menggunakan visualisasi. Sebagai contoh, Gambar 1.7 memperlihatkan penggalan notasi musik lagu "Gundul Pacul". Notasi musik merupakan kumpulan simbol tertulis yang merepresentasikan suara musik [14]. Dengan notasi tersebut, komposer dapat menyampaikan kepada musisi tentang nada apa yang harus dimainkan dan kapan harus memainkannya [15].



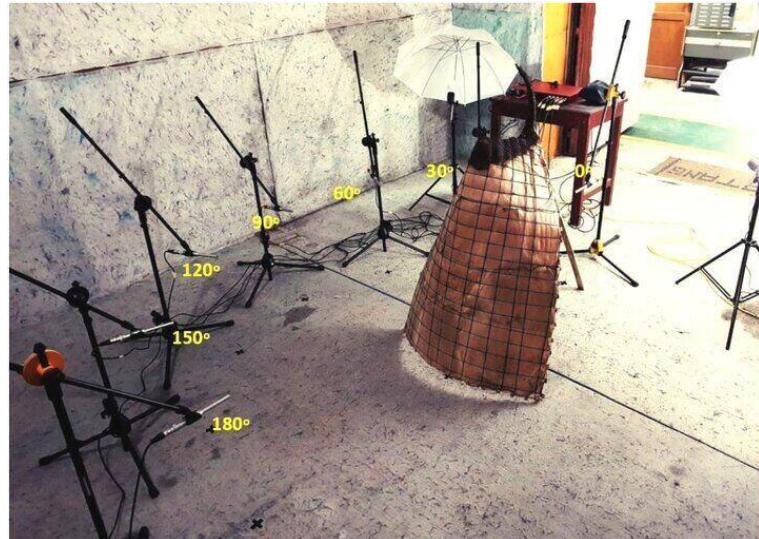
**Gambar 1.7.** Penggalan notasi musik lagu "Gundul Pacul" [16].

Kemudahan memproses informasi juga dapat diterapkan pada data direktivitas *bundengan*. Salah satu penyebab belum terciptanya pementasan *bundengan* yang baik adalah karena hasil pengukuran data direktivitas tidak ditampilkan dalam bentuk yang mudah dipahami musisi dan pegiat *bundengan*. Oleh karena itu, diperlukan sebuah sistem yang dapat memvisualisasikan data direktivitas *bundengan* secara lebih interaktif. Sistem ini perlu dapat memenuhi kebutuhan para musisi dan pegiat *bundengan* dalam merancang pementasan *bundengan* yang lebih baik. Untuk mengetahui kebutuhan tersebut telah tercapai atau belum maka kinerja sistem ini perlu dianalisis [17].

### I.3. Batasan Masalah

1. Data yang digunakan adalah data direktivitas dua buah *bundengan*. *Bundengan* pertama dibuat oleh pengrajin senior dengan empat senar, sedangkan *bundengan* kedua dibuat oleh pengrajin muda dengan delapan senar.
2. Data ini berasal dari pengukuran bunyi setiap senar *bundengan* menggunakan tujuh mikrofon kondensor yang disusun setengah lingkaran pada setiap sudut  $30^\circ$ , seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.8.

3. Interaksi gelombang bunyi dengan obyek sekitar dapat diabaikan karena pengukuran dilakukan di dalam sebuah ruangan *semi-anechoic*.



**Gambar 1.8.** Penyusunan *bundengan* dan perlengkapan dalam pengukuran data direktivitas *bundengan* [8].

#### I.4. Tujuan

1. Membangun sebuah sistem visualisasi interaktif data direktivitas *bundengan* yang sesuai dengan kebutuhan untuk merancang pementasan *bundengan* menjadi lebih baik.
2. Menganalisis kinerja sistem visualisasi interaktif data direktivitas *bundengan*.

#### I.5. Manfaat

Penelitian ini akan bermanfaat untuk dua bidang, yaitu:

1. Penelitian ini bermanfaat untuk bidang kebudayaan. Dalam rangka membantu konservasi *bundengan*, penelitian ini memudahkan musisi *bundengan* memahami direktivitas *bundengan*. Pemahaman ini kemudian dapat dijadikan dasar

pada perancangan pementasan *bundengan* yang lebih baik, yaitu menciptakan pementasan *bundengan* di mana kualitas musik yang diterima pendengar adalah yang paling maksimal.

2. Selain itu, penelitian ini juga bermanfaat untuk bidang rekayasa, khususnya ilmu akustika. Konsep dan metode yang digunakan dalam penyampaian data direktivitas pada penelitian ini dapat dimanfaatkan insinyur akustika lain untuk kemudian dikembangkan dan diterapkan pada data akustika lain yang menyangkut kebutuhan pemahaman musisi dan pegiat musik.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### II.1. Material dan Konstruksi *Bundengan*

*Bundengan* adalah alat musik yang unik dan luar biasa [4]. Pasalnya, alat musik yang dimainkan dengan cara memetik senar-*bandulan* ini dapat menghasilkan bunyi seperti layaknya alat musik logam, yaitu gamelan [18]. Selain itu, petikan pada bilah bambu juga menghasilkan bunyi layaknya kendang [5]. Material dan konstruksi *bundengan* sangat berpengaruh terhadap bunyi *bundengan* yang unik ini.

Salah satu ciri musik tradisional adalah digunakannya peralatan yang sangat sederhana [2]. Hal ini juga berlaku pada *bundengan*. Material penyusun alat musik ini dapat dengan mudah ditemukan di lingkungan sekitar wilayah Wonosobo, Jawa Tengah. Material penyusun tersebut berasal dari bambu, ijuk, dan senar badminton. Berdasarkan keterangan Yatno, salah seorang pengrajin *bundengan*, material yang ia butuhkan didapatkan dari sekitar rumahnya yang mana masih banyak terdapat pohon bambu dan ijuk [19].

Sebagian besar struktur *bundengan* berasal dari bambu. Bagian dari pohon bambu yang digunakan di antaranya adalah potongan batang bambu (Gambar 2.1(a)), ranting bambu, dan pelepah buluh bambu atau *slumpring* (Gambar 2.1(b)). Jenis bambu yang dipilih adalah bambu apus, sebab bambu ini lebih elastis jika dibandingkan dengan bambu jenis lain [5]. Potongan bambu dianyam membentuk struktur utama *kowangan*, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.2(a). Setelah dianyam, bagian ujung anyaman akan dirapatkan sehingga membentuk seperti *kowangan* (Gambar 2.2(b)). Selain digunakan sebagai penyusun kerangka *kowangan*, potongan bambu yang lebih kecil (Gambar 2.1(c)) juga dijadikan sebagai komponen pengha-

sil bunyi kendang pada *bundengan*, seperti yang sudah diperlihatkan pada Gambar 1.2(a). Ranting bambu adalah cabang batang bambu yang memiliki diameter lebih kecil [5]. Potongan ranting bambu ini digunakan sebagai *bandulan*, yaitu komponen yang menggantung pada senar *bundengan*. Gambar 1.2(b) memperlihatkan *bandulan* yang berada di tengah-tengah senar *bundengan*. Pelepas buluh bambu atau *slumpring* merupakan jenis dedaunan yang tumbuh di bagian ruas batang bambu [5]. *Slumpring* digunakan sebagai pelapis anyaman bambu supaya dapat difungsikan sebagai tudung. *Slumpring* dipilih karena bagian luarnya bersifat hidrofobik atau menolak air, sehingga tidak tembus oleh air hujan. Gambar 2.2(c) memperlihatkan proses pemasangan *slumpring* pada kerangka anyaman *kowangan*.



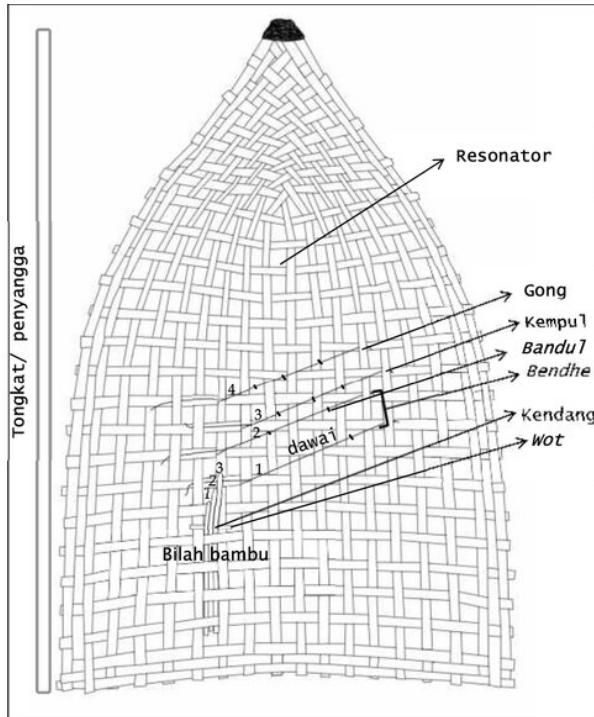
**Gambar 2.1.** Beberapa bagian bambu yang digunakan sebagai material penyusun *bundengan*; (a) potongan bambu [6], (b) *slumpring* [19], dan (c) bilah bambu [5].



**Gambar 2.2.** Proses pembuatan *kowangan*; Mahrumi sedang (a) menganyam kerangka kemudian (b) memincuk ujung kerangka [5], sedangkan Yatno (c) memasang *slumpring* lalu (d) mengikatnya dengan ijuk [19].

Selain bambu, bahan lain yang digunakan adalah ijuk dan senar badminton. Ijuk digunakan sebagai pengikat anyaman bambu yang membentuk *kowangan*. Ijuk adalah serat dari lapisan bagian batang pohon aren [5]. Gambar 2.2(d) memperlihatkan proses pengikatan kerangka anyaman yang sudah dilapisi *slumpring* menggunakan ijuk. Dahulu, ijuk juga digunakan sebagai senar *bundengan*, namun penggunaannya digantikan oleh senar raket badminton [5].

Dari penjelasan di atas, diketahui bahwa proses pembuatan *bundengan* terdiri dari pembuatan *kowangan* kemudian pemasangan komponen penghasil bunyi, yaitu senar dan bilah bambu. Bilah bambu yang biasa dipasang pada bagian kiri bawah *kowangan* mewakili bunyi kendang, sedangkan senar raket badminton yang ditam-



**Gambar 2.3.** Konstruksi alat musik *bundengan* [5].

bahkan komponen *bandulan* mewakili bunyi gamelan. Proses instalasi komponen senar dan bilah bambu ini menentukan keunikan bunyi yang dihasilkan *bundengan* [5]. Bilah bambu disisipkan berjajar pada kerangka *kowangan* dengan penumpu dari bambu yang disebut *wot*. Panjang dari bilah bambu yang dipetik menentukan seperti apa bunyi yang dihasilkan. Semakin panjang bilah yang dipetik maka bunyi yang dihasilkan akan memiliki frekuensi alami yang relatif rendah [20]. Senar dipasang membentang di dalam kerangka *kowangan*, sedangkan ranting bambu atau *bandulan* dipasang menggantung pada senar. Bunyi yang dihasilkan senar dipengaruhi oleh besarnya massa dan posisi *bandulan* pada senar [18]. Biasanya jumlah *bandulan* yang disematkan pada senar berjumlah satu buah untuk ketuk, dua buah untuk kenong, dua buah untuk kempul, dan tiga buah untuk gong. Seluruh konstruksi *bundengan* dapat dilihat pada Gambar 2.3.

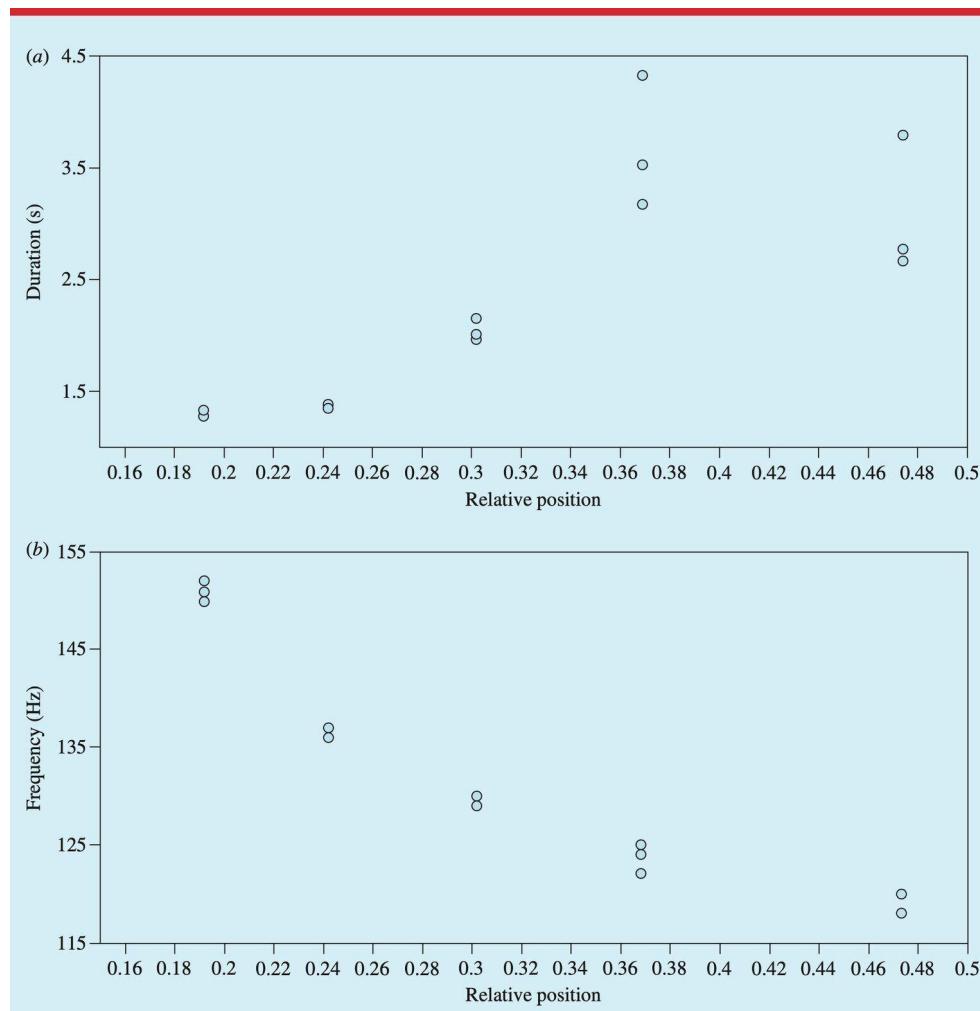
## II.2. Bunyi *Bundengan*

Ketika sebuah bunyi mencapai telinga pada sebuah pementasan musik, bunyi tersebut mengandung banyak sekali informasi. Manusia dapat merasakan tinggi rendahnya nada, tingkat kekerasan, dan warna bunyi [12]. Ketika mendengar petikan senar *bundengan*, sensasi yang dirasakan adalah seperti mendengar pementasan gamelan. Sensasi ini tidak lain disebabkan oleh konstruksi *bundengan* itu sendiri. Selama beberapa tahun terakhir, berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengetahui bagaimana bunyi yang unik ini bisa diproduksi oleh *bundengan*.

### II.2.1. Mekanisme Senar-*Bandul*

Pada tahun 2017, Parikesit dan Kusumaningtyas melakukan penelitian menge-nai cara kerja komponen senar-*bandul* menggunakan perekaman video berkecepatan tinggi dan pengamatan spektrum frekuensi melalui perekaman audio. Ketika senar dipetik, energi menjalar dari titik petikan senar menuju dua ujung senar [21]. Ujung senar yang terikat akan memantulkan gelombang kembali. Namun karena massa *bandulan* lebih besar dibanding massa senar, sebagian gelombang dipantulkan kembali oleh *bandulan*. Dengan menggunakan perekaman berkecepatan tinggi diketahui bahwa massa *bandulan* yang lebih besar meningkatkan inersia senar-*bandul*. *Bandulan* menghambat senar untuk mulai bergetar dan juga menghambat peluruhan getaran senar.

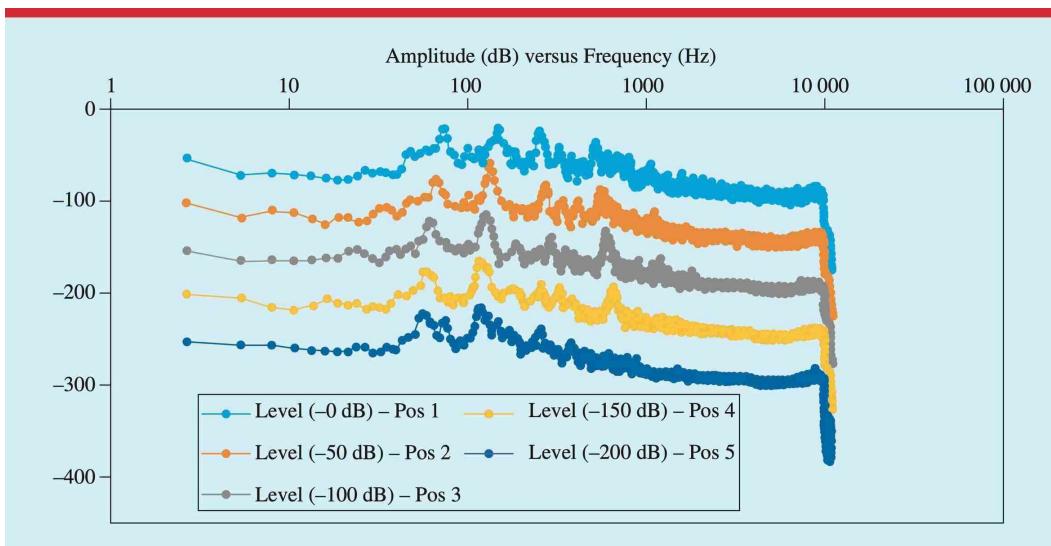
Posisi *bandulan* sepanjang senar menentukan bagaimana senar akan bergetar. *Bandulan* membagi senar menjadi dua bagian, yaitu bagian yang lebih panjang dan yang lebih pendek. Senar bagian pendek memiliki durasi getar lebih lama, sedangkan senar bagian panjang bergetar pada frekuensi yang lebih tinggi. Perubahan posisi *bandulan* mempengaruhi durasi getaran dari kedua bagian senar. Gambar 2.4 memperlihatkan hasil pengukuran pengaruh perubahan posisi relatif *bandulan* (posisi 0,5



**Gambar 2.4.** Data hasil pengukuran: (a) Durasi getaran (dalam detik) sebagai fungsi posisi relatif *bandulan*, (b) nilai frekuensi dengan amplitudo maksimum (dalam dB) sebagai fungsi posisi relatif *bandulan* [18].

menunjukkan titik tengah senar) terhadap perubahan durasi getaran dan frekuensinya. Ketika *bandulan* digeser menuju bagian tengah senar, durasi getaran senar semakin lama dan frekuensi yang dihasilkan akan semakin kecil. Durasi getar yang lama dan berfrekuensi rendah ini yang menyerupai bunyi gong.

Fenomena lain yang dirasakan ketika *bandulan* digeser menuju bagian tengah senar adalah dirasakan adanya peningkatan nada oleh pendengaran, padahal kenyataannya tidak begitu [18]. Gambar 2.5 memperlihatkan spektrum frekuensi dari lima



**Gambar 2.5.** Spektrum frekuensi untuk lima posisi relatif *bandulan* pada senar [18].

sinyal audio untuk setiap posisi relatif *bandulan* yang dijelaskan sebelumnya. Spektrum frekuensi tersebut menunjukkan setiap nilai frekuensi untuk berbagai puncak amplitudo dari setiap sinyal audio. Ketika *bandulan* digeser menuju bagian tengah senar, senar bagian pendek akan menjadi lebih panjang dan begitu sebaliknya. Ketika senar bagian pendek menjadi lebih panjang dari sebelumnya, puncak frekuensi pertama ( $\sim 75$  Hz) dan kedua ( $\sim 150$  Hz) berubah menjadi lebih rendah. Ketika senar bagian panjang menjadi lebih pendek dari sebelumnya, puncak frekuensi ketiga ( $\sim 225$  Hz) dan keempat ( $\sim 300$  Hz) berubah menjadi lebih tinggi. Lantas mengapa jika ada peningkatan dan penurunan nilai frekuensi, telinga manusia hanya merasakan peningkatannya saja? Terdapat dua kemungkinan penjelasan terkait fenomena ini.

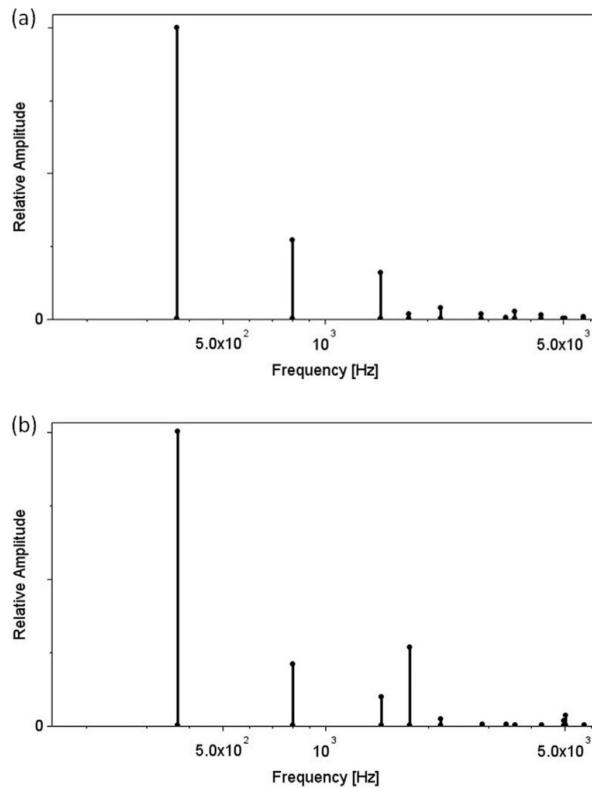
1. Terdapat waktu awal ketika alat musik memberi respon terhadap gaya masukan (dalam kasus ini adalah petikan senar). Waktu awal ini mengakibatkan getaran transien menjadi sinyal paling dominan yang dihasilkan alat musik. Getaran transien secara unik dapat menentukan warna bunyi atau *timbre* dari setiap instrumen musik, seperti dapat dibedakannya bunyi gitar dan piano meskipun bunyi yang didengar berada pada nada yang sama. Jika meninjau lebih dekat

pada hasil perekaman video berkecepatan tinggi, *bandulan* tidak bergerak pada dua sampai tiga milisekon pertama setelah pemetikan. Pada saat itulah senar bagian panjang menghasilkan getaran dengan frekuensi tinggi, yang mana menentukan *timbre* dari senar *bundengan* [18].

2. Sistem pendengaran manusia tidak sepenuhnya sensitif terhadap seluruh frekuensi. Para insinyur menggunakan *A-weighting curve* untuk menirukan respon alami dari pendengaran manusia, yang memiliki sensitivitas paling tinggi pada frekuensi kisaran 1 kHz-4 kHz. Oleh sebab itu, peningkatan puncak frekuensi ketiga dan keempat pada Gambar 2.5 lebih mudah dirasakan daripada penurunan puncak frekuensi pertama dan kedua [18].

*Bandulan* juga digunakan sebagai sarana pelarasan senar oleh para musisi *bundengan*. Pelarasan ini dilakukan dengan menggeser-geser posisi *bandulan* sampai tinggi nada yang diinginkan tercapai [5]. Tidak menutup kemungkinan pula bahwa setiap senar *bundengan* memiliki lebih dari satu buah *bandulan*. Terkait hal ini, telah dilakukan penelitian mengenai pengaruh massa, posisi, dan jumlah *bandulan* menggunakan simulasi komputer [22]. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *bandulan* adalah kunci dari terciptanya bunyi yang menyerupai alat musik metal gamelan. Jika massa *bandulan* jauh lebih besar dibanding massa senar, getaran yang dihasilkan petikan senar akan berupa frekuensi non-harmonik. Hal ini serupa seperti instrumen perkusi logam yang juga memiliki spektrum non-harmonik. Jika terdapat dua *bandulan* pada satu senar, spektrum frekuensi yang dihasilkan akan semakin rendah. Lebih daripada itu, ketika kedua *bandulan* semakin digeser menuju bagian tengah senar maka nilai frekuensi fundamental semakin rendah dan cenderung mengarah ke nilai frekuensi tertentu [22].

Pengamatan terhadap pengaruh massa, posisi, dan jumlah *bandulan* tersebut dilakukan dengan mengamati senar *bundengan* yang dipetik di tengah. Jika hanya



**Gambar 2.6.** Spektrum frekuensi senar *bundengan* dengan satu *bandulan* pada posisi 0,06 m yang dipetik di (a) bagian panjang dan (b) bagian pendek [22].

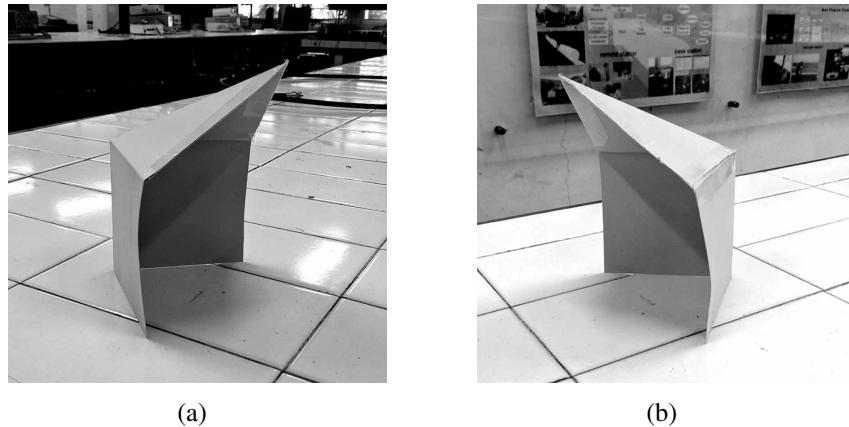
terdapat satu buah *bandulan* pada posisi 0,06 m, kemudian senar dipetik di titik tengah senar, petikan tersebut berada pada senar bagian panjang. Gambar 2.6(a) memperlihatkan bagaimana amplitudo relatif dari setiap spektrum frekuensi ketika senar dipetik di tengah. Sedangkan ketika senar dipetik pada bagian pendek, spektrum frekuensi pada Gambar 2.6(b) memperlihatkan amplitudo relatif yang berbeda. Tidak seperti ketika senar dipetik pada bagian panjang, mode getar ke-4 lebih kuat daripada mode getar ke-2 dan ke-3 pada senar yang dipetik di bagian pendek. Oleh sebab itu, pola getaran dengan frekuensi tinggi sekarang muncul pada bagian pendek senar. Dari sini didapat informasi bahwa getaran frekuensi tinggi selalu muncul pada bagian di mana senar tersebut dipetik, yang mana hal ini masuk akal karena di situlah energi eksitasi pertama kali diberikan [22].

Meskipun demikian, simulasi mengenai pengaruh variasi massa, posisi, dan jumlah *bandulan* beserta variasi titik petikan senar tersebut tidak mempertimbangkan dimensi dan orientasi dari *bandulan*. Padahal, *bandulan* yang menggantung pada senar *bundengan* adalah benda tegar berbentuk tabung yang memiliki tinggi, diameter luar, dan diameter dalam [23]. Pengaruh dimensi dan orientasi *bandulan* terhadap getaran ini kemudian diteliti dengan berbagai metode, baik melalui analisis mekanik [23], simulasi komputer [24], ataupun pengukuran secara langsung [25]. Hasilnya, diketahui bahwa variasi nilai perbandingan tinggi-diameter ( $h/d$ ) *bandulan* pada senar tidak mempengaruhi nilai frekuensi fundamental getaran senar. Meskipun demikian, ketika nilai  $h/d$  semakin besar atau dengan kata lain *bandulan* semakin ramping, nilai frekuensi *overtone* getaran senar akan semakin mengecil [26]. Frekuensi *overtone* adalah frekuensi alami yang nilainya lebih besar dari frekuensi fundamental.

### **II.2.2. *Kowangan* sebagai Resonator *Bundengan***

Selain senar-*bandul* dan bilah bambu, *bundengan* juga tersusun dari *soundboard* berbentuk perisai, yaitu *kowangan*. Terkait hal ini, telah dilakukan pembuatan simulator oleh Christianto pada tahun 2018 [27]. Simulator ini telah dapat menunjukkan bagaimana distribusi TTB pada bagian depan *kowangan* dengan menghitung bagaimana dinding-dinding *kowangan* memancarkan bunyi ke depan. Meskipun demikian, simulator yang dibangun ini masih sangat sederhana, bentuk konstruksinya (Gambar 2.7) belum merepresentasikan wujud *kowangan* yang sesungguhnya.

Pada tahun 2019, Simanungkalit melakukan penelitian terkait getaran pada *kowangan* menggunakan metode eksperimental [28]. Penelitian dilakukan menggunakan *impact hammer* sebagai pemberi gaya impuls dan *accelerometer* yang keduanya terhubung pada osiloskop digital untuk dianalisis. Pada awalnya penelitian dilakukan untuk 10 titik pengukuran dengan 10 kali pengulangan, namun hasil analisis menun-



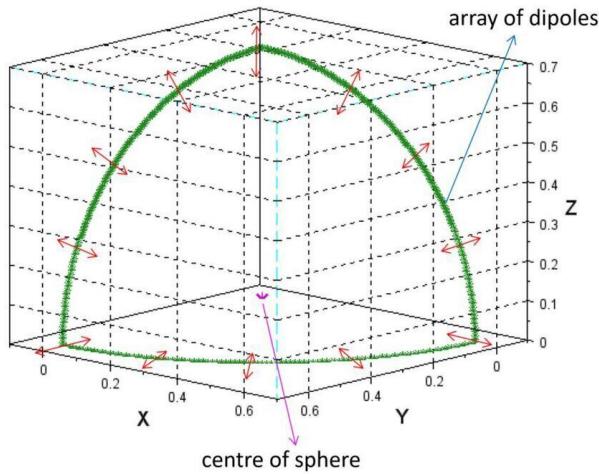
**Gambar 2.7.** Model fisik *kowangan*; (a) tampak kiri dan (b) tampak kanan [27].

ukkan amplitudo frekuensi pada titik ke-5 berbeda cukup jauh jika dibandingkan dengan titik ukur lain. Selain itu, terdapat perbedaan nilai frekuensi yang signifikan untuk titik-titik ukur yang berdekatan. Oleh sebab itu, dilakukan pengamatan untuk 19 titik ukur dengan 20 kali pengulangan, dengan harapan nilai rata-rata frekuensi yang terukur dapat lebih seragam. Tabel 2.1 memperlihatkan data frekuensi alami dari *kowangan* beserta nilai deviasi standarnya. Karena nilai deviasi standar yang tinggi, nilai rata-rata frekuensi ini tidak dapat merepresentasikan frekuensi alami *kowangan* sebenarnya.

**Tabel 2.1.** Hasil pengukuran frekuensi getaran *kowangan* pada 19 titik ukur dengan 20 kali pengulangan [28].

Frekuensi alami ke-	Frekuensi rata-rata (Hz)	Deviasi Standar (Hz)
1	1068,1	225,1
2	1150,3	192,9
3	1202,5	195,8

Kemudian pada tahun 2020, Parikesit melakukan studi mengenai pemfokusan bunyi musik *bundengan* pada *kowangan* [10]. Penelitian ini dilakukan dengan terlebih dahulu mempelajari bagaimana proses *kowangan* dibuat untuk selanjutnya dibuat model *kowangan* menggunakan simulasi komputer. Tidak seperti pada simu-



**Gambar 2.8.** Pemfokusan bunyi pada bentuk dasar perisai *kowangan* [10].

lator yang dibangun Christianto, bentuk kelengkungan *kowangan* pada model yang dibuat ini sudah cukup menyerupai aslinya. Dalam menganalisis radiasi bunyi pada model *kowangan*, elemen akustik dari *kowangan* dimodelkan sebagai sumber dipol. Hasilnya menunjukkan bahwa sumber dipol ini mengarah pada titik yang sama, yaitu bagian tengah struktur model *kowangan*. Gambar 2.8 memperlihatkan beberapa sumber dipol pada model *kowangan*. Hasil ini tentu membuktikan kebenaran bahwasanya alat musik *bundengan* lebih baik jika dinikmati secara pribadi.

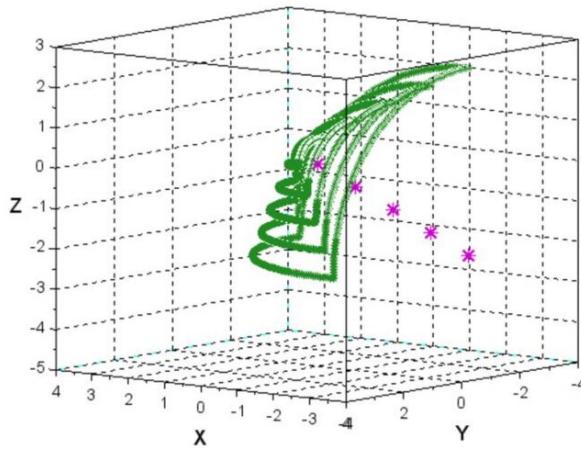
### II.3. Direktivitas *Bundengan*

Karena simulator yang dibangun oleh Christianto masih jauh dari bentuk asli *kowangan* (Gambar 2.7), simulasi distribusi nilai TTB pada *kowangan* tersebut belum bisa dikatakan sesuai. Untuk mengetahui sebaran nilai TTB dengan lebih realistik, perlu dilakukan pengukuran secara langsung. Pada tahun 2019, Muhamram melakukan pengukuran TTB di depan *bundengan* pada bidang datar dengan variasi jarak 1 m dan 2 m [29]. *Bundengan* yang diukur terdiri dari lima senar. Setiap senar diukur nilai TTB-nya untuk kedua variasi jarak tersebut. Hasil pengukuran untuk jarak

pengukuran 1 m menunjukkan nilai TTB yang tinggi pada bagian tengah untuk seluruh senar. Untuk pengukuran pada jarak 2 m, nilai TTB senar 1 dan 2 memiliki nilai yang cenderung tinggi, sedangkan senar 3, 4, dan 5 nilai TTB-nya cenderung rendah.

Meskipun pengukuran nilai TTB *bundengan* telah berhasil dilakukan, namun hasil pengukuran tersebut sangat terbatas untuk diubah parameter-parameternya. Sebagai contoh, terdapat kesulitan jika ingin mengukur nilai TTB dengan variasi dimensi *kowangan* ataupun susunan senar yang berbeda. Untuk mendapatkan nilai distribusi bunyi yang universal dengan berbagai variasi parameter, cukup sulit jika menggunakan metode eksperimental, karena metode ini akan sangat memakan waktu dan biaya dalam pengerjaannya. Oleh sebab itu, metode simulasi komputer adalah metode alternatif yang dapat dipilih. Bentuk *kowangan* pada simulator yang dibangun oleh Christianto [27] telah diperbarui oleh Parikesit sehingga bentuknya lebih menyerupai *kowangan* sesungguhnya. Gambar 2.9 memperlihatkan bentuk model *kowangan* dengan bentuk dasar seperdelapan bola. Seperti yang telah dijelaskan pada sub-subbab II.2.2., selain memperbarui bentuk *kowangan* Parikesit juga menghitung bagaimana elemen pada model *kowangan* tersebut bergetar secara transversal dengan dimodelkan sebagai sumber dipol.

Simulasi yang dilakukan Parikesit menggunakan model *kowangan* terbaru tersebut belum menyimulasikan bagaimana bunyi musik *bundengan* merambat. Oleh sebab itu, Wijanarko pada tahun 2020 membuat kembali simulator dengan bentuk dasar yang telah diperbarui, yaitu bentuk seperdelapan bola [30]. Penelitian ini kemudian membandingkan hasil perambatan bunyi dengan hasil yang didapat simulator Christianto dan dengan hasil pengukuran Muhamarram. Dalam proses pembangunan simulator tersebut, diketahui bahwa model terbaru buatan Parikesit memiliki kerapatan sumber bunyi yang tidak seragam. Karena hal ini, perlu dilakukan modifikasi terhadap model *kowangan* Parikesit. Simulator yang berhasil dibangun ini menghasilkan



**Gambar 2.9.** Bentuk *kowangan* yang telah diperbarui dengan bentuk dasar seperdelapan bola [10].

pola distribusi TTB yang serupa dengan simulator milik Christianto, tetapi pada jarak pengukuran yang berbeda. Jika dibandingkan dengan hasil pengukuran eksperimental Muharram, simulator ini dapat merepresentasikan bunyi frekuensi rendah dan jarak pengukuran yang relatif jauh. Meskipun demikian, simulator ini belum dapat merepresentasikan bunyi frekuensi tinggi dan jarak pengukuran yang relatif dekat.

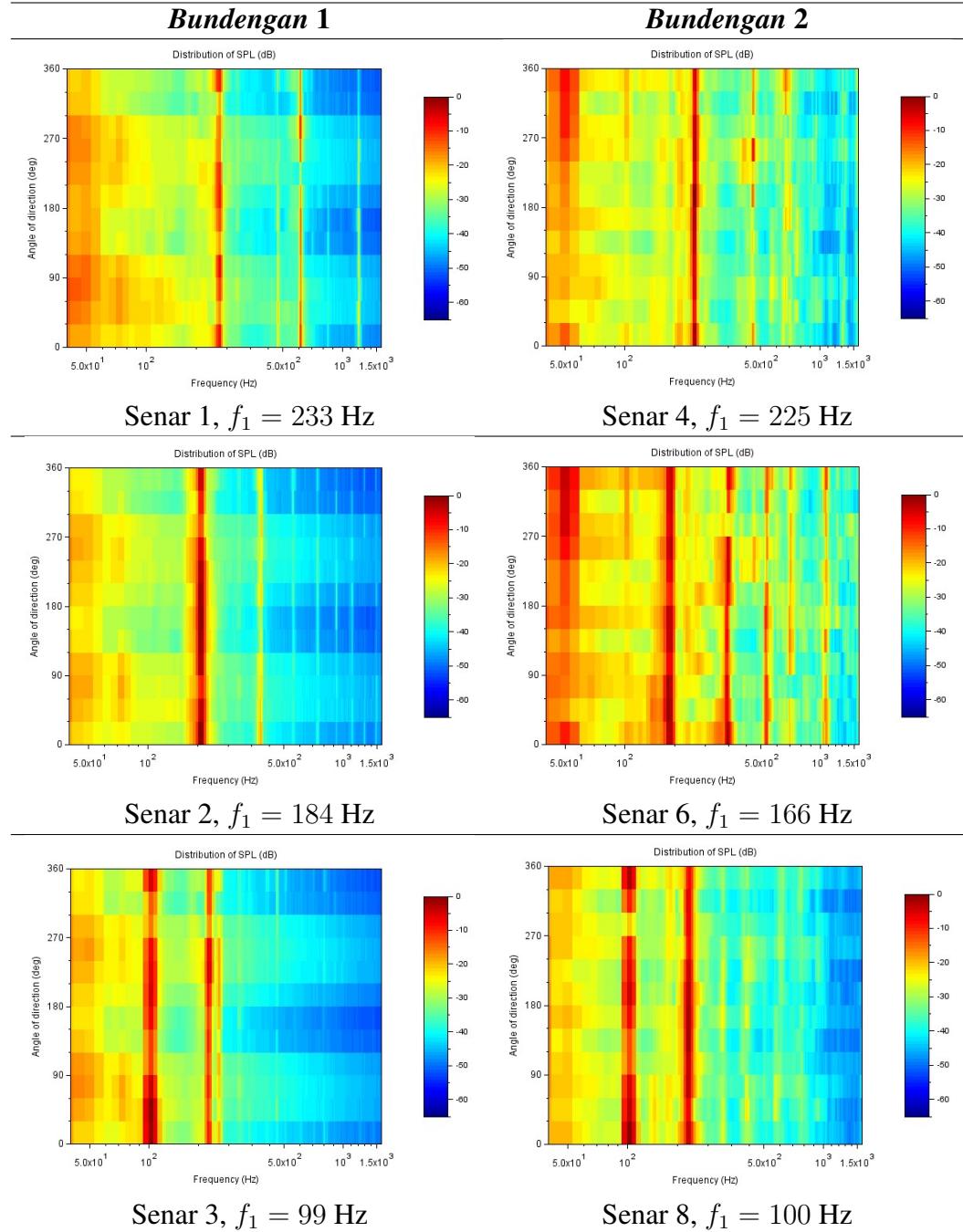
Pengukuran TTB yang telah dilakukan baik melalui pengukuran langsung maupun menggunakan simulator hanya berhasil mendapatkan nilai TTB untuk area di depan *kowangan*. Padahal, jika dikaitkan dengan masalah pada pementasan musik *bundengan*, diperlukan nilai TTB untuk berbagai arah rambat bunyinya. Dengan kata lain perlu dilakukan pengukuran terhadap direktivitas *bundengan*. Pada tahun 2020, Kusumaningtyas, Christianto, dan Parikesit melakukan pengukuran direktivitas dari dua *bundengan* yang berbeda [8], yaitu:

1. *Bundengan* pertama dibuat dan dimainkan oleh musisi senior. *Bundengan* ini memiliki empat buah senar.
2. *Bundengan* yang kedua dibuat dan dimainkan oleh musisi yang lebih muda. *Bundengan* ini memiliki delapan senar.

Kedua *bundengan* terbuat dari material yang sama. Sedangkan pelarasan senar kedua *bundengan* dilakukan oleh masing-masing musisi, namun sama-sama mengacu ke bunyi gamelan Wonosobo. Perekaman bunyi dan pengukuran dilakukan pada ruangan *semi-anechoic*. Perekaman bunyi dilakukan untuk setiap arah  $30^\circ$  menggunakan tujuh mikrofon kondensor, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.8. Untuk mendapatkan pengukuran pada semua arah ( $360^\circ$ ), dilakukan dua kali pengukuran dengan memutar posisi *bundengan*.

Hasil pengukuran disajikan dalam spektrum warna sebagai penunjuk nilai TTB untuk setiap variasi arah (yang ditunjukkan sumbu tegak) dan untuk variasi frekuensi (yang ditunjukkan sumbu datar). Tidak seperti hasil pengukuran nilai TTB pada penelitian-penelitian sebelumnya, hasil pengukuran ini tidak hanya menampilkan frekuensi fundamental saja, namun juga dapat memperlihatkan frekuensi *overtone* dari setiap senar *bundengan*. Meskipun demikian, frekuensi *overtone* hanya terlihat jelas pada senar *Bundengan 2*. Sedangkan senar 1 dan 2 pada *bundengan 1* terlihat hanya memiliki satu frekuensi fundamental yang nilai TTB-nya paling kuat. Untuk senar 3 dan 4 pada *bundengan 1* terlihat frekuensi *overtone* yang samar namun sudah cukup kuat untuk diamati. Selain itu, karena kedua *bundengan* memiliki jumlah senar yang berbeda, rentang nada yang dapat dihasilkan juga berbeda. Tidak semua senar pada *bundengan 2* memiliki padanan frekuensi fundamental yang sama dengan senar pada *bundengan 1*. Sebagai contoh, tidak ada senar pada *bundengan 1* yang frekuensi fundamentalnya cukup tinggi untuk dibandingkan dengan senar 1, 2, dan 3 pada *bundengan 2*. Meski begitu, terdapat tiga senar *bundengan 1* yang frekuensi fundamentalnya bernilai hampir sama dengan tiga senar *bundengan 2*. Tabel 2.2 memperlihatkan perbandingan direktivitas ketiga senar dari masing-masing *bundengan* dengan nilai frekuensi fundamental yang cukup dekat.

**Tabel 2.2.** Perbandingan nilai direktivitas senar 1, 2, dan 3 pada *bundengan* 1 dengan senar 4, 6, 8 pada *bundengan* 2 yang memiliki nilai frekuensi fundamental cukup dekat [8].

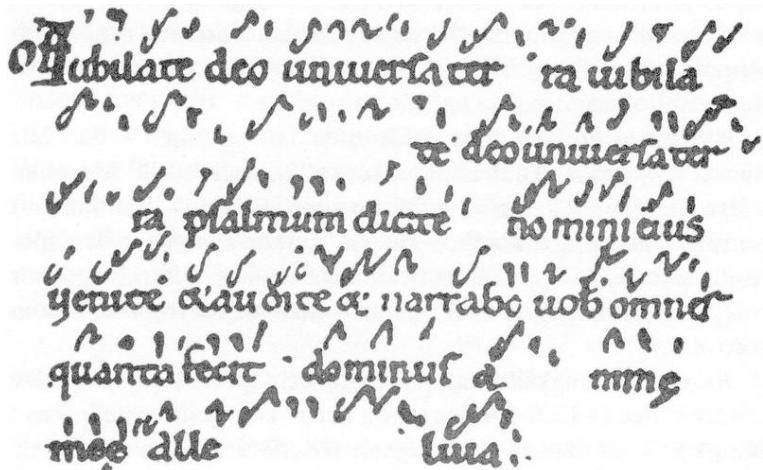


Kedua *bundengan* secara konsisten menghasilkan frekuensi fundamental dengan pola direktivitas yang menunjukkan nilai TTB paling tinggi pada arah 0 dan 180 derajat [8]. Meskipun demikian, kedua *bundengan* menghasilkan pola direktivitas yang berbeda untuk frekuensi *overtone*-nya. Fenomena ini menunjukkan bahwa kemiripan pola direktivitas pada frekuensi fundamental disebabkan oleh bentuk dasar dan ukuran yang sama. Sedangkan perbedaan pola direktivitas pada frekuensi *overtone* terjadi karena kemungkinan perbedaan pada ketepatan dimensi *bundengan*, kelengkungan *kowangan*, dan ketepatan peletakan senar pada anyaman bambu *kowangan*. Dari hasil yang telah dipaparkan, dapat disimpulkan bahwa setiap pendengar musik *bundengan* pada sebuah pementasan akan merasakan pengalaman yang berbeda-beda tergantung dari lokasi tempat duduk.

#### **II.4. Visualisasi Data Akustika Musik**

Notasi musik yang dikenal saat ini merupakan sistem visualisasi yang telah dikembangkan sejak lebih dari 10 abad yang lalu. Dahulu pada tahun 900 Masehi, anggota paduan suara di biara Italia mempelajari nyanyian gereja dengan menirukan setiap interval melodi yang diajarkan hanya dengan mengandalkan telinga [31]. Selain itu, para anggota juga perlu menyamakan dengan tepat tinggi nada atau *pitch* yang dimainkan oleh instruktur paduan suara. Tentu metode pembelajaran ini akan sulit diingat. Jika anggota paduan suara mulai mempelajari nyanyian baru, mereka perlu mempelajari ulang nyanyian lama jika hendak menampilkannya beberapa tahun kemudian.

Sekitar tahun 1025, seorang biarawan bernama Guido pindah ke kota bernama Arezzo. Dalam kunjungannya ke berbagai biara, Guido mengamati betapa sulitnya para penyanyi muda berusaha mempelajari nyanyian gereja. Guido pun terpikir untuk membuat sebuah alat yang dapat memudahkan seseorang dalam bernyanyi. Pada



**Gambar 2.10.** Salah satu penggalan nyanyian gereja dengan notasi *neumes* di setiap bagian atas kata [32].

masa itu, para penyanyi dibantu dengan menggunakan *neumes*, yaitu sebuah simbol notasi yang merepresentasikan kontur musik. Pada Gambar 2.10 diperlihatkan salah satu contoh notasi *neumes*. Meskipun demikian, *neumes* hanya menyatakan jumlah nada dan arah melodi keseluruhan tanpa menjelaskan *pitch* secara spesifik dan interval antar nada.

Oleh sebab itu, Guido kemudian terpikir sebuah sistem penulisan yang lebih dapat membantu para penyanyi, yaitu dengan menambahkan *the staff* atau dalam bahasa Indonesia disebut paranada pada notasi *neumes* [32]. Paranada seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.11 terdiri dari empat garis yang salah satunya terdapat sebuah "kunci" yang mengindikasikan posisi *pitch* referensi. Dengan begitu, para anggota paduan suara dapat lebih mudah mendeteksi tingkat *pitch* yang dimainkan, atau dengan kata lain membaca musik [32].

Notasi *neumes* yang dimodifikasi oleh Guido memang sudah lebih baik, namun belum dapat menjelaskan seberapa lama nada tersebut harus dimainkan. Masalah ini kemudian dipecahkan oleh notasi *mensural* [32]. Notasi *mensural* biasa digunakan untuk vokal musik sekuler, di mana notasi ini menggunakan lima buah



**Gambar 2.11.** Neumes dengan empat garis paranada [32].

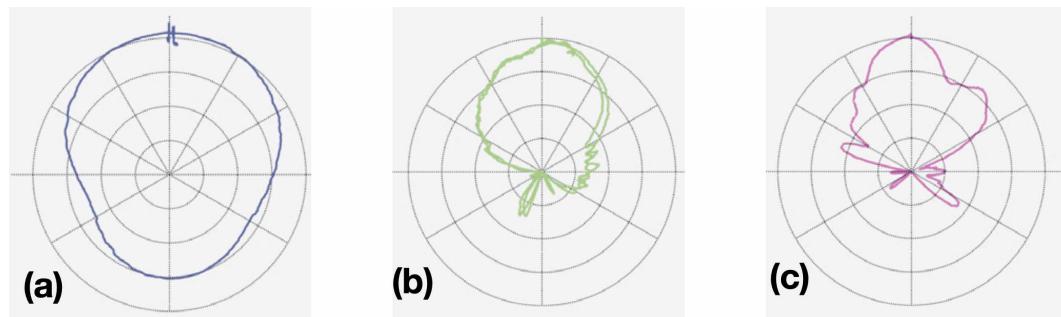
garis paranada. Pada Gambar 2.12 diperlihatkan salah satu contoh penulisan notasi *mensural*. Dapat diamati dengan sangat jelas penggunaan lima garis paranada dan simbol-simbol yang digunakan sangat mirip dengan notasi musik modern saat ini.



**Gambar 2.12.** Contoh penulisan notasi *mensural* [32].

Yang-Hann Kim, seorang Professor dari Korea Advanced Institute of Science and Technology mengungkapkan pentingnya penggambaran visual mengenai *sound field* atau direktivitas ketika proses pembelajaran akustika. Untuk menyajikan hal ini, biasanya diperlukan peralatan yang cukup rumit seperti susunan mikrofon dan alat pemindai. Hawley dan McClain pada tahun 2018 mengembangkan sebuah piranti lunak berbasis sistem operasi iOS yang dapat dijadikan metode sederhana dalam menyajikan data direktivitas [33]. Prinsip kerja dari piranti lunak ini adalah dengan mengandalkan sensor yang tersedia pada ponsel pintar, kemudian piranti ini secara otomatis akan menampilkan pola direktivitas pada diagram polar.

Selain menggunakan mikrofon internal, pengukuran juga dapat menggunakan mikrofon eksternal yang dipasang melalui *audio jack*. Radius dari diagram polar yang dihasilkan mewakili TTB sedangkan sudutnya mewakili orientasi ponsel sekaligus sensor. Grafik diagram polar ini memungkinkan untuk ditampilkan langsung ataupun diunduh dalam format CSV. Pada percobaan pengukuran, digunakan ponsel iPhone 5s yang diletakkan di atas pengeras suara berjenis Mackie HR824mk2. Pada Gambar 2.13 diperlihatkan pola direktivitas yang ditampilkan dalam diagram polar untuk beberapa variasi frekuensi dan lokasi pengukuran.



**Gambar 2.13.** Diagram polar untuk pengukuran direktivitas bunyi pada frekuensi (a) 250 Hz dan (b) 4 kHz diukur di luar ruangan, lalu (c) 4 kHz untuk rekaman pada ruang kelas yang dapat terjadi pemantulan bunyi [33].

Meskipun hanya terbatas pada sistem operasi iOS, piranti lunak ini telah mampu mengatasi keterbatasan waktu serta perangkat perekaman. Pengamatan mengenai pola direktivitas menjadi lebih mudah untuk diperkenalkan kepada para siswa. Grafik yang disajikan dari hasil pengukuran ini dapat menggambarkan seperti apa bunyi yang akan dirasakan telinga pada setiap posisi tertentu. Dengan begitu para siswa dapat dengan mudah bereksplorasi terkait berbagai sumber bunyi dan bagaimana bunyi tersebut merambat ke segala arah.

Dua inovasi yang telah dipaparkan di atas adalah contoh dari perkembangan visualisasi data di bidang musik dan akustika. Baik pada abad pertengahan maupun era modern, visualisasi yang tepat serta metode yang mudah sangat dibutuhkan dalam pembelajaran. Ketika proses pembelajaran menjadi lebih mudah diakses, peluang menuju inovasi ataupun pemecahan masalah yang lebih besar akan semakin dekat. Hal ini selaras dengan tujuan dari sistem visualisasi data direktivitas *bundengan* yang hendak dibangun penulis juga bertujuan untuk membantu para musisi serta pegiat *bundengan* dalam proses pengolahan informasi menuju pemecahan masalah yang jauh lebih besar.

## **II.5. Kontribusi Penelitian Penulis**

Penelitian mengenai distribusi bunyi *bundengan* mengarah pada penyelesaian masalah mengenai pementasan musik *bundengan*. Data direktivitas *bundengan* yang telah diukur oleh Kusumaningtyas, Christianto, dan Parikesit telah dapat merepresentasikan dengan baik perambatan bunyi *bundengan* ke segala arah [8]. Setiap rencana penyelesaian masalah kesenian yang disusun oleh para insinyur selalu memerlukan kerja sama dan komunikasi dengan pegiat seni itu sendiri. Dalam kasus masalah pementasan musik *bundengan*, tentu saja para insinyur perlu berkomunikasi dengan para pemusik dan pegiat *bundengan*. Sayangnya, data direktivitas yang te-

lah berhasil diperoleh belum dapat ditampilkan dalam bentuk yang dapat dipahami dengan mudah oleh kalangan pemusik *bundengan*. Oleh sebab itu, penelitian ini akan menjembatani komunikasi antara insinyur dengan para pegiat musik *bundengan*, sehingga penyelesaian masalah pementasan musik *bundengan* dapat segera tercapai.

## **BAB III**

### **DASAR TEORI**

#### **III.1. Parameter Akustika pada Instrumen Musik**

Bunyi (termasuk bunyi instrumen musik) adalah energi yang dihasilkan oleh getaran suatu objek, di mana energi ini merambat pada medium dalam bentuk gelombang. Dari definisi ini diketahui bahwa bunyi dapat terjadi karena dua hal, yaitu objek yang bergetar dan medium perambatan gelombang. Gelombang bunyi dapat merambat melalui medium padat dan fluida. Ketika sebuah instrumen musik bergetar, getarannya mengguncangkan udara dan membuat tekanan udara sekitar berfluktuasi [34]. Bunyi yang dihasilkan instrumen musik ini memiliki berbagai parameter yang dapat diukur nilainya. Dalam konteks masalah pementasan musik, terdapat tiga parameter objektif yang penting untuk dianalisis, yaitu TTB, frekuensi, dan direktivitas.

##### **III.1.1. Tingkat Tekanan Bunyi**

Seperti yang telah dijelaskan, bunyi merupakan fluktuasi tekanan. Bunyi dapat dirasakan karena sistem pendengaran manusia peka terhadap perubahan tekanan. Gelombang bunyi bukanlah udara yang mengalir, namun fluktuasi tekanan udara yang berubah-ubah akibat adanya getaran objek. Dari sini diketahui bahwa perambatan bunyi membutuhkan medium karena fluktuasi tekanan dapat terjadi ketika sudah adanya tekanan udara sekitar. Secara matematis, fluktuasi tekanan didefinisikan dengan

$$p_T(x, t) = p_0(x, t) + p_1(x, t) \quad (3.1)$$

di mana  $p_0$  adalah tekanan fluida sekitar,  $p_1$  adalah fluktuasi tekanan, dan  $p_T$  adalah tekanan total. Tekanan atmosfer udara bumi bernilai  $1 \text{ atm} = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$  [34].

Secara umum, tekanan bunyi yang dapat dirasakan oleh pendengaran manusia berkisar dari  $20 \mu\text{Pa}$  sampai dengan sekitar  $200 \text{ Pa}$  [34]. Rentang tekanan bunyi yang dapat didengar ini sangatlah luas. Sebagai contoh, tekanan bunyi minimum untuk didengar manusia adalah  $20 \mu\text{Pa}$ , pada percakapan normal sehari-hari tekanan bunyinya bernilai  $0,02 \text{ Pa}$ , tekanan bunyi pesawat jet pada jarak  $150 \text{ m}$  adalah  $20 \text{ Pa}$ , sedangkan batas tekanan bunyi yang bisa ditolerir rasa sakitnya oleh manusia berada pada nilai  $200 \text{ Pa}$ . Rentang yang sangat lebar ini sulit untuk direpresentasikan dalam skala linear, karena resolusi interval untuk nilai tekanan bunyi yang rendah akan menjadi sangat buruk.

Metode paling tepat untuk merepresentasikan rentang tekanan bunyi adalah dengan menggunakan skala logaritmik. Skala ini mampu memperlihatkan setiap jarak nilai yang bersifat eksponensial dengan lebih jelas. Satuan yang digunakan untuk merepresentasikan nilai dalam skala logaritmik disebut Bel. Bel digunakan untuk menyatakan perbandingan nilai daya dalam skala logaritmik. Karena nilai daya sebanding dengan kuadrat nilai tekanan ( $P \propto p^2$ ) [34] maka satuan Bel untuk tekanan bunyi dinyatakan sebagai

$$\text{SPL Bel} = \log \left( \frac{p}{p_{ref}} \right)^2 = 2 \log \left( \frac{p}{p_{ref}} \right) \quad (3.2)$$

dengan  $p$  adalah tekanan bunyi yang diukur dan  $p_{ref}$  adalah tekanan bunyi referensi, di mana untuk bunyi di udara nilai yang dijadikan referensi adalah batas tekanan bunyi minimum pendengaran manusia, yaitu  $20 \mu\text{Pa}$  [34]. Untuk mendapatkan rentang yang lebih besar, digunakan satuan desibel (dB) yang bernilai  $1/10$  Bel. Dengan begitu, nilai tekanan bunyi dalam satuan desibel secara matematis dinyatakan dengan

$$\text{SPL (dB)} = 20 \log \left( \frac{p}{p_{ref}} \right) \quad (3.3)$$

**Tabel 3.1.** Hubungan antara tekanan bunyi dengan skala desibel untuk beberapa sumber bunyi [35].

Tekanan Bunyi (Pa)	Tekanan bunyi relatif	Desibel	Sumber bunyi
20	$10^6$	120	Pesawat jet pada jarak 150 m
2	$10^5$	100	Di dalam gerbong kereta
0,2	$10^4$	80	Kantor yang berisik
0,02	$10^3$	60	Percakapan normal
0,002	$10^2$	40	Perpustakaan umum
0,0002	10	20	Suasana kota malam hari
0,00002	1	0	Batas minimum pendengaran

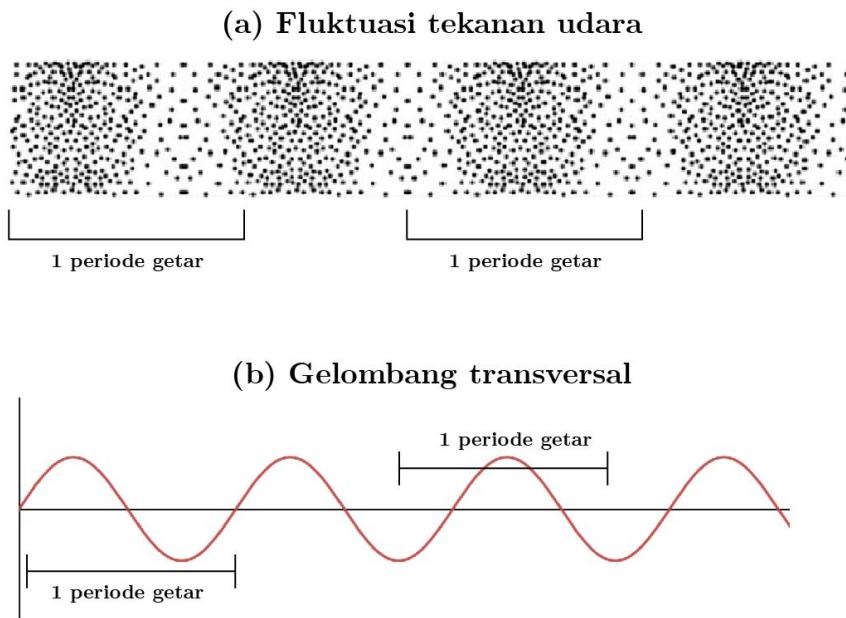
Pada Tabel 3.1 diperlihatkan beberapa contoh nilai tekanan sumber bunyi yang dinyatakan dalam [Pa] dan [dB]. Dengan  $20 \mu\text{Pa}$  sebagai nilai referensi, dapat dilihat bahwa semakin tinggi nilai tekanan bunyinya, jumlah pangkat bilangan dasar 10 pada nilai tekanan bunyi relatif akan semakin bertambah. Dari fakta inilah istilah "Tingkat" pada penyebutan Tingkat Tekanan Bunyi (TTB) berasal [12].

### III.1.2. Frekuensi

Jumlah fluktuasi tekanan atau getaran udara dalam durasi waktu satu sekon disebut sebagai frekuensi [12]. Pada Gambar 3.1 diperlihatkan penggambaran fluktuasi tekanan udara dan analoginya dengan bentuk gelombang transversal. Gambar ini juga menunjukkan rentang mana yang dihitung sebagai satu periode getaran. Satu getaran dihitung ketika tekanan udara telah mengalami puncak tertinggi dan puncak terendah. Secara matematis, frekuensi didefinisikan sebagai

$$f = \frac{n}{t} = \frac{1}{T} \quad (3.4)$$

di mana  $n$  adalah banyaknya getaran,  $t$  adalah waktu [detik], dan  $T$  adalah periode getaran [detik] [21].

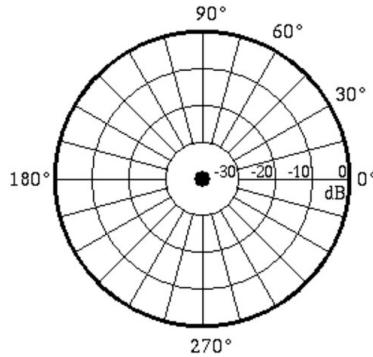


**Gambar 3.1.** (a) Penggambaran fluktuasi tekanan udara dan analoginya dengan (b) gelombang transversal [34].

Banyaknya getaran setiap satu detik dinyatakan dalam satuan Hz ("Hertz"). Frekuensi getaran yang dapat dirasakan pendengaran manusia berada pada rentang 16 Hz–20 kHz [12]. Dalam musik, tingkatan nada atau *pitch* disebabkan oleh perbedaan frekuensi. Sebagai contoh, nada referensi musik A<sub>4</sub> memiliki frekuensi 440 Hz. Pada Tabel 3.2 diperlihatkan berbagai nilai frekuensi dan hubungannya dengan nada pada musik.

**Tabel 3.2.** Hubungan nilai frekuensi dengan nada musik [12].

Frekuensi (Hz)	Nada
16,5	C <sub>0</sub> kunci C pada organ 32'
33	C <sub>1</sub> senar-C dari 5 senar contrabass
66	C <sub>2</sub> senar-C pada cello
131	C <sub>3</sub> senar-C pada viola
262	C <sub>4</sub> C terendah pada biola
524	C <sub>5</sub> C tenor tinggi
1.047	C <sub>6</sub> C sopran tinggi
2.093	C <sub>7</sub> C biola tertinggi
4.185	C <sub>8</sub> C tertinggi piccolo



**Gambar 3.2.** Visualisasi tekanan bunyi sumber monopol pada diagram polar [36].

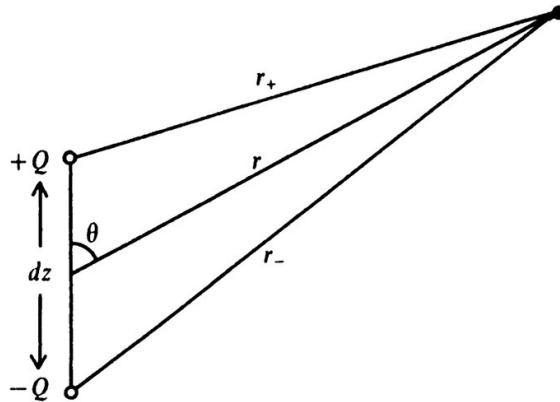
### III.1.3. Direktivitas Bunyi

Sumber bunyi paling sederhana adalah sumber bunyi berbentuk titik, yang mana sumber titik ini diibaratkan bola berdenyut dengan jari-jari mendekati nol [21]. Sumber bunyi ini disebut sumber bunyi monopol, yaitu sumber bunyi yang meradiasikan bunyi secara merata ke segala arah (omnidireksional). Secara matematis, tekanan bunyi dari sebuah titik dengan jari-jari  $a$  yang berdenyut dengan frekuensi  $\omega$  dinyatakan sebagai berikut

$$p(r) = \frac{j\omega\rho}{4\pi r} Q e^{-jkr} \quad (3.5)$$

di mana  $r$  adalah jarak radius perambatan bunyi,  $\rho$  adalah densitas medium,  $k$  adalah bilangan gelombang, dan  $Q$  adalah debit udara yang berdenyut [21]. Persamaan ini hanya berlaku untuk titik berdenyut dengan jari-jari sangat kecil mendekati 0, sehingga  $ka \ll 1$ . Pada Gambar 3.2 diperlihatkan penggambaran dari sumber bunyi monopol.

Apabila terdapat dua buah sumber monopol identik berdekatan dengan fase yang berlawanan maka sumber bunyi ini disebut sebagai sumber dipol [21]. Pada Gambar 3.3 diperlihatkan sumber dipol yang terdiri dari dua sumber monopol identik dengan debit denyut  $\pm Q$  dan terpisah dengan jarak  $dz$ . Secara matematis, nilai



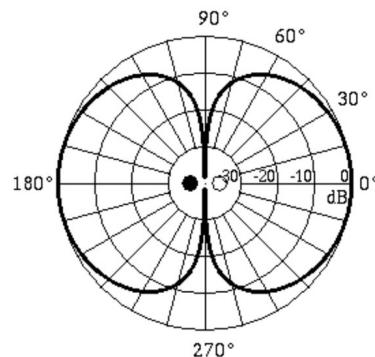
**Gambar 3.3.** Sumber bunyi dipol. Untuk nilai  $dz \rightarrow 0$ ,  $Q \rightarrow \infty$ , nilai momen dipol sebesar  $\mu = Q dz$  [21].

tekanan bunyi yang berasal dari sumber dipol tersebut dapat dinyatakan dengan

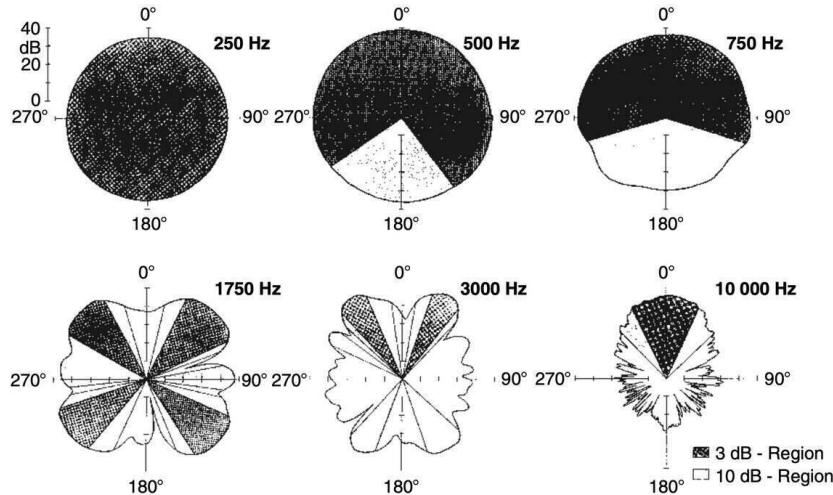
$$p(r, \theta) = \frac{\omega^2 \rho}{4\pi c r} \left( 1 + \frac{1}{jkr} \right) e^{-jkr} \mu \cos \theta \quad (3.6)$$

di mana  $c$  adalah cepat rambat bunyi,  $r$  adalah jarak antara pusat dipol dengan titik ukur, dan  $\theta$  adalah sudut yang terbentuk dari titik ukur dengan sumber dipol [21].

Karena nilai fase dua sumber monopol penyusun sumber dipol tersebut saling berlawanan, akibatnya udara di sekitar kedua sumber monopol akan bergetar bolak-balik sehingga menghasilkan bunyi. Oleh sebab itu, sumber bunyi yang bergetar bolak-balik dapat dikatakan berperilaku seperti sumber bunyi dipol [36], termasuk se-



**Gambar 3.4.** Visualisasi tekanan bunyi sumber dipol pada diagram polar [36].



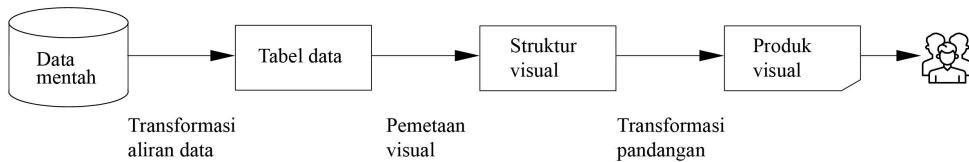
**Gambar 3.5.** Pola direktivitas oboe untuk beberapa nilai frekuensi. Arah  $0^\circ$  menunjukkan arah axis oboe [12].

nar yang bergetar. Pada Gambar 3.4 diperlihatkan pola sebaran tekanan bunyi sebuah sumber dipol. Dari pola tersebut dapat diamati bahwa sumber dipol tidak meradiasikan bunyi secara merata ke segala arah. Terdapat area di mana bunyi secara merata diradiasikan dan ada area di mana tidak terdapat tekanan bunyi.

Faktanya, setiap instrumen musik tidak menghasilkan bunyi dengan nilai yang sama ke segala arah. Setiap frekuensi, pada setiap arah rambat bunyi memiliki nilai TTB yang berbeda-beda. Perbedaan nilai TTB berdasarkan arah rambat bunyi ini disebut sebagai karakteristik direksional atau direktivitas [12]. Pada Gambar 3.5 diperlihatkan pola direktivitas dari oboe untuk berbagai nilai frekuensi. Dapat diamati bahwa untuk nilai frekuensi yang berbeda, nilai TTB untuk setiap arah rambat bunyi oboe juga berbeda.

### III.2. Visualisasi

Alur proses representasi kumpulan data mentah menjadi sebuah tampilan interaktif kepada pengguna ditunjukkan pada Gambar 3.6. Pada tahap awal, data mentah diproses menjadi sesuatu yang berguna untuk sistem visualisasi [13]. Tujuan uta-



**Gambar 3.6.** Alur proses visualisasi [13].

ma dari tahap ini adalah memetakan data mentah supaya dapat diolah dengan komputer. Pada tahap ini juga dilakukan validasi dari data yang didapat, seperti nilai yang hilang, kesalahan masukan, dan ukuran data yang terlalu besar diperbaiki pada tahap ini.

Setelah data mentah benar-benar bersih, proses dilanjutkan dengan penentuan metode representasi visual. Proses ini dapat meliputi pemetaan geometri, warna, dan suara. Dalam penentuan metode visualisasi data, terdapat dua nilai yang sangat krusial, yaitu keekspresifan dan keefektifan [13].

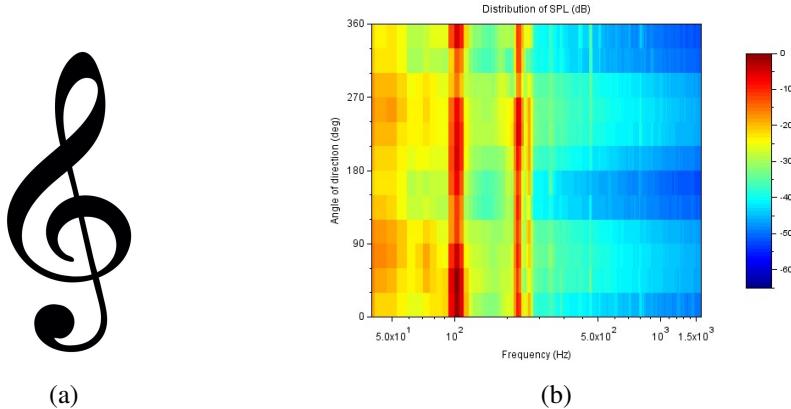
1. Visualisasi dikatakan ekspresif ketika menampilkan keseluruhan data secara utuh dan terfokus pada informasi yang hendak disampaikan. Untuk mengukur tingkat keekspresifan, digunakan nilai  $M_{exp}$  yaitu rasio antara informasi yang ditampilkan kepada pengguna dengan keseluruhan informasi. Nilai ini berkisar pada rentang  $0 \leq M_{exp} \leq 1$ . Nilai  $M_{exp} = 1$  menunjukkan keekspresifan visualisasi yang ideal, sedangkan nilai  $M_{exp} < 1$  menyatakan sistem visualisasi belum menampilkan keseluruhan informasi yang seharusnya. Pada beberapa kasus, nilai keekspresifan dapat bernilai lebih dari 1. Hal ini terjadi apabila sistem menampilkan informasi tambahan selain informasi yang direncanakan, sehingga berpotensi mengganggu konsentrasi pengguna.
2. Visualisasi dikatakan efektif apabila dapat diinterpretasi dengan akurat dan cepat. Keefektifan mengukur secara spesifik "biaya" dari persepsi informasi. Ni-

lai keefektifan diukur dengan  $M_{\text{eff}}$ , yaitu sebuah rasio yang mirip dengan nilai keekspresifan, namun sedikit lebih kompleks. Nilai ini diukur dari waktu interpretasi dan waktu *render*. Waktu interpretasi adalah durasi yang dibutuhkan pengguna untuk memproses informasi yang ditampilkan. Proses ini meliputi ditangkapnya objek visual oleh indera manusia sampai selesai dipahami oleh persepsi otak manusia. *Rendering* adalah proses sistem visualisasi untuk menampilkan informasi sesuai konsep yang direncanakan. Proses ini adalah tahap ketiga dari alur proses visualisasi. Durasi yang dibutuhkan untuk menampilkan ini disebut sebagai waktu *render*. Untuk sistem visualisasi berbentuk fisik atau visualisasi data kecil, nilai keefektifan ditentukan hanya berdasarkan waktu interpretasi, karena biasanya proses *rendering* telah selesai sehingga waktu *render* dihitung sangat cepat. Ketika waktu interpretasi meningkat, baik karena data semakin kompleks ataupun peningkatan ukuran data, nilai  $M_{\text{eff}}$  akan berkurang. Nilai keefektifan didefinisikan dengan

$$M_{\text{eff}} = 1 / (1 + \text{interpret} + \text{render}) \quad (3.7)$$

dengan  $0 < M_{\text{eff}} \leq 1$ . Semakin besar nilai  $M_{\text{eff}}$ , visualisasi dikatakan semakin efektif.

Tahap terakhir adalah proses *rendering* atau menampilkan. Pada tahap ini konsep visualisasi direalisasikan menjadi bentuk tampak sesuai yang dikehendaki. Proses ini lebih banyak melibatkan pemodelan menggunakan komputer. Parameter objek visual seperti bayangan pada objek 3D, warna objek, dan transformasi perangkat (contoh: pencetakan) dikerjakan pada tahap ini. Hasil akhir tahap *rendering* adalah berupa produk yang dapat ditampilkan kepada pengguna.



**Gambar 3.7.** Dua tipe produk visual: (a) Simbol dengan arti yang jelas [14] dan (b) representasi data dengan arti yang kompleks [8].

### **III.2.1. Dasar Visualisasi**

Pada Gambar 3.7(a) diperlihatkan sebuah simbol yang dapat dengan mudah dikenali, yaitu *treble clef*, sedangkan pada Gambar 3.7(b) diperlihatkan representasi data direktivitas *bundengan* yang kompleks. Sebuah gambar dapat dengan mudah dikenali banyak orang karena gambar tersebut banyak dilibatkan dalam pengalaman manusia. Simbol *treble clef* dapat dengan mudah dikenali artinya karena digunakan pada notasi musik, sedangkan untuk memahami representasi data direktivitas *bundengan* diperlukan perhatian yang lebih. Sebelum memahami makna keseluruhan dari data direktivitas yang ditampilkan, pengguna terlebih dahulu perlu mengerti arti dari sumbu mendatar dan sumbu tegak, serta hubungan antar keduanya. Setelah itu, pengguna perlu mengerti arti dari perbedaan warna yang ditampilkan. Ketika pengguna sudah mengetahui hubungan antar elemen visual yang ada maka pengguna dapat memahami makna dan hubungan setiap variabel yang ditampilkan.

Dapat disimpulkan bahwa Gambar 3.7(a) dapat dipahami dalam satu langkah, sedangkan untuk memahami Gambar 3.7(b) dibutuhkan dua langkah [13]. Pada langkah pertama, elemen utama pada gambar diidentifikasi dengan bantuan memori jang-

ka panjang. Gambar 3.7(a) dapat dipahami hanya dengan mengandalkan pengetahuan tentang notasi musik, sedangkan untuk Gambar 3.7(b) memori jangka panjang hanya dapat membantu pengguna memahami bahwa representasi data tersebut menggunakan sistem koordinat kartesius. Oleh sebab itu, pemahaman informasi secara utuh terkait Gambar 3.7(b) membutuhkan langkah kedua, yaitu dengan menghubungkan konsep koordinat yang telah diketahui dengan elemen lain pada gambar, yaitu spektrum warna. Dengan begitu pengguna akan mulai mengetahui hubungan antar elemen yang merepresentasikan hubungan setiap variabel.

Hal penting terkait representasi data adalah penggunaan elemen visual yang mudah diidentifikasi oleh pengguna [13]. Jika pengguna tidak memiliki pengetahuan terkait elemen visual yang digunakan maka elemen visual tersebut akan menjadi tidak berguna. Sebagian besar persepsi manusia didorong oleh interpretasi secara fisik, sehingga elemen visual yang bermakna harus memiliki dimensi  $x$ ,  $y$ , dan  $z$  yang mudah ditafsirkan [13]. Selain itu, pola hubungan antar objek grafis yang ditampilkan harus menunjukkan pola pada data.

Pada penerapan visualisasi grafis sebagai metode komunikasi diperlukan pemahaman mengenai variabel visualisasi dan sifat-sifatnya [13]. Penyampaian informasi dalam bentuk tampilan pada dasarnya adalah penyusunan setiap variabel visual menjadi pola tertentu yang dapat dipahami manusia. Sebuah variabel visual yang berdiri sendiri tidak memiliki definisi apapun. Oleh sebab itu, variabel visual perlu melalui proses penyusunan supaya dapat menjadi tampilan yang informatif.

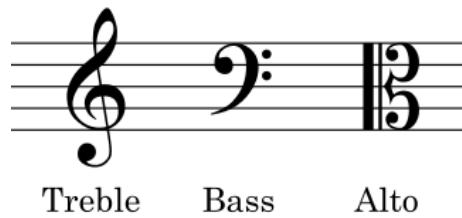
Terdapat delapan variabel visual yang dapat digunakan sebagai penyalur informasi. Delapan variabel ini dapat diatur sedemikian sehingga sesuai dengan kebutuhan dan memaksimalkan keefektifan sistem visualisasi. Berikut adalah delapan variabel visual yang dapat membentuk tampilan informatif pada sistem visualisasi [13].

### **III.2.1.1. Posisi**

Penempatan sebuah objek memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap informasi mengenai suatu hal. Hal ini karena susunan spasial adalah sesuatu yang pertama kali dibaca oleh otak manusia ketika melihat suatu tampilan yang kompleks. Skema penempatan posisi terbaik adalah meletakkan setiap objek grafis pada posisi unik, sehingga semuanya dapat dilihat dengan jelas tanpa adanya tumpang-tindih antar objek. Penentuan posisi objek grafis juga dipengaruhi oleh variabel yang hendak direpresentasikan. Pemusatan data, distribusi statistik, serta tren pada data dipengaruhi oleh variabel apa yang direpresentasikan. Skala digunakan untuk mengorganisir ruang tampilan dan untuk menghadirkan struktur nilai yang representatif. Yang pertama adalah skala linear, yaitu dengan memetakan setiap data pada rentang nilai tertentu. Yang kedua adalah skala logaritmik, di mana skala ini digunakan untuk memetakan data dengan peningkatan nilai yang eksponensial supaya didapatkan rentang nilai yang lebih mudah diamati.

### **III.2.1.2. Bentuk**

Bentuk adalah konstruksi yang terdiri dari titik, garis, area, dan volume. Perbedaan konstruksi tersebut dapat dijadikan sebagai penanda dua hal yang berbeda ketika menampilkan data. Bentuk-bentuk umum yang digunakan diantaranya adalah lingkaran, persegi, segitiga, bintang, maupun tanda silang. Pertimbangan paling penting dalam pemilihan bentuk adalah seberapa jelas setiap bentuk dapat dibedakan. Hal ini karena pandangan manusia akan sulit untuk mengobservasi sesuatu yang terlihat mirip. Pada Gambar 3.8 diperlihatkan tiga bentuk *clef* yang dapat dibedakan dengan jelas. Bentuk yang mudah dibedakan ini tentu akan meningkatkan tingkat keefektifan suatu sistem visual.



**Gambar 3.8.** Contoh penggunaan bentuk berbeda dalam notasi musik [14].

### III.2.1.3. Ukuran (Panjang, Luas, dan Volume)

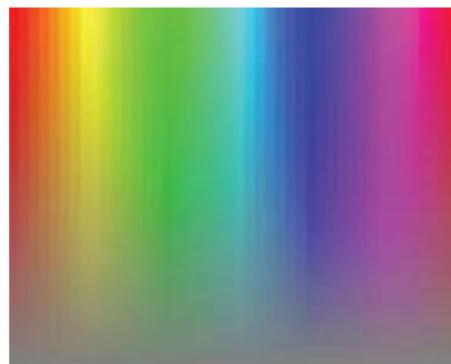
Variabel visual yang ketiga adalah ukuran. Seberapa besar dan kecilnya objek visual ditentukan dengan ukuran. Perbedaan yang dapat terlihat dalam ruang ini mampu merepresentasikan nilai tertentu. Peningkatan ukuran dapat dijadikan penggambaran peningkatan nilai variabel yang lebih mudah diproses persepsi manusia.

### III.2.1.4. Kecerahan

Kecerahan atau luminansi adalah tingkat hitam-putih suatu objek visual. Kecerahan dapat digunakan untuk dijadikan pembeda untuk beberapa nilai data. Meskipun demikian, kecerahan tidak dapat digunakan sebagai penanda untuk setiap data pada rentang yang lebar secara terpisah. Hal ini karena persepsi manusia tidak dapat membedakan dengan detil tingkat kecerahan suatu objek untuk kemudian diasosiasikan dengan nilai tertentu. Dengan kata lain, kecerahan hanya efektif digunakan untuk merepresentasikan dua nilai yang sangat kontras perbedaannya.

### III.2.1.5. Warna

Kecerahan menyatakan seberapa hitam atau seberapa putihnya objek visual, namun sebenarnya yang dinyatakan oleh kecerahan bukanlah warna. Warna dapat didefinisikan dengan dua parameter, yaitu *hue* dan saturasi. Pada Gambar 3.9 diper-



**Gambar 3.9.** *Hue* dan saturasi pada pilihan warna Microsoft [13].

lihatkan pilihan warna dari Microsoft dengan *hue* dinyatakan pada sumbu mendatar dan saturasi pada sumbu tegak. *Hue* menyatakan sesuatu yang kita anggap sebagai warna, yaitu panjang gelombang dari cahaya tampak. Sedangkan saturasi adalah tingkat *hue* relatif terhadap keabu-abuan. Saturasi juga memperlihatkan kemurnian suatu warna yang ditampilkan. Pada penggunaan warna untuk representasi kumpulan informasi, diperlukan pemetaan data pada masing-masing warna. Digunakannya warna sebagai salah satu variabel visual dapat diamati pada Tabel 2.2, di mana rentang nilai TTB dinyatakan dalam rentang warna merah sampai biru.

### III.2.1.6. Orientasi

Orientasi adalah arah dari sebuah objek visual. Variabel visual ini menyatakan bagaimana sebuah bentuk diputar sehubung dengan informasi yang hendak disampaikan. Perbedaan orientasi tidak selalu dapat digunakan pada semua bentuk objek visual. Penerapan orientasi yang paling baik adalah pada bentuk yang hanya memiliki satu sumbu simetri, seperti segitiga sama kaki. Hal ini karena perbedaan orientasi pada bentuk dengan banyak sumbu simetri tidak terlalu kontras, sehingga persepsi manusia sulit untuk memindai informasi yang hendak disampaikan.

### **III.2.1.7. Tekstur**

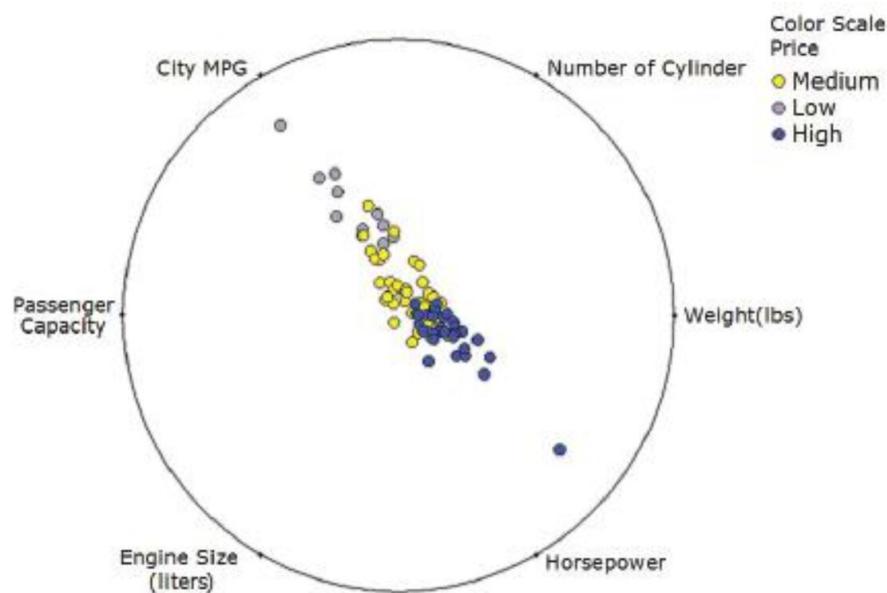
Variabel visual yang ketujuh adalah tekstur. Tekstur dapat dikatakan sebagai kombinasi berbagai variabel visual, seperti bentuk, warna, dan orientasi. Garis putus-putus dan titik-titik yang membentuk garis dapat dikategorikan sebagai tekstur. Penggunaan tekstur biasanya diasosiasikan dengan area atau permukaan tertentu. Pada bidang 3D, tekstur dapat berupa perbedaan geometri seperti ketinggian pada permukaan.

### **III.2.1.8. Gerakan**

Variabel visual yang terakhir adalah gerakan. Penerapan umum dari gerakan adalah dengan memvariasikan kecepatan dari perubahan setiap objek visual. Perubahan yang dimaksud dapat berupa perubahan posisi, berkedip, warna, ataupun tingkat gelap-terang. Gerakan dapat berguna untuk menyampaikan informasi karena pandangan manusia akan mengamati perubahan perilaku dari setiap objek visual, tidak hanya perilaku yang mirip, namun perilaku yang bertentangan juga dapat berupa sebuah informasi.

## **III.2.2. Teknik Visualisasi untuk Data Multivariabel**

Berdasarkan buku karya Ward, dkk. [13], kumpulan data dapat dikategorikan sebagai data spasial, data geospasial, data temporal, dan data multivariabel. Suatu kumpulan data dikatakan multivariabel jika secara umum tidak ada informasi mengenai kondisi spasial dan waktu tertentu. Data direktivitas *bundengan* termasuk dalam kategori data multivariabel, karena data ini tidak menyatakan dengan pasti posisi nilai direktivitas pada titik tertentu dan juga data ini tidak menyatakan nilai direktivitas pada rentang waktu yang spesifik. Kumpulan data jenis ini dapat ditampilkan



**Gambar 3.10.** Visualisasi data spesifikasi mobil dengan teknik berbasis titik [13].

menggunakan berbagai metode/teknik, baik teknik berbasis titik, garis, area, maupun kombinasi ketiganya.

### III.2.2.1. Teknik Berbasis Titik

Sebuah titik menyatakan proyeksi data yang terekam pada sebuah dimensi yang dapat diubah-ubah. Teknik visualisasi menggunakan titik untuk data individual mendefinisikan proyeksi data yang tepat dan representasi visual yang spesifik [13]. Teknik berbasis titik yang paling sederhana adalah *scatterplots*. Selain sederhana, teknik ini paling banyak digunakan untuk analisis data. Keberhasilan teknik ini tidak lepas dari kemampuan dasar manusia untuk mengamati posisi relatif pada ruang tertentu.

Teknik visualisasi berbasis titik dapat divariasikan dengan berbagai variabel visual, seperti warna yang dikombinasikan dengan modifikasi area dimensi. Pada Gambar 3.10 diperlihatkan visualisasi data spesifikasi berbagai jenis mobil. Dari vi-

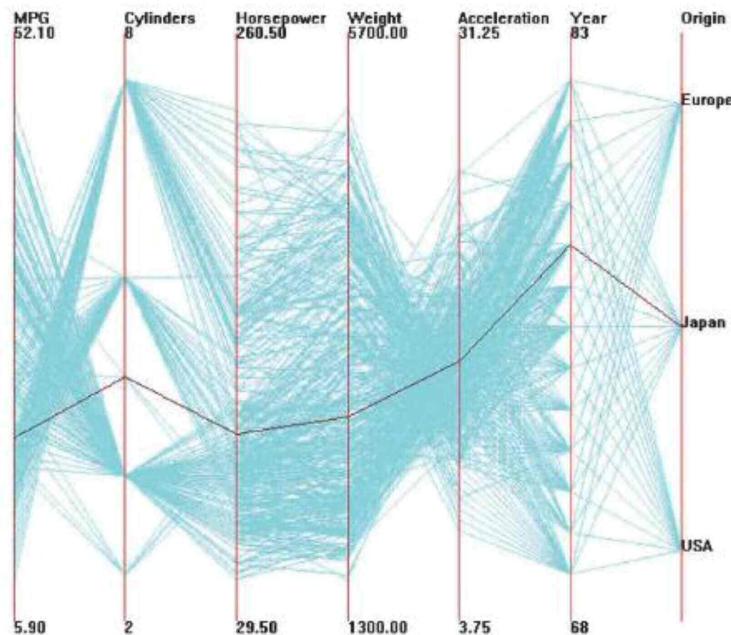
sualisasi tersebut telah dapat diperoleh seluruh informasi mengenai tingkat spesifikasi mobil yang dinyatakan dengan posisi relatif antar setiap tepi lingkaran. Harga dari setiap jenis mobil dapat diketahui dengan cepat dari kode warna yang digunakan.

### **III.2.2.2. Teknik Berbasis Garis**

Dalam teknik visualisasi berbasis garis, setiap titik-titik yang menyatakan nilai tertentu dihubungkan menjadi sebuah garis lurus atau lengkung. Garis yang terbentuk tidak hanya memperkuat hubungan antar nilai data, tetapi juga menyampaikan informasi lain yang dapat dilihat melalui kemiringan, kelengkungan, persilangan, dan pola garis lainnya [13]. Metode visualisasi berbasis garis paling banyak digunakan adalah diagram garis. Pada diagram garis, sumbu tegak menyatakan rentang nilai data, sedangkan sumbu mendatar menyatakan urutan tertentu.

Pada kasus representasi data multivariabel, teknik berbasis garis dapat dikombinasikan dengan koordinat paralel. Pada Gambar 3.11 diperlihatkan representasi data spesifikasi mobil dengan teknik berbasis garis menggunakan koordinat paralel. Ide dasar dari model visualisasi seperti ini adalah memetakan nilai data pada sebuah sumbu (vertikal ataupun horizontal) yang memiliki rentang nilai mewakili sebuah variabel tertentu, yang mana pada kasus ini setiap koordinat paralel mewakili spesifikasi mobil. Satu data tipe mobil direpresentasikan dengan menghubungkan garis pada setiap koordinat paralel yang posisi terhubungnya mewakili nilai tipe mobil untuk spesifikasi tersebut.

Setiap teknik yang mengorientasikan koordinat secara horizontal dan/atau vertikal, terdapat pula teknik ekivalen yang mengorientasikan koordinat secara radial. Salah satu contoh penggunaan teknik berbasis garis dengan orientasi koordinat radial adalah diagram polar. Pada diagram polar setiap nilai data dipetakan pada koordinat polar. Seluruh nilai ini dihubungkan dengan garis yang membuat perubahan nilai



**Gambar 3.11.** Visualisasi data spesifikasi mobil menggunakan teknik berbasis garis dengan 7-dimensi data pada koordinat paralel [13]. Garis dengan warna yang disorot menandakan data individual yang dipilih.

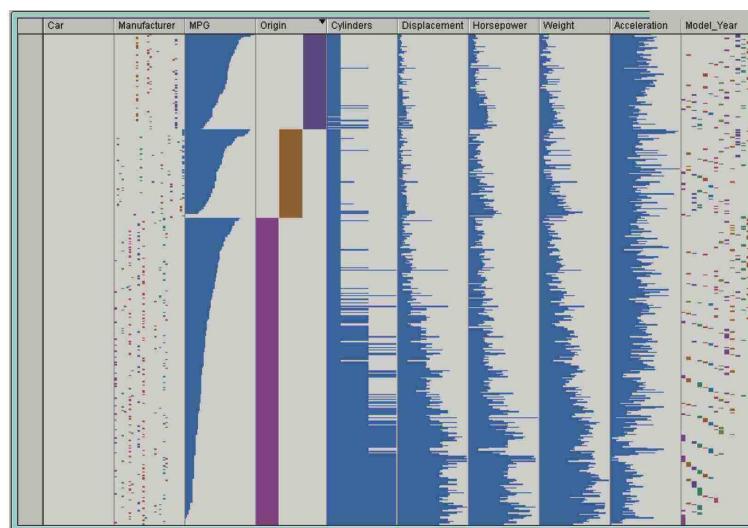
data pada setiap arah dapat diamati dengan mudah. Teknik visualisasi menggunakan diagram polar banyak digunakan untuk memvisualisasikan data direktivitas, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.5, Gambar 2.13, dan Gambar 3.4.

### III.2.2.3. Teknik Berbasis Area

Pada teknik berbasis area, penyampaian informasi dilakukan dengan menggunakan bentuk yang berisi. Wilayah di dalam setiap bentuk objek visual digunakan untuk menyampaikan nilai data berdasarkan ukuran, bentuk, warna, ataupun variabel visual lainnya. Pada dasarnya kemampuan manusia untuk mengestimasi area secara akurat cukup buruk, tetapi teknik ini telah banyak dikembangkan dengan mengkombinasikan variabel visual yang lebih mudah diamati manusia. Pada umumnya, penggunaan teknik berbasis area tidak bertujuan untuk menyampaikan nilai data secara individual, melainkan untuk menyampaikan ringkasan atau distribusi nilai data.

Teknik visualisasi berbasis area yang paling banyak digunakan seperti halnya *scatterplots* dan diagram garis adalah diagram batang. Pada diagram batang, batang persegi panjang digunakan untuk menampilkan nilai numerik dari data. Penggunaan diagram batang dapat dengan mudah dipahami karena persepsi pandangan manusia lebih mudah membandingkan ukuran secara linear, baik vertikal maupun horizontal. Jika setiap bar membutuhkan penjelasan menggunakan teks, akan lebih baik jika teks dituliskan dengan arah horizontal. Keputusan paling krusial yang perlu diambil ketika mendesain diagram batang adalah menentukan berapa banyak batang yang diperlukan untuk menampilkan data. Jika visualisasi data bertujuan untuk menampilkan ringkas-an dan sebaran data maka dapat digunakan histogram untuk menampilkan banyaknya kemunculan suatu nilai data. Jika rentang data cukup lebar, maka data perlu dibagi menjadi rentang-rentang yang lebih kecil.

Data multivariabel biasanya disimpan dalam bentuk tabel. Teknik berbasis area dapat diterapkan untuk meningkatkan efektivitas dari tampilan tabel, yaitu dengan menyajikan setiap nilai dari variabel ke dalam sebuah area tertentu seperti ba-



**Gambar 3.12.** Visualisasi data spesifikasi mobil menggunakan teknik berbasis area dengan lensa tabel [13].

tang. Metode ini disebut sebagai lensa tabel [13]. Pada Gambar 3.12 diperlihatkan representasi data spesifikasi mobil yang ditampilkan dalam bentuk lensa tabel. Pada lensa tabel, besarnya nilai pada spesifikasi dinyatakan dalam batang persegi panjang dengan variasi ukuran dan warna. Supaya sistem ini dapat berhasil, sistem harus dilengkapi dengan mekanisme level-detail yang baik, seperti menggeser dan memperbesar setiap batang pada sel tabel.

### **III.3. Perancangan dan Pengembangan Produk**

Sebuah produk tercipta karena adanya kebutuhan penyelesaian masalah. Perancangan dan pengembangan produk adalah serangkaian aktivitas yang dimulai dari identifikasi peluang pasar dan berakhir pada proses produksi dan penjualan produk [17]. Alasan utama sebuah produk dapat berhasil tentu karena adanya masalah yang perlu diselesaikan. Pada Bab I telah dipaparkan masalah yang dihadapi musisi dan pegiat *bundengan*, sehingga proses identifikasi peluang pasar tidak diperlukan. Perancangan dan pengembangan produk kemudian berfokus pada beberapa kegiatan, yaitu identifikasi kebutuhan pengguna yang kemudian diterjemahkan menjadi spesifikasi konsep produk, lalu konsep tersebut perlu diuji kepada calon pengguna. Pada subbab ini akan dipaparkan bagaimana sebaiknya proses perancangan dan pengembangan produk dilakukan.

#### **III.3.1. Identifikasi Kebutuhan Pengguna**

Pemahaman akan kebutuhan calon pengguna adalah kunci menuju kesuksesan sebuah produk [17]. Oleh sebab itu, pada proses pengembangan sebuah produk proses identifikasi kebutuhan pengguna tidak boleh terlewatkan. Tujuan dari identifikasi kebutuhan pengguna ini antara lain adalah untuk memastikan produk berfokus pada kebutuhan pengguna, mengidentifikasi kebutuhan pengguna baik yang terlihat seca-

ra eksplisit maupun yang tersembunyi, mendapatkan alasan utama terkait spesifikasi produk, dan mendapatkan bayangan mengenai kegiatan selama proses pengembangan. Proses identifikasi ini umumnya terdiri dari empat tahapan, yaitu:

1. Menggali data mentah dari calon pengguna.
2. Menerjemahkan data mentah menjadi bentuk kebutuhan pengguna.
3. Mengelompokkan kebutuhan pengguna ke dalam beberapa tingkatan prioritas.
4. Refleksi hasil dan penentuan spesifikasi produk.

Untuk mendapatkan data dengan kualitas terbaik, data tersebut harus diperoleh langsung dari calon pengguna. Metode paling umum yang digunakan untuk mendapatkan informasi dari pengguna adalah wawancara, diskusi grup, atau pengamatan terhadap produk yang sudah digunakan. Hasil akhir dari pengambilan data ini umumnya berupa pernyataan calon pengguna. Pernyataan-pernyataan ini kemudian diterjemahkan menjadi kebutuhan pengguna yang perlu ada dalam produk.

Setiap pernyataan dari calon pengguna dapat diartikan menjadi banyak kebutuhan. Oleh sebab itu, digunakan sebuah panduan dasar yang dapat membantu menerjemahkan kebutuhan calon pengguna secara lebih efektif. Berikut ini adalah panduan menerjemahkan pernyataan calon pengguna menjadi kebutuhan [17].

- 1. Kebutuhan dinyatakan dalam bentuk "apa yang dapat dilakukan?" bukan "bagaimana melakukannya?".** Umumnya pengguna menggambarkan kebutuhan dalam bentuk implementasi sehari-hari, namun kebutuhan ini bukan tentang cara penyelesaian, melainkan apa yang harus diselesaikan.
- 2. Kebutuhan dinyatakan sedetail apa yang dinyatakan calon pengguna.** Jika calon pengguna mengungkapkan kebutuhan secara spesifik maka tingkat detail dari solusi yang dihadirkan juga harus spesifik.

3. **Kebutuhan dinyatakan dalam frasa positif.** Proses eksekusi terhadap kebutuhan pengguna akan lebih mudah jika dinyatakan dalam frasa yang positif. Meskipun demikian, aturan ini tidak terlalu baku, karena terkadang ada kebutuhan yang memang perlu dinyatakan dalam frasa negatif seperti "Produk ini tidak memerlukan penggantian baterai".
4. **Kebutuhan dinyatakan sebagai atribut produk.** Hal ini supaya spesifikasi produk dapat lebih mudah untuk ditentukan.

Dari hasil interpretasi kebutuhan pengguna mungkin didapat banyak sekali daftar kebutuhan yang perlu diatasi oleh produk. Daftar kebutuhan tersebut perlu dikategorikan menjadi kebutuhan primer dan kebutuhan sekunder supaya proses penentuan spesifikasi produk dapat berjalan dengan baik. Pada produk yang kompleks, kebutuhan sekunder dapat dibagi lagi menjadi beberapa kebutuhan tersier. Hal pertama yang perlu dilakukan adalah mengeliminasi beberapa kebutuhan yang berulang kali muncul. Setelah tidak ada kebutuhan yang muncul lebih dari satu kali, daftar kebutuhan yang tersisa kemudian dikelompokkan menjadi kelompok kebutuhan yang lebih besar. Dengan pengelompokan ini penentuan prioritas kebutuhan mana yang perlu diutamakan dapat dilakukan dengan lebih mudah.

Sampai tahap ini proses identifikasi kebutuhan pengguna telah selesai. Hal yang perlu dilakukan adalah mengevaluasi apakah proses identifikasi ini telah berjalan dengan baik atau belum. Setelah proses evaluasi, daftar kebutuhan paling penting kemudian dapat digunakan untuk menentukan spesifikasi produk.

### III.3.2. Penetapan Spesifikasi Produk

Kebutuhan pengguna yang telah diperoleh sebelumnya diungkapkan dalam bahasa "pengguna". Umumnya ungkapan tersebut bersifat subjektif seperti "mudah

dipasang" atau "mudah digunakan". Hal ini akan sulit untuk diterapkan dalam proses perancangan dan rekayasa produk. Oleh sebab itu, perlu dilakukan penetapan sejumlah spesifikasi yang menguraikan secara rinci dan terukur apa yang dapat dilakukan produk [17]. Proses penetapan spesifikasi produk terdiri dari tiga tahapan, yaitu pembuatan daftar metrik, pengumpulan informasi produk lain sebagai tolak ukur, dan penetapan target.

### III.3.2.1. Pembuatan Daftar Metrik

Tahap pertama adalah membuat daftar ukuran kemampuan produk yang dapat memenuhi setiap kebutuhan pengguna. Ukuran kemampuan produk ini disebut sebagai metrik. Idealnya satu metrik dapat memenuhi satu kebutuhan pengguna, namun pada praktiknya hal ini seringkali tidak mungkin. Sebagai contoh, untuk pemenuhan kebutuhan "produk mudah dipasang" tidak hanya mempertimbangkan durasi waktu yang dibutuhkan untuk memasang produk, namun juga perlu memerhatikan kenyamanan dan keselamatan pengguna saat memasangnya. Terdapat beberapa aturan yang dapat dijadikan panduan dalam penyusunan daftar metrik, di antaranya adalah:

1. **Metrik harus lengkap.** Ketika daftar metrik telah lengkap, pastikan tidak terdapat kebutuhan yang belum dipenuhi oleh sedikitnya satu metrik.
2. **Metrik harus berupa variabel dependen, bukan independen.** Metrik harus mengindikasikan apa yang produk dapat lakukan, bukan bagaimana mencapai kebutuhan. Variabel dependen dapat berupa massa komponen, sedangkan variabel independen dapat berupa material penyusun komponen. Dengan fokus pada apa yang hendak dicapai, proses pengembangan produk dapat menggunakan langkah yang paling optimal.

3. **Metrik harus praktikal.** Metrik yang dibuat harus dapat diaplikasikan pada proses pengembangan. Panduan ini mempertimbangkan keterbatasan waktu dan biaya pada proses pengembangan.

### **III.3.2.2. Pengumpulan Informasi Produk Kompetitif sebagai Tolak Ukur**

Supaya produk yang dikembangkan dapat bersaing dengan produk serupa di pasaran, perlu adanya analisis terkait spesifikasi produk yang sudah ada. Spesifikasi produk yang sudah ada dapat dijadikan tolak ukur kesuksesan produk yang akan dikembangkan. Proses tolak ukur dilakukan dengan membuat daftar perbandingan setiap metrik dari produk yang hendak dikembangkan dengan produk yang sudah ada di pasar. Dari daftar ini dapat diketahui spesifikasi seperti apa yang paling memenuhi kebutuhan pengguna sekaligus sesuai dengan batasan biaya dan waktu pada proses pengembangan.

### **III.3.2.3. Penetapan Target**

Pada tahap ini saatnya pengembang produk menentukan target spesifikasi produk berdasarkan informasi dan analisis yang didapat. Untuk memudahkan pengambilan keputusan, terlebih dahulu dapat dibuat dua versi target, yaitu target ideal dan target realistik. Target ideal adalah target dengan spesifikasi yang paling baik dan paling memenuhi kebutuhan pengguna. Target realistik adalah target yang memenuhi kebutuhan pengguna namun memiliki kualitas yang sesuai dengan keterbatasan waktu dan biaya pengembangan produk. Target realistik juga menyesuaikan harga jual produk terhadap daya beli calon pengguna di pasar tertentu. Target paling optimal yang dapat dikembangkan dapat diperoleh dari irisan kedua versi target ini.

### **III.3.3. Uji Konsep Produk**

Dalam proses perancangan dan pengembangan produk, pengujian konsep produk kepada calon pengguna merupakan metode validasi pemenuhan kebutuhan calon pengguna [17]. Jika terdapat lebih dari satu konsep produk, pengujian menjadi sarana penentuan konsep mana yang lebih baik untuk dilanjutkan. Selain itu, pengujian juga bertujuan untuk mengumpulkan informasi mengenai hal-hal yang perlu ditingkatkan dari konsep produk. Berikut adalah tujuh langkah pengujian konsep produk.

#### **III.3.3.1. Penentuan Tujuan Uji**

Pengujian konsep produk adalah kegiatan eksperimental [17]. Ketika tujuan kegiatan eksperimental telah diketahui, akan lebih mudah dalam pemilihan metode yang efektif. Penentuan tujuan dilakukan dengan menuliskan beberapa pertanyaan yang harus terjawab setelah pengujian, seperti di antaranya

1. Dari beberapa konsep alternatif, konsep manakah yang lebih baik?
2. Apa yang perlu ditingkatkan supaya kebutuhan pengguna dapat tercapai?

#### **III.3.3.2. Pemilihan Populasi Survei**

Tujuan dilakukannya uji konsep produk didasari oleh populasi yang disurvei merefleksikan *end-user* atau pengguna sesungguhnya dari produk tersebut [17]. Oleh sebab itu, sebelum survei dilakukan, terlebih dahulu dipastikan apakah populasi yang dipilih benar-benar merepresentasikan pengguna yang ditargetkan. Selain itu, ukuran populasi yang disurvei juga menentukan tingkat representatif hasil survei. Semakin besar populasi survei, tingkat kepercayaan dalam pengambilan keputusan lanjutan juga akan semakin tinggi. Besar kecilnya ukuran populasi survei dapat ditentukan

berdasarkan tujuan dilakukannya pengujian. Pada Tabel 3.3 diperlihatkan beberapa alasan dalam memilih ukuran populasi.

**Tabel 3.3.** Faktor-faktor penentu pemilihan ukuran sampel [17].

No	Sedikit sampel	Banyak sampel
1.	Dilakukan pada awal proses pengembangan	Dilakukan setelah proses pengembangan
2.	Bertujuan mendapatkan respon secara kualitatif	Bertujuan mengetahui permintaan secara kuantitatif
3.	Pelaksanaan survei menghabiskan banyak waktu dan biaya	Pelaksanaan survei relatif cepat dan murah
4.	Biaya produksi tergolong rendah	Biaya produksi tergolong tinggi
5.	Perkiraan penilaian target pasar relatif tinggi	Perkiraan penilaian target pasar relatif rendah

### III.3.3.3. Pemilihan Format Survei

Berikut adalah beberapa format yang umum digunakan dalam pengujian konsep produk [17]:

1. **Interaksi tatap muka:** Pada format ini, pewawancara berkomunikasi secara langsung dengan responden. Format ini dapat dilakukan dengan mencari responden secara langsung di tempat umum atau merencanakan janji temu dengan responden.
2. **Telepon:** Format ini serupa dengan wawancara tatap muka, namun akan terdapat beberapa keterbatasan dalam penyampaian konsep produk. Format wawancara melalui telepon lebih baik jika terlebih dahulu menentukan waktu dengan calon responden.

3. **Surat elektronik:** Survei dengan format surat mengharuskan responden untuk merespon dalam format surat balasan yang lengkap. Oleh sebab itu, format ini hanya direkomendasikan jika antara pewawancara dan calon responden telah terbangun hubungan yang positif.
4. **Internet:** Dengan menggunakan internet, pewawancara dapat membangun situs yang dapat menyediakan konsep secara visual. Responden dapat mengobservasi konsep dengan lebih baik lalu memberikan respon. Undangan menuju situs yang dibuat biasanya diberikan melalui surat elektronik.

Pada masing-masing format, terdapat risiko terjadinya bias. Sebagai contoh, penggunaan format elektronik memungkinkan bias akibat perbedaan teknologi yang dimiliki setiap responden. Hasil dari survei dengan format elektronik akan buruk jika responden yang ditargetkan tidak memiliki sarana teknologi yang memadai. Untuk beberapa produk, tingkat kemampuan teknologi ini termasuk ke dalam profil pengguna produk [17].

#### **III.3.3.4. Pengekspresian Konsep**

Konsep sebuah produk dapat dikomunikasikan dalam berbagai cara, di antaranya adalah sebagai berikut.

1. **Deskripsi Verbal:** Umumnya deskripsi verbal adalah paragraf pendek atau point ringkas terkait konsep produk. Deskripsi ini dapat dibaca oleh responden ataupun dibacakan oleh orang yang bertugas melakukan survei.
2. **Sketsa:** Sketsa pada umumnya berupa gambar garis yang menunjukkan perspektif produk.
3. **Foto:** Fotografi digunakan untuk menyampaikan tampilan konsep produk. Foto

produk yang masih dalam tahap pengembangan dapat dihasilkan dengan proses desain komputer.

4. **Papan Cerita:** Papan cerita merupakan kumpulan gambar yang mengomunikasikan kegiatan yang melibatkan produk secara berurutan.
5. **Video:** Gambar yang bergerak memungkinkan penyampaian konsep produk yang lebih dinamis. Bentuk dan cara penggunaan produk dapat dengan jelas dikomunikasikan.
6. **Simulasi:** Umumnya simulasi adalah tiruan fungsi konsep produk yang diimplementasikan pada piranti lunak komputer.
7. **Multimedia Interaktif:** Dengan menggabungkan video yang kaya akan komponen visual dengan simulasi interaktif, cara penyampaian konsep produk menjadi jauh lebih baik. Responden dapat mengamati informasi grafis maupun verbal melalui cara ini. Pengalaman yang dirasakan responden juga lebih baik karena cara ini melibatkan interaksi dua arah dengan responden.
8. **Model Tampilan Fisik:** Model tampilan fisik atau figur secara jelas menampilkan bentuk dan tampilan dari produk. Seringkali terbuat dari kayu ataupun serat polimer yang kemudian diwarnai menyerupai produk.
9. **Prototipe Produk:** Jika memungkinkan, penyampaian konsep menggunakan model kerja dapat sangat berguna untuk pengujian konsep produk. Meski begitu, penggunaan prototipe produk cukup berisiko. Responden akan menganggap prototipe adalah produk sebenarnya, sehingga responden akan beranggapan bahwa kekurangan dan disfungsional pada prototipe juga terdapat pada produk sesungguhnya.

**Tabel 3.4.** Kesesuaian perbedaan format survei dengan setiap cara pengekspresian konsep produk [17].

	Telepon	Surat Elektronik	Internet	Tatap Muka
Deskripsi Verbal	•	•	•	•
Sketsa		•	•	•
Fotografi		•	•	•
Papan Cerita		•	•	•
Video			•	•
Simulasi			•	•
Multimedia Interaktif				•
Prototipe kerja				•

Ketika mengekspresikan konsep produk, promosi dan manfaat dari produk harus dinyatakan semenarik mungkin. Cara-cara penyampaian konsep produk tersebut sangat erat kaitannya dengan format survei yang dipilih. Setiap cara tidak selalu dapat digunakan pada semua format survei. Pada Tabel 3.4 diperlihatkan format survei apa saja yang sesuai untuk masing-masing cara pengekspresian konsep produk.

### III.3.3.5. Pengukuran Respon Calon Pengguna

Setelah mengomunikasikan konsep produk, pengguna akan diminta untuk mengisi formulir survei. Pertanyaan yang diajukan pada formulir survei harus sesuai dengan tujuan pengujian yang telah ditetapkan. Selain itu, untuk mengukur tingkat kegunaan produk digunakan skala numerik. Hal ini karena tingkat kegunaan suatu sistem hanya bisa didefinisikan pada sebuah konteks tertentu. Salah satu skala numerik yang dapat digunakan untuk pengukuran tingkat kegunaan sistem atau produk adalah SUS (*System Usability Scale*) yang pertama kali diperkenalkan oleh Brooke pada tahun 1996 [37]. Skala ini terdiri dari sepuluh pernyataan dengan lima tingkat jawaban. Jawaban berkisar dari nilai 1 = Sangat Tidak Setuju sampai dengan 5 = Sangat Setuju. Pada Tabel 3.5 diperlihatkan daftar pernyataan SUS dalam adaptasi bahasa Indonesia.

**Tabel 3.5.** SUS (*System Usability Scale*) dalam bahasa Indonesia [38].

No.	Pernyataan
1	Saya berpikir akan menggunakan sistem ini lagi.
2	Saya merasa sistem ini rumit untuk digunakan.
3	Saya merasa sistem ini mudah untuk digunakan.
4	Saya membutuhkan bantuan dari orang lain atau teknisi dalam menggunakan sistem ini.
5	Saya merasa fitur-fitur sistem ini berjalan dengan semestinya.
6	Saya merasa ada banyak hal yang tidak konsisten (tidak serasi) pada sistem ini.
7	Saya merasa orang lain akan memahami cara menggunakan sistem ini dengan cepat.
8	Saya merasa sistem ini membingungkan.
9	Saya merasa tidak ada hambatan dalam menggunakan sistem ini.
10	Saya perlu membiasakan diri terlebih dahulu sebelum menggunakan sistem ini.

### III.3.3.6. Interpretasi Hasil

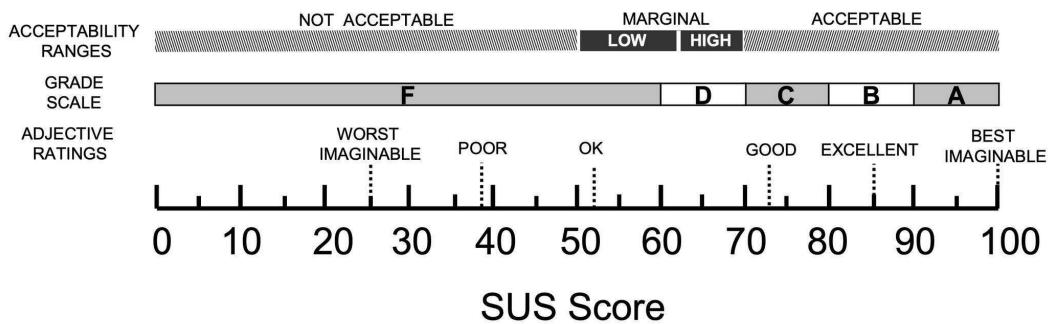
Interpretasi hasil SUS adalah dengan total skor dari jawaban yang didapat. Sepuluh pernyataan pada SUS terdiri dari lima pernyataan positif dan lima pernyataan negatif. Pernyataan positif berada pada nomor ganjil, sedangkan pernyataan negatif berada pada nomor genap. Perhitungan total skor SUS didefinisikan dengan [37].

$$\text{Skor Ganjil} = \text{Nilai Jawaban} - 1 \quad (3.8)$$

$$\text{Skor Genap} = 5 - \text{Nilai Jawaban} \quad (3.9)$$

$$\Sigma\text{Skor} = (\Sigma\text{Skor Ganjil} + \Sigma\text{Skor Genap}) \times 2,5 \quad (3.10)$$

Total skor dari SUS berkisar dari 0 sampai dengan 100. Total skor ini kemudian diterjemahkan menjadi kumpulan rentang sifat tertentu oleh Bangor, Kortum, dan Miller pada tahun 2009 [39]. Pada Gambar 3.13 diperlihatkan perbandingan peringkat sifat dengan total skor dari SUS. Dengan skema pemeringkatan ini, setiap sistem yang diuji dapat disimpulkan kualitasnya.



**Gambar 3.13.** Perbandingan total skor SUS dengan peringkat sifat, peringkat nilai sekolah, dan rentang penerimaan [39].

### III.3.3.7. Perencanaan Lanjutan Berdasarkan Hasil

Tahap terakhir adalah perencanaan lanjutan. Dari hasil yang didapat, pihak pengembang produk dapat mulai menentukan bagaimana langkah selanjutnya untuk meningkatkan kualitas produk. Salah satu hal penting yang perlu direncanakan adalah peningkatan fungsional sistem sesuai kebutuhan yang diungkapkan calon pengguna pada survei. Selain itu, antusiasme calon pengguna yang telah terukur dapat menjadi acuan jumlah produk yang sebaiknya diproduksi untuk pertama kali.

## **BAB IV**

### **PELAKSANAAN PENELITIAN**

#### **IV.1. Alat dan Bahan Penelitian**

Pada Tabel 4.1 ditunjukkan daftar alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini.

**Tabel 4.1.** Daftar alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian.

No.	Alat dan Bahan	Spesifikasi
1.	Laptop MacBook Pro 2015 MF839	macOS Big Sur, 2,7 GHz Dual-Core Intel Core i5, RAM 8 GB, Intel Iris Graphics 6100
2.	Visual Studio Code	Versi: 1.62.2
3.	Bahasa Pemrograman Python	Versi: 3.9.0
4.	Modul GUI ( <i>Graphical User Interface</i> ) PyQt	Versi: 5.15.4
5.	Qt Designer	Versi: 5.9.6
6.	Data Direktivitas Bundengan	Direkam dengan tujuh mikrofon kondensor Behringer ECM8000 [8]

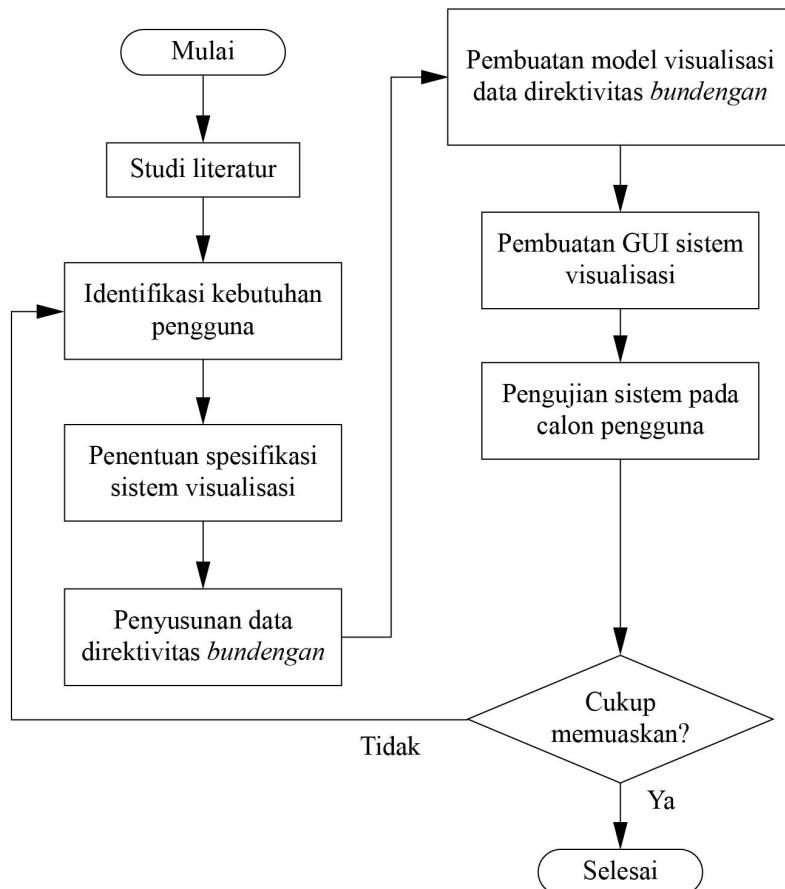
#### **IV.2. Tata Laksana Penelitian**

Pada Gambar 4.1 ditunjukkan diagram alir dari tata laksana penelitian ini.

##### **IV.2.1. Studi Literatur**

Terdapat tiga bagian dalam tahapan studi literatur.

1. Pada bagian pertama, dilakukan studi mengenai alat musik *bundengan* dan masalah yang sedang dihadapi pemusik *bundengan*. Studi dilanjutkan dengan melakukan tinjauan pustaka terkait perkembangan penelitian yang berkaitan dengan sebaran bunyi yang dihasilkan alat musik *bundengan*. Pemahaman dari



**Gambar 4.1.** Diagram alir tata laksana penelitian.

tinjauan pustaka kemudian digunakan untuk mempelajari dasar-dasar parameter akustika pada instrumen musik, khususnya alat musik tradisional *bundengan*. Dari studi ini diketahui apa itu *bundengan* dan masalah yang tengah dihadapi, serta parameter akustika pada alat musik *bundengan*.

2. Pada bagian kedua, dilakukan studi mengenai ilmu yang dibutuhkan untuk penyelesaian masalah yang diketahui pada bagian pertama, yaitu tentang visualisasi data. Selanjutnya dilakukan studi mengenai metode yang dapat ditempuh untuk membangun sistem visualisasi. Dari bagian ini didapatkan pemahaman terkait dasar dan prinsip pada suatu sistem visualisasi dan juga metode paling optimal untuk membangun sistem visualisasi interaktif.

3. Pada bagian ketiga, dilakukan studi mengenai proses ideal pengembangan produk. Pemahaman pada bagian ini akan dijadikan panduan selama proses perancangan sistem visualisasi. Dari studi ini diketahui bahwa pembuatan sistem visualisasi yang optimal perlu terlebih dahulu mengetahui kebutuhan calon pengguna sehingga dapat menentukan spesifikasi paling optimal dari sistem yang hendak dibangun.

#### **IV.2.2. Identifikasi Kebutuhan Pengguna**

Tahap ini dimulai dengan pemilihan calon pengguna yang sesuai dengan tujuan sistem visualisasi dibuat, yaitu penyelesaian masalah terkait pementasan musik *bundengan*. Oleh sebab itu, pemilihan calon pengguna didasari oleh beberapa kriteria tertentu. Calon pengguna haruslah orang yang memiliki cukup pengalaman dengan permainan musik *bundengan*, pernah menjadi pengurus atau melakukan pementasan musik *bundengan*, familiar dengan perangkat komputer, dan dapat berkomunikasi dengan keterbatasan kondisi pandemi COVID-19 saat ini. Identifikasi dilakukan melalui wawancara untuk mendapatkan harapan calon pengguna mengenai seperti apa sistem visualisasi ini dapat membantu proses penyelesaian masalah pementasan *bundengan*. Hasil dari tahap ini berupa daftar kebutuhan yang perlu dipenuhi oleh sistem visualisasi.

#### **IV.2.3. Penentuan Spesifikasi Sistem Visualisasi**

Pada tahap ini dilakukan penentuan rancangan terukur atau spesifikasi dari sistem visualisasi yang dapat memenuhi setiap kebutuhan pengguna. Spesifikasi sistem yang telah ditentukan akan dijadikan panduan ketika membuat model visualisasi dan fitur-fitur yang terdapat pada sistem. Hasil akhir tahap ini berupa daftar spesifikasi sistem yang memenuhi seluruh daftar kebutuhan pengguna pada tahap sebelumnya.

#### **IV.2.4. Penyusunan Data Direktivitas *Bundengan***

Data direktivitas yang telah diperoleh tersimpan dalam bentuk daftar nilai frekuensi dan TTB untuk setiap arah pada masing-masing senar *bundengan*. Pada tahap ini dilakukan penyusunan arsitektur data direktivitas *bundengan* sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan. Susunan data ini berhubungan dengan model visualisasi yang akan ditampilkan. Oleh sebab itu, hasil dari tahap ini berupa kode sumber di mana data direktivitas telah disusun sesuai konsep yang direncanakan.

#### **IV.2.5. Pembuatan Model Visualisasi Data Direktivitas *Bundengan***

Setelah data disusun, tahap selanjutnya adalah memprogram susunan data tersebut menjadi bentuk visual. Teknik visualisasi yang digunakan harus dapat memenuhi kebutuhan pengguna sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan. Pembuatan model visualisasi ini dapat dikatakan sebagai inti penelitian karena pada tahap ini dilakukan peningkatan kualitas visual dari tampilan data direktivitas *bundengan* sebelumnya. Hasil akhir dari tahap ini berupa tampilan visual data direktivitas *bundengan*.

#### **IV.2.6. Pembuatan GUI Sistem Visualisasi**

Berdasarkan Kamus Besar Bahasa Indonesia, interaktif berarti saling melakukan aksi. Suatu sistem interaktif adalah sistem yang saling berkomunikasi dengan pengguna. Untuk mewujudkan hal ini, sistem visualisasi data direktivitas *bundengan* perlu dapat menerima masukan dari pengguna berupa perintah atau arahan untuk mencari data, memberi sorotan pada salah satu data, ataupun hal lain sesuai kebutuhan pengguna. Salah satu metode pemberian masukan pada sistem adalah melalui GUI (*Graphical User Interface*). GUI menampilkan antarmuka visual sebagai repre-

sentasi dari kontroler terhadap sistem [40]. Dengan GUI pengguna dapat melakukan aksi tertentu dan memberi masukan melalui perangkat komputer. Hasil dari tahap ini berupa sistem visualisasi utuh yang siap untuk digunakan.

#### **IV.2.7. Pengujian Sistem Visualisasi pada Pengguna**

Setelah sistem visualisasi selesai, selanjutnya sistem akan diuji kinerjanya. Pengujian dilakukan dengan penggunaan sistem visualisasi oleh pengguna kemudian meminta pendapat terkait kualitas sistem tersebut. Hasil dari tahap ini berupa tanggapan penilaian terkait kualitas sistem. Jika respon pengguna setelah uji coba ini mengindikasikan bahwa terdapat kekurangan besar pada sistem maka akan dilakukan perbaikan dan dilakukan uji coba ulang.

### **IV.3. Rencana Analisis Hasil**

Hasil dari penelitian ini berupa sistem visualisasi interaktif data direktivitas *bundengan* yang akan digunakan oleh musisi atau pegiat *bundengan*. Analisis akan dilakukan untuk setiap tahapan perancangan dan pembuatan sistem, mulai dari proses identifikasi kebutuhan pengguna sampai dengan sistem selesai dibangun. Selain itu, pada uji kinerja sistem oleh pengguna digunakan SUS sebagai acuan kuantifikasi kualitas sistem. Total skor SUS dijadikan tolak ukur kelayakan sistem visualisasi ini sebagai penyokong penyelesaian masalah pementasan *bundengan*.

## **BAB V**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **V.1. Proses Identifikasi Kebutuhan Pengguna**

Pengerjaan penelitian ini berorientasi pada kepentingan pengguna dalam memahami makna data direktivitas *bundengan* yang telah diukur. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, pengguna yang dimaksud adalah orang-orang yang menggeluti kesenian *bundengan*. Secara spesifik, kriteria pengguna untuk sistem visualisasi data direktivitas *bundengan* adalah sebagai berikut:

1. Menggeluti kesenian musik *bundengan*, baik sebagai pemain ataupun penyelenggara pementasan *bundengan*,
2. Memiliki dan mampu mengoperasikan komputer, dan
3. Bersedia berkomunikasi secara daring.

Di tengah semakin terancamnya eksistensi *bundengan*, penulis berusaha mencari pengguna yang sesuai dengan kriteria di atas. Pada akhirnya, penulis berhasil berkomunikasi dengan salah satu pemain musik *bundengan* di Wonosobo. Pada Gambar 5.1 diperlihatkan foto calon pengguna bersama *bundengan*. Berikut adalah deskripsi dari calon pengguna sistem visualisasi data direktivitas *bundengan*:

**Nama** : Muhammad Sa'id Abdulloh

**Umur** : 28 Tahun

**Domisili** : Wonosobo, Jawa Tengah

**Pekerjaan** : Wiraswasta, Pengajar Musik



**Gambar 5.1.** Calon pengguna.

Penulis kemudian melakukan wawancara kepada calon pengguna tersebut sebagai bentuk penggalian informasi mengenai kebutuhan pengguna akan sistem visualisasi yang hendak dibangun. Wawancara dilakukan secara daring melalui Google Meet pada Kamis, 2 Desember 2021. Wawancara berlangsung selama kurang lebih satu jam. Wawancara dimulai dengan perkenalan singkat kemudian penulis menjelaskan tujuan utama yang ingin dicapai, yaitu terciptanya pementasan *bundengan* yang lebih baik. Dengan memberi pemahaman tersebut harapannya calon pengguna dapat merasakan apa pentingnya keberhasilan sistem ini. Selanjutnya, penulis menjelaskan dari mana asalnya data direktivitas akan disampaikan dalam sistem. Data tersebut dijelaskan sebagai data yang didapat pada penelitian yang dilakukan oleh Kusumaningtyas, Christianto, dan Parikesit sebelumnya [8]. Pada penelitian tersebut telah dihasilkan tampilan yang menunjukkan bagaimana data direktivitas yang terukur (Tabel 2.2). Penulis menunjukkan tampilan yang disajikan pada penelitian tersebut kepada calon pengguna untuk mengetahui apakah sajian visual dari data direktivitas *bundengan* yang sudah ada telah dapat dimengerti. Hasilnya, calon pengguna sangat kesulitan memahami apa maksud dari tampilan data yang ada pada penelitian sebelumnya. Hal ini membuktikan bahwa perlu adanya perbaikan dalam penyajian data direktivitas *bundengan*.

Setelah mengetahui keluhan calon pengguna mengenai sulitnya memahami data direktivitas bundengan, penulis mulai menggali informasi dari calon pengguna dengan menjelaskan terlebih dahulu maksud dari tampilan visual sebelumnya. Setelah calon pengguna mengerti maknanya, penulis kemudian menanyakan pendapat calon pengguna mengenai keinginannya akan sistem visualisasi data direktivitas bundengan. Pertanyaan yang diajukan berupa bagaimana calon pengguna akan mengoperasikan sistem, apa yang disuka dari sistem yang sudah ada, dan apa yang tidak disuka dari sistem yang sudah ada. Jawaban pengguna atas pertanyaan yang diajukan berupa pernyataan yang kemudian diinterpretasi menjadi kebutuhan yang perlu dipenuhi oleh sistem visualisasi yang dibangun oleh penulis. Pada Tabel 5.1 diperlihatkan pernyataan yang disampaikan calon pengguna beserta interpretasi maksud pernyataan tersebut sebagai kebutuhan yang perlu dipenuhi oleh sistem.

**Tabel 5.1.** Interpretasi kebutuhan berdasarkan pernyataan calon pengguna.

No.	Pernyataan Calon Pengguna	Interpretasi Kebutuhan
1.	"Saya ingin mengetahui nada mana yang bunyinya merata."	Tampilan nilai TTB dari seluruh frekuensi
2.	"Saya ingin membandingkan sebaran satu nada dengan nada yang lain."	Pengguna dapat memilih dua atau lebih frekuensi untuk dibandingkan model visualisasinya.
3.	"Saya merasa nyaman dengan variasi warna yang digunakan"	Rentang nilai TTB perlu diwakili warna dengan perbedaan yang cukup kontras dan bermakna.
4.	"Saya sulit memahami maksud dari grafik."	Model visualisasi yang digunakan harus mudah dipahami.
5.	"Saya tidak begitu familiar dengan beberapa istilah dan angka-angka yang ditampilkan."	Perlu adanya petunjuk cara menggunakan sistem.

**Tabel 5.2.** Hubungan metrik sistem dengan kebutuhan calon pengguna

No.	Metrik	No. Kebutuhan
1.	Tampilan data dalam grafik kontur	1, 3
2.	Tampilan data dalam plot pada diagram polar	1, 4, 5
3.	Fitur sorotan untuk beberapa frekuensi alami tertentu	2
4.	Laman bantuan/pengenalan awal program	5

## V.2. Penentuan dan Perancangan Spesifikasi Sistem Visualisasi

Berdasarkan hasil identifikasi kebutuhan calon pengguna, diketahui lima kebutuhan yang perlu dipenuhi sistem visualisasi data direktivitas *bundengan* ini. Untuk memastikan lima kebutuhan tersebut seluruhnya terpenuhi, perlu adanya rincian metrik/spesifikasi sistem visualisasi yang hendak dibangun. Pada Tabel 5.2 diperlihatkan rancangan spesifikasi sistem beserta kebutuhan pada Tabel 5.1 yang dipenuhi.

Setelah menentukan beberapa spesifikasi yang perlu ada dalam sistem, penulis kemudian memutuskan akan membangun sistem visualisasi ini berupa perangkat lunak/aplikasi komputer *desktop* yang tersedia pada sistem operasi Windows. Aplikasi berbasis *desktop* dipilih karena performanya yang jauh lebih baik dan pengoperasianya tidak membutuhkan koneksi internet. Aplikasi ini diberi nama "Bundengan-DVis", yang merupakan penamaan singkat dari *Bundengan Directivity Visualizer*.

### V.2.1. Rancangan Laman Bantuan

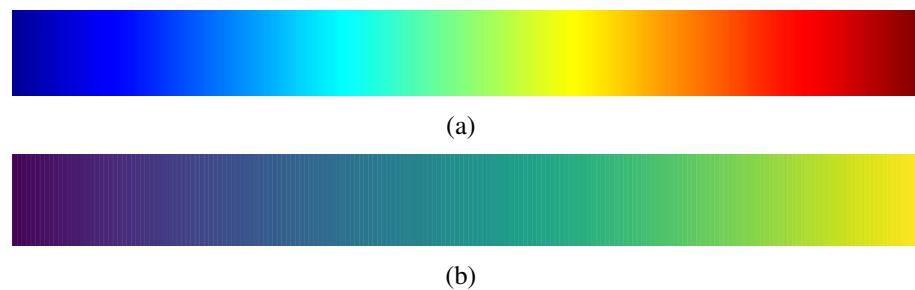
Laman bantuan atau pengenalan awal disediakan sebagai panduan lengkap dalam menggunakan sistem. Pada berbagai sistem perangkat keras maupun perangkat lunak, hal ini lebih dikenal sebagai "tutorial penggunaan". Kebingungan pengguna terhadap elemen yang ada pada sistem dapat diatasi dengan adanya panduan ini.

Oleh sebab itu, panduan ini perlu dirancang dengan pertimbangan latar belakang dan karakteristik pengguna. Hal ini supaya laman bantuan benar-benar membantu pengguna mengatasi ketidakpahaman akan sistem. Dalam kasus penelitian ini, pengguna memiliki latar belakang kesenian, sehingga pengetahuan mengenai istilah-istilah teknikan sangatlah minim. Oleh sebab itu, penggunaan bahasa yang tepat dan sederhana perlu diterapkan pada penjelasan di menu panduan. Laman bantuan Bundengan-DVis akan mencakup informasi mengenai *bundengan* seperti apa yang diukur, cara menampilkan visualisasi, dan cara memahami makna visualisasi yang ditampilkan.

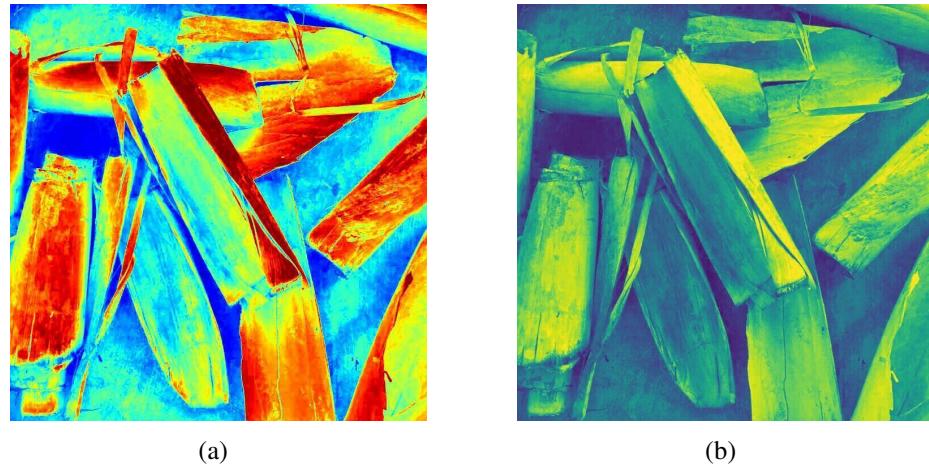
### V.2.2. Rancangan Grafik Kontur

Hasil perekaman data direktivitas *bundengan* akan kembali ditampilkan dalam bentuk grafik sebaran warna seperti pada penelitian sebelumnya [8]. Hal ini dilakukan untuk memenuhi kebutuhan pertama dan ketiga. Tampilan data hasil perekaman dalam bentuk peta warna memungkinkan data ditampilkan untuk keseluruhan frekuensi sehingga memudahkan pengamatan kualitas sebaran bunyi untuk berbagai frekuensi. Proses interpretasi yang cepat untuk keseluruhan makna data atau dalam bahasa pengguna "mengetahui nada mana yang bunyinya merata" dapat dicapai dengan tampilan data berbentuk grafik sebaran warna.

Meskipun grafik sebaran warna kembali digunakan, ada tiga elemen dari peta warna pada penelitian sebelumnya yang diubah sebagai bentuk peningkatan kualitas



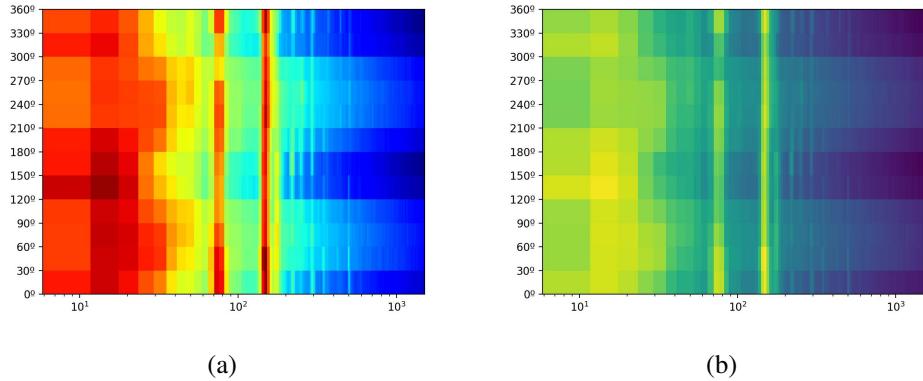
**Gambar 5.2.** (a) Peta warna jet dan (b) peta warna viridis [41].



**Gambar 5.3.** Foto *slumpring* dipetakan dengan peta warna (a) jet dan (b) viridis.

model visualisasi. Pertama, jenis peta warna yang akan digunakan sebagai indikator rentang nilai TTB adalah peta warna viridis, bukan peta warna jet. Pada Gambar 5.2 diperlihatkan kedua peta warna tersebut. Peta warna jet adalah peta warna bawaan pada beberapa perangkat lunak dalam menampilkan visualisasi grafis dari data yang memiliki rentang nilai tertentu. Meskipun demikian, penggunaan peta warna ini ternyata bermasalah.

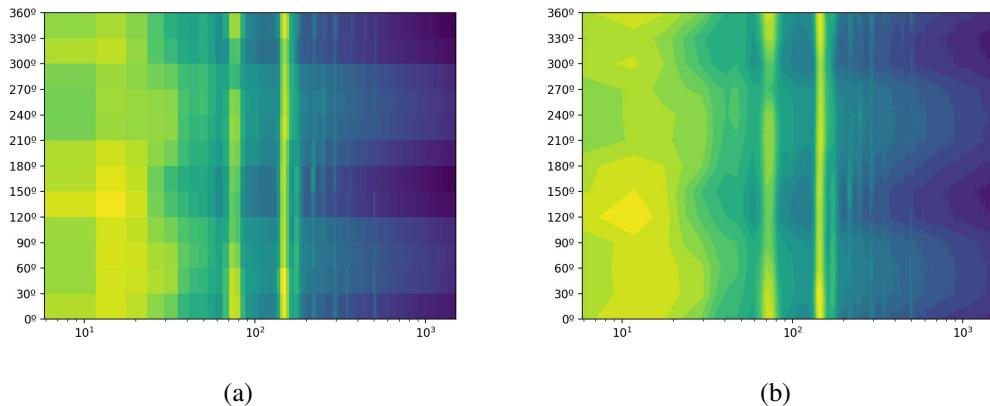
Jika sebuah foto dipetakan setiap pixelnya dengan warna yang terdapat pada peta warna jet, foto tersebut tidak lagi dapat diamati sebagai bentuk yang sama dalam penglihatan manusia. Pada Gambar 5.3(a) diperlihatkan foto *slumpring* yang sama seperti pada Gambar 2.1(b) namun dipetakan dengan peta warna jet. Dapat diamati bahwa bentuk *slumpring* tidak lagi dapat dikenali dengan baik, ditambah jika pengamat tidak pernah melihat foto asli dari *slumpring* tersebut. Berbeda halnya dengan Gambar 5.3(b), di mana foto *slumpring* yang dipetakan dengan peta warna viridis tetap dapat dikenali bentuknya. Metode evaluasi perceptual dari peta warna ini diperkenalkan oleh Rogowitz dan Kalvin [42]. Evaluasi dilakukan dengan memetakan beberapa peta warna pada sebuah foto, kemudian meminta pengamat untuk menilai setiap foto. Hasilnya, peta warna tanpa peningkatan kecerahan secara monoton tidak



**Gambar 5.4.** Perbedaan visualisasi data hasil perekaman jika ditampilkan dengan peta warna (a) jet dan (b) viridis.

mendapat penilaian yang positif. Tentunya hal ini membuktikan mengapa peta warna jet yang bervariasi pada parameter *hue* tanpa adanya peningkatan luminansi tidak dapat menggambarkan foto dengan baik. Kasus nyata dari hal ini adalah penggunaan peta warna jet pada visualisasi arteri untuk diagnosis penyakit jantung ternyata membutuhkan waktu lebih lama dan secara signifikan lebih banyak terjadi kesalahan [43]. Dengan pertimbangan tersebut penulis memutuskan menggunakan peta warna viridis. Pada Gambar 5.4 diperlihatkan perbedaan grafik sebaran warna yang menggunakan peta warna jet dan viridis.

Selain peta warna, elemen dari grafik penelitian sebelumnya yang juga diubah adalah penggambaran tampilan warna untuk setiap koordinat spasial dari frekuensi dan arah data. Pada penelitian sebelumnya grafik sebaran warna terdiri dari kumpulan persegi panjang dengan warna yang berbeda (jaring-jaring warna) sesuai dengan nilai TTB pada frekuensi dan arah tersebut, sedangkan dalam perancangan sistem visualisasi saat ini penulis memutuskan untuk menggunakan tampilan dalam bentuk kontur, yaitu tampilan warna yang memberi kesan tekstur. Sistem visualisasi menampilkan kembali grafik sebaran warna dengan tujuan supaya pengguna dapat mengamati secara utuh bagaimana frekuensi alami *bundengan* berada di antara derau sekitar pada

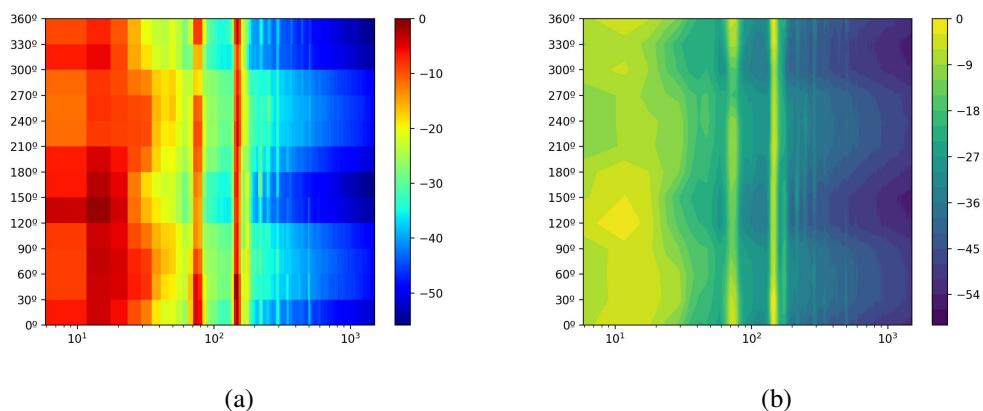


**Gambar 5.5.** Perbedaan visualisasi data hasil perekaman jika ditampilkan dengan peta warna viridis dalam bentuk (a) jaring-jaring warna dan (b) kontur warna.

saat perekaman. Oleh sebab itu, tampilan dalam bentuk kontur dipilih karena lebih bisa mengekspresikan frekuensi alami *bundengan* yang berada di antara derau dengan lebih nyaman dilihat. Perbedaan tampilan jaring-jaring warna dan tampilan kontur diperlihatkan pada Gambar 5.5. Pada grafik jaring-jaring warna, nilai TTB untuk setiap pasangan frekuensi dan arah diwakili dengan sebuah persegi panjang dengan warna sesuai nilainya pada rentang peta warna, sedangkan pada grafik kontur satu warna mewakili nilai TTB setiap interval 3 dB sehingga satu warna mewakili lebih dari satu pasangan frekuensi dan arah.

Elemen terakhir yang diubah dari grafik sebaran warna adalah batang warna yang merupakan indikator nilai TTB. Pada penelitian sebelumnya, batang warna ber-kisar dari warna merah gelap yang mewakili nilai 0 dB sampai dengan biru gelap yang mewakili -60 dB. Batang warna ini menggunakan seluruh warna dari peta warna jet yang diberi indikator setiap -10 dB. Meskipun terdapat indikator untuk rentang yang lebih kecil, pengelihatan manusia tidak mampu membedakan warna dan interpretasi seberapa kerasnya bunyi secara akurat ketika telah dipetakan dalam bentuk grafik. Berdasarkan masalah tersebut, pada batang warna grafik kontur penulis mencacah

peta warna viridis menjadi 20 warna yang setiap warna mewakili rentang  $-3$  dB. Pencahan warna ini bertujuan supaya suatu warna tertentu dapat dengan jelas mewakili rentang nilai TTB. Selain itu, pemilihan rentang  $-3$  dB untuk setiap cacah warna juga bukan tanpa alasan. Jika terdapat dua buah sumber bunyi dengan nilai TTB yang identik ( $X$  dB), maka nilai TTB kombinasi kedua sumber bunyi tersebut adalah nilai TTB awal ditambah  $3$  dB ( $X+3$  dB) [44]. Konsep tersebut digunakan supaya pengguna dapat membayangkan seberapa keras bunyi yang diwakili suatu warna. Jika pengguna memilih satu warna pada grafik, pengguna dapat membayangkan sebuah sumber bunyi, seperti satu senar yang bergetar. Lalu untuk membandingkan seberapa keras bunyi tersebut dengan satu tingkat warna yang lebih terang, pengguna dapat dengan mudah membayangkan dua senar yang bergetar. Jumlah sumber bunyi (dalam hal ini senar yang bergetar) seakan-akan terus berlipat ganda seiring dengan peningkatan warna menuju warna yang lebih terang. Dengan mengubah tiga elemen grafik sebaran warna pada penelitian sebelumnya (peta warna, bentuk penggambaran warna, dan batang warna), didapatkan sebuah grafik kontur warna yang akan ditampilkan dalam BundenganDVis. Pada Gambar 5.6 diperlihatkan grafik sebaran warna pada penelitian sebelumnya dengan grafik kontur yang dirancang penulis.



**Gambar 5.6.** Perbedaan akhir model visualisasi data hasil perekaman pada (a) penelitian sebelumnya [8] dan (b) sistem visualisasi yang hendak dibangun.

### V.2.3. Rancangan Plot Diagram Polar

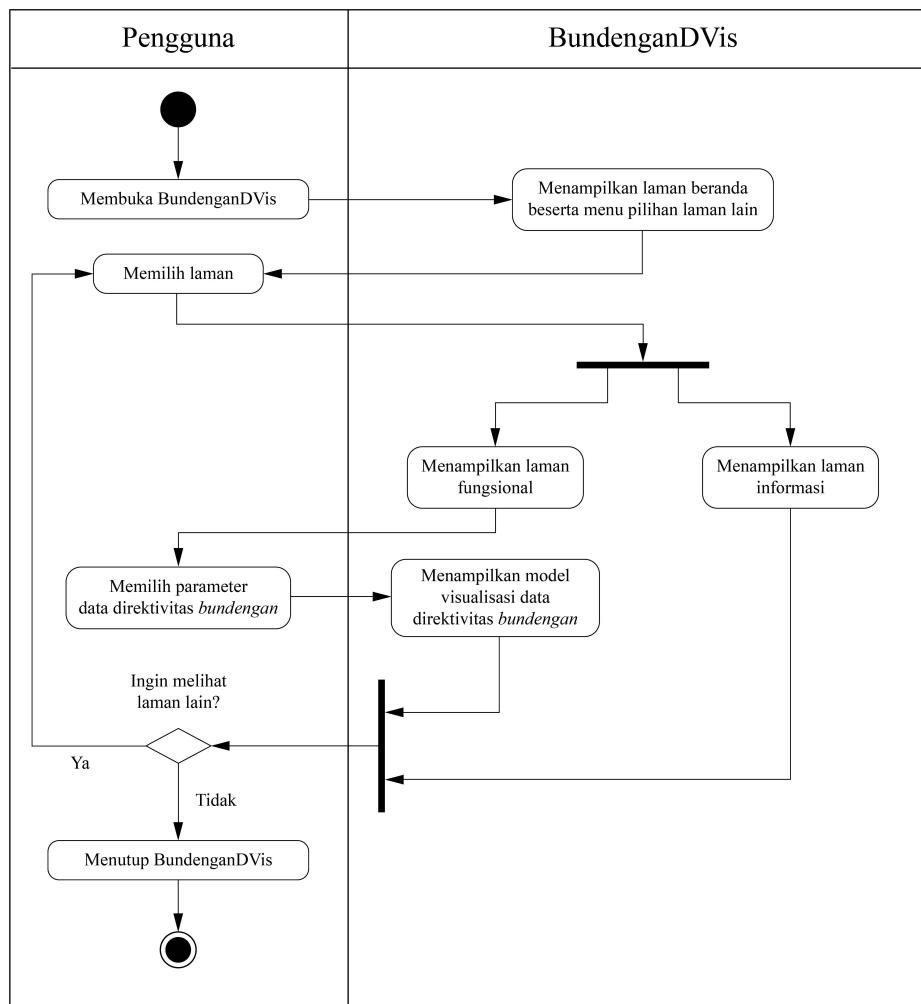
Grafik kontur warna telah dapat menampilkan nilai TTB untuk keseluruhan data yang terekam, tetapi grafik ini kurang optimal jika digunakan untuk mengamati kualitas sebaran bunyi pada frekuensi alami *bundengan*. Oleh sebab itu, perlu ada-nya model visualisasi lain yang dapat dengan jelas menunjukkan sebaran bunyi pada frekuensi yang spesifik. Jika meninjau kembali berbagai literatur terkait direktivitas, pada umumnya sebuah bunyi pada frekuensi tertentu direktivitasnya digambarkan dalam bentuk plot pada diagram polar. Pemodelan seperti ini telah ditunjukkan pada Gambar 1.5 dan Gambar 2.13. Penggunaan diagram polar juga memungkinkan pengamatan yang lebih spesifik untuk sebaran bunyi pada lebih dari satu frekuensi alami. Oleh sebab itu, selain sebagai sarana pengamatan direktivitas pada frekuensi alami, penggunaan diagram polar juga sekaligus memenuhi kebutuhan perbandingan antar nada/frekuensi alami.

## V.3. Pembangunan Sistem Visualisasi Data Direktivitas *Bundengan*

Setelah proses perancangan selesai, selanjutnya adalah bagian inti penelitian yaitu pembangunan sistem. Aplikasi BundenganDVis akan terdiri dari dua jenis laman, yaitu laman informasi dan laman fungsional. Laman informasi adalah laman yang menampilkan informasi mengenai BundenganDVis, yaitu laman bantuan, beranda, dan hak cipta. Sedangkan laman fungsional adalah laman yang berisi fungsi sistem yaitu menampilkan data direktivitas *bundengan*, yaitu laman *bundengan 1*, *bundengan 2*, dan laman untuk membandingkan frekuensi alami kedua *bundengan*. Secara garis besar, proses penggunaan BundenganDVis ditunjukkan pada Gambar 5.7.

Proses pembangunan BundenganDVis terdiri dari penyusunan data direktivitas hasil perekaman, lalu pembuatan algoritma model visualisasi menggunakan data

yang telah disusun, terakhir adalah pembuatan GUI BundenganDVis dan pembuatan algoritma kontrol dari aplikasi dengan model visualisasi.



**Gambar 5.7.** BundenganDVis ditampilkan dalam *activity diagram*.

### V.3.1. Penyusunan Data

Data direktivitas *bundengan* hasil pengukuran yang dilakukan oleh Kusumaningtyas, Christianto, dan Parikesit diolah menggunakan perangkat lunak Audacity. Dengan perangkat lunak Audacity didapat berkas TTB untuk ukuran *sampling* sebesar 8192. Nilai TTB dan frekuensi pada berkas tersebut adalah nilai yang direpresent-

tasikan oleh grafik sebaran warna pada makalah yang ditulis oleh Kusumaningtyas, Christianto, dan Parikesit. Pembangunan model visualisasi pada BundenganDVis juga akan berdasarkan berkas tersebut. Penulis menerima berkas dengan format ekstensi text (.txt) untuk setiap arah rambat, yaitu  $0^\circ$  (a),  $0^\circ$  (b),  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $150^\circ$ ,  $180^\circ$  (a),  $180^\circ$  (b),  $210^\circ$ ,  $240^\circ$ ,  $270^\circ$ ,  $300^\circ$ , dan  $330^\circ$ . Penamaan (a) dan (b) pada berkas arah  $0^\circ$  dan  $180^\circ$  adalah penandaan untuk arah yang terekam dua kali. Seperti yang telah ditunjukkan pada Gambar 1.8, perekaman hanya dilakukan dengan tujuh mikrofon sehingga untuk mendapatkan data dari seluruh arah maka perlu dilakukan perekaman kedua untuk sisi lain dari *bundengan*. Hal ini yang menyebabkan arah  $0^\circ$  dan  $180^\circ$  terekam dua kali.

Pertama-tama penulis merata-ratakan nilai TTB pada berkas  $0^\circ$  (a) dan  $180^\circ$  (b) untuk mendapat nilai TTB pada arah  $0^\circ$  sekaligus  $360^\circ$ , kemudian merata-ratakan nilai TTB pada berkas  $180^\circ$  (a) dan  $0^\circ$  (b) untuk mendapatkan nilai TTB pada arah  $180^\circ$ . Supaya proses pembangunan model visualisasi lebih mudah, data disusun ke dalam dokumen Microsoft Excel. Penulis membuat dua dokumen untuk kedua *bundengan*, masing-masing dokumen terdiri dari empat *sheet* dan 8 *sheet* sesuai dengan jumlah senarnya. Setiap *sheet* senar berisi nilai frekuensi pada kolom pertama dan diikuti dengan nilai TTB untuk arah  $0^\circ$  sampai  $360^\circ$  pada kolom-kolom berikutnya.

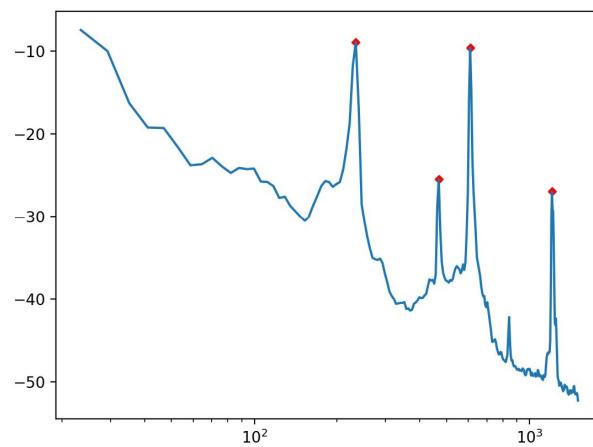
Setelah data disusun, dilakukan normalisasi pada nilai TTB. Normalisasi perlu dilakukan karena pada proses perekaman senar tidak dipetik dengan kekuatan yang konsisten sehingga nilai TTB maksimum setiap perekaman berbeda-beda. Hal ini menyebabkan data yang terekam tidak dapat dibandingkan satu sama lain karena basisnya yang tidak sama. Dengan melakukan normalisasi terhadap nilai TTB maksimum pada setiap data, maka nilai TTB maksimum berubah menjadi 0 dB sehingga perbandingan antar data telah dapat dilakukan. Proses ini adalah proses yang juga dilakukan Kusumaningtyas, Christianto, dan Parikesit pada penelitian sebelumnya.

### V.3.2. Pembuatan Model Visualisasi

Proses pembuatan model visualisasi dilakukan menggunakan empat pustaka yang tersedia pada bahasa pemrograman Python yaitu Pandas, NumPy, SciPy, dan Matplotlib. Langkah pertama adalah membuat algoritma pemanggilan data direktivitas *bundengan*, yaitu dengan membuat *class* atau objek dengan parameter dua digit angka. Parameter digit pertama mewakili nomor *bundengan* sedangkan parameter digit kedua mewakili nomor senar. Pemanggilan objek tersebut akan memberi perintah pembacaan dokumen Microsoft Excel menggunakan pustaka Pandas. Pustaka Pandas memungkinkan akses yang kompleks dan mudah untuk setiap elemen baris dan kolom pada dokumen Microsoft Excel untuk kemudian divisualisasikan.

Seperti yang telah dipaparkan pada bagian perancangan spesifikasi, terdapat dua model visualisasi yang akan dibangun yaitu grafik kontur warna dan plot diagram polar. Sebelum memulai membangun algoritma visualisasi untuk kedua model tersebut, terlebih dahulu dilakukan pemotongan data untuk frekuensi di atas 1500 Hz. Hal ini dilakukan karena nilai TTB untuk frekuensi di atas 1500 Hz sangatlah rendah sehingga perannya dinilai tidak begitu signifikan dalam perancangan pementasan *bundengan*. Untuk membuat model visualisasi grafik kontur, dibuat tiga variabel yang mewakili sumbu *x*, *y*, dan *z*. Nilai frekuensi untuk sumbu *x* dengan skala logaritmik, nilai arah untuk sumbu *y*, dan nilai TTB untuk sumbu *z*. Untuk model visualisasi plot diagram polar, pertama-tama perlu dilakukan deteksi puncak untuk mengetahui frekuensi alami dari setiap senar *bundengan*. Algoritma deteksi puncak dilakukan menggunakan pustaka SciPy, yaitu pustaka pemrograman Python yang mampu melakukan operasi saintifik seperti pengolahan sinyal. Parameter yang diacu pada proses deteksi puncak ini adalah ketinggian relatif atau dalam pustaka SciPy disebut sebagai *prominence*. Parameter ketinggian relatif sangat cocok digunakan untuk keperluan memisahkan derau dari frekuensi alami *bundengan* karena frekuensi alami berbentuk

seperti puncak yang menonjol di antara derau yang berbentuk menyerupai perbukitan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.8. Pada Tabel 5.3 ditunjukkan nilai frekuensi alami yang terdeteksi dari seluruh senar *bundengan*. Nilai TTB dari tiap arah pada frekuensi tersebut kemudian dimuat ke dalam variabel bernama radius, yaitu sumbu  $r$  pada diagram polar.

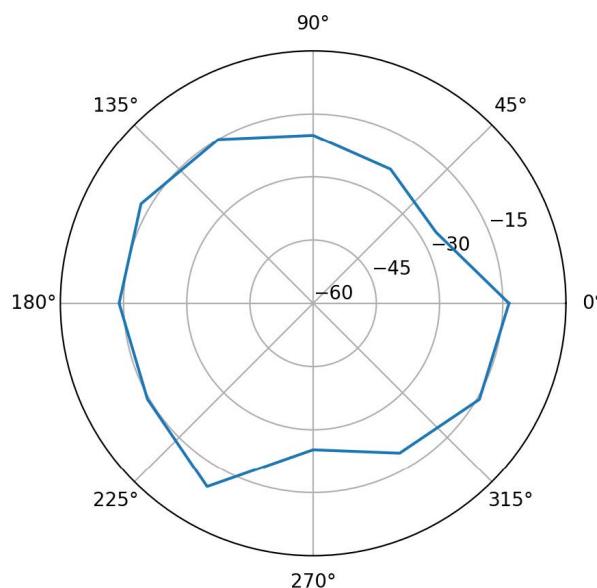


**Gambar 5.8.** Frekuensi alami yang terdeteksi pada data senar 1 *bundengan* 1.

**Tabel 5.3.** Frekuensi alami setiap senar *bundengan* berdasarkan deteksi puncak menggunakan pustaka SciPy.

	Frekuensi Alami (Hz)			
	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$
Bundengan #1				
Senar 1	234,4	468,8	609,4	1207,0
Senar 2	181,6	375,0	—	—
Senar 3	99,6	199,2	—	—
Senar 4	70,3	146,5	—	—
Bundengan #2				
Senar 1	339,8	644,5	—	—
Senar 2	304,7	603,5	—	—
Senar 3	287,1	603,5	1078,1	1212,9
Senar 4	228,5	451,2	1306,6	—
Senar 5	210,9	568,4	—	—
Senar 6	169,9	334,0	527,3	1072,3
Senar 7	117,2	240,2	—	—
Senar 8	99,6	205,1	—	—

Setiap variabel yang dibuat menyimpan nilai dalam bentuk tipe data *array*, yaitu tipe data untuk pustaka NumPy. Penyimpanan dengan tipe data ini bertujuan untuk memudahkan saat memanggil nilai tertentu ketika hendak ditampilkan pada layar visualisasi. Tampilan visualisasi dibuat menggunakan pustaka Matplotlib. Model visualisasi untuk grafik kontur warna telah ditampilkan pada Gambar 5.6, sedangkan model visualisasi untuk plot diagram polar ditunjukkan pada Gambar 5.9.



**Gambar 5.9.** Plot diagram polar frekuensi *overtone* pertama senar 1 *bundengan 2*.

### V.3.3. Pembuatan GUI Sistem

Setelah model visualisasi selesai dibangun, selanjutnya dilakukan pembuatan antarmuka sistem yang akan digunakan pengguna dalam pengoperasian Bundengan-DVis. Secara garis besar antarmuka BundenganDVis terdiri dari menu navigasi pada sebelah kiri dan layar utama di sebelah kanan. Menu navigasi berisi tombol-tombol yang mengontrol tayangan pada layar utama. Berikut ini adalah tombol-tombol pada menu navigasi beserta dengan fungsinya:

#### **V.4. Pengujian Sistem oleh Calon Pengguna**

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] *Statistik Sosial Budaya*. Badan Pusat Statistik, 2018. Diakses dari <https://www.bps.go.id/publication/2019/07/05/153a8fecadb642f5c4cf32e5/statistik-sosial-budaya-2018.html>, 18 Agustus 2021.
- [2] Ketut Wisnawa. *Seni Musik Tradisi Nusantara*. Nilacakra, Bali, 2020.
- [3] Direktorat Warisan dan Diplomasi Budaya. *Warisan Budaya Takbenda Indonesia*. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, 2018. Diakses dari <https://warisanbudaya.kemdikbud.go.id/?tentang&active=panduan>, 18 Agustus 2021.
- [4] Jaap Kunst. *Music in Java: Its history, its theory, and its technique*. Springer Science+Business Media, Dordrecht (NL), 1949.
- [5] Muhammad Sa'id Abdulloah. *Kajian Organologi Musik Bundengan di Wonosobo*. Skripsi, Institut Seni Indonesia, Surakarta, 2017.
- [6] Palmer Keen. *Bundengan Stories: Folk Zithers and Duck Herders in Wonosobo, Central Java*. Aural Archipelago, 2017. Diakses dari <https://www.auralarchipelago.com/auralarchipelago/bundengan>, 18 Agustus 2021.
- [7] Indraswari Kusumaningtyas. Arsip foto bundengan. Dokumen Pribadi, 2019.
- [8] Indraswari Kusumaningtyas, Raymond Christianto dan Gea Oswah Fatah Parikesit. “Sound directional characteristics of the bundengan musical instrument”. *Proceedings of Meetings on Acoustics*, 7-11 Desember 2020.
- [9] *Konser Bundengan*. PPID Pembantu Sekretariat Daerah Kabupaten Wonosobo, 2018. Diakses dari <https://ppidsetda.wonosobokab.go.id/galleries/konser-bundengan/>, 18 Agustus 2021.
- [10] Gea Oswah Fatah Parikesit. “Why the bundengan is a personal musical instrument”. *Proceedings of the 49th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering*, Seoul, 23-26 Agustus 2020.
- [11] Palmer Keen. *The Many Sounds of Predi, a Minangkabau Artisan*. Aural Archipelago, 2018. Diakses dari <https://www.auralarchipelago.com/?offset=1550567675914#>, 3 September 2021.
- [12] Jürgen Meyer. *Acoustics and the Performance of Music: Manual for Acousticians, Audio Engineers, Musicians, Architects and Musical Instruments Makers*. Springer Science+Business Media, New York, 2009.
- [13] Metthew O. Ward, Georges Grinstein dan Daniel Keim. *Interactive Data Visualization: Foundations, Techniques, and Applications*. Taylor and Francis Group, Boca Raton (FL), 2015.

- [14] Eric Taylor. *The AB Guide to Music Theory, Part 1.* ABRSM, London, 1989.
- [15] Tim Hansen. *How to read music.* TED-Ed, 2013. Diakses dari <https://youtu.be/ZN41d7Txcq0>, 31 Agustus 2021.
- [16] Wildan Bayudi. *Terlengkap Kumpulan Lagu Wajib Nasional, Lagu Daerah, dan Lagu Anak Indonesia.* Laksana, Yogyakarta, 2019.
- [17] Karl T. Ulrich dan Steven D. Eppinger. *Product Design and Development.* McGraw-Hill Education, New York, 2016.
- [18] Gea Oswah Fatah Parikesit dan Indraswari Kusumaningtyas. “The illusive sound of a bundengan string”. *Physics Education*, 52(055007), 2017.
- [19] *Mengenali Fenomena Fisis Bundengan (Bagian I).* DTNTF UGM, 2020. Diakses dari [https://youtu.be/2QuEaKj\\_89c](https://youtu.be/2QuEaKj_89c), 14 September 2021.
- [20] Azfar Pratama. *Karakterisasi Getaran Pelat Bambu Bundengan dengan Simulasi Modal Analysis dan Respon Dinamik Menggunakan ABAQUS.* Skripsi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2018.
- [21] Neville H. Fletcher dan Thomas D. Rossing. *The Physics of Musical Instruments.* Springer Science+Business Media, New York, 1998.
- [22] Gea Oswah Fatah Parikesit dan Indraswari Kusumaningtyas. “Vibration of clipped strings in the bundengan musical instrument”. *Applied Acoustics*, 155(204-215), 2019.
- [23] Mona Fioni. *Pengaruh dari Dimensi dan Orientasi Bandulan serta Tegangan Senar terhadap Pergerakan Bandulan secara Translasional dan Rotasional.* Skripsi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2018.
- [24] Ayrton Fithiadi Sedjati. *Computational analysis of the effects of bamboo clip dimension and position towards the vibration characteristics of a plucked bundengan string.* Skripsi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2018.
- [25] Asadulloh Julda Hifzhuddin. *Pengaruh Posisi dan Dimensi Bandulan terhadap Frekuensi Alami Getaran Senar sebagai Validasi untuk Simulator Senar Bundengan.* Skripsi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2018.
- [26] Indraswari Kusumaningtyas, Ayrton Fithiadi Sedjati, Asadulloh Julda Hifzhuddin dan Gea Oswah Fatah Parikesit. “The effect of bamboo clip dimension and position towards the frequency spectrum of a vibrating inhomogeneous bundengan string”. *Inter-Noise, The 50th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering*, Washington, DC, Agustus 2021.
- [27] Raymond Christianto. *Rancang Bangun Simulator Kowangan Berbasis Scilab.* Skripsi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2018.

- [28] Luis Corianti Simanungkalit. *Analisis Karakteristik Getaran Kowangan dengan Menggunakan Metode Experimental Modal Analysis*. Skripsi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2019.
- [29] Fadillah Muhammam. *Pengukuran Tingkat Tekanan Bunyi pada Alat Musik Bunyi dengan menggunakan Susunan Mikrofon pada Bidang Planar Berbentuk Persegi*. Skripsi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2019.
- [30] Zidan Yusron Wijanarko. *Analisis Tingkat Tekanan Bunyi pada Alat Musik Bunyi dengan menggunakan Model Kowangan dengan Bentuk Dasar Seperdelapan Bola*. Skripsi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2020.
- [31] Anna J. Reisenweaver. “Guido of Arezzo and his influence on music learning”. *Musical Offerings*, 3(1), 2012.
- [32] James Bennett II. *How Was Musical Notation Invented? A Brief History*. WQXR: New York City’s Classical Music Radio Station, 2017. Diakses dari <https://www.wqxr.org/story/how-was-musical-notation-invented-brief-history/>, 30 September 2021.
- [33] Scott H. Hawley dan Robert E. McClain. “Visualizing sound directivity via smartphone sensors”. *The Physics Teachers*, 56(72), 2018.
- [34] Thomas D. Rossing. *Springer Handbook of Acoustics*. Springer Science+Business Media, New York, 2007.
- [35] S.A. Hall dan G.W. Crockford. The physical environment. *Occupational Health Practice*, chapter 13, hal. 258 – 287. Butterworth-Heinemann, London, 1973.
- [36] Daniel A. Russell. *Sound Fields Radiated by Simple Sources*. Acoustics and Vibration Animations, 2013. Diakses dari <https://www.acs.psu.edu/drussell/demos/rad2/mdq.html>, 15 Oktober 2021.
- [37] John Brooke. SUS: A ’Quick and Dirty’ Usability Scale. *Usability Evaluation In Industry*. Taylor and Francis, London, 1996.
- [38] Zahra Sharfina dan Harry Budi Santoso. “An Indonesian Adaptation of the System Usability Scale (SUS)”. *International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems*, hal. 145–148, Malang, 15-16 Oktober 2016.
- [39] Aaron Bangor, Philip Kortum dan James Miller. “Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale”. *Journal of Usability Studies*, 4(3), 2009.
- [40] Ishan Banerjee. Advances in Model-Based Testing of GUI-Based Software. *Advances in Computers*, volume 105, chapter 2, hal. 45 – 78. Elsevier, 2017.

- [41] *Colormap reference*. Matplotlib. Diakses dari [https://matplotlib.org/stable/gallery/color/colormap\\_reference.html](https://matplotlib.org/stable/gallery/color/colormap_reference.html), 31 Januari 2022.
- [42] Bernice E. Rogowitz dan Alan D. Kalvin. "The "Which Blair project": A Quick Visual Method for Evaluating Perceptual Color Maps". *Proceedings Visualization, 2001. VIS '01.*, hal. 183–556, 2001.
- [43] Michelle Borkin, Krzysztof Gajos, Amanda Peters, Dimitrios Mitsouras, Simone Melchionna, Frank Rybicki, Charles Feldman dan Hanspeter Pfister. "Evaluation of Artery Visualizations for Heart Disease Diagnosis". *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 17(12):2479–2488, 2011.
- [44] Lawrence E. Kinsler, Austin R. Frey, Alan B. Coppens dan James V. Sanders. *Fundamentals of Acoustics*. Wiley, New York, 2000.

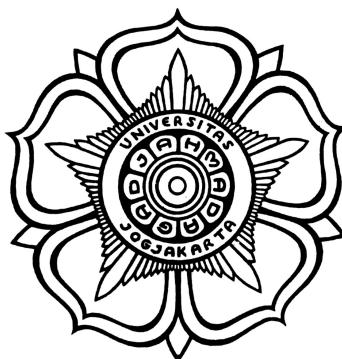
## **LAMPIRAN**

## BAB VI

### TAUTAN EKSTERNAL

#### VI.1. Contoh Gambar pada Lampiran

Gambar dan judul gambar diletakkan simetris kiri-kanan. Judul gambar ditulis di bawah gambar. Contoh dapat dilihat pada Gambar 6.1.



**Gambar 6.1.** Contoh penulisan judul gambar dan peletakan gambar. Gambar harus dilengkapi dengan informasi yang memadai sehingga mudah difasirkan tanpa harus membaca isi teks (*self-contained*).

#### VI.2. Contoh Penulisan Tabel pada Lampiran

Tabel dan judul tabel diletakkan simetris kiri-kanan. Judul tabel ditulis di atas gambar. Contoh dapat dilihat pada Tabel 6.1.

**Tabel 6.1.** Contoh penulisan tabel dan peletakan tabel.

Header 1	Header 2	Header 3
Isi	Isi	Isi
Isi	Isi	Isi

Jika tabel yang lebarnya melebihi batas pengetikan, tabel diketik memanjang kertas (*landscape*) seperti dicontohkan pada Tabel 6.2.

**Tabel 6.2.** Faktor non-1/ $v$ 

$T, ^\circ\text{C}$	Cd	In	Xe-135	Sm-149	U-233	U-235	U-238	Pu-239
	$g_a$	$g_a$	$g_a$	$g_a$	$g_f$	$g_a$	$g_f$	$g_f$
20	1,3203	1,0192	1,1581	1,6170	0,9983	1,0003	0,9780	0,9759
100	1,5990	1,0350	1,2103	1,8874	0,9972	1,0011	0,9610	0,9581
200	1,9631	1,0558	1,2360	2,0903	0,9973	1,0025	0,9457	0,9411
400	2,5589	1,1011	1,1864	2,1854	1,0010	1,0068	0,9294	0,9208
600	2,9031	1,1522	1,0914	2,0852	1,0072	1,0128	0,9229	0,9108
800	3,0455	1,2123	0,9887	1,9246	1,0146	1,0201	0,9182	0,9036
1000	3,0599	1,2915	0,8858	1,7568	1,0226	1,0284	0,9118	0,8956

### VI.3. Contoh Penulisan Persamaan pada Lampiran

Persamaan ditulis rata tengah dan nomor persamaan ditulis rata kanan. Nomor persamaan diurutkan dengan format (nomor\_lampiran.nomor\_persamaan). Contoh dapat dilihat pada Persamaan (6.1).

$$\frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial v}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{u} \mathbf{u} \quad (6.1)$$