



الجامعة الإسلامية  
INDONESIA

# **Pengenalan Suara Rekaman Pelaku Kejahatan Dengan Metode Minkowski untuk Proses Investigasi Audio Forensik**

Muhamad Azwar

17917214

*Tesis diajukan sebagai syarat untuk meraih gelar Magister Komputer*

*Konsentrasi Forensika Digital*

*Program Studi Teknik Informatika Program Magister*

*Fakultas Teknologi Industri*

*Universitas Islam Indonesia*

2021

## Lembar Pengesahan Pembimbing

### Pengenalan Suara Rekaman Pelaku Kejahatan Dengan Metode Minkowski untuk Proses Investigasi Audio Forensik

Muhamad Azwar

17917214

ISLAM

Yogyakarta, Maret, 2021

UNIVERSITAS

INDONESIA

الجامعة الإسلامية  
الاندونيسية

Pembimbing I



Dr. Syarif Hidayat, M.I.T

Pembimbing II



Fietyata Yulha, M.Kom

**Lembar Pengesahan Penguji**

**Pengenalan Suara Rekaman Pelaku Kejahatan Dengan Metode Minkowski untuk  
Proses Investigasi Audio Forensik**



Muhamad Azwar

17917214

Yogyakarta, Juni, 2021

Tim Penguji,

Dr. Syarif Hidayat, M.I.T

Ketua

Dr. Yudi Prayudi, S.Si., M.Kom

Anggota I

Dr. Ir. Bambang Sugiantoro, S.Si., MT

Anggota II

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Informatika Program Magister

Universitas Islam Indonesia



Izzati Muhimmah, S.T., M.Sc., Ph.D.

## Abstrak

### Pengenalan Suara Rekaman Pelaku Kejahatan Dengan Metode Minkowski untuk Proses Investigasi Audio Forensik

Tindakan kejahatan yang dilakukan seseorang biasanya meninggalkan barang bukti digital yang salah satunya adalah rekaman suara. Untuk mengenali seseorang dari rekaman suara diperlukan pengetahuan tentang audio forensik yang mempelajari tentang pengolahan barang bukti digital berupa suara dengan metode yang baik dan benar. Metode klasifikasi dapat digunakan untuk pengenalan suara dengan pengelompokan dan membandingkan nilai *spectrum* suara dari hasil konversi metode MFCC, salah satu metode klasifikasi yang sering digunakan adalah KNN. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Umar et al., 2019) menggunakan metode KNN dengan rumus *euclidean* untuk pengukuran jarak antara dua sampel rekaman suara dengan tingkat akurasi sebesar 40%. Kekurangan dari rumus *euclidean* yaitu nilai jarak yang dihasilkan kurang mendekati kecocokan dengan tingkat akurasi yang masih rendah. Pada penelitian ini pengukuran jarak dilakukan dengan menggunakan rumus *minkowski* menghasilkan nilai jarak yang mendekati kecocokan dan peningkatan akurasi. Proses pengujian menggunakan metode KNN dengan rumus *minkowski* untuk pengukuran jarak dimana sampel rekaman suara pembanding didapatkan dari hasil perekaman suara dua responden yang mengucapkan 21 kata sesuai naskah yang dibuat berdasarkan rekaman suara tersangka. Metode KNN dengan rumus *minkowski* melakukan pengukuran jarak berdasarkan nilai *spectrum* yang dihasilkan dari hasil konversi sampel rekaman suara menggunakan metode MFCC. Dari hasil pengujian didapatkan 9 kata yang mendekati kecocokan dengan suara tersangka (*suspect*) yang menampilkan nilai jarak terkecil sebagai tingkat kecocokan, sedangkan responden kedua tidak ada kata yang mendekati kecocokan. Tingkat akurasi metode KNN dengan rumus *minkowski* dalam pengukuran jarak dapat dihitung menggunakan tabel *confusion matrik* menghasilkan tingkat akurasi sebesar 71% artinya terdapat peningkatan tingkat akurasi yang didapatkan metode KNN dengan rumus *minkowski* dibandingkan dengan menggunakan rumus *euclidean*.

#### **Kata kunci**

*euclidean, minkowski, spectrum, suspect. confusion matrik.*

## **Abstract**

### **Crime Recognition Recognition Criminals Using Minkowski Method for Forensic Audio Investigation Process**

Crimes committed by someone usually leave digital evidence, one of which is a sound recording. To recognize a person from a sound recording, knowledge of audio forensics is needed, which learns about processing digital evidence in the form of sound with good and correct methods. The classification method can be used for speech recognition by grouping and comparing the value of the sound spectrum from the conversion of the MFCC method, one of the classification methods that is often used is KNN. In a previous study conducted by (Umar et al., 2019) using the KNN method with the Euclidean formula for measuring the distance between two voice recording samples with an accuracy rate of 40%. The disadvantage of the Euclidean formula is that the resulting distance value is less close to the match with a low level of accuracy. In this study, distance measurements were carried out using the Minkowski formula to produce a distance value that was close to the match and increased accuracy. The testing process uses the KNN method with the Minkowski formula for distance measurement where the comparative voice recording sample is obtained from the results of the voice recordings of two respondents who say 21 words according to a script made based on the suspect's voice recording. The KNN method with the minkowski formula measures distance based on the spectrum value generated from the conversion of voice recording samples using the MFCC method. From the test results obtained 9 words that are close to match the voice of the suspect (suspect) which displays the smallest distance value as the level of compatibility, while the second respondent has no words that are close to the match. The level of accuracy of the KNN method with the Minkowski formula in measuring distance can be calculated using the confusion matrix table resulting in an accuracy rate of 71%, meaning that there is an increase in the level of accuracy obtained by the KNN method with the Minkowski formula compared to using the Euclidean formula.

#### **Keywords**

*euclidean, minkowski, spectrum, suspect. confusion matrik.*

## **Pernyataan Keaslian Tulisan**

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis ini merupakan tulisan asli dari penulis, dan tidak berisi material yang telah diterbitkan sebelumnya atau tulisan dari penulis lain terkecuali referensi atas material tersebut telah disebutkan dalam tesis. Apabila ada kontribusi dari penulis lain dalam tesis ini, maka penulis lain tersebut secara eksplisit telah disebutkan dalam tesis ini.

Dengan ini saya juga menyatakan bahwa segala kontribusi dari pihak lain terhadap tesis ini, termasuk bantuan analisis statistik, desain survei, analisis data, prosedur teknis yang bersifat signifikan, dan segala bentuk aktivitas penelitian yang dipergunakan atau dilaporkan dalam tesis ini telah secara eksplisit disebutkan dalam tesis ini.

Segala bentuk hak cipta yang terdapat dalam material dokumen tesis ini berada dalam kepemilikan pemilik hak cipta masing-masing. Apabila dibutuhkan, penulis juga telah mendapatkan izin dari pemilik hak cipta untuk menggunakan ulang materialnya dalam tesis ini.

Yogyakarta, Maret, 2021



Muhamad Azwar

## Daftar Publikasi

Paper yang dihasilkan:

(Muhamad Azwar, Syarif Hidayat, Fietyata Yudha, 2021), Teknik Audio Forensik Dengan Metode Minkowski Untuk Pengenalan Rekaman Suara Pelaku Kejahatan, CyberSecurity dan Forensik Digital., Vol. 4 No.2 Edisi November 2021.

Kontributor	Jenis Kontribusi
Muhamad Azwar	Mendesain eksperimen (70%) Menulis Paper (80%)
Syarif Hidayat	Mendesain eksperimen (30%) Menulis Paper (20%)
Fietyata Yudha	Melakukan Testing dan Analisis Data

## Halaman Persembahan

Alhamdulillah atas segala rahmat, hidayah, berkah dan kasih sayang Allah SWT yang selalu menemani disetiap langkah dan kondisi saya.

Alhamdulillah atas kehadiran Baginda Rasulullah SAW yang menjadi pelita dalam ilmu pengetahuan..

Terimakasih kepada Dosen Pembimbing yang sudah memberikan bimbingan yang maksimal dan selalu menasehati disetiap kesalahan yang saya perbuat, semata-mata untuk menjadi lebih baik dan kebaikan saya sendiri dikemudian hari....

Terima kasih kepada Bapak, Ibu, dan kakak serta keluarga besar dan Teman-teman seangkatan yang telah mensupport saya dalam setiap proses memperbaiki diri, salah satunya dengan memberikan kesempatan untuk mengenyam pendidikan hingga saat ini.. terima kasih atas segala upaya yang dicurahkan disetiap waktu..

Terima kasih kepada teman dan sahabat yang telah bersedia berbagi ilmu, pengalaman dan kisah serta dukungan yang membangun...

## **Kata Pengantar**

Alhamdulillah segala puji bagi Allah SWT atas segala rahmat, hidayah serta karunia-Nya, sehingga penulisan laporan tesis sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Pascasarjana Magister Teknik Informatika Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia yang berjudul “Pengenalan Suara Rekaman Pelaku Kejahatan Dengan Metode Minkowski untuk Proses Investigasi Audio Forensik” dapat diselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan atas baginda Nabi Muhammad SAW, para sahabat, serta pengikutnya.

Penyusunan tesis ini tidak lepas dari bimbingan, dukungan, dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini dengan kerendahan hati, ucapan terimakasih saya ucapkan kepada:

1. Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga saya diberikan kesehatan dan kemudahan selama masa pengerjaan tesis ini.
2. Bapak, Ibu beserta keluarga besar yang turut mendoakan dan memberikan restu dan semangatnya.
3. Bapak Rektor dan seluruh jajaran Rektorat Universitas Islam Indonesia
4. Dr. Syarif Hidayat, M.I.T dan Fietyata Yudha, M.Kom selaku dosen pembimbing yang telah memberikan pengarahan, bimbingan, masukan, nasihat serta dorongan semangat selama pengerjaan tesis ini
5. Dosen-dosen Magister Teknik Informatika dan seluruh jajaran staf Program Pascasarjana
6. Keluarga Besar Magister Teknik Informatika Universitas Islam Indonesia

Saya menyadari bahwa dalam penulisan dan penyusunan laporan tesis ini masih banyak terdapat kekurangan. Untuk itu saya sampaikan permohonan maaf serta sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk menyempurnakan dimasa yang akan datang

Yogyakarta, 2021

Muhamad Azwar

## Daftar Isi

<b>Lembar Pengesahan Pembimbing</b> .....	i
<b>Lembar Pengesahan Penguji</b> .....	ii
<b>Abstrak</b> .....	iii
<b>Abstract</b> .....	iv
<b>Daftar Publikasi</b> .....	vi
<b>Halaman Persembahan</b> .....	vii
<b>Kata Pengantar</b> .....	viii
<b>Daftar Isi</b> .....	ix
<b>Daftar Tabel</b> .....	xi
<b>Daftar Gambar</b> .....	xii
<b>Glosarium</b> .....	xiii
<b>BAB 1 Pendahuluan</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Kontribusi Ilmiah .....	3
1.3 Rumusan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
1.6 Metode Penelitian .....	4
1.7 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB 2 Landasan Teori</b> .....	6
2.1 Kajian Pustaka .....	6
2.2 Teori Suara .....	9
2.3 Komponen-Komponen Suara .....	10
2.4 <i>Audio Forensik</i> .....	12
2.5 <i>Speaker Recognition</i> .....	13
2.6 Pengenalan MFCC .....	13
2.7 Pengenalan KNN .....	15
2.8 <i>Minkowski Distance</i> .....	16
2.9 Forensika <i>Audio</i> .....	17
2.10 Bukti Digital .....	17
2.11 Digital Forensik .....	17

2.12	<i>Python</i> .....	18
2.13	Uji Wilcoxon.....	18
BAB 3 Metodologi Penelitian .....		20
3.1	Pengumpulan Data .....	20
3.2	Pengujian .....	21
3.3	Analisis .....	24
BAB 4 Hasil dan Pembahasan.....		26
4.1	Analisis Kebutuhan.....	26
4.2	Skenario Kasus .....	26
4.3	Persiapan Sampel Rekaman Suara.....	27
4.4	Pengujian .....	28
4.4.1	Penerapan Metode <i>Minkowski</i> dan <i>Euclidean</i> .....	28
4.4.2	Signifikansi perbedaan hasil metode <i>minkowski</i> dengan <i>euclidean</i> .....	38
4.5	Analisis .....	41
4.5.1	Analisis Nilai jarak Kecocokan Sampel Rekaman Suara.....	41
4.5.2	Analisis tingkat akurasi metode <i>minkowski</i> .....	43
4.5.3	Analisi Signifikansi Perbedaan Hasil .....	45
4.5.4	Analisis Kelebihan dan Kekurangan Metode <i>Minkowski</i> .....	47
BAB 5 Kesimpulan dan Saran.....		48
5.1	Kesimpulan .....	48
5.2	Saran .....	48
Daftar Pustaka .....		50
LAMPIRAN .....		53

## Daftar Tabel

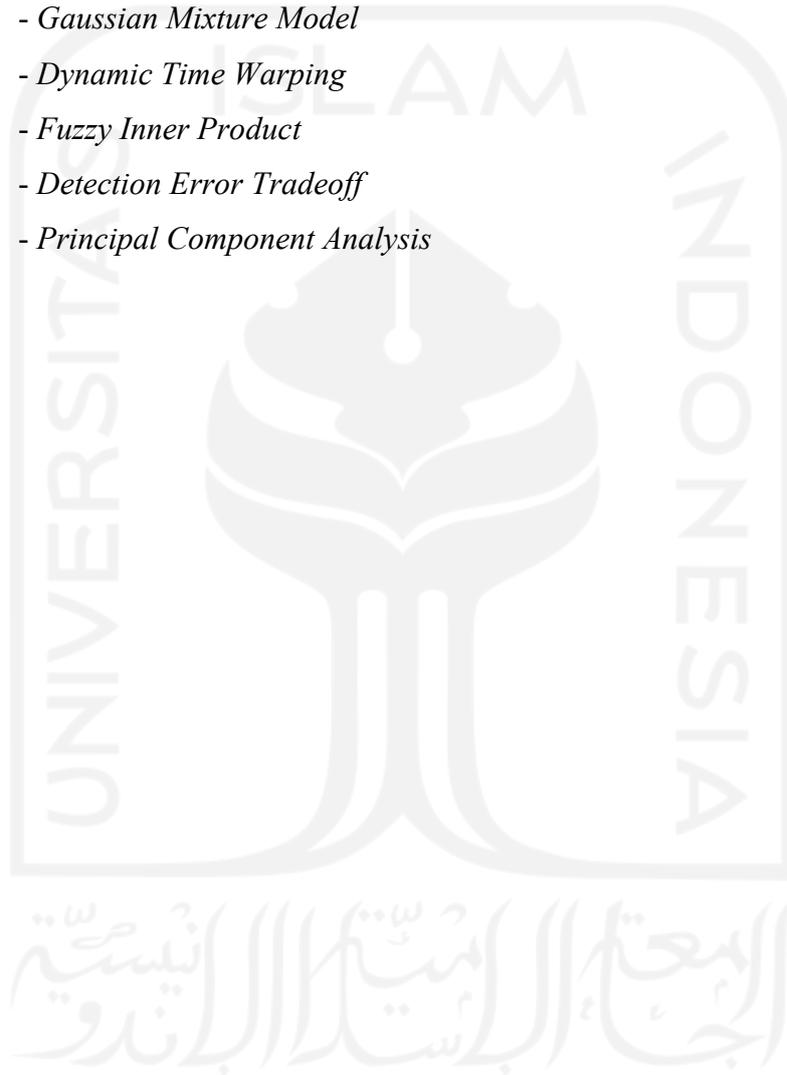
Tabel 4.1 Naskah percakapan.....	28
Tabel 4.2 <i>Source code import paket</i> .....	29
Tabel 4.3 <i>Source code import</i> sampel rekaman suara .....	29
Tabel 4.4 <i>Source code feature extraction</i> .....	29
Tabel 4.5 Nilai <i>spectrum</i> sampel rekaman suara tersangka.....	30
Tabel 4.6 Nilai <i>spectrum</i> sampel rekaman suara pembandingan pertama .....	31
Tabel 4.7 Nilai <i>spectrum</i> sampel rekaman suara pembandingan kedua.....	32
Tabel 4.8 <i>Source code</i> penerapan metode <i>minkowski</i> .....	33
Tabel 4.9 Nilai jarak metode <i>minkowski</i> dari suara pembandingan pertama .....	33
Tabel 4.10 Nilai jarak metode <i>minkowski</i> dari suara pembandingan kedua .....	34
Tabel 4.11 <i>Source code</i> penerapan metode <i>euclidean</i> .....	35
Tabel 4.12 Nilai jarak metode <i>euclidean</i> dari suara pembandingan pertama .....	35
Tabel 4.13 Nilai jarak metode <i>euclidean</i> dari suara pembandingan kedua.....	36
Tabel 4.14 <i>Source code</i> proses <i>sorting</i> .....	37
Tabel 4.15 Data nilai jarak sampel rekaman suara pembandingan pertama .....	38
Tabel 4.16 Hasil <i>sorting</i> nilai jarak suara pembandingan pertama .....	42
Tabel 4.17 Hasil <i>sorting</i> nilai jarak suara pembandingan kedua .....	43
Tabel 4.18 Tabel <i>Confusion Matrix</i> .....	44
Tabel 4.19 Hasil <i>descriptive statistics</i> .....	45
Tabel 4.20 Hasil Rank .....	46
Tabel 4.21 Hasil <i>test statistics</i> .....	46

## Daftar Gambar

Gambar 2.1 Diagram <i>pitch</i> terhadap waktu berubah secara konstan .....	10
Gambar 2.2 Diagram masing-masing <i>Formant</i> F1, F2, F3, F4 dan F5. ....	11
Gambar 2.3 Representasi <i>spectrogram spektral</i> dengan tingkatan energinya.....	12
Gambar 2.4 Satuan Lingkaran Jarak <i>Minkowski</i> .....	17
Gambar 3.1 Alur Metode Penelitian.....	20
Gambar 3.2 Alur Pengambilan Sampel Data .....	21
Gambar 3.3 Proses membandingkan sampel rekaman suara.....	22
Gambar 3.4 <i>Flowchart</i> proses analisis signifikansi perbedaan hasil metode <i>minkowski</i> dengan metode <i>euclidean</i> .....	25
Gambar 4.1 Ilustrasi Skenario Kasus .....	27
Gambar 4.2 Penentuan variabel untuk uji <i>wilcoxon Signed Rank</i> .....	38
Gambar 4.3 Proses <i>input</i> data hasil <i>sorting</i> .....	39
Gambar 4.4 Pemilihan metode pengujian.....	39
Gambar 4.5 Penentuan variabel <i>test pairs</i> .....	40
Gambar 4.6 Hasil <i>descriptive statistics</i> .....	40
Gambar 4.7 Hasil <i>rank</i> .....	40
Gambar 4.8 Hasil <i>test statistics</i> .....	41

## Glosarium

KNN	- <i>K-Nearest Neighbor</i>
MFCC	- <i>Mel Frequency Cepstral Coefficient</i>
CNN	- <i>Convolutional Neural Network</i>
FNN	- <i>Forward Neural Network</i>
SVM	- <i>Support Vector Machine</i>
GMM	- <i>Gaussian Mixture Model</i>
DTW	- <i>Dynamic Time Warping</i>
FIP	- <i>Fuzzy Inner Product</i>
DET	- <i>Detection Error Tradeoff</i>
PCA	- <i>Principal Component Analysis</i>



# BAB 1

## Pendahuluan

### 1.1 Latar Belakang

Kasus pembunuhan Jamal Khashoggi pada tanggal 2 Oktober 2018 di Istanbul Turki, ditemukan sebuah rekaman suara percakapan tersangka dari hasil penyadapan pihak intelijen Turki yang kemudian rekaman suara dijadikan sebagai barang bukti digital yang akan dianalisis oleh tim investigator untuk mengenali tersangka dalam pembunuhan berencana terhadap Jamal Khashoggi. hal ini menjadi salah satu tantangan investigator dalam melakukan analisis barang bukti yang didapatkan (Tribunnews, 2019).

Mengidentifikasi seseorang dengan suaranya adalah sifat seorang manusia, sebagian besar diterima begitu saja dalam interaksi atau komunikasi antar sesama. Berbicara dengan seseorang melalui telepon biasanya dimulai dengan mengidentifikasi siapa yang berbicara dan, setidaknya dalam kasus pembicara yang akrab, verifikasi subjektif oleh pendengar bahwa identitasnya benar dan percakapan dapat dilanjutkan. Sistem pengenalan suara otomatis telah muncul sebagai sarana penting untuk memverifikasi identitas dalam banyak aplikasi serta dalam interaksi bisnis umum, forensik, dan penegakan hukum. Seorang ahli yang terlatih dalam pengenalan *speaker* forensik dapat melakukan tugas ini dengan lebih baik dengan memeriksa seperangkat karakteristik akustik, prosodi, dan linguistik dalam pendekatan umum yang disebut dengan mendengarkan terstruktur. Teknik-teknik dalam pengenalan *speaker* forensik telah dikembangkan selama bertahun-tahun oleh para ilmuwan dan ahli bahasa forensik untuk membantu mengurangi bias potensial atau pemahaman sebelumnya tentang validitas sampel audio yang tidak diketahui dan template referensi dari tersangka potensial (Hansen & Hasan, 2015).

Suara adalah bentuk dasar dari metode komunikasi yang efisien bagi seseorang untuk berinteraksi satu sama lain. komunikasi manusia didominasi oleh ucapan dan pendengaran informasi yang paling cepat ditransfer dari satu orang ke orang lain selalu dilakukan dengan ucapan, pengenalan suara adalah proses mengenali pembicara berdasarkan karakteristik yang terkandung dalam gelombang suara (Umar et al., 2019).

Rekaman audio memberikan beberapa keuntungan potensial untuk penyelidikan dibandingkan dengan film, video dan saksi mata seperti kemampuan mengumpulkan informasi dari semua sumber. rekaman *audio* menyediakan sebuah sekuensial waktu

merekam dari acara sebagai sebuah objektif pengamatan. *Audio forensik* adalah cabang dari bidang ilmu forensik. ilmu forensik umumnya mengacu pada evaluasi bukti yang akhirnya dapat digunakan di pengadilan atau sebagai bagian dari beberapa penyelidikan formal lainnya. Forensik audio yang mengacu pada akuisisi, analisis dan interpretasi rekaman audio sebagai bagian dari investigasi, seperti dalam persiapan untuk pengadilan perdata atau pidana atau sebagai bagian dari investigasi kecelakaan atau insiden lain yang melibatkan bukti audio (Maher, 2018)

Algoritma KNN adalah salah satu algoritma yang paling umum digunakan dalam melakukan klasifikasi data. KNN mengklasifikasikan sampel yang tidak diketahui berdasarkan klasifikasi yang diketahui dari tetangganya. Setiap sampel perlu diklasifikasikan sehingga mirip dengan sampel yang ada pada sekitarnya. Fungsi jarak memainkan peran penting dalam keberhasilan (Rajesh, 2011).

Tugas utama klasifikasi adalah untuk memprediksi label poin data uji dengan menginduksi semua poin data pelatihan. banyak sekali metode klasifikasi yang sudah dikembangkan dalam aplikasi nyata di antaranya klasifikasi KNN telah dianggap sebagai salah satu dari 10 algoritma penambangan data karena kesederhanaan dan efisiensinya. Dengan demikian metode KNN telah berhasil dikembangkan dalam aplikasi penambangan data, seperti klasifikasi, regresi, dan imputasi nilai yang hilang. Gagasan kunci dari metode KNN standar adalah untuk memprediksi label titik data uji oleh aturan mayoritas, yaitu, label titik data uji diprediksi dengan kelas utama dari K titik data pelatihan yang paling mirip di fitur tersebut (Zhang et al., 2017).

Pada algoritma KNN terdapat beberapa metode yang digunakan yaitu *manhattan*, *euclidean minkowski*, dan *hamming distance*, pada penelitian yang dilakukan oleh (Umar et al., 2019) tentang identifikasi pengenalan suara menggunakan algoritma KNN dengan metode *eclaudian* untuk membandingkan suara manusia berdasarkan jenis kelamin dengan suara pembanding menggunakan sampel rekaman suara yang mengucapkan kata “login” yang menghasilkan nilai jarak. Namun metode *euclidean* masih memiliki nilai jarak yang tinggi dan tingkat keakuratan dalam membandingkan rekaman suara yang masih rendah sehingga barang bukti digital berupa rekaman suara yang dianalisis menggunakan metode *euclidean* kemungkinan besar dapat diragukan dalam persidangan untuk mengatasi masalah tersebut perlu adanya metode baru yang digunakan yaitu metode *minkowski*, penelitian ini menggunakan metode *minkowski* untuk membandingkan suara tersangka (*suspect*) dengan suara pembanding menghasilkan nilai jarak terkecil dengan tingkat keakuratan yang tinggi dibandingkan dengan metode *euclidean* dalam membandingkan rekaman suara.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan rekaman suara tersangka (*suspect*) dengan rekaman suara pembanding menggunakan metode *minkowski* menghasilkan tingkat akurasi yang tinggi dibandingkan dengan metode *euclidean*.

## 1.2 Kontribusi Ilmiah

Kontribusi ilmiah yang dapat diambil dari hasil penelitian ini adalah penerapan metode *minkowski* yang dapat membantu investigator dalam membandingkan rekaman suara tersangka (*distance*) sebagai barang bukti dengan rekaman suara pembanding menggunakan metode *euclidean* menghasilkan tingkat akurasi yang tinggi yang dapat menjadikan barang bukti digital rekaman suara dapat di pertanggung jawabkan dalam persidangan.

## 1.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana mendapatkan kecocokan terhadap barang bukti rekaman suara tersangka dengan suara pembanding dengan nilai jarak kecocokan terkecil menggunakan metode KNN dan rumus *minkowski*?
2. Bagaimana menganalisis signifikansi perbedaan hasil berupa nilai jarak yang didapatkan rumus *minkowski* dan rumus *euclidean* dalam membandingkan barang bukti rekaman suara tersangka dengan suara pembanding?
3. Bagaimana mendapatkan tingkat akurasi yang tinggi dari rumus *minkowski* dalam membandingkan barang bukti rekaman suara tersangka dengan suara pembanding?

## 1.4 Tujuan Penelitian

- a. Membandingkan rekaman suara tersangka (*suspect*) dengan suara pembanding menggunakan rumus *minkowski*.
- b. Menganalisis signifikansi perbedaan hasil berupa nilai jarak dan tingkat akurasi yang didapatkan dari proses pengujian dalam membandingkan barang bukti berupa rekaman suara.
- c. Mendapatkan nilai jarak kecocokan terkecil dan nilai akurasi yang tinggi dalam membandingkan rekaman suara tersangka dengan suara pembanding menggunakan rumus *minkowski*.

## **1.5 Manfaat Penelitian**

Aplikasi yang dibuat diharapkan dapat mempermudah investigator dalam membandingkan rekaman suara tersangka (*suspect*) dengan suara pembanding.

## **1.6 Metode Penelitian**

Dalam penelitian ini perlu disusun langkah-langkah yang mempermudah penyelesaian masalah secara sistematis, adapun sistematika metodologi yang digunakan yaitu:

### **1. Pengumpulan Data**

Dari berbagai penelitian yang telah ada dirumuskan hal-hal yang penting pada *audio forensics* yaitu cara pengambilan sampel data suara sesuai dengan prosedur dan parameter yang ada, sehingga memperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai metode yang diangkat.

### **2. Pengujian**

Tahap pengujian yaitu proses dalam melakukan *extraction* data rekaman suara tersangka (*suspect*) dan suara pembanding menggunakan metode MFCC dan membandingkannya dengan metode *minkowski*.

### **3. Analisis**

Tahap analisis yaitu melakukan analisis dari hasil yang didapatkan dalam membandingkan sampel rekaman suara tersangka (*suspect*) dengan suara pembanding yang meliputi kekurangan dan kelebihan metode *minkowski*, nilai jarak yang didapatkan dan tingkat akurasi yang dihasilkan metode *minkowski*.

### **4. Kesimpulan**

Tahap kesimpulan adalah tahap dimana penguraian penelitian secara garis besar apa dan hasilnya seperti apa yang didapatkan dari penelitian berdasarkan rumusan masalah.

## **1.7 Sistematika Penulisan**

Tahap ini memberikan gambaran secara umum tentang penyusunan penelitian yang dilakukan, dalam sistematika penulisan terbagi dalam beberapa BAB yaitu:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Pendahuluan, merupakan penghantar terhadap permasalahan yang akan diteliti. Di dalamnya menguraikan tentang gambaran suatu penelitian yang terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

## **BAB II LANDASAN TEORI**

Pada BAB ini menjelaskan teori-teori yang terkait untuk memecahkan masalah dalam penelitian yang dilakukan.

## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

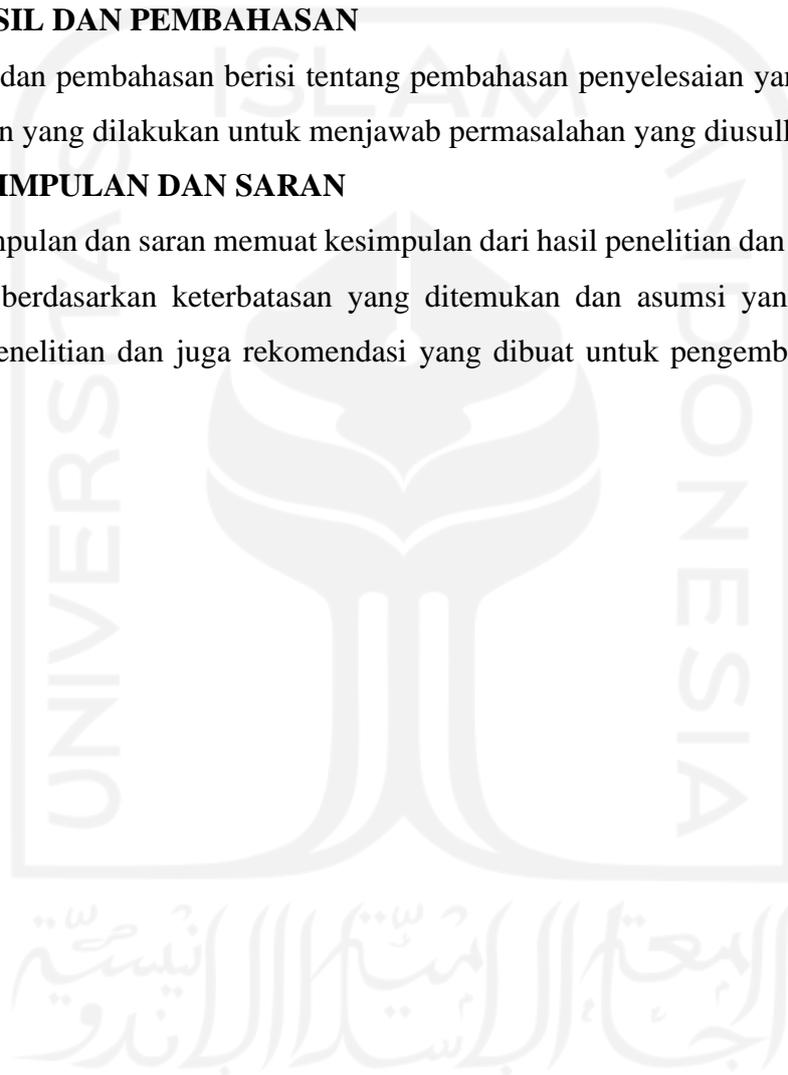
BAB ini membahas tentang langkah-langkah penelitian, kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak yang akan digunakan, proses dan mekanisme audio forensik, implementasi terhadap penerapan metode *minkowski* untuk proses analisis rekaman suara.

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil dan pembahasan berisi tentang pembahasan penyelesaian yang dianalisis dan cara pengujian yang dilakukan untuk menjawab permasalahan yang diusulkan.

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Kesimpulan dan saran memuat kesimpulan dari hasil penelitian dan saran yang perlu diperhatikan berdasarkan keterbatasan yang ditemukan dan asumsi yang dibuat selama melakukan penelitian dan juga rekomendasi yang dibuat untuk pengembangan penelitian selanjutnya.



## BAB 2

### Landasan Teori

#### 2.1 Kajian Pustaka

Penelitian yang dilakukan oleh (Wicaksono & Prayudi, 2013) membahas tentang bagaimana menjadikan orisinalitas barang bukti berupa suara yang bisa dipertanggung jawabkan dalam persidangan menggunakan teknik *Live Forensics* dan memanfaatkan aplikasi *Praat DC Live Forensics* untuk proses *audio enhancement* menghasilkan informasi seperti nilai *formant*, *bandwith* dan *Pitch* dari rekaman suara. Hasil dari penelitian ini berupa nilai tingkat kecocokan dari sampel suara *unknown* dengan suara pembanding. namun pada penelitian ini tidak menjelaskan terkait hasil yang didapatkan (Deva & Mardianto, 2019) rekaman suara yang ditemukan dilokasi tempat terjadinya tindak pidana sangat mungkin adanya indikasi untuk melakukan perubahan suara dari digital ke analog dari data suara *formant*, *bandwidth* dan *pitch* yang dimanipulasi menggunakan aplikasi *voice changer*, untuk mengatasi hal tersebut solusi yang diambil adalah dengan menggunakan metode *static pitch* untuk menganalisis suara yang sudah dimanipulasi namun kekurangan dari penelitian ini yaitu kecocokan antara rekaman suara yang di analisis menggunakan *static pitch* dengan suara nilainya akan berubah dan data suara menjadi tidak asli karena banyak perubahan.

Menurut (Umar et al., 2019) suara merupakan salah satu barang bukti yang digunakan untuk dapat mengenali seseorang dengan proses mengidentifikasi suara tersebut menggunakan algoritma KNN dengan metode *euclidean* dalam proses identifikasi bentuk data yang diproses adalah data numerik yang disebut nilai *frekuensi* dari suara tersebut yang sudah di *extraction* dengan metode MFCC dengan aplikasi *matlab*, hasil dari penelitian ini yaitu menampilkan nilai perangkingan kecocokan suara berdasarkan jenis kelamin namun pada penelitian ini tidak terdapat validasi sampel rekaman suara yang sudah di *extraction* karena nilai frekuensi yang didapatkan dari hasil *extraction* tidak diketahui ke validitasnya, sehingga pada penelitian yang dilakukan oleh (Anggoro et al., 2020) yang menggunakan algoritma KNN dengan metode *euclidean* dalam pengenalan suara artikulasi P dengan memvalidasi nilai hasil *extraction* menggunakan algoritma K-Fold, hasil dari penelitian ini berupa nilai perangkingan dengan nilai jarak dalam pencocokan suara artikulasi P.

Menurut (S. Singh & Singh, 2020) sebagian besar metode yang dapat mengukur kecocokan suara secara langsung berdasarkan karakteristik berbasis *spektrum* kluster yang dihasilkan kemungkinan tidak terkait dengan pembicara tapi lebih ke dalam akustik yang

berbeda, sehingga pada penelitian ini selain mengidentifikasi suara terdapat proses dalam melakukan evaluasi kluster yang harus dialokasikan setiap ucapan dengan menggunakan algoritma *K-Means*, *Fuzzy*, *C-Means*, *Gustafson* dan *Kessel* dan algoritma *Gath-Geva*, hasil dari penelitian ini berupa nilai efisiensi dan rasio dari setiap metode yang digunakan tidak ada nilai kedekatan terhadap sampel yang diuji, proses mendapatkan nilai *spektrum* tidak dijelaskan secara rinci. Penelitian yang dilakukan oleh (Putra et al., 2017) dalam proses analisis dan klasifikasi suara menggunakan algoritma *K-Means* menjelaskan tentang metode yang digunakan antara lain *Expectation-step* dan *Maximization-Step* dengan membandingkan parameter dari distribusi algoritma *GMM* dan hasil analisis sedangkan klasifikasi data suara pada penelitian ini berupa nilai persentase *mean* dan *variance* kekurangan dari penelitian ini yaitu tidak ada proses verifikasi yang dilakukan terhadap identitas pembicara sehingga meragukan ke orisinalitas sampel suara yang didapatkan.

Penelitian yang dilakukan oleh (J. Singh & Joshi, 2019) yang mengeksplorasi yang mengklasifikasi latar belakang suara dalam rekaman pidato manusia dengan memanfaatkan dataset *YBSS-200* dari *youtube*, *Urban Sound* dan *ESC50* dimana setiap sampel memiliki latar belakang suara yang berbeda dengan suara manusia, proses klasifikasi menggunakan algoritma *Deep Learning* yaitu *CNN* dan *FNN* bertujuan untuk membandingkan metode tersebut dengan metode *SVM*, kekurangan dari penelitian ini yaitu hanya mengklasifikasi latar belakang suara sedangkan suara utama tidak dimasukkan dalam proses perhitungan. Menurut (J. Singh & Joshi, 2019) pengenalan suara dapat diklasifikasi ke dalam dua proses yaitu verifikasi dan identifikasi dari pembicara. Dalam identifikasi pembicara identitas pembicara ditentukan dengan menganalisis dan membandingkan ucapan pembicara yang tidak dikenal dengan pembicara yang dikenal. Verifikasi pembicara adalah proses menerima atau menolak klaim identitas pembicara menggunakan algoritma *GMM* untuk menghilangkan kebisingan, salah satu bentuk verifikasi suara pada suara manusia, suara mobil dan suara di restoran. Hasil dari penelitian ini ditampilkan dalam Kurva *DET* atau grafik pendeteksian kesalahan terhadap beberapa objek suara, kekurangan dari penelitian tidak menjelaskan secara rinci parameter nilai yang dihasilkan dari identifikasi suara hanya berfokus pada verifikasi dari suara. Menurut (Karim Abdul-Hassan & Hassoon Hadi, 2019) menyatakan bahwa klasifikasi pembicara dipertimbangkan dengan bagaimana identitas pembicara di presentasikan sebagai label kelas yang unik. Jadi klasifikasi adalah proses untuk membuat model setiap pembicara dalam tahap pelatihan dan menggunakan model itu untuk mendapatkan identitas masing-masing pembicara. Dalam penelitian ini ada dua jenis klasifikasi suara yang digunakan untuk tujuan perbandingan yang pertama adalah

pengelompokan *Fuzzy* dengan metode DTW dan FIP dimana metode tersebut untuk mengukur kesamaan antara dua seri waktu yang bervariasi pada data yang diekstraksi menggunakan metode MFCC.

Tabel 2.1 Literatur Review

No.	Nama	Metode	Fokus Bahasan	Hasil Penelitian
1	(Umar et al., 2019)	- KNN - <i>Euclidean</i>	- Suara kata "Login" - Pengenalan Suara berdasarkan jenis kelamin.	Menampilkan nilai jarak terkecil dari hasil membandingkan suara berdasarkan jenis kelamin menggunakan metode <i>minkowski</i> .
2	(Wicaksono & Prayudi, 2013)	- <i>Live Forensics</i>	- Suara Rekaman Percakapan - Perbandingan	Dari 36 kata yang diucapkan tersangka ( <i>suspect</i> ) ditemukan lebih dari 20 kata yang memiliki kecocokan pola dengan suara pembanding, dengan menggunakan teknik <i>live forensik</i> .
3	(Deva & Mardianto, 2019)	- <i>Static Pitch</i>	- Manipulasi Suara	Ditemukan beberapa suara yang sudah dimanipulasi berdasarkan nilai <i>Formant Bandwidth</i> dan <i>Pitch</i> .
4	(Permana et al., 2019)	- MFCC - DTW	- Suara percakapan - Pencocokan berdasarkan jenis kelamin	Adanya kecocokan suara berdasarkan jenis kelamin dengan berbagai jenis sampel rekaman suara dengan tingkat akurasi yang berbeda-beda dalam bentuk persentase.
5	(Anggoro et al., 2020)	- MFCC - KNN	- Pengenalan Suara Artikulasi P - Analisis Suara	Adanya tingkat akurasi dari kata yang diucapkan oleh masing-masing responden yang mempunyai bibir sumbing berdasarkan jenis kelamin
6	(S. Singh & Singh, 2020)	- K-Means - Fuzzy - C-Means - Gustafson - Kessel	- Pengelompokan Suara - Perbandingan algoritma	Adanya tingkat efisiensi dan akurasi dari algoritma yang digunakan.

No.	Nama	Metode	Fokus Bahasan	Hasil Penelitian
7	(Putra et al., 2017)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- MFCC</li> <li>- GMM</li> <li>- K-Means</li> <li>- <i>Log Probability</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Simulasi dan Analisis Suara</li> <li>- Perbandingan Metode</li> </ul>	Menampilkan nilai akurasi sebesar 87.5% menggunakan algoritma GMM dibandingkan algoritma K-Means dan <i>log probability</i> .
8	(Algabri et al., 2017)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- MFCC</li> <li>- GMM-UBM dan <i>Markov</i></li> <li>- <i>Log-Likelihood Computation</i>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pengenalan suara</li> </ul>	Menganalisis jenis kebisingan suara di restoran, suara mobil dan suara ditempat yang ramai dengan evaluasi nilai kinerja dari beberapa parameter dengan hasil yang ditampilkan dalam bentuk <i>Kurva DET</i> .
9	(Karim Abdul-Hassan & Hassoon Hadi, 2019)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- DTW</li> <li>- FIP</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Klasifikasi Suara</li> <li>- Perbandingan metode</li> </ul>	Tingkat akurasi dari metode FIP lebih baik dibandingkan metode DTW dengan membandingkan jarak yang dihasilkan.
10	(J. Singh & Joshi, 2019)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- FNN</li> <li>- CNN</li> <li>- SVM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Klasifikasi Suara</li> <li>- Perbandingan metode</li> </ul>	Menampilkan nilai akurasi metode FNN, CNN dan SVM yang digunakan dimana secara keseluruhan menghasilkan nilai <i>Embedding</i> terbaik dibandingkan metode SVM.

Berdasarkan literatur review yang diuraikan pada tabel 2.1 maka dapat disimpulkan bahwa dalam membandingkan rekaman suara menggunakan algoritma KNN masih banyak yang menggunakan metode *euclidean* yang menghasilkan nilai jarak yang masih tinggi dan dan keakuratan yang didapatkan dalam membandingkan rekaman suara yang masih rendah.

## 2.2 Teori Suara

Suara dihasilkan melalui proses *Generation* dan *Filtering*. *Generation* adalah proses dimana suara pertama kali diproduksi melalui bergetarnya pita suara (*vocal cord* atau *vocal ford*) yang berada di laring (*larynx*) untuk menghasilkan bunyi periodik. Bunyi periodik yang bersifat konstan tersebut kemudian di filterisasi melalui *vocal tract* (disebut juga dengan istilah *resonator* suara atau *articulator*) yang mencakup lidah (*tongue*), gigi (*teeth*), bibir (*lips*), langit-langit (*palate*) dan lain-lain sehingga bunyi tersebut dapat menjadi bunyi keluaran berupa bunyi vokal (*vowel*) dan atau bunyi konsonan (*consonant*) yang membentuk

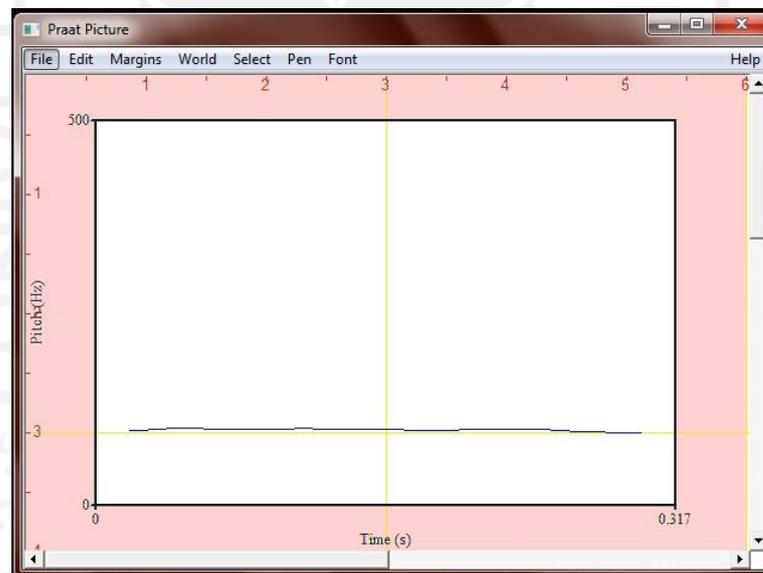
kata-kata yang memiliki arti sehingga nantinya dapat dianalisis untuk keperluan *voice recognition*. (Al Azhar, 2012).

## 2.3 Komponen-Komponen Suara

Suara terdiri atas beberapa komponen, yaitu *pitch*, *formant* dan *spektogram*. (Al Azhar, 2012).

### 1. *Pitch*

Frekuensi getar dari pita suara yang disebut dengan istilah notasi  $F_0$ . Masing-masing orang memiliki frekuensi khas (*habitual pitch*) yang sangat dipengaruhi oleh berbagai aspek. Pada kondisi pembicaraan normal, level *habitual pitch* berkisar pada 50 s/d 250 Hz untuk laki-laki dan 120 s/d 500 Hz untuk perempuan. Frekuensi  $F_0$  ini berubah secara konstan dan memberikan informasi linguistik seseorang seperti pembeda antara intonasi dan emosi. Analisis *pitch* dapat digunakan untuk melakukan *voice recognition* terhadap suara seseorang yaitu melalui analisis statistik terhadap nilai *minimum pitch*, *maximum pitch* dan *mean pitch*. Diagram *pitch* dapat pada Gambar 2.1.

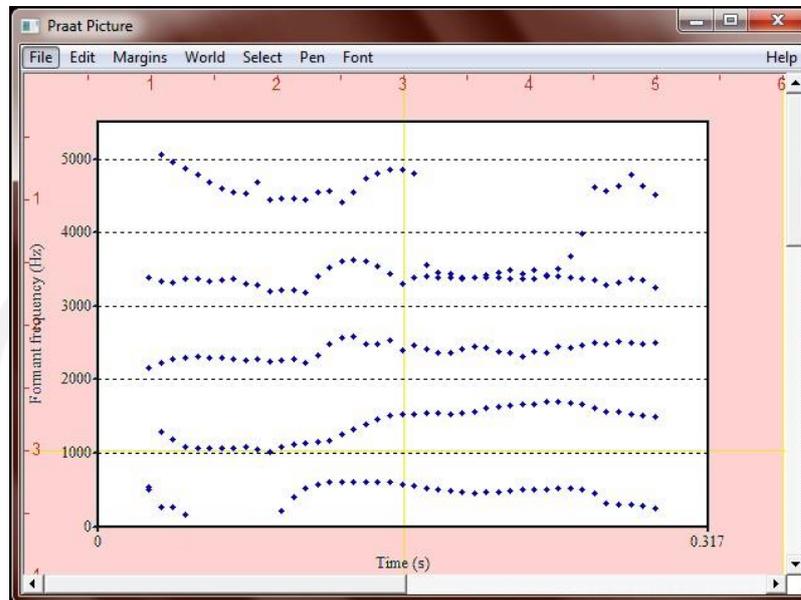


Gambar 2.1 Diagram *pitch* terhadap waktu berubah secara konstan  
(Sumber:(Al-Azhar Nuh,2011))

### 2. *Formant*

*Formant* adalah frekuensi-frekuensi resonansi dari *filter*, yaitu *vocal tract* yang meneruskan dan memfilter bunyi berupa kata-kata. Secara umum, frekuensi-frekuensi formant bersifat tidak terbatas, namun untuk mengidentifikasi seseorang paling tidak ada

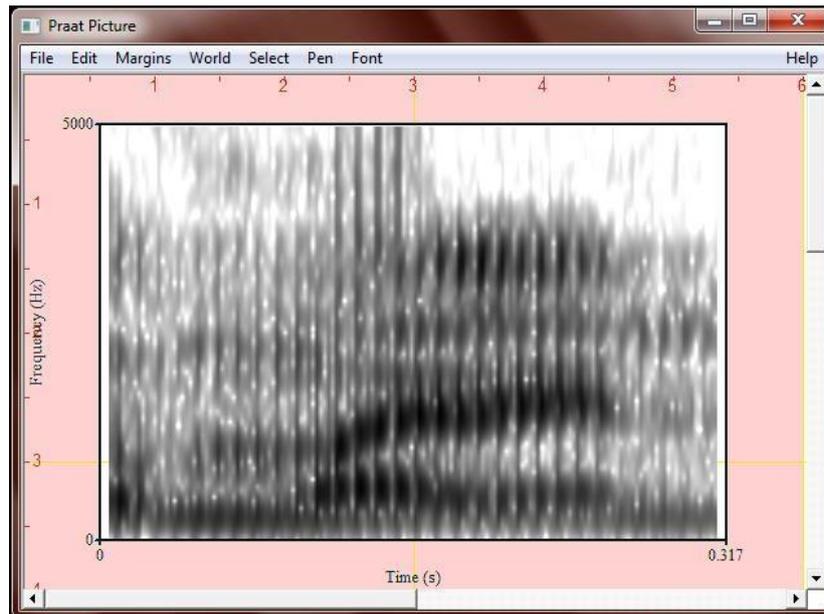
3 (tiga) formant yang dianalisis yaitu, *Formant 1* (F1), *Formant 2* dan *Formant 3* (F3). Diagram *formant* dapat dilihat pada Gambar 2. 2.



Gambar 2.2 Diagram masing-masing *Formant* F1, F2, F3, F4 dan F5.  
(Sumber:(Al-Azhar Nuh, 2011))

### 3. *Spektogram*

*Spectrogram* merupakan representasi spectral yang bervariasi terhadap waktu yang menunjukkan tingkat intensitas energi *spectral*, membentuk pola umum yang khas dalam pengucapan kata, dan pola khusus masing-masing *formant* dalam pengucapan suku kata. Dengan kata lain *spectrogram* adalah bentuk visualisasi dari masing-masing nilai *formant* yang dilengkapi dengan level energi yang bervariasi terhadap waktu. *Level* energi ini dikenal dengan istilah *formant bandwidth*. Nantinya pada kasus-kasus yang bersifat pemalsuan suara dengan teknik *pitch shift* atau pelaku berusaha untuk menghilangkan karakter suara aslinya, maka *formant bandwidth* dapat digunakan untuk memetakan atau mengidentifikasi suara aslinya. Jika durasi rekaman suara *unknown* lumayan panjang, maka analisis *spectrogram* juga dapat digunakan untuk mempercepat pemilihan pengucapan kata-kata yang akan dianalisis dalam rangka untuk mendapatkan jumlah minimal 20 kata untuk dapat menunjukkan keidentikan suara *unknown* dengan *known* atau pembanding. Representasi *spectrogram* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Representasi *spectrogram spektral* dengan tingkatan energinya.

(Sumber:(Al-Azhar Nuh, 2011))

## 2.4 Audio Forensik

*Audio forensics* merupakan penerapan ilmu pengetahuan dan metode secara ilmiah dalam penanganan barang bukti yang berupa *audio*, dimana barang bukti ini rentan dirubah dan dimanipulasi (Al-Azhar Nuh, 2011). Keaslian barang bukti *audio* dalam menguatkan keputusan hakim dipersidangan dilakukan dengan serangkaian pengamatan dan tes untuk mengevaluasi integritas rekaman (Mansyur, 2017).

Sebagaimana yang disampaikan Al-Azhar Nuh (2011) Mengidentifikasi rekaman suara diperlukan verifikasi dengan suara pembanding yang hampir mirip, sehingga perlu adanya tahapan-tahapan sesuai dengan SOP tentang analisa *audio forensics* pada DFAT PUSLABFOR yang mengacu pada *Good Practice Guide for Computer-Based Electronic Evidence* yang diterbitkan oleh ACPO di Inggris, dan *Forensic Examination of Digital Evidence: A Guide for Law Enforcement* yang diterbitkan oleh *National Institute of Justice* yang berada di bawah *Department of Justice*, Amerika Serikat. Analisa yang harus dilakukan pada *audio forensics* sebagai berikut:

### 1. Acquisition

Proses dimana pengambilan barang bukti asli yang selanjutnya dicatat menggunakan teknik *audio recorder* untuk mendapatkan model, ukuran, dan *serial number*. Rekaman suara asli seharusnya di *backup* terlebih dahulu, supaya tetap menjaga nilai keaslian dari barang bukti yang ditemukan. Salah satu tahap pemeriksaan adalah mendapatkan suara

pembandingan terhadap suara asli yang ada di *audio recorder* dengan dilengkapi administrasi penyidikan yang lengkap. Proses akuisisi *audio recorder* akan menghasilkan *file DD image*.

## 2. *Peningkatan Audio (audio enhancement)*

Hasil *backup* dari barang bukti rekaman suara asli diputar berkali-kali untuk melihat kualitas rekaman, jika suara yang didengar tidak bagus dikarenakan banyak *noise*. Suara yang demikian perlu adanya peningkatan untuk menaikkan kualitas rekaman, sehingga kosakata pembicaraan bisa jelas didengar.

## 3. *Decoding*

Setelah rekaman suara sudah bisa didengar kosakata dengan jelas, selanjutnya dilakukan pemilihan antara kosakata yang jelas dan tidak. Kemudian suara dengan kosakata yang jelas dicatat untuk dijadikan transkrip rekaman.

## 4. *Voice Recognition*

Proses menganalisis suara yang ada adalah identik atau tidak dengan mengambil kosakata yang jelas dari transkrip rekaman yang asli, selanjutnya melakukan perbandingan suara lain yang hamper mirip dengan kosakata yang sama. Analisis menggunakan parameter terhadap *pitch*, *formant bandwidth*, dan *spectrogram*. Kosakata yang didapat minimal dua puluh (20) kata yang memiliki kesamaan antara rekaman suara asli dan pembandingan, jika kurang dari dua puluh kata maka tidak memenuhi syarat *audio forensic*.

### 2.5 *Speaker Recognition*

*Speaker Recognition* adalah usaha mengidentifikasi seseorang melalui karakteristik suaranya. Secara alami otak kita juga mampu melakukan *speaker recognition* dimana kita mampu mengenali suara ayah, suara ibu, suara adik-kakak, maupun suara teman-teman kita tanpa perlu melihat wajah mereka. *Speaker Recognition* juga dapat diimplementasikan ke dalam bentuk perangkat lunak agar dapat mengidentifikasi suara secara digital (Putra et al., 2017).

*Speaker Recognition* pada umumnya terdiri dari tiga tahap yaitu ekstraksi ciri, modeling dan klasifikasi (Putra et al., 2017).

### 2.6 **Pengenalan MFCC**

Langkah pertama dalam sistem pengenalan suara otomatis adalah mengekstrak fitur, yaitu mengidentifikasi komponen sinyal *audio* yang baik untuk mengidentifikasi konten linguistik dan membuang semua hal lain yang membawa informasi seperti kebisingan latar belakang, emosi, dll (Lyons, 2015).

MFCC adalah fitur yang banyak digunakan dalam pengenalan suara dan pembicara otomatis. Teknik ini diperkenalkan oleh Davis dan Mermelstein pada 1980-an, dan menjadi yang paling canggih sejak saat itu. Sebelum pengenalan MFCCs, *Linear Prediction Coefficients* (LPCs) dan *Linear Prediction Cepstral Coefficients* (LPCCs) dan merupakan jenis fitur utama untuk pengenalan ucapan otomatis (ASR) (Lyons, 2015). Menurut (Putra et al., 2017) MFCC adalah suatu metode ekstraksi ciri yang keluarannya berupa *feature vector* bernama Cepstrum.

Tahapan-tahapan MFCC sebagai berikut:

a. *Pre-Emphasis*

*Pre-emphasis* berfungsi untuk menstabilkan nilai magnitudo dari sinyal suara. Rumus dari *pre-emphasis* adalah sebagai berikut:

$$S_n^1 = S_n - aS_{n-1} \quad (2.1)$$

Dimana  $S_n$  adalah nilai sampel ke- $n$  dan  $a$  adalah konstanta *pre-emphasis*.

b. *Framing*

*Framing* berfungsi membagi sinyal suara menjadi beberapa *frame* dengan panjang sampel tertentu. Panjang tiap *frame* umumnya sangat singkat sekitar 20 sampai 40 ms. Keuntungan dari *framing* adalah memudahkan analisis dan mengurangi alokasi memori.

c. *Windowing*

*Windowing* berfungsi meredam *noise* yang muncul di kedua ujung *frame*. Teknik *windowing* yang umum adalah *Hamming Window*, dimana rumusnya sebagai berikut:

$$H(n) = 0.54 - 0.46 \cos \cos \left( 2\pi \frac{n}{N-1} \right) \quad (2.2)$$

Dimana  $N$  adalah jumlah sampel tiap *frame* dan  $n$  adalah bilangan bulat dari 0 hingga  $N - 1$ .

d. *Fast Fourier Transform (FFT)*

FFT adalah mengubah sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi. Adapun rumus FFT secara matematis adalah sebagai berikut:

$$F_k = \sum_{j=0}^{\frac{N}{2}-1} f_{2j} e^{-\frac{2\pi i k(2j)}{N}} + \sum_{j=0}^{\frac{N}{2}-1} f_{2j+1} e^{-\frac{2\pi i k(2j)}{N}} \quad (2.3)$$

e. *Mel Frequency Filter Bank*

Pada tahap ini, sinyal suara pada domain frekuensi diubah menjadi domain frekuensi mel dimana rumusnya adalah sebagai berikut:

$$Mel(f) = 2595 \left( \ln \left( 1 + \frac{f}{700} \right) \right) \quad (2.4)$$

Dimana  $Mel(f)$  adalah nilai *frekuensi* mel dari  $f$ . Hasil akhir dari tahap ini adalah didapatkan sejumlah *mel filter bank*. Nilai mel filter *bank* menunjukkan seberapa besar energi pada rentang *frekuensi* yang ada pada masing-masing *filter mel*.

f. *Transformasi non Linear*

Transformasi non-linear berfungsi untuk mengambil nilai *logaritma natural* dari setiap mel filter bank dimana rumusnya adalah sebagai berikut:

$$f'_k = \ln(f_k) \quad (2.5)$$

Dimana  $f_k$  adalah mel *frequency filter bank* dan  $k$  adalah jumlah mel frequency filter bank pada tiap frame.

g. *Discrete Cosine Transform (DCT)*

DCT berfungsi untuk mengambil sinyal suara pada domain *frekuensi* ke *domain* waktu sehingga didapatkan *koefisien cepstrum*. Adapun rumusnya adalah sebagai berikut:

$$c_n = \sum_{k=1}^K (f'_k) \cos \cos [n(k - 0,5) \frac{\pi}{K}] \quad (2.6)$$

Dimana  $K$  adalah jumlah mel *frequency filter bank*,  $f'_k$  berasal dari hasil transformasi *non linear*,  $n$  adalah bilangan bulat dari 1 hingga  $N$  (jumlah total sampel) sehingga didapatkan  $N$  buah *koefisien cepstrum*.

## 2.7 Pengenalan KNN

KNN merupakan algoritma berbasis pembelajaran dimana *dataset* training disimpan. Sehingga klasifikasi untuk record baru yang diklasifikasikan diperoleh dengan membandingkan *record* yang paling banyak mirip dengan *dataset* pelatihan. Selain digunakan untuk klasifikasi, KNN digunakan untuk estimasi dan prediksi (Handayani, 2019).

Langkah-langkah algoritma KNN adalah sebagai berikut:

- a. Menentukan parameter  $K$  (Jumlah Tetangga Terdekat)
- b. Menghitung jarak (kesamaan) antara semua catatan latihan dan objek baru dengan metode *minkowski*
- c. Mengurutkan data berdasarkan nilai jarak dari yang terkecil sampai yang terbesar.
- d. Mengambil data dari sejumlah nilai  $K$
- e. Menentukan label yang paling sering terjadi di  $K$  pelatihan rekaman yang paling dekat dengan objek.

## 2.8 Minkowski Distance

*Minkowski Distance* atau metrik minkowski adalah metrik dalam ruang vektor bernorma yang dapat dianggap sebagai generalisasi jarak *Euclidean* dan jarak *Manhattan*. (Nishom, 2019).

Jarak *Minkowski* dengan lambang  $p$  (dimana  $p$  adalah bilangan bulat) antara dua titik.

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n) \text{ and } Y = (y_1, y_2, \dots, y_n) \in R^n \quad (2.13)$$

Dapat didefinisikan ke dalam rumus berikut ini.

$$d(x, y) = \left( \sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^p \right)^{1/p} \quad (2.14)$$

dimana,

$d$ = jarak antara $x$ dan $y$	$n$ = jumlah data
$x$ = data pustaka <i>klaster</i>	$x_i$ = data pada pusat <i>klaster</i> ke $i$
$y$ = data pada <i>atribut</i>	$y_i$ = data pada setiap data ke $i$
$i$ = setiap data	$p$ = <i>power</i>

Dalam pengukuran jarak objek menggunakan *minkowski distance* biasanya digunakan  $p = 1$  atau  $2$  yang sesuai dengan jarak *Manhattan* dan jarak *Euclidean*. Dalam kasus pembatasan  $p$  yang mencapai tak terhingga, maka disebut sebagai jarak *Chebyshev*:

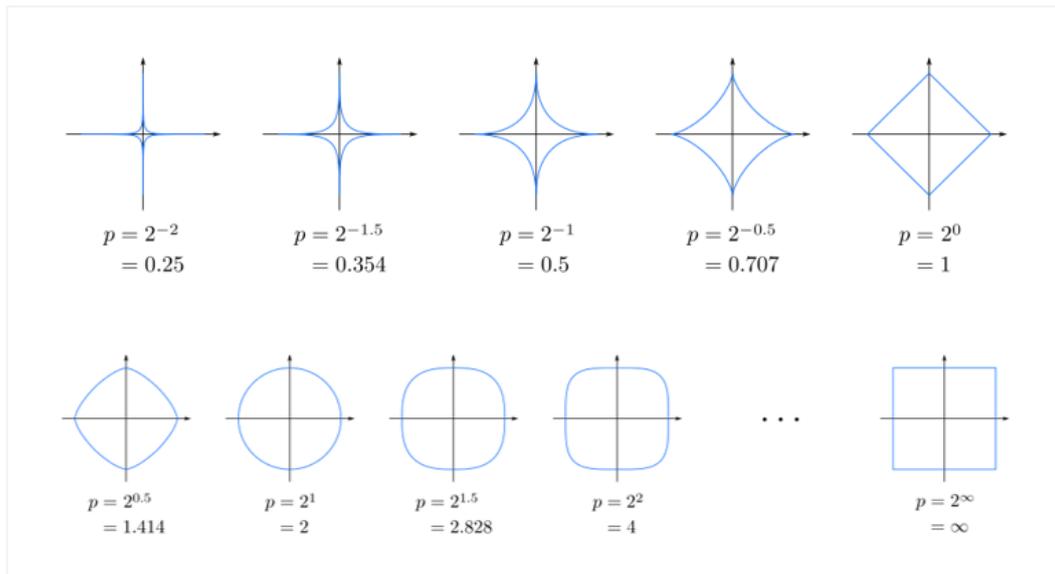
$$\lim_{p \rightarrow \infty} \left( \sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^p \right)^{\frac{1}{p}} = \max_{i=1}^n |x_i - y_i| \quad (2.15)$$

Untuk  $p$  yang mencapai tak terhingga *negatif*, maka dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$\lim_{p \rightarrow -\infty} \left( \sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^p \right)^{\frac{1}{p}} = \min_{i=1}^n |x_i - y_i| \quad (2.16)$$

Jarak *minkowski* dapat dilihat sebagai kelipatan rata-rata daya dari perbedaan komponen antara  $P$  dan  $Q$ .

Gambar berikut menunjukkan lingkaran satuan (himpunan semua titik yang berada pada jarak satuan dari pusat dengan berbagai nilai  $p$ :



Gambar 2.4 Satuan Lingkaran Jarak *Minkowski*

## 2.9 Forensika *Audio*

Menurut (Wicaksono & Prayudi, 2013) Forensika *Audio* adalah penerapan ilmu pengetahuan dan metode ilmiah pada barang bukti digital *audio* untuk mendukung upaya penyidikan dan pengungkapan kasus serta membangun fakta-fakta yang diperlukan dalam proses persidangan. *Audio* forensik merupakan cabang ilmu digital forensik dengan metode ilmiah berupa proses penganalisaan data yang digunakan untuk menyelidiki dan membangun fakta – fakta di persidangan (Deva & Mardianto, 2019).

## 2.10 Bukti Digital

Bukti digital adalah informasi yang disimpan atau dikirim dalam bentuk biner yang dapat diandalkan di Pengadilan. Khusus untuk bukti digital berhubungan dengan mobile seperti smartphone dapat ditemukan di *call history*, *phonebook*, SMS dan MMS, Photo, *Audio*, *Video* dan lain lain. Bukti digital umumnya terkait dengan kejahatan digital seperti kejahatan yang memanfaatkan sosial media sebagai tempat melakukan kejahatan, sehingga Bukti digital digunakan untuk membantu dalam mengadili semua jenis kejahatan digital (Riadi et al., 2018).

## 2.11 Digital Forensik

Digital Forensik adalah aplikasi ilmu pengetahuan dan teknologi komputer untuk kepentingan pembuktian hukum (*pro justice*), yang dalam hal ini adalah membuktikan kejahatan - kejahatan teknologi tinggi atau komputer secara ilmiah untuk bisa mendapatkan

bukti digital yang dapat digunakan terhadap pelanggar. Digital forensik memiliki banyak bidang, salah satunya adalah Mobile Forensik. Digital forensik pada intinya adalah dapat menemukan bukti digital bisa tersimpan pada penyimpanan komputer sementara, penyimpanan permanen, USB, CD, lalu lintas jaringan, dan lainnya (Riadi et al., 2018).

## 2.12 Python

*Python* adalah bahasa pemrograman yang sederhana, namun kuat yang menjembatani kesenjangan antara pemrograman C dan *shell*, dan karenanya cocok untuk pembuatan prototipe cepat. Sintaksnya disatukan dari konstruksi yang dipinjam dari berbagai bahasa lain; yang paling menonjol adalah pengaruh dari ABC, C, Modula-3 dan *Icon*. Penerjemah *Python* mudah dikembangkan dengan fungsi baru dan tipe data yang diimplementasikan dalam C. *Python* juga cocok sebagai bahasa ekstensi untuk aplikasi C yang sangat dapat disesuaikan seperti *editor* atau manajer jendela. *Python* tersedia untuk berbagai sistem operasi, diantaranya beberapa varian UNIX, *Amoeba*, *Apple Macintosh O.S.*, dan MS-DOS. Tutorial ini memperkenalkan pembaca secara informal ke konsep dasar dan fitur dari bahasa dan sistem *Python*. Memiliki *interpreter Python* yang berguna untuk pengalaman langsung, tetapi karena contohnya mandiri, tutorial juga dapat dibaca secara *offline*. Untuk penjelasan tentang objek dan modul *standar*, lihat manual Referensi Perpustakaan *Python*. Manual Referensi *Python* memberikan definisi bahasa yang lebih formal (Menczer et al., 2020).

## 2.13 Uji Wilcoxon

*Wilcoxon Signed Rank Test* adalah uji nonparametris untuk mengukur signifikansi perbedaan antara dua kelompok data berpasangan berskala ordinal atau interval tetapi berdistribusi tidak normal (Wilcoxon Signed-rank test, 2020).

*Wilcoxon Signed Rank Test* setara dengan uji-t dependen. Karena uji *Wilcoxon Signed Rank Test* tidak mengasumsikan normalitas dalam data, uji tersebut dapat digunakan jika asumsi ini telah dilanggar dan penggunaan uji-t dependen tidak tepat. Uji ini digunakan untuk membandingkan dua set skor yang berasal dari peserta yang sama. Dapat terjadi ketika kita ingin menyelidiki setiap perubahan skor dari satu titik waktu ke waktu lainnya, atau ketika individu mengalami lebih dari satu kondisi Misalnya, Anda dapat menggunakan tes peringkat bertanda Wilcoxon untuk memahami apakah ada perbedaan dalam konsumsi rokok harian perokok sebelum dan setelah program hipnoterapi 6 minggu (variabel dependen adalah "konsumsi rokok harian", dan dua kelompok terkait adalah nilai konsumsi rokok

"sebelum" dan "setelah" program hipnoterapi). Anda juga dapat menggunakan uji peringkat bertanda *Wilcoxon* untuk memahami apakah ada perbedaan waktu reaksi dalam dua kondisi pencahayaan yang berbeda (variabel dependen "waktu reaksi", diukur dalam milidetik, dan dua grup terkait adalah reaksi waktu di ruangan yang menggunakan "cahaya biru" versus "lampu merah") (Krishnamoorthy, 2020).



## BAB 3

### Metodologi Penelitian

Bab ini menjelaskan bagaimana cara penelitian dilakukan sehingga dapat diketahui rincian tentang urutan langkah-langkah yang dibuat secara sistematis dan dapat dijadikan pedoman yang jelas dalam menyelesaikan permasalahan, membuat analisis terhadap hasil penelitian, serta kesulitan-kesulitan yang dihadapi. Adapun tahapan-tahapan pada penelitian ini seperti terlihat pada gambar 3.1:



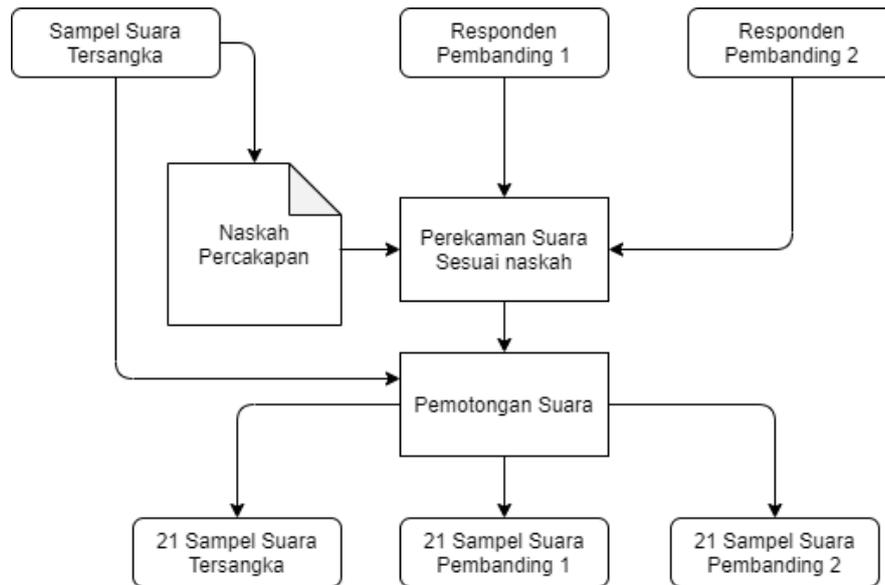
Gambar 3.1 Alur Metode Penelitian

Metode penelitian ini berdasarkan *review* dari penelitian sebelumnya dengan tujuan untuk mengembangkan pemikiran penelitian yang sudah ada, dimana dilakukan analisis untuk mengetahui tahapan-tahapan apa saja yang diterapkan dalam penggunaan metode yang sesuai dalam proses penanganan barang bukti *audio forensic*. bisa ditarik kesimpulan berkaitan dengan hasil kombinasi metode untuk menunjang proses penanganan barang bukti rekaman suara.

#### 3.1 Pengumpulan Data

Tahapan pengumpulan data digunakan untuk memahami teknik pengambilan data rekaman suara dan prosedur-prosedur yang digunakan, sesuai dengan *Standard Operating Procedure* (SOP) tentang analisis *audio forensic* dari *Digital Forensic Analysis Team* (DFAT), sehingga barang bukti yang diperoleh harus bisa menjamin *Chain of Custody* (CoC). Sampel rekaman suara tersangka didapatkan dari hasil penyadapan yang disimpan dalam media penyimpanan dan diakusisi, sampel suara tersangka (*suspect*) diambil sebanyak 21 kata yang akan dijadikan sebagai naskah untuk perekaman suara pembandingan.

Berikut ini adalah alur dalam pengambilan sampel rekaman suara tersangka (*suspect*) dan sampel suara pembandingan seperti terlihat pada Gambar 3.2.

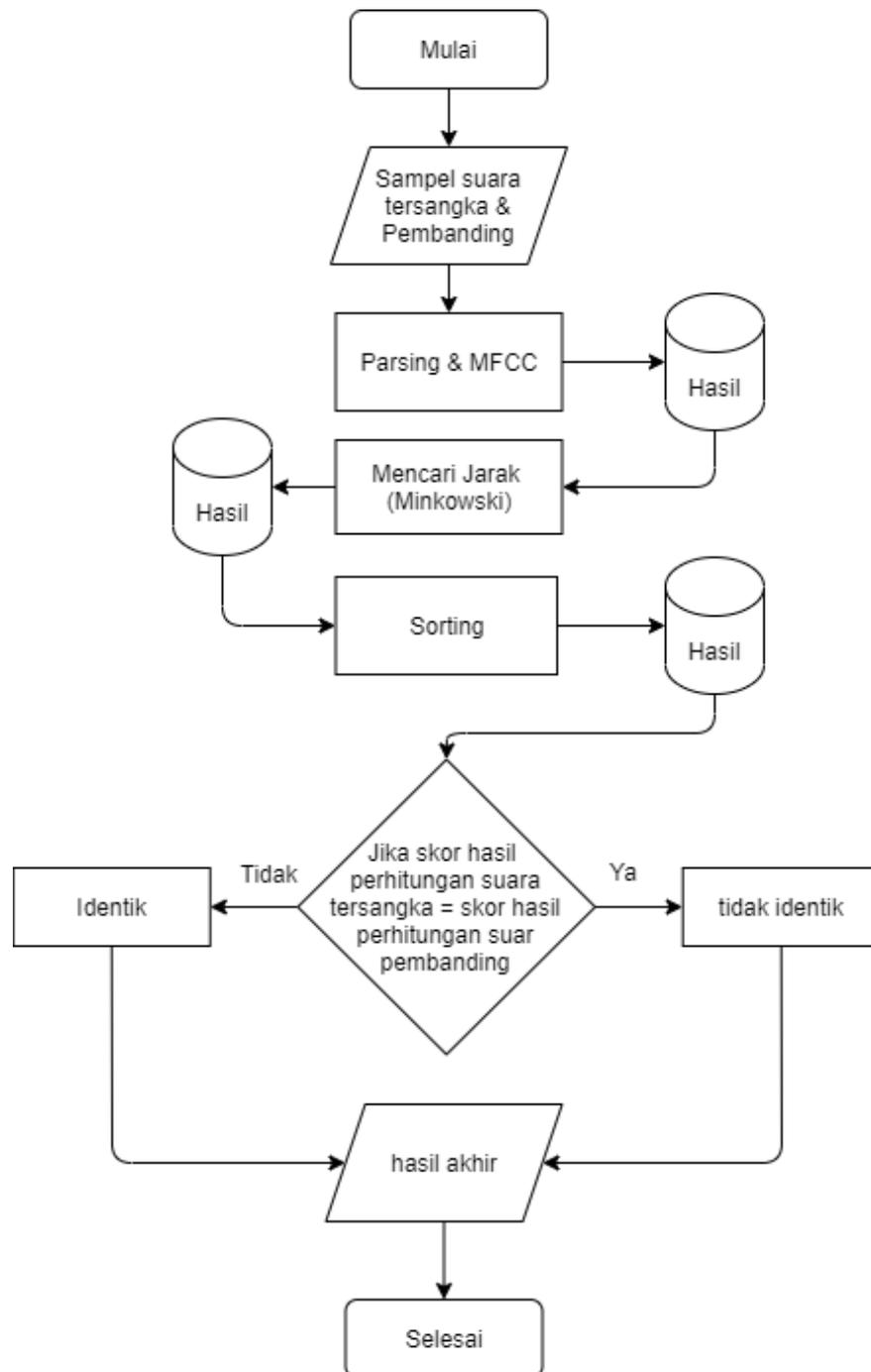


Gambar 3.2 Alur Pengambilan Sampel Data

Keterangan gambar 3.2 yaitu dalam mendapatkan sampel rekaman tersangka suara pembanding dimana dua responden melakukan perekaman suara sesuai naskah yang berisi kata-kata yang harus diucapkan yang diambil dari rekaman suara tersangka setelah sampel rekaman suara pembanding didapatkan kemudian sampel suara dipotong menjadi 21 sampel suara sesuai prosedur atau aturan dalam penanganan barang bukti berupa suara dalam pengolahan harus diambil suara perkata yang tidak boleh kurang dari 20 kata.

### 3.2 Pengujian

Pada tahap pengujian sampel rekaman suara yang didapatkan akan diubah dalam nilai *spectrum* dengan menggunakan metode MFCC dan membandingkan rekaman suara tersangka (*suspect*) dengan suara pembanding adapun proses-proses yang dilakukan dalam membandingkan rekaman suara yang diuraikan dalam bentuk *flowchart* seperti terlihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Proses membandingkan sampel rekaman suara

Dari gambar 3.3 proses pertama yang dilakukan yaitu melakukan load atau data inputan berupa sampel rekaman suara tersangka (suspect) dan sampel rekaman suara pembanding, kemudian melakukan parsing yang bertujuan untuk mengubah data *frame rate* sampel rekaman suara berbentuk *array* multi dimensi ke dalam satu dimensi supaya bisa *extraction* menggunakan metode MFCC, proses *extraction* yaitu merubah sampel suara menjadi nilai *spectrum* bertujuan untuk mempermudah dalam membandingkan sampel rekaman suara

tersangka dengan sampel rekaman suara pembanding menggunakan metode *minkowski*, dari hasil perhitungan menghasilkan nilai jarak dimana nilai jarak akan disimpan dan di ambil kembali untuk dilakukan proses *sorting* proses penentuan identik dan tidak identik ditentukan jika skor hasil perhitungan sampel rekaman suara tersangka sama dengan skor hasil perhitungan sampel rekaman suara pembanding.

Untuk lebih memahami secara rinci dalam bentuk *code* yang digunakan dan memuat proses membandingkan sampel rekaman suara pada gambar 3.3 dijelaskan dengan *pseudocode* yang digunakan dalam mengolah sampel rekaman suara tersangka dan sampel rekaman suara pembanding, seperti terlihat pada tabel 3.1.

Table 3.1 *Pseudocode* program

<pre> 1: #Proses Load Data 2: data_latih ← (Suara00 - Suara11) #load sampel rekaman suara tersangka ke variabel data_latih 3: data_uji ← (Suara00 - Suara11) #load sampel rekaman suara pembanding ke variabel data_uji </pre>
<pre> 4: #Deklarasi Variabel 5: X ← data_latih #variabel X menampung sampel rekaman suara tersangka 6: Y ← data_uji #variabel Y menampung sampel rekaman suara pembanding 7: x ← X, Y #variabel x menampung sampel rekaman suara tersangka dan pembanding dalam bentuk array 8: jumlah_suara ← len(X) #menghitung jumlah sampel rekaman suara pelaku </pre>
<pre> 9: #Proses Parsing 10: x ← x.flatten('F')[:x.shape[0]] #proses parsing mengubah data array multidimensi menjadi satu dimensi </pre>
<pre> 11: #Proses MFCC 12: sampel ← np.mean(feature) for feature in librosa.feature.mfcc(x) #mengubah sampel rekaman suara tersangka dan pelaku ke nilai rata-rata spectrum </pre>
<pre> 13: #Simpan Hasil MFCC 14: path ← tersangka    pelaku #menyimpan hasil MFCC ke dalam variabel path jika nilai yang dihasilkan berasal dari sampel rekaman suara tersangka maka akan disimpan ke dalam file data_latih.csv untuk ditampung sementara dan sebaliknya. 15: #menyimpan hasil mfcc sesuai variabel path 16: if(path = tersangka): 17:     Nama_file ← data_latih.csv 18: else: 19:     nama_file ← data_uji.csv 20: savetxt(sampel, nama_file) </pre>
<pre> 21: #Proses Minkowski Distance 22: #proses Load data latih dan data uji 23: X1 : load(data_latih.csv) 24: Y2 : load(data_uji.csv) 25: Metode ← distance.cdists(X1, Y1 'minkowski',p=3) </pre>

```

26: #menyimpan hasil distance (jarak)
27: Savetxt (metode, hasil_minkowski.csv)

28: #Proses Sorting Nilai Terkecil:
29: ff.write(b'Suara Tersangka, Suara Pembanding, Jarak Minkowski,
Keterangan\n')
30: For pe in range(jumlah_suara) as ff:
31: #mengambil nilai indeks yang mengandung nilai terkecil
32: Indeks_minkowski ←
(hasil_minkowski.csv).nsmallest(pe).index.values
33: #mengambil nama sampel rekaman suara tersangka seperti suara00 -
suara11
34: Hasil_a ← loc[int(pe)].X
35: #mengambil nama sampel rekaman suara tersangka berdasarkan index
36: Pelaku ← X(int(indeks))
37: Tersangka ← Y
28: #jika nama suara pelaku sama dengan nama suara pembanding maka
hasilnya identik
29: if (tersangka = pembanding):
30: ket ← "Identik"
31: else:
32: ket ← "Tidak Identik"
33: hasil_akhir ← [pembanding, tersangka, X, Y, ket]
34: #menyimpan hasil sorting ke dalam file csv dengan nama
hasil_sorting
35: Savetxt(ff, hasil_akhir, hasil_sorting.csv)

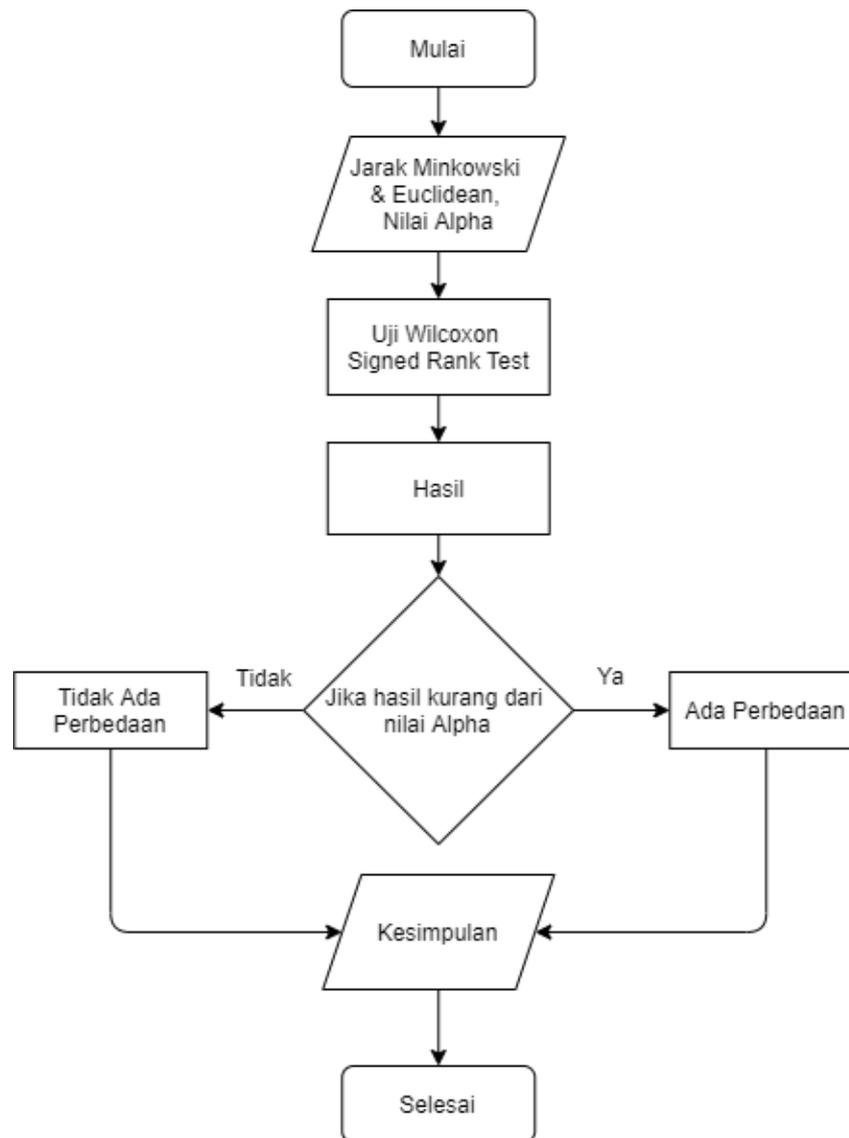
36: #Proses menampilkan Hasil
37: # menampilkan data berjumlah 20 berdasarkan hasil minkowski
terkecil
38: hasilfinal ← readcsv(hasil_sorting.csv).nsmallest(20, Minkowski)

```

### 3.3 Analisis

Tahap analisis yaitu melakukan analisis terhadap hasil yang didapatkan dari pencocokan sampel rekaman suara tersangka dengan sampel rekaman suara pembanding menggunakan metode *minkowski*, yang meliputi kekurangan dan kelebihan metode *minkowski*. Analisis perbedaan metode *minkowski* dengan metode *euclidean* yang dikuatkan dengan nilai signifikansi perbedaan hasil dengan uji *Wilcoxon* pada aplikasi SPSS.

Adapun proses yang dilakukan dalam mencari nilai signifikansi perbedaan hasil metode *minkowski* dengan metode *euclidean* seperti terlihat pada gambar 3.4:



Gambar 3.4 *Flowchart* proses analisis signifikansi perbedaan hasil metode *minkowski* dengan metode *euclidean*

Gambar 3.4 adalah proses dalam mencari nilai signifikansi perbedaan nilai jarak yang didapatkan metode *minkowski* dengan metode *euclidean* dengan menggunakan uji *Wilcoxon Signed Rank Test* membuat deklarasi variabel *minkowski* dan *euclidean* dimana kedua variabel tersebut berisi data hasil jarak yang didapatkan pada proses membandingkan sampel rekaman suara tersangka (*suspect*) dengan suara pembanding, pada penentuan perbedaan hasil metode *minkowski* dan metode *euclidean* taraf signifikan yang digunakan sebesar 0.05 yang sudah ditentukan dalam aplikasi SPSS dimana taraf signifikan menjadi acuan apakah nilai signfikasi kurang dari 0.05 maka terdapat perbedaan hasil yang didapatkan metode *minkowski* dan metode *euclidean* atau sebaliknya.

## **BAB 4**

### **Hasil dan Pembahasan**

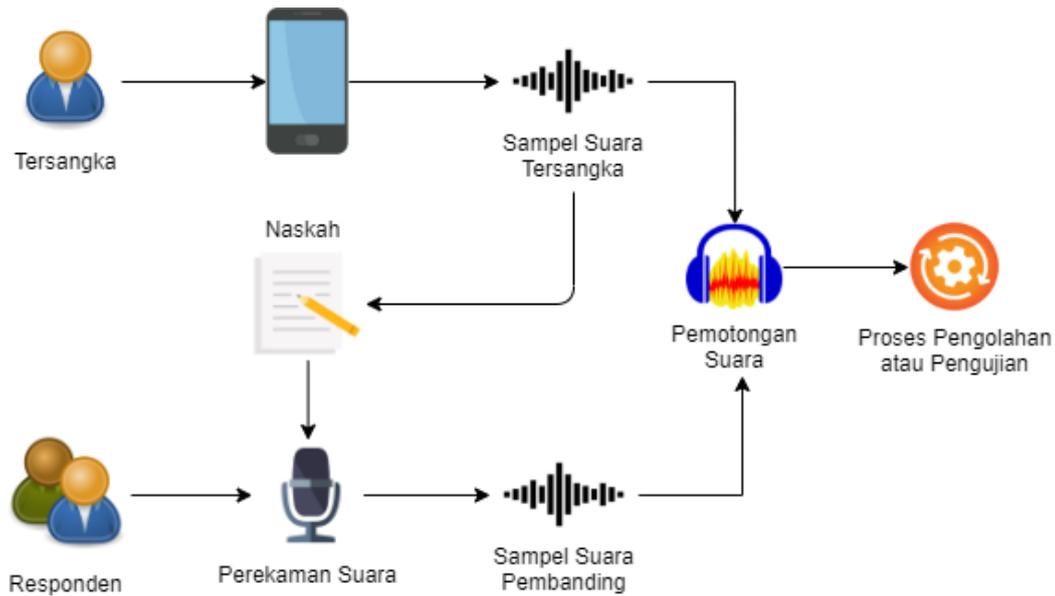
#### **4.1 Analisis Kebutuhan**

*Software* dan *hardware* adalah salah satu hal terpenting dalam proses penelitian ini adapun perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan dalam menunjang uji coba metode *minkowski* dan *euclidean* dalam membandingkan sampel rekaman suara tersangka dengan sampel rekaman suara pembanding antara lain sebagai berikut:

1. *Software*
  - a. *Windows 10 Students 64 Bit*
  - b. *Audacity*
  - c. *Voice Recorder*
  - d. *Python*
  - e. *Jupyter Notebook*
2. *Hardware*
  - a. *Komputer*
    - *Processor Intel Core i3*
    - *RAM 8 GB*
    - *Hardisk 500GB*
  - b. *Smartphone*
    - *Xiomi Redmi Note 8*
    - *RAM 4 GB*
    - *Storage 64 GB*

#### **4.2 Skenario Kasus**

Skenario kasus dibutuhkan secara eksperimen sebagai dasar atau pedoman yang menuntun jalannya proses pengujian karena menggambarkan suatu peristiwa tindak kejahatan yang terjadi mulai dari awal sampai akhir seperti terlihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Ilustrasi Skenario Kasus

Deskripsi Skenario kasus pada pembunuhan Jamal Khassogi tanggal 2 Oktober 2018, dari rekaman CCTV Gedung Konsulat Arab Saudi di Turki terlihat Jamal Khassogi sebagai korban yang masuki gedung disusul dengan dua orang yang mencurigakan yang mengikutinya kedalam gedung dan satu orang berjaga diluar, mereka terlihat berkomunikasi melalui telepon diarea gedung, beberapa saat kemudian dua orang yang mengikuti korban keluar dari gedung dengan diikuti oleh orang yang berjaga diluar, dari pernyataan Presiden Turki bahwa gedung konsulat Konsulat Arab Saudi sudah disadap oleh pihak intelijen Turki baik dari rekaman CCTV dan percakapan yang dilakukan seseorang didalam gedung melalui telepon, maka dari itu barang bukti dari hasil pembunuhan Jamal Khassogi sudah dikantongi pihak inteligent turki yang selanjutnya rekaman suara diserahkan ke Investigator untuk dilakukan proses audio forensik dengan dengan menghadirkan dua tersangka yang terlihat pada rekaman CCTV pada gedung konsulat tersebut untuk melakukan perekaman suara sehingga didapatkan sampel rekaman suara pembanding yang akan dicocokkan dengan sampel rekaman suara tersangka yang didapatkan.

### 4.3 Persiapan Sampel Rekaman Suara

Dalam mempersiapkan sampel rekaman suara tersangka dengan suara pembanding ada beberapa langkah yang dilakukan antara lain:

1. Sampel rekaman suara pembanding dihasilkan dari rekaman suara dua responden yang mengucapkan kata sesuai naskah, dimana isi dari naskah diperoleh dari kata yang diucap pada rekaman suara tersangka yang selanjutnya sampel rekaman suara tersangka dan dua

suara pembanding dipotong menjadi 21 kata dimana kata-kata tersebut seperti terlihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Naskah percakapan

**“Apakah mungkin memasukan mayat ke dalam tas Tidak terlalu sulit, karena sudah biasa mengerjakannya, saya tau cara memotong dengan sangat baik”**

2. Sampel rekaman suara tersangka dan dua rekaman suara pembanding yang sudah dipotong kemudian dilakukan proses pengujian untuk membandingkan yang dilakukan pada tahap selanjutnya.

#### **4.4 Pengujian**

##### **4.4.1 Penerapan Metode *Minkowski* dan *Euclidean***

Proses pengujian adalah proses yang dilakukan untuk mengolah sampel rekaman suara tersangka dengan dua sampel rekaman suara pembanding dimana proses yang pertama kali dilakukan adalah mengubah sampel rekaman suara ke dalam nilai *spectrum* dengan menggunakan metode MFCC dan membandingkan sampel rekaman suara tersangka dengan sampel rekaman suara pelaku yang berupa nilai *spectrum* dengan menggunakan metode *minkowski* dan *euclidean* yang diproses menggunakan bahasa pemrograman *python*, adapun tahapan-tahapan pengujian yaitu:

- 1) *Import* paket yang dibutuhkan untuk pengolahan suara

Paket-paket yang dibutuhkan sudah disediakan oleh *python* namun penggunaan paket sesuai kebutuhan pada tahap pengujian ini paket yang dibutuhkan hanya untuk pengolahan suara seperti terlihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 *Source code import paket*

```
import os
import numpy as np
import pandas as pd
import librosa
import librosa.display
import soundfile as sf
import matplotlib.pyplot as plt
import audio_metadata
from matplotlib.cbook import flatten
from scipy.spatial import distance
from numpy import savetxt
import csv
```

2) *Import* sampel rekaman suara tersangka dan pembanding

Proses *import* sampel rekaman suara yaitu memasukan 21 sampel suara rekaman yang terdapat dikomputer adapun *source code* yang digunakan seperti terlihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 *Source code import sampel rekaman suara*

```
1: folder_suara = "data/suara_percakapan/"
2: folder_temporary = "data/temp/"
3: tersangkake = "pembanding1/"
4: x_file_names = os.listdir(folder_suara + "tersangka/")
5: file_suara_pelaku = x_file_names
6: y_file_names = os.listdir(folder_suara + "pembandingke")
7: file_suara_tersangka = y_file_names
8: jumlah_suara = len(x_file_names)
```

3) Proses *extraction* sampel rekaman suara

Proses *extraction* adalah proses untuk mengkonversi sampel rekaman suara tersangka (*suspect*) dengan suara pembanding kedalam nilai *spectrum* dengan menggunakan metode MFCC, adapun *source code* yang digunakan seperti terlihat pada tabel 4.4:

1) Proses *extraction* sampel rekaman suara tersangka

Tabel 4.4 *Source code feature extraction*

```
14: def mean_mfccs(x):
15: return [np.mean(feature) for feature in
librosa.feature.mfcc(x)]
```

```

16: def parse_audio(x):
17:     return x.flatten('F')[:x.shape[0]]
18: def get_data_latih_uji(path, savepath):
19:     data_path = folder_suara + path
20:     data_file_names = os.listdir(data_path)
21:     data_file_names.sort(key=lambda x:
str(x.partition('.')[0])) # membuat fungsi x dengan lambda
22:     samples = []
23:     for file_name in data_file_names:
24:         x, sr = sf.read(data_path + file_name, always_2d=True)
25:         x = parse_audio(x)
26:         samples.append(mean_mfccs(x))
27:     savetxt(folder_temporary + savepath, samples, comments=' ',
delimiter=',',
fmt='%.4f', header='N0,N1,N2,N3,N4,N5,N6,N7,N8,N9,N10,N11,N12,N13,
N14,N15,N16,N17,N18,N19')
28:     return np.array(samples)

```

Adapun hasil konversi sampel rekaman suara tersangka yang berupa nilai *spectrum* seperti terlihat pada pada tabel 4.5:

Tabel 4.5 Nilai *spectrum* sampel rekaman suara tersangka

Suara	N0	N1	N2	N3	N4	...	N15	N16	N17	N18	N19
0	-439.70	213.48	48.52	-1.88	27.30	...	8.79	-2.05	-14.65	0.75	6.69
1	-411.11	222.55	39.82	-8.31	23.71	...	22.34	9.29	-13.32	-4.84	5.76
2	-387.98	214.72	26.92	-11.86	29.46	...	19.29	3.56	-13.40	-0.44	11.37
3	-392.68	244.39	44.78	-7.02	31.43	...	20.61	-0.15	-24.03	-1.41	19.84
4	-419.38	214.39	47.52	2.58	30.22	...	11.74	2.06	-15.22	-5.35	6.76
5	-406.27	206.10	60.48	10.69	22.31	...	10.19	9.38	-0.08	2.75	6.46
6	-414.33	223.29	49.91	5.03	33.21	...	14.11	-1.07	-15.85	0.50	13.37
7	-425.44	200.58	43.83	0.16	26.79	...	14.70	16.06	-4.32	-6.04	3.40
8	-434.18	213.09	51.21	3.68	30.72	...	13.50	3.66	-10.94	-0.45	7.29
9	-333.59	195.75	-14.79	18.19	14.34	...	-16.27	-1.09	6.28	-4.67	-3.20
10	-372.58	213.40	14.40	21.73	20.21	...	-8.76	-12.99	3.56	-2.55	-10.87
11	-286.91	222.13	-34.68	16.90	14.85	...	-11.76	-0.21	9.07	-7.07	-5.81
12	-363.06	171.48	-11.46	14.52	29.85	...	-3.75	1.97	4.30	-5.80	-5.99
13	-257.74	242.49	-47.44	19.22	3.82	...	-24.55	5.52	16.36	-9.87	-2.62
14	-253.03	209.45	-58.82	25.85	12.18	...	-23.22	6.66	14.70	-16.52	-7.45
15	-339.79	202.01	6.68	16.35	16.54	...	-8.07	5.08	5.30	-10.13	-5.44
16	-268.90	209.63	-30.14	-4.83	22.83	...	-12.68	-6.64	-2.00	-17.34	-14.68

Suara	N0	N1	N2	N3	N4	...	N15	N16	N17	N18	N19
17	-347.95	186.92	16.30	28.05	23.18	...	-10.65	0.89	9.84	-8.56	-9.26
18	-287.96	192.92	-57.23	51.00	11.48	...	-9.05	17.49	0.13	-13.38	6.09
19	-300.76	220.35	-11.44	9.74	22.94	...	-19.21	-3.21	9.92	-8.98	-9.11

Isi dari tabel 4.5 adalah nilai *spectrum* dari sampel rekaman suara tersangka dihasilkan dari hasil konversi menggunakan metode MFCC, dimana angka 0 sampai angka 19 adalah total maksimum nilai yang dapat dikonversi.

## 2) Proses *extraction* sampel suara pembanding

Proses *extraction* sampel rekaman suara pembanding menggunakan *source code* yang sama yang digunakan pada proses *extraction* sampel rekaman suara pelaku, yang membedakan dari *source code* untuk *extraction* sampel suara pembanding pada parameter pada fungsi harus berisi *variabel* pembanding, hasil *extraction* yang didapatkan dari sampel suara pembanding seperti terlihat pada tabel 4.6 dan tabel 4.7:

Tabel 4.6 Nilai *spectrum* sampel rekaman suara pembanding pertama

Suara	N0	N1	N2	N3	N4	...	N15	N16	N17	N18	N19
0	-437.12	188.37	68.28	19.89	24.74	...	14.67	5.88	-7.48	-6.41	-7.09
1	-421.57	169.98	66.03	18.66	19.12	...	14.90	15.29	-0.52	-8.66	-7.42
2	-423.73	185.45	37.34	1.76	30.86	...	18.83	10.88	-8.29	-6.68	-0.16
3	-396.98	186.56	64.96	22.38	31.91	...	17.10	9.28	-12.00	-10.32	-1.75
4	-441.89	167.89	66.50	24.57	24.52	...	21.17	8.74	-10.23	-6.21	2.25
5	-443.04	173.40	58.56	23.43	34.70	...	16.16	9.73	-7.01	-7.15	-1.96
6	-433.77	180.05	68.70	28.78	31.58	...	17.24	7.42	-10.23	-6.70	0.84
7	-446.90	139.99	44.54	24.13	38.39	...	22.95	7.02	-11.82	-3.00	5.02
8	-426.95	168.19	65.26	25.62	25.96	...	19.94	12.92	-4.07	-6.30	-7.23
9	-425.00	153.74	50.45	23.02	34.90	...	20.39	9.02	-8.32	-3.97	0.50
10	-460.57	162.92	69.05	30.86	31.03	...	16.01	2.66	-16.69	-14.47	-6.91
11	-426.57	172.95	65.57	31.12	36.78	...	18.62	10.66	-6.28	-5.02	-0.30
12	-475.09	158.98	55.94	21.58	28.35	...	16.35	6.15	-8.95	-4.94	2.12
13	-432.34	183.55	50.16	9.11	28.59	...	12.85	8.14	-9.90	-10.96	-4.14
14	-370.55	162.47	46.75	10.70	26.37	...	13.41	10.16	-7.04	-9.66	-4.09
15	-427.48	144.35	37.07	6.90	22.63	...	18.28	9.81	-8.86	-7.55	0.27
16	-467.97	160.50	35.06	3.36	26.30	...	21.57	17.85	-4.13	-7.74	0.28
17	-465.69	168.81	58.25	18.64	29.89	...	19.36	4.94	-17.18	-12.86	1.37
18	-373.20	183.22	36.17	-8.16	19.89	...	8.77	1.52	-12.60	-7.89	0.80

Suara	N0	N1	N2	N3	N4	...	N15	N16	N17	N18	N19
19	-464.02	161.37	64.97	28.49	32.54	...	16.80	10.42	-7.99	-7.56	1.06

Tabel 4.7 Nilai *spectrum* sampel rekaman suara pembanding kedua

Suara	N0	N1	N2	N3	N4	...	N15	N16	N17	N18	N19
0	-452.42	205.05	46.78	0.19	22.33	...	7.83	-2.43	-12.74	0.05	5.80
1	-414.80	221.43	39.45	-6.94	21.97	...	22.50	8.56	-12.70	-5.19	5.94
2	-391.26	212.43	27.58	-11.01	28.93	...	19.01	3.51	-13.04	-0.52	11.18
3	-398.13	243.51	43.06	-5.70	29.93	...	20.83	-0.68	-23.09	-1.87	19.87
4	-425.12	209.77	46.35	3.59	28.50	...	12.01	1.89	-14.24	-5.52	6.77
5	-412.27	200.47	59.07	10.55	21.60	...	9.91	9.13	0.00	2.73	6.32
6	-419.20	221.04	49.09	6.30	31.44	...	14.30	-1.54	-15.14	0.03	13.49
7	-428.88	197.74	42.46	0.77	26.36	...	15.10	15.23	-4.23	-5.54	4.08
8	-437.16	212.94	49.72	5.51	29.05	...	14.11	3.14	-10.27	-0.81	7.61
9	-470.38	210.44	39.15	-5.30	35.00	...	9.57	2.96	-7.60	2.98	7.64
10	-426.87	188.43	49.01	7.02	26.48	...	5.06	4.30	-6.65	-3.31	2.37
11	-430.48	201.88	48.41	7.22	29.97	...	13.54	9.00	-5.42	-1.43	7.74
12	-459.01	197.10	38.98	-7.39	20.16	...	7.36	8.99	-1.23	-1.10	2.85
13	-389.33	212.02	29.85	-5.67	31.22	...	16.80	4.03	-11.67	0.13	7.24
14	-401.72	228.13	26.32	-15.92	28.71	...	17.94	1.95	-17.28	-2.88	11.64
15	-403.21	161.43	40.25	4.15	19.50	...	8.45	4.53	-2.92	0.47	1.94
16	-462.15	204.98	24.57	-19.21	17.32	...	14.38	9.35	-0.49	3.35	1.49
17	-438.22	202.27	52.97	15.09	33.53	...	16.03	0.29	-14.19	2.42	11.95
18	-382.19	191.21	1.74	-24.64	27.22	...	12.27	-5.09	-10.04	12.28	15.26
19	-452.47	218.62	46.86	2.64	34.18	...	11.30	6.75	-9.81	-2.23	7.99

Isi dari tabel 4.6 dan tabel 4.7 adalah nilai *spectrum* dari sampel rekaman suara pembanding pertama dan kedua dihasilkan dari hasil konversi menggunakan metode MFCC, dimana angka 0 sampai angka 19 adalah total maksimum nilai yang dapat dikonversi.

### 3) Penerapan metode *minkowski*

Penerapan metode *minkowski* dalam membandingkan sampel rekaman suara tersangka dengan sampel suara pembanding membutuhkan paket yang sudah tersedia pada *python* agar mempercepat proses perhitungan, untuk langkah-langkah secara manual dari metode *minkowski* terdapat pada landasan teori. adapun *source code* yang digunakan

dalam membandingkan sampel rekaman suara tersangka dengan sampel suara pembanding seperti terlihat pada tabel 4.8:

Tabel 4.8 *Source code* penerapan metode *minkowski*

```

29: def proses_minkowski_euclidean(method,power,results):
30:     # distance.cdlist(x,y,'minkowski',p=3.)
31:     metode =
distance.cdlist(get_data_latih_uji(tersangka/','data_latih.csv'),
32: get_data_latih_uji(pembandingke,'data_uji.csv'), method,
p=power)
33:     hasil_metode = np.array(metode)
34:     np.savetxt(folder_temporary + results, hasil_metode,
fmt='%%.4f',
35: delimiter=',', header="S0,S1,S2,S3,S4,S5,S6,S7,S8,S9,S10",
comments="")
36: df_hasil_metode = pd.read_csv(folder_temporary + results)
37: df_hasil_metode.columns.names = ['Suara']
38: return df_hasil_metode.head(20)
39: post_data_latih_uji('data_uji.csv')

```

Adapun hasil dari *source code* pada tabel 4.8 adalah nilai jarak yang didapatkan pada proses membandingkan sampel rekaman suara dengan sampel rekaman pembanding menggunakan metode *minkowski*, adapun hasil berupa nilai jarak seperti terlihat pada tabel 4.9 dan tabel 4.10.

Tabel 4.9 Nilai jarak metode *minkowski* dari suara pembanding pertama

Suara	S0	S1	S2	S3	S4	...	S16	S17	S18	S19	S20
0	14.32	36.74	51.16	48.20	18.56	...	41.95	32.47	68.38	31.19	36.00
1	47.67	4.10	24.53	30.18	27.66	...	52.81	37.16	52.34	42.91	39.91
2	66.08	29.42	3.67	31.83	40.09	...	75.05	55.66	33.66	65.83	50.47
3	66.18	34.31	34.61	5.73	43.54	...	76.54	58.19	62.53	63.07	65.92
4	34.37	25.38	32.62	34.18	6.74	...	50.54	31.21	57.24	37.09	33.74
5	53.35	29.72	39.47	46.84	33.91	...	63.31	36.24	67.88	48.29	32.91
6	44.41	24.84	31.68	26.13	20.78	...	55.37	35.23	59.90	41.61	41.49
7	32.01	26.78	37.92	49.75	20.50	...	42.21	25.66	58.12	30.76	21.72
8	25.80	24.95	45.78	43.62	14.16	...	40.11	23.18	67.24	23.64	29.46
9	127.66	99.37	78.74	94.19	105.29	...	135.88	119.33	75.66	129.44	111.53
10	94.23	82.71	73.46	79.54	79.53	...	109.70	92.06	81.20	101.28	86.75

Suara	S0	S1	S2	S3	S4	...	S16	S17	S18	S19	S20
11	173.33	139.78	116.11	128.01	149.19	...	180.29	162.94	106.60	174.04	156.29
12	103.61	91.49	74.96	97.07	89.22	...	114.17	99.81	70.57	109.61	93.12
13	204.65	171.04	147.71	158.34	180.42	...	211.55	194.67	138.77	205.31	188.46
14	210.53	176.95	153.20	165.26	186.53	...	216.35	200.35	141.13	211.09	193.09
15	117.86	88.52	69.00	81.10	93.98	...	128.93	108.40	71.32	120.23	101.28
16	189.51	156.15	131.95	143.26	165.01	...	198.08	178.86	121.99	190.87	172.35
17	111.45	88.48	72.82	87.14	89.56	...	124.72	102.46	78.21	114.91	96.16
18	181.23	150.73	129.66	142.39	158.87	...	186.58	171.97	121.05	181.86	164.50
19	157.16	124.77	101.92	112.39	132.60	...	166.63	146.85	96.71	158.63	140.56

Tabel 4.10 Nilai jarak metode *minkowski* dari suara pembanding kedua

Suara	S0	S1	S2	S3	S4	...	S16	S17	S18	S19	S20
0	38.49	53.88	34.85	53.85	52.45	...	58.33	53.74	69.34	60.17	64.85
1	56.52	63.74	45.31	60.62	67.87	...	76.23	76.94	55.95	79.93	77.47
2	65.86	65.94	45.71	58.27	74.45	...	88.45	88.85	39.61	91.11	79.43
3	71.89	84.18	65.71	69.06	87.94	...	102.24	98.29	65.18	102.22	100.18
4	42.79	56.62	37.06	48.98	56.17	...	66.74	64.81	53.07	67.81	67.52
5	47.47	50.18	42.46	52.51	55.68	...	72.00	73.10	50.35	70.77	63.69
6	54.05	67.41	49.57	60.33	67.02	...	77.02	76.58	58.33	78.33	78.65
7	37.49	42.40	23.06	46.14	44.45	...	52.73	52.73	55.04	55.48	53.36
8	40.97	54.25	37.08	55.13	53.19	...	59.13	58.79	65.84	61.29	65.40
9	121.62	111.20	101.26	97.66	126.03	...	140.47	143.58	67.69	142.67	122.97
10	84.02	82.34	74.09	69.57	92.50	...	109.83	109.71	60.87	106.96	94.12
11	166.21	154.72	145.90	135.59	171.34	...	187.97	189.93	104.62	190.10	169.99
12	99.53	91.49	77.25	83.89	102.16	...	112.10	116.02	57.92	115.94	97.73
13	197.49	186.69	178.45	166.16	203.68	...	220.56	222.51	136.67	222.46	202.83
14	203.74	191.28	182.90	172.20	208.06	...	223.26	226.56	140.81	226.42	205.32
15	107.28	97.03	90.96	79.14	113.06	...	132.98	133.80	53.92	131.87	111.88
16	179.77	166.77	160.95	145.79	184.63	...	203.86	204.50	115.01	204.38	182.57
17	98.27	87.38	84.82	71.15	103.83	...	124.91	125.15	55.48	122.03	101.43
18	176.84	166.41	155.27	150.19	180.25	...	191.67	197.08	122.27	196.65	176.89
19	147.24	135.92	129.82	114.98	153.49	...	173.22	173.61	86.72	172.70	152.71

#### 4) Penerapan metode *euclidean*

Penerapan metode *euclidean* dalam membandingkan sampel rekaman suara tersangka dengan sampel suara pembanding membutuhkan paket yang sudah tersedia pada *python* agar mempercepat proses perhitungan, untuk langkah-langkah secara manual dari

metode *euclidean* terdapat pada landasan teori. adapun *source code* yang digunakan dalam membandingkan sampel rekaman suara tersangka dengan sampel suara pembandingan seperti terlihat pada tabel 4.11:

Tabel 4.11 *Source code* penerapan metode *euclidean*

```

40: def proses_minkowski_euclidean(method,power,results):
41: # distance.cd_dist(x,y,euclidean)
42: metode =
distance.cd_dist(get_data_latih_uji('pelaku/','data_latih.csv'),
43: get_data_latih_uji(pembandingan,'data_uji.csv'), method,
p=power)
44: hasil_metode = np.array(metode)
45: np.savetxt(folder_temporary + results, hasil_metode,
fmt='%.4f',
46: delimiter=',',
header="S0,S1,S2,S3,S4,S5,S6,S7,S8,S9,S10,S11,S12,S13,S14,S15,S16,S1
7,S18,S19,S20", comments="")
47: df_hasil_metode = pd.read_csv(folder_temporary + results)
48: df_hasil_metode.columns.names = ['Suara']
49: return df_hasil_metode.head(20)
50: proses_minkowski_euclidean('minkowski',3,'hasil_minkowski.csv')
51: proses_minkowski_euclidean('euclidean',2,'hasil_euclidean.csv')

```

Adapun hasil dari *source code* pada tabel 4.11 adalah nilai jarak yang didapatkan pada proses membandingkan sampel rekaman suara dengan sampel rekaman pembandingan menggunakan metode *euclidean*, adapun hasil berupa nilai jarak seperti terlihat pada tabel 4.12 dan tabel 4.13.

Tabel 4.12 Nilai jarak metode *euclidean* dari suara pembandingan pertama

Suara	S0	S1	S2	S3	S4	...	S16	S17	S18	S19	S20
0	17.75	51.31	61.10	61.33	25.59	...	60.96	44.41	83.94	41.40	47.98
1	63.48	5.33	34.42	43.81	40.99	...	61.06	52.28	73.67	50.68	47.01
2	75.60	38.15	4.34	40.42	48.48	...	82.73	69.12	45.45	74.01	62.50
3	80.51	49.04	42.46	7.09	54.60	...	96.96	75.01	76.52	76.44	80.70
4	40.83	36.79	41.23	43.79	8.22	...	68.94	45.25	73.44	47.15	44.01
5	68.96	42.44	53.21	64.82	47.17	...	76.93	48.47	88.41	58.87	44.15
6	59.41	35.89	42.70	36.72	30.83	...	74.62	50.00	79.15	53.17	52.65
7	42.01	38.30	49.21	65.49	29.78	...	56.17	38.34	77.14	39.31	31.48

Suara	S0	S1	S2	S3	S4	...	S16	S17	S18	S19	S20
8	37.10	35.91	52.35	55.33	20.13	...	56.08	34.19	85.30	33.41	35.57
9	154.30	134.38	111.84	135.58	135.81	...	163.22	150.70	109.27	160.18	140.28
10	124.72	114.77	101.46	116.84	112.06	...	141.68	125.09	113.57	134.10	120.04
11	198.90	170.07	146.73	164.15	177.77	...	204.72	192.62	141.73	201.07	185.36
12	136.15	130.48	107.99	136.75	124.13	...	149.82	135.70	102.78	146.22	126.40
13	238.78	209.59	187.26	200.23	217.40	...	244.62	234.29	182.80	240.75	226.96
14	242.01	213.73	189.72	208.06	220.46	...	246.66	235.61	180.44	244.58	226.61
15	139.50	117.30	96.75	117.46	119.20	...	151.25	134.98	102.26	145.62	125.21
16	214.74	188.76	162.22	181.75	194.37	...	224.01	210.54	154.52	219.69	202.96
17	138.06	123.77	105.11	128.03	120.90	...	153.83	132.36	112.04	145.32	124.47
18	216.68	192.19	169.38	187.36	195.19	...	223.25	210.60	160.83	221.47	200.20
19	181.23	155.38	132.22	149.58	160.51	...	191.32	176.55	131.86	184.61	170.16

Tabel 4.13 Nilai jarak metode *euclidean* dari suara pembanding kedua

Suara	S0	S1	S2	S3	S4	...	S16	S17	S18	S19	S20
0	56.26	76.34	49.21	76.00	69.39	...	78.08	74.18	73.46	80.25	80.15
1	80.79	86.49	60.44	86.45	90.97	...	90.99	92.56	102.46	76.09	106.27
2	90.16	94.60	62.97	83.62	100.43	...	90.65	104.88	113.48	54.40	118.16
3	98.47	113.32	85.30	94.37	113.70	...	117.71	125.67	126.07	80.25	131.64
4	62.94	78.42	50.91	72.66	76.75	...	79.81	84.13	86.54	67.84	90.67
5	67.15	70.73	63.23	74.46	77.84	...	84.13	92.04	97.91	72.98	93.79
6	78.97	94.22	70.30	88.52	91.83	...	96.30	99.67	103.01	80.65	105.94
7	53.60	59.68	33.05	66.13	62.61	...	62.91	63.77	73.11	66.80	75.30
8	59.41	76.33	53.06	80.17	71.54	...	79.57	74.96	79.74	81.55	82.27
9	147.49	141.00	129.75	128.01	156.18	...	139.34	166.57	173.85	94.15	171.95
10	113.06	115.28	106.81	101.53	126.35	...	124.59	143.08	144.78	88.64	140.52
11	193.83	187.50	174.73	168.58	203.84	...	188.45	216.42	222.31	134.38	222.50
12	124.35	117.34	105.80	108.28	129.27	...	109.35	137.42	141.75	80.67	141.58
13	234.91	229.36	217.38	209.44	246.37	...	232.23	258.74	264.97	176.20	264.61
14	236.02	227.84	216.43	208.94	244.52	...	225.61	255.57	263.41	174.65	262.45
15	128.93	125.18	115.09	107.51	140.03	...	128.60	155.40	161.88	79.02	158.01
16	206.30	198.61	186.51	177.74	215.92	...	198.54	229.98	232.53	140.99	234.60
17	119.77	113.27	110.12	98.64	128.79	...	119.41	147.56	150.36	79.91	144.59
18	211.89	206.28	193.22	187.52	218.05	...	198.75	227.32	237.81	157.86	234.63
19	173.31	167.54	156.10	146.67	185.25	...	172.80	199.79	204.66	115.71	202.76

## 5) Proses *sorting*

Proses *sorting* adalah proses untuk mengurutkan nilai jarak dari yang terkecil hingga nilai jarak yang terbesar, pada proses *sorting* terdapat fungsi yang membandingkan antara jarak yang didapatkan sampel suara tersangka dengan jarak yang didapatkan oleh sampel suara pembanding dimana jika kedua sampel tersebut memiliki nilai jarak yang sama maka dapat dikatakan identik atau sebaliknya, source code yang digunakan seperti terlihat pada tabel 4.14:

Tabel 4.14 *Source code* proses *sorting*

```
52: with open(folder_temporary + 'hasil_sorting.csv','wb') as ff:
53: ff.write(b'Suara Tersangka,Suara Pelaku,Jarak Minkowski,Jarak
Euclidean, Keterangan\n')
54: for pe in range(jumlah_suara):
55: exec(f'Suaraa =
proses_minkowski_euclidean("minkowski",3,"hasil_minkowski.csv").n
smallest(1,["S{pe}"]).index.values')
56: exec(f'Suarab =
proses_minkowski_euclidean("euclidean",2,"hasil_euclidean.csv").n
smallest(1,["S{pe}"]).index.values')
57: getIndexa = str(Suaraa).lstrip("(").rstrip(")")
58: getIndexb = str(Suarab).lstrip("(").rstrip(")")
59: exec(f'Hasil_finala =
proses_minkowski_euclidean("minkowski",3,"hasil_minkowski.csv").l
oc[int(getIndexa),"S{pe}"]')
60: exec(f'Hasil_finalb =
proses_minkowski_euclidean("euclidean",2,"hasil_euclidean.csv").l
oc[int(getIndexb),"S{pe}"]')
60: exec(f'tersangkay = file_suara_tersangka[int(getIndexa)]')
61: exec(f'pembandingx = file_suara_pembanding[{pe}]')
62: if(tersangkay == pembandingx):
63:     ket = "Identik"
64: else:
65:     ket = "Tidak Identik"
66: hasil_pengurutan = [[pembandingx, tersangkay,
Hasil_finala,Hasil_finalb, ket]]
67: np.savetxt(ff, hasil_pengurutan, delimiter=",", fmt='%s')
68: def hasil_akhir(nama_method):
69: df_hasil_akhir = pd.read_csv(folder_temporary
+'hasil_sorting.csv')
```

```

70: df_hasil_akhir.columns.names = ['No']
71:     return df_hasil_akhir.nsmallest(20, [nama_method])
72: hasil_akhir("Jarak Minkowski")

```

Hasil yang didapatkan dari *source code* yang terdapat pada tabel 4.14 seperti terlihat pada tabel 4.16 dan tabel 4.17 dimana kedua tabel tersebut berada pada tahap analisis.

#### 4.4.2 Signifikansi perbedaan hasil metode *minkowski* dengan *euclidean*

Dalam menentukan signifikansi perbedaan hasil dari metode *minkowski* dan *euclidean* digunakan aplikasi SPSS dengan uji *Wilcoxon Signed Rank*.

Data yang digunakan adalah hasil *sorting* nilai jarak yang dihasilkan metode *minkowski* dan *euclidean* untuk sampel rekaman pembandingan pertama yang memiliki nilai jarak yang identik sebanyak 9 data, seperti terlihat pada tabel 4.15.

Tabel 4.15 Data nilai jarak sampel rekaman suara pembandingan pertama

No	<i>Minkowski</i>	<i>Euclidean</i>
1	3.6655	4.3427
2	3.8668	5.633
3	4.0951	5.0763
4	4.0964	5.3303
5	5.3161	6.7253
6	5.7338	7.0938
7	6.7398	8.2176
8	7.3641	8.5255
9	14.3218	17.7536

Data yang disiapkan pada tabel 4.15 akan dilakukan pengujian untuk mendapatkan signifikansi perbedaan hasil menggunakan aplikasi SPSS dengan menggunakan uji *wilcoxon Signed Rank* adapun langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Membuat variabel, adapun variabel yang digunakan seperti terlihat pada gambar 4.4.

Name	Type	Width	Decimals	Label
Minkowski	Comma	8	4	Minkowski
Euclidean	Comma	6	4	Euclidean

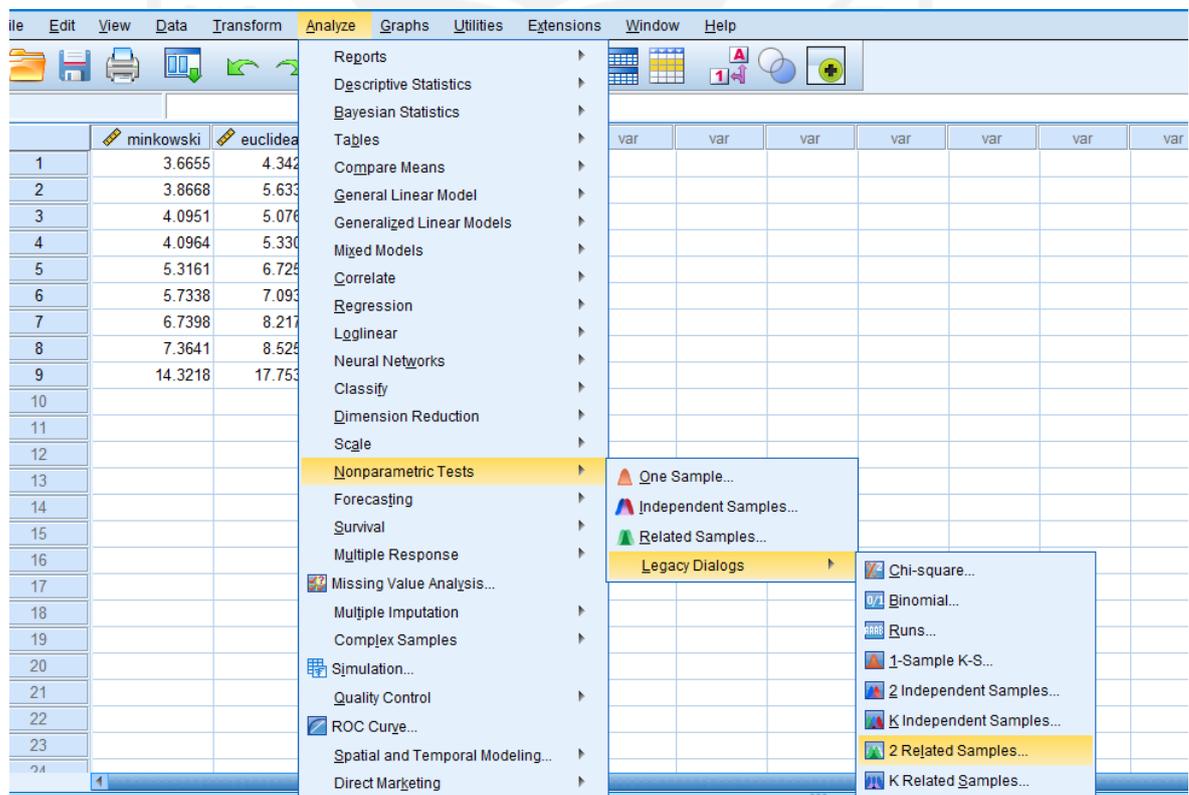
Gambar 4.2 Penentuan variabel untuk uji *wilcoxon Signed Rank*

2. Memasukan 9 data sesuai nilai jarak yang terdapat pada tabel 4.14.

minkowski	euclidean
3.6655	4.3427
3.8668	5.6330
4.0951	5.0763
4.0964	5.3303
5.3161	6.7253
5.7338	7.0938
6.7398	8.2176
7.3641	8.5255
14.3218	17.7536

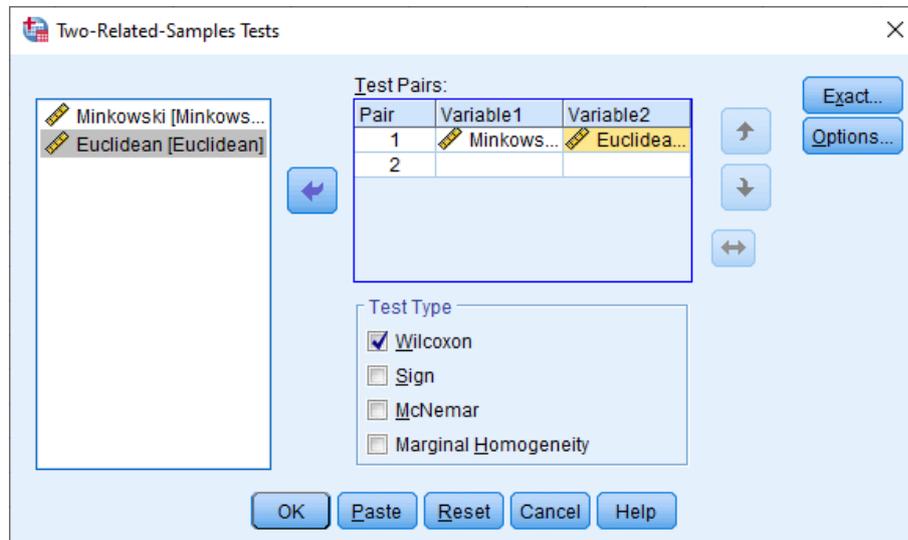
Gambar 4.3 Proses *input* data hasil *sorting*

3. Langkah selanjutnya klik menu *Analyze* pilih *nonparametric test*, pilih *Legacy Dialogs* dan pilih *2 Related samples*. Adapun gambaran dalam langkah ini seperti terlihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Pemilihan metode pengujian

4. Memilih test tipe yang terdapat pada dialog “*Two-related Sampel Test*” dengan masukan variabel *minkowski* dan *euclidean* ke kotak **Test pairs** secara bersamaan, kemudian pada bagian “*test type*” pilih *wilcoxon*.



Gambar 4.5 Penentuan variabel *test pairs*.

5. Urutan hasil yang didapatkan dengan menggunakan uji *wilcoxon signed ranks test* adalah sebagai berikut:
  - a. Hasil *descriptive statistics*

Descriptive Statistics					
	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
minkowski	9	6.133267	3.3408820	3.6655	14.3218
euclidean	9	7.633122	4.0519244	4.3427	17.7536

Gambar 4.6 Hasil *descriptive statistics*

- b. Hasil *Rank*

Ranks				
		N	Mean Rank	Sum of Ranks
euclidean - minkowski	Negative Ranks	0 <sup>a</sup>	.00	.00
	Positive Ranks	9 <sup>b</sup>	5.00	45.00
	Ties	0 <sup>c</sup>		
	Total	9		

a. euclidean < minkowski  
 b. euclidean > minkowski  
 c. euclidean = minkowski

Gambar 4.7 Hasil *rank*

c. Hasil Test *Statistics*

Test Statistics <sup>a</sup>	
	euclidean - minkowski
Z	-2.666 <sup>b</sup>
Asymp. Sig. (2-tailed)	.008

a. Wilcoxon Signed Ranks Test  
b. Based on negative ranks.

Gambar 4.8 Hasil test *statistics*

Penjelasan dari hasil yang didapatkan dari uji *wilcoxon signed rank* akan diuraikan pada tahap analisis.

#### 4.5 Analisis

Tahap analisis adalah tahap penjabaran secara lengkap makna dari hasil yang didapatkan seperti tingkat akurasi dari metode yang digunakan dalam proses membandingkan sampel rekaman suara tersangka dengan kedua sampel rekaman suara pembanding kemudian menganalisis nilai jarak dan nilai signfikasi yang diperoleh dari uji *wilcoxon signed rank*, adapun analisis yang dilakukan sebagai berikut:

##### 4.5.1 Analisis Nilai jarak Kecocokan Sampel Rekaman Suara

**A. Analisis nilai jarak yang didapatkan dari sampel rekaman suara pembanding pertama.**

Tabel 4.16 Hasil *sorting* nilai jarak suara pembanding pertama

No	Suara Pembanding Pertama	Suara Tersangka	Jarak <i>Minkowski</i>	Jarak <i>Euclidean</i>	Keterangan
2	bisa.wav	bisa.wav	3.6655	4.3427	Identik
8	mayat.wav	mayat.wav	3.8668	5.633	Identik
7	ke.wav	ke.wav	4.0951	5.0763	Identik
1	baik.wav	baik.wav	4.0964	5.3303	Identik
6	karena.wav	karena.wav	5.3161	6.7253	Identik
3	cara.wav	cara.wav	5.7338	7.0938	Identik
4	dalam.wav	dalam.wav	6.7398	8.2176	Identik
5	dengan.wav	dengan.wav	7.3641	8.5255	Identik
13	sangat.wav	bisa.wav	12.1044	17.4404	Tidak Identik
11	mengerjakannya.wav	mayat.wav	14.0669	19.3552	Tidak Identik
0	apakah.wav	apakah.wav	14.3218	17.7536	Identik
14	saya.wav	bisa.wav	18.0579	23.0947	Tidak Identik
10	memotong.wav	ke.wav	20.2189	28.6502	Tidak Identik
20	tidak.wav	ke.wav	21.7178	31.4811	Tidak Identik
17	tahu.wav	mayat.wav	23.1792	34.1871	Tidak Identik
19	terlalu.wav	mayat.wav	23.6442	33.4115	Tidak Identik
18	tas.wav	bisa.wav	33.6563	45.4546	Tidak Identik
9	memasukan.wav	apakah.wav	34.5079	41.7005	Tidak Identik
12	mungkin.wav	mayat.wav	36.0172	50.4774	Tidak Identik
16	sulit.wav	mayat.wav	40.1129	56.0828	Tidak Identik

Hasil *sorting* yang terdapat pada tabel 4.16 menampilkan 9 sampel rekaman suara pembanding pertama yang identik dengan sampel suara tersangka pada kata **bisa**, **mayat**, **ke**, **baik**, **karena**, **cara**, **dalam**, **dengan** dan **apakah** dengan jarak terkecil yang didapatkan metode *minkowski* dibandingkan dengan metode *euclidean*.

#### B. Analisis nilai jarak yang didapatkan dari sampel rekaman suara pembanding kedua.

Tabel 4.17 Hasil *sorting* nilai jarak suara pembanding kedua

No	Suara Pembanding Kedua	Suara Tersangka	Jarak Minkowski	Jarak Euclidean	Keterangan
2	biasa.wav	ke.wav	23.0571	33.0456	Tidak Identik
13	sangat.wav	ke.wav	27.317	39.173	Tidak Identik
0	apakah.wav	ke.wav	37.488	53.5971	Tidak Identik
5	dengan.wav	ke.wav	38.0575	54.7378	Tidak Identik
18	tas.wav	bisa.wav	39.607	54.4045	Tidak Identik
6	karena.wav	ke.wav	41.8298	57.9694	Tidak Identik
11	mengerjakannya.wav	ke.wav	41.9733	57.1632	Tidak Identik
1	baik.wav	ke.wav	42.3951	59.679	Tidak Identik
8	mayat.wav	ke.wav	42.9953	58.7572	Tidak Identik
4	dalam.wav	ke.wav	44.4458	62.6061	Tidak Identik
3	cara.wav	ke.wav	46.1416	66.1271	Tidak Identik
9	memasukan.wav	ke.wav	49.8572	60.3916	Tidak Identik
16	sulit.wav	ke.wav	52.7259	63.7679	Tidak Identik
17	tahu.wav	ke.wav	52.7265	73.1066	Tidak Identik
20	tidak.wav	ke.wav	53.3626	68.3872	Tidak Identik
19	terlalu.wav	ke.wav	55.4785	75.2996	Tidak Identik
10	memotong.wav	ke.wav	55.5671	78.5453	Tidak Identik
14	saya.wav	tahu.wav	55.8134	76.0664	Tidak Identik
15	sudah.wav	ke.wav	57.0077	62.9127	Tidak Identik
12	mungkin.wav	ke.wav	60.7494	78.1326	Tidak Identik

Hasil *sorting* yang terdapat pada tabel 4.17 menampilkan dari 21 sampel rekaman suara pembanding kedua yang dibandingkan dengan sampel rekaman suara tersangka tidak ada satu kata yang identik.

#### 4.5.2 Analisis tingkat akurasi metode minkowski

Analisis tingkat akurasi metode *minkowski* dalam membandingkan rekaman suara tersangka dengan rekaman suara pembanding dapat menggunakan tabel *confusion matrix* dengan data yang didapatkan dari hasil *sorting* yang terdapat pada tabel 4.16 dan tabel 4.17, adapun penjelasan singkat mengenai tabel *confusion matrix* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.18 Tabel *Confusion Matrix*

		Nilai Aktual	
		<i>TRUE</i>	<i>FALSE</i>
Nilai Prediksi	<i>TRUE</i>	TP ( <i>True Positive</i> )	FN ( <i>False Negative</i> )
	<i>FALSE</i>	FP ( <i>False Positive</i> )	TN ( <i>True Negative</i> )

(Sumber:( Xu, Zhang and Miao, 2020))

Adapun penjabaran istilah-istilah yang terdapat pada tabel 4.18 dengan kesesuaian nilai dari hasil *sorting* yang digunakan untuk mencari nilai akurasi menggunakan *confusion matrix* adalah sebagai berikut (Xu, Zhang and Miao, 2020):

- **TP** yaitu jumlah sampel suara pembanding pertama yang identik (data positif yang terklasifikasi dengan benar oleh sistem).
- **FP** yaitu jumlah sampel suara pembanding pertama yang tidak identik (data positif namun terklasifikasi salah oleh sistem)
- **FN** yaitu jumlah sampel suara pembanding kedua yang (identik jumlah data negatif namun terklasifikasi salah oleh sistem)
- **TN** yaitu jumlah sampel suara pembanding kedua yang tidak identik (jumlah data negatif yang terklasifikasi dengan benar oleh sistem)

Untuk menguatkan kesesuaian nilai pada tabel 4.1 dengan nilai dari hasil *sorting* maka penjabaran nilai aktual dan nilai prediksi adalah sebagai berikut (Xu, Zhang and Miao, 2020):

- **Nilai aktual** adalah nilai yang sebenarnya dimana nilainya *True* dan *False*, pada penelitian ini pemilihan sampel suara yang digunakan yaitu dari 21 sampel suara pembanding diambil 10 sebagai suara tersangka sehingga sisa suara tersangka yang asli adalah 11.
- **Nilai prediksi** adalah hasil yang ditampilkan oleh program dimana nilainya positif dan negatif, Hasil akhir dari proses membandingkan rekaman suara tersangka (*suspect*) dengan rekaman suara pembanding pertama yaitu menghasilkan 9 sampel suara yang identik dan 12 sampel suara yang tidak identik bila dilihat dari hasil yang didapatkan dari nilai prediksi menghasilkan nilai yang sama dengan nilai aktual, sedangkan untuk sampel rekaman suara pembanding kedua menghasilkan 0 sampel suara yang identik dan 21 sampel suara yang tidak identik.

Setelah mengetahui nilai yang dijadikan sebagai masukan dalam mencari nilai akurasi, selanjutnya nilai tersebut akan dihitung menggunakan rumus:

$$Akurasi = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} * 100\%$$

Dengan menggunakan rumus diatas maka nilai akurasi yang didapatkan adalah sebagai berikut:

$$Akurasi = \frac{9 + 21}{9 + 21 + 0 + 12} * 100\% = 71\%$$

Berdasarkan nilai dari akurasi yang didapatkan sebesar 71% dapat disimpulkan bahwa kinerja metode mikowski dalam membandingkan rekaman suara tersangka (*suspect*) dengan suara pembanding masih lebih baik dibandingkan dengan metode euclidean pada penelitian yang dilakukan oleh (Umar el, 2019) yang hanya menghasilkan tingkat akurasi sebesar 40%.

#### 4.5.3 Analisa Signifikansi Perbedaan Hasil

Untuk mengetahui signifikansi perbedaan nilai jarak yang didapatkan metode *minkowski* dengan metode *euclidean* digunakan uji *Wilcoxon Signed Rank Test* yang terdapat pada aplikasi SPSS dengan hipotesis yang dibuat yaitu “**Ha : Adanya perbedaan nilai jarak yang didapatkan antara metode Minkowski dan Euclidean**”. Penjabaran hasil dari pengujian menggunakan *Wilcoxon Signed Rank Test* adalah sebagai berikut:

##### 1. Analisis hasil *descriptive statistics*

Tabel 4.19 Hasil *descriptive statistics*

Descriptive Statistics					
	N	Mean	Std.Deviation	Minimum	Maximum
Minkowski	9	6.133267	3.3408820	3.6655	14.3218
Euclidean	9	7.633122	4.0519244	4.3427	17.7536

Tabel *deskriptive statistics* di atas menunjukkan nilai *mean*, *standart deviasi*, *minimum* dan *maksimum* dari masing-masing kelompok data (*minkowski* dan *euclidean*). terlihat bahwa *mean* atau rata-rata nilai *minkowski* sebesar 6.133267 di mana lebih kecil dari pada nilai *mean euclidean* yaitu 7.633122.

##### 2. Analisis hasil *Rank*

Tabel 4.20 Hasil Rank

**Rank**

		<b>N</b>	<b>Mean Rank</b>	<b>Sum Of Ranks</b>
<i>Euclidean-Minkowski</i>	<i>Negative Ranks</i>	0 <sup>a</sup>	0.00	0.00
	<i>Positive Ranks</i>	9 <sup>b</sup>	5.00	45.00
	<i>Ties</i>	0 <sup>c</sup>		
	<b>Total</b>	9		

a. *Euclidean < Minkowski*

b. *Euclidean > Minkowski*

c. *Euclidean == Minkowski*

Berdasarkan metode perhitungan yang dilakukan di dalam rumus Wilcoxon Signed rank Test, nilai-nilai yang di dapat adalah: nilai mean rank dan *sum of ranks* dari kelompok *negatif ranks*, *positive ranks* dan *ties*.

*Negatif ranks* artinya sampel dengan nilai kelompok kedua (*euclidean*) lebih rendah dari nilai kelompok pertama (*minkowski*).

*Positive ranks* adalah sampel dengan nilai kelompok kedua (*euclidean*) lebih tinggi dari nilai kelompok pertama (*minkowski*).

Sedangkan *ties* adalah nilai kelompok kedua (*euclidean*) sama besarnya dengan nilai kelompok pertama (*minkowski*). Simbol N menunjukkan jumlahnya, *Mean Rank* adalah peringkat rata-ratanya dan *sum of ranks* adalah jumlah dari peringkatnya.

### 3. Analisis hasil test statistics

Tabel 4.21 Hasil test statistics

**Test Statistics<sup>a</sup>**

	<b>Euclidean - Minkowski</b>
Z	-2.666 <sup>b</sup>
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.008

a. *Wilcoxon Signed Ranks Test*

b. *Based on positive Ranks*

Berdasarkan hasil dari perhitungan *Wilcoxon Signed Rank Test*, maka nilai Z yang didapat sebesar -2.666 dengan p value (*Asymp. Sig 2 tailed*) sebesar 0,008 di mana kurang dari batas

kritis penelitian 0,05 sehingga keputusan hipotesis adalah menerima  $H_a$  yaitu **Adanya perbedaan jarak yang didapatkan antara metode *Minkowski* dan *Euclidean*.**

#### 4.5.4 Analisis Kelebihan dan Kekurangan Metode *Minkowski*

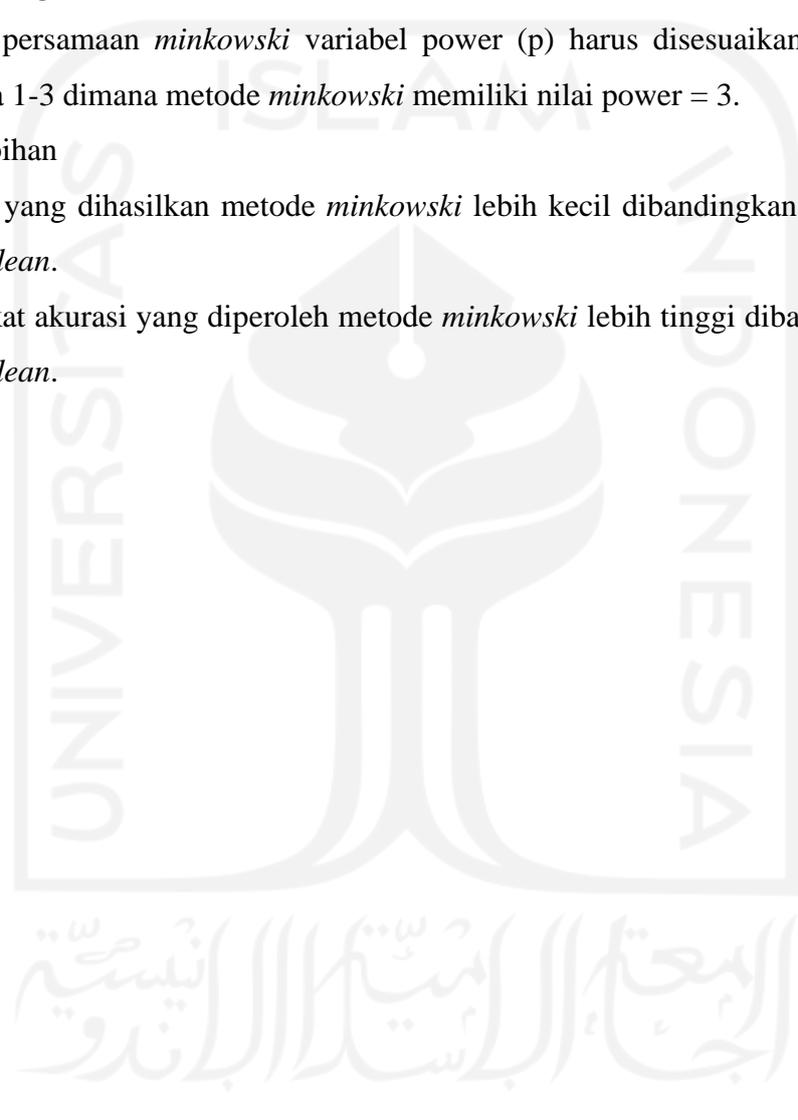
Dari implementasi metode *minkowski* dapat dianalisis kelebihan dan kekurangan dari proses pengujian dalam membandingkan rekaman suara tersangka dengan suara pelaku antara lain.

1. Kekurangan

- Pada persamaan *minkowski* variabel power ( $p$ ) harus disesuaikan secara manual antara 1-3 dimana metode *minkowski* memiliki nilai power = 3.

2. Kelebihan

- Jarak yang dihasilkan metode *minkowski* lebih kecil dibandingkan dengan metode *euclidean*.
- Tingkat akurasi yang diperoleh metode *minkowski* lebih tinggi dibandingkan metode *euclidean*.



## BAB 5

### Kesimpulan dan Saran

#### 5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini sesuai dengan rumusan masalah adalah sebagai berikut:

1. Tingkat akurasi kinerja metode KNN dengan rumus *minkowski* dalam membandingkan sampel rekaman suara tersangka dengan sampel suara pembanding didapatkan sebesar 71% artinya terdapat peningkatan nilai akurasi yang didapatkan metode KNN dengan rumus *minkowski* dibandingkan dengan menggunakan rumus *euclidean* dengan tingkat akurasi sebesar 40%.
2. Uji *wilcoxon signed rank* pada aplikasi SPSS dapat digunakan untuk mencari signifikansi perbedaan nilai jarak yang dihasilkan rumus *minkowski* dengan rumus *euclidean* dimana data yang digunakan yaitu nilai jarak dari hasil *sorting* sampel suara pembanding pertama yang identik, hasil pengujian didapatkan nilai signifikansi sebesar 0.008 dimana nilai signifikansi yang didapat kurang dari 0.05 maka terdapat perbedaan nilai jarak yang dihasilkan oleh rumus *minkowski* dengan rumus *euclidean*.
3. Untuk mendapatkan tingkat akurasi dari metode *minkowski* dalam membandingkan rekaman suara tersangka (*suspect*) dengan suara pembanding digunakan tabel *confusion matrix* dengan menghitung nilai prediksi dan nilai aktual dimana untuk nilai prediksi didapat dari *output sistem* dan nilai aktual yaitu penggunaan jumlah sampel suara yang sebenarnya.

#### 5.2 Saran

Saran berdasarkan kesimpulan penelitian diatas adalah sebagai berikut:

1. Saran penelitian selanjutnya dalam melakukan pengenalan suara mengembangkan aplikasi berbasis desktop atau android untuk dapat mengenali suara percakapan dengan suara tersangka yang membuat beberapa *feature extraction* pembanding dalam pengolahan suara rekaman sebelum melakukan *feature extraction* dengan MFCC.

2. Mengembangkan aplikasi dengan metode yang dapat menghilangkan *effect* suara seperti *Amplify*, *Noise* sehingga dalam proses pengolahan sistem yang digunakan hanya berfokus pada nilai *pitch*.



## Daftar Pustaka

- Al-Azhar, M. N. (2012). *Digital Forensic Panduan Praktis Investigasi Komputer*. Jakarta: Salemba Infotek.
- Algabri, M., Mathkour, H., Bencherif, M. A., Alsulaiman, M., & Mekhtiche, M. A. (2017). Automatic Speaker Recognition for Mobile Forensic Applications. *Mobile Information Systems*, 2017, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2017/6986391>
- Anggoro, A., Herdjunanto, S., & Hidayat, R. (2020). MFCC dan KNN untuk Pengenalan Suara Artikulasi P. *AVITEC*, 2(1). <https://doi.org/10.28989/avitec.v2i1.605>
- Deva, B. S., & Mardianto, I. (2019). Teknik Audio Forensik Menggunakan Metode Analisis Formant Bandwidth, Pitch dan Analisis Likelihood Ratio. *ULTIMATICS*. <https://doi.org/10.31937/ti.v10i2.936>
- Handayani, I. (2019). Application of K-Nearest Neighbor Algorithm on Classification of Disk Hernia and Spondylolisthesis in Vertebral Column. *Indonesian Journal of Information Systems*. <https://doi.org/10.24002/ijis.v2i1.2352>
- Hansen, J. H. L., & Hasan, T. (2015). Speaker recognition by machines and humans: A tutorial review. In *IEEE Signal Processing Magazine*. <https://doi.org/10.1109/MSP.2015.2462851>
- Karim Abdul-Hassan, A., & Hassoon Hadi, I. (2019). Speaker Classification using DTW and A Proposed Fuzzy Classifier. *Journal of Al-Qadisiyah for Computer Science and Mathematics*. <https://doi.org/10.29304/jqcm.2019.11.4.625>
- Krishnamoorthy, K., (2020). Wilcoxon Signed-Rank Test. In: *Handbook of Statistical Distributions with Applications*.
- Lyons, J. (2015). *Mel Frequency Cepstral Coefficient (MFCC) tutorial*. Practical Cryptography. <https://doi.org/http://practicalcryptography.com/miscellaneous/machine-learning/guide-mel-frequency-cepstral-coefficients-mfccs/>
- Menczer, F., Fortunato, S., & Davis, C. A. (2020). Python Tutorial. In *A First Course in Network Science*. <https://doi.org/10.1017/9781108653947.010>
- Nishom, M. (2019). Perbandingan Akurasi Euclidean Distance, Minkowski Distance, dan Manhattan Distance pada Algoritma K-Means Clustering berbasis Chi-Square. *Jurnal Informatika: Jurnal Pengembangan IT*, 4(1), 20–24. <https://doi.org/10.30591/jpit.v4i1.1253>

- Permana, I. S., Indrawaty, Y., & Zulkarnain, A. (2019). IMPLEMENTASI METODE MFCC DAN DTW UNTUK PENGENALAN JENIS SUARA PRIA DAN WANITA. *MIND Journal*, 3(1), 61–76. <https://doi.org/10.26760/mindjournal.v3i1.61-76>
- Putra, D. K., Iwut, I., & Atmaja, R. D. (2017). Simulasi Dan Analisis Speaker Recognition Menggunakan Metode Mel Frequency Cepstrum Coefficient (mfcc) Dan Gaussian Mixture Model (gmm). *EProceedings of Engineering*.
- Rajesh, D. (2011). Application of Spatial Data mining for Agriculture. *International Journal of Computer Applications*. <https://doi.org/10.5120/1922-2566>
- Riadi, I., Yudhana, A., & Putra, M. C. F. (2018). Akuisisi Bukti Digital Pada Instagram Messenger Berbasis Android Menggunakan Metode National Institute of Justice (Nij). *Jurnal Teknik Informatika Dan Sistem Informasi*. <https://doi.org/10.28932/jutisi.v4i2.769>
- Sainani, K. L. (2014). Introduction to principal components analysis. In *PM and R*. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2014.02.001>
- Singh, J., & Joshi, R. (2019). Background sound classification in speech audio segments. *2019 10th International Conference on Speech Technology and Human-Computer Dialogue, SpeD 2019*. <https://doi.org/10.1109/SPED.2019.8906597>
- Singh, S., & Singh, P. (2020). Speaker specific feature based clustering and its applications in language independent forensic speaker recognition. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 10(4), 3508. <https://doi.org/10.11591/ijece.v10i4.pp3508-3518>
- Tribunnews, 2019. Rekaman Rahasia Pembunuhan Jamal Khashoggi. [online]. Available at: <http://www.tribunnews.com/international/2019/10/01/rekaman-rahasia-pembunuhan-wartawan-arab-saudi-jamal-khashoggi.html> [Accessed: 01 Agust 2020]
- Umar, R., Riadi, I., Hanif, A., & Helmiyah, S. (2019). Identification of speaker recognition for audio forensic using k-nearest neighbor. *International Journal of Scientific and Technology Research*.
- Wicaksono, G., & Prayudi, Y. (2013). Teknik Forensika Audio Untuk Analisa Suara Pada Barang Bukti Digital. *Semnas Unjani*.
- Widagdo, K. A., Adi, K., & Gernowo, R. (2020). Kombinasi Feature Selection Fisher Score dan Principal Component Analysis (PCA) untuk Klasifikasi Cervix Dysplasia. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 7(3), 565. <https://doi.org/10.25126/jtiik.2020702987>
- Wilcoxon Signed-rank Test. (2020). Retrieved March, 10, 2021, from

[https://en.wikipedia.org/wiki/Wilcoxon\\_signed-rank\\_test](https://en.wikipedia.org/wiki/Wilcoxon_signed-rank_test)

Xu, J., Zhang, Y. and Miao, D., 2020. Three-way confusion matrix for classification: A measure driven view. *Information Sciences*, 507.

Zhang, S., Li, X., Zong, M., Zhu, X., & Cheng, D. (2017). Learning k for kNN Classification. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, 8(3), 1–19.  
<https://doi.org/10.1145/2990508>



## LAMPIRAN

### A. Hasil pencocokan suara tersangka dengan suara pembanding pertama.

No	Suara Pembanding Pertama	Suara Tersangka	Jarak <i>Minkowski</i>	Jarak <i>Euclidean</i>	Keterangan
2	bisa.wav	bisa.wav	3.6655	4.3427	Identik
8	mayat.wav	mayat.wav	3.8668	5.633	Identik
7	ke.wav	ke.wav	4.0951	5.0763	Identik
1	baik.wav	baik.wav	4.0964	5.3303	Identik
6	karena.wav	karena.wav	5.3161	6.7253	Identik
3	cara.wav	cara.wav	5.7338	7.0938	Identik
4	dalam.wav	dalam.wav	6.7398	8.2176	Identik
5	dengan.wav	dengan.wav	7.3641	8.5255	Identik
13	sangat.wav	bisa.wav	12.1044	17.4404	Tidak Identik
11	mengerjakannya.wav	mayat.wav	14.0669	19.3552	Tidak Identik
0	apakah.wav	apakah.wav	14.3218	17.7536	Identik
14	saya.wav	bisa.wav	18.0579	23.0947	Tidak Identik
10	memotong.wav	ke.wav	20.2189	28.6502	Tidak Identik
20	tidak.wav	ke.wav	21.7178	31.4811	Tidak Identik
17	tahu.wav	mayat.wav	23.1792	34.1871	Tidak Identik
19	terlalu.wav	mayat.wav	23.6442	33.4115	Tidak Identik
18	tas.wav	bisa.wav	33.6563	45.4546	Tidak Identik
9	memasukan.wav	apakah.wav	34.5079	41.7005	Tidak Identik
12	mungkin.wav	mayat.wav	36.0172	50.4774	Tidak Identik
16	sulit.wav	mayat.wav	40.1129	56.0828	Tidak Identik

B. Hasil Pencocokan suara tersangka dengan suara pembanding kedua

No	Suara Pembanding Kedua	Suara Tersangka	Jarak Minkowski	Jarak Euclidean	Keterangan
2	biasa.wav	ke.wav	23.0571	33.0456	Tidak Identik
13	sangat.wav	ke.wav	27.317	39.173	Tidak Identik
0	apakah.wav	ke.wav	37.488	53.5971	Tidak Identik
5	dengan.wav	ke.wav	38.0575	54.7378	Tidak Identik
18	tas.wav	bisa.wav	39.607	54.4045	Tidak Identik
6	karena.wav	ke.wav	41.8298	57.9694	Tidak Identik
11	mengerjakannya.wav	ke.wav	41.9733	57.1632	Tidak Identik
1	baik.wav	ke.wav	42.3951	59.679	Tidak Identik
8	mayat.wav	ke.wav	42.9953	58.7572	Tidak Identik
4	dalam.wav	ke.wav	44.4458	62.6061	Tidak Identik
3	cara.wav	ke.wav	46.1416	66.1271	Tidak Identik
9	memasukan.wav	ke.wav	49.8572	60.3916	Tidak Identik
16	sulit.wav	ke.wav	52.7259	63.7679	Tidak Identik
17	tahu.wav	ke.wav	52.7265	73.1066	Tidak Identik
20	tidak.wav	ke.wav	53.3626	68.3872	Tidak Identik
19	terlalu.wav	ke.wav	55.4785	75.2996	Tidak Identik
10	memotong.wav	ke.wav	55.5671	78.5453	Tidak Identik
14	saya.wav	tahu.wav	55.8134	76.0664	Tidak Identik
15	sudah.wav	ke.wav	57.0077	62.9127	Tidak Identik
12	mungkin.wav	ke.wav	60.7494	78.1326	Tidak Identik