



Perbandingan Kualitas Suara Smartphone Menggunakan Metode Dynamic Time Warping (DTW)

Inas Salsabila¹, Samsul Anwar², Radhiah³

^{1,2}Jurusan Statistika, FMIPA, Universitas Syiah Kuala

³Jurusan Matematika, FMIPA, Universitas Syiah Kuala

¹inassalsabila00@gmail.com, ²samsul.anwar@unsyiah.ac.id*, ³radhiah_is@yahoo.co.id

Abstract

Smartphones are telecommunication devices that play a significant role in daily life. The sound quality produced by a smartphone becomes important for users, considering that poor sound quality might cause misunderstandings in communication. This study provides an illustration of the application of Dynamic Time Warping (DTW) in the comparison of the sound quality produced by a smartphone. In addition to the DTW, the median test and its confidence interval are also used to determine the sound quality of a smartphone. The data employed are primary data in the form of voice recordings of six people that saying five sample sentences, each of which is repeated five times through four different smartphone types that are used as examples. So that the total voice recordings for each smartphone are 150 pieces. This study aims to compare the sound quality produced by those smartphones. The results of this study indicate that although smartphones type 2, 3 and 4 have similar sound quality, the sound quality produced by smartphones type 4 is more stable than other types. Therefore, this study concludes the smartphone type 4 is the smartphone with the most satisfying sound quality. Furthermore, this study showed that the DTW method is effective in analyzing the sound quality of a smartphone.

Keywords: DTW, sound quality, smartphone

Abstrak

Smartphone merupakan sebuah alat telekomunikasi yang berperan penting dalam kehidupan sehari-hari. Kualitas suara yang dihasilkan oleh sebuah smartphone menjadi hal yang penting bagi pengguna (user), mengingat kualitas suara yang buruk dapat menyebabkan kesalahpahaman dalam komunikasi. Penelitian ini memberikan ilustrasi penerapan Dynamic Time Warping (DTW) dalam perbandingan kualitas suara yang dihasilkan sebuah smartphone. Selain DTW, uji median beserta selang kepercayaannya juga digunakan untuk menentukan kualitas suara sebuah smartphone. Data yang digunakan merupakan data primer berupa rekaman suara enam orang yang mengucapkan lima kalimat sampel yang masing-masing diulang sebanyak lima kali melalui empat tipe smartphone yang berbeda yang digunakan sebagai contoh. Sehingga total rekaman suara untuk masing-masing smartphone adalah 150 buah. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kualitas suara yang dihasilkan oleh keempat smartphone tersebut. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa meskipun smartphone tipe 2, 3 dan 4 memiliki kualitas suara yang sama, namun kualitas suara yang dihasilkan smartphone tipe 4 lebih stabil dibandingkan smartphone tipe lainnya. Dengan demikian, penelitian ini menyimpulkan bahwa smartphone tipe 4 merupakan smartphone dengan kualitas suara yang paling memuaskan. Lebih lanjut, penelitian ini menunjukkan bahwa metode DTW efektif digunakan dalam analisis kualitas suara sebuah smartphone.

Kata kunci: DTW, kualitas suara, smartphone.

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi memerankan peran yang penting dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu teknologi yang sangat berkembang saat ini adalah teknologi dalam bidang sarana telekomunikasi berupa *smartphone*. Evolusi *smartphone* memungkinkan pengguna (*user*) untuk dapat memanfaatkan berbagai

aplikasi secara bebas kapan dan dimana saja yang mereka inginkan [1]. Jumlah *user smartphone* di dunia juga semakin meningkat dari 2,5 milyar pada tahun 2016 menjadi 2,7 milyar pada tahun 2017 dan 3,2 milyar pada tahun 2019. Angka tersebut diprediksi akan mencapai 3,8 milyar pada tahun 2021 [2]. Data Statistik Kesejahteraan Rakyat menunjukkan bahwa persentase penduduk Indonesia berusia 5 tahun ke atas yang sudah

memiliki telepon seluler adalah sebanyak 62,41% pada tahun 2018 dan meningkat menjadi 63,53% pada tahun 2019 [3]. Indonesia saat ini menjadi negara dengan pengguna aktif *smartphone* terbesar keempat di dunia setelah Cina, India, dan Amerika Serikat.

Tingginya jumlah *user smartphone* tersebut juga harus diimbangi oleh *provider* penyedia layanan telepon seluler terutama mengenai layanan *mobile broadband* yang harus mampu menghubungkan *user* di mana pun dan kapan pun [4]. Hasil survey penggunaan TIK serta implikasinya terhadap aspek sosial budaya masyarakat pada tahun 2017 yang dilakukan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Informatika dan Informasi dan Komunikasi Publik Kementerian Komunikasi dan Informatika menunjukkan bahwa sekitar 94,40% *user* melakukan aktivitas menelepon ketika tidak terhubung dengan internet [5]. Hal ini menunjukkan betapa pentingnya penggunaan *smartphone* dalam mendukung komunikasi via telepon.

Dalam beberapa dekade ini, berbagai *brand* dan seri *smartphone* terus bermunculan dengan harga yang kompetitif di pasar elektronik tanah air. Hal ini menimbulkan sebuah pertanyaan yang menarik terkait bagaimana perbandingan kualitas *smartphone* yang dihadirkan oleh berbagai vendor tersebut, terutama yang memiliki pangsa pasar dan harga yang relatif sama. Jika dikaitkan dengan aktivitas penggunaan *smartphone* yang telah diulas sebelumnya, maka akan menarik jika dilakukan sebuah kajian tentang perbandingan kualitas *smartphone* dari salah satu sisi paling penting dalam komunikasi telepon, yaitu perbandingan kualitas suara yang dihasilkan oleh sebuah *smartphone*. Penelitian ini sangat penting untuk dilakukan mengingat kualitas suara yang dihasilkan sebuah *smartphone* sangat berpengaruh dalam proses komunikasi. Lebih rinci, kualitas suara yang buruk dapat menimbulkan kesalahfahaman dalam komunikasi via telepon. Kualitas suara yang baik merupakan faktor yang sangat penting yang harus dimiliki oleh sebuah alat komunikasi termasuk *smartphone*. Vendor *smartphone* perlu melakukan penelitian secara berkala mengenai kualitas suara *smartphone* yang mereka produksi. Dengan demikian, masalah kualitas suara *smartphone* merupakan hal yang penting untuk dibahas dan diteliti.

Evaluasi terhadap kualitas suara merupakan teknologi yang menganalisis kualitas suara secara kuantitatif berdasarkan perasaan manusia dengan menggunakan *psychological acoustic technology* yang diukur dalam beberapa kuantitas seperti *loudness*, *loudness level*, *sharpness*, *roughness*, *fluctuation strength*, *tonality* dan *articulation of language* [6]. Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan dalam analisis suara (*voice analyzing*) diantaranya *Hybrid Neural Network* dan *Dynamic Time Warping* (DTW). *Hybrid Neural Network* merupakan pengembangan dari metode *Neural Network* dengan dua *output hidden layer* berupa bagian linear dan non linear. Metode ini lebih cocok digunakan

ketika terdapat gangguan (*disturbances*) yang besar, suara yang sangat tinggi, keras (*loud*) dan tajam (*sharpness*) misalnya pada analisis suara mobil [7]. Sedangkan *Dynamic Time Warping* (DTW) merupakan metode yang salah satunya dapat digunakan untuk membandingkan dua sinyal suara dan sangat efisien digunakan untuk mengukur kesamaan dua data yang memiliki jumlah periode waktu yang berbeda [8]. DTW merupakan teknik pencocokan fitur non linier terbaik dalam identifikasi ucapan (*speech identification*) dengan tingkat kesalahan yang minimal dan waktu komputasional yang relatif singkat [9]. Secara umum, DTW adalah sebuah metode pencocokan yang cepat dan sederhana dan sering diaplikasikan pada analisis suara [10]. Selain dalam analisis suara, metode DTW juga dapat digunakan dalam analisis biometrika wajah [11] dan pola gerakan gaya berjalan [12].

Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang terkait dengan menggunakan DTW dalam analisis suara, termasuk sebuah penelitian tentang pengenalan suara atau *voice recognition*. Penelitian tersebut menggunakan 1 set data *training* dan 11 data *testing* dengan memperhatikan durasi waktu berbicara dan volume suaranya. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa DTW cukup efektif digunakan dalam *voice recognition*. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa durasi waktu dan volume suara, serta *noise* dari suara sekitar saat rekaman berlangsung turut memengaruhi jarak DTW yang dihasilkan. Semakin mirip durasi waktu dan volume suara dari kedua data yang diuji, maka semakin kecil jarak DTW yang dihasilkan. Semakin kecil efek *noise* saat rekaman berlangsung maka semakin kecil jarak DTW yang dihasilkan. Jarak DTW yang semakin kecil menunjukkan kemiripan dua data yang diujikan semakin besar, atau dengan kata lain suara dapat dikenali [13]. Penelitian lainnya dilakukan dengan merancang sistem pengenalan suara pembicara (*speaker recognition*) yang mampu mengidentifikasi pembicara berdasarkan apa yang dikatakannya. Penelitian tersebut dilakukan dengan menggunakan data *training* dan data *testing* dari 5 orang pembicara. Setelah dilakukan 50 kali pengujian dengan metode DTW, hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dibangun dapat mengidentifikasi suara pembicara dengan tingkat akurasi pengenalan terbaik 90%, dengan rata-rata akurasi pengenalan sebesar 80% [14].

Penelitian mengenai perbandingan kualitas suara *smartphone* terutama yang menggunakan metode DTW masih sangat jarang dilakukan. Dalam penelitian ini, analisis terhadap kualitas suara yang dihasilkan sebuah *smartphone* dilakukan dengan membandingkan suara *input* dengan suara *output* yang dihasilkannya. *Input* merupakan suara asli yang dikirimkan *user* melalui *smartphone* pertama (pengirim), sedangkan *output* merupakan suara yang diterima oleh *smartphone* kedua (penerima). Suara yang dihasilkan tersebut baik *input* maupun *output* dapat diubah menjadi sinyal digital

dengan cara mengubah gelombang suara menjadi sekumpulan angka yang dapat disimpan dalam suatu perangkat [15].

Perbandingan suara *input* dan *output* dapat dilakukan dengan membandingkan pola sinyal suara (*pitch*) yang dihasilkan menggunakan metode DTW. Metode ini digunakan untuk menganalisis *smartphone* mana yang menghasilkan kualitas suara (*output*) terbaik yang paling mendekati suara asli (*input*) dengan melihat urutan nilai DTW *distance* yang dihasilkan oleh masing-masing *smartphone* yang dibandingkan. Selain itu, uji Median beserta *confidence interval*-nya dapat digunakan untuk menilai konsistensi dari *performance* yang dihasilkan masing-masing *smartphone*. *Smartphone* yang memiliki uji median yang signifikan dengan *confidence interval* yang lebih sempit memiliki *performance* yang lebih stabil dalam menghasilkan kualitas suara yang baik. Sebagai ilustrasi, pendekatan dengan menggunakan metode DTW, uji median dan *confidence interval* tersebut akan diaplikasikan pada 4 tipe *smartphone* berbeda yang memiliki harga yang relatif sama.

2. Metode Penelitian

2.1 Tahap Persiapan dan Perekaman Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer yang dikumpulkan secara langsung dengan teknik perekaman. Tahapan dalam persiapan dan perekaman data dimulai dari menyediakan lima *brand smartphone* dengan harga yang relatif sama yang dilabeli dengan *smartphone* tipe 1, 2, 3, 4 dan 5. *Smartphone* tipe 5 digunakan untuk mengirim suara *input* dan *Smartphone* tipe 1 sampai dengan 4 digunakan untuk menerima suara *output*. Suara pertama atau suara asli ketika seseorang berkomunikasi melalui telepon disebut dengan suara *input*. Sedangkan suara kedua yang direkam dengan *smartphone* penerima dengan *mode loudspeaker* disebut dengan suara *output*.

Langkah selanjutnya adalah memastikan kondisi lingkungan tempat perekaman menjadi tenang, memiliki jaringan yang lancar, dan jarak penelepon dan penerima telepon yang telah disesuaikan. Proses telepon dilakukan dengan menggunakan pulsa secara paralel, artinya terdapat satu penelepon (*smartphone* tipe 5) dan empat penerima telepon dengan tipe *smartphone* yang berbeda (1, 2, 3 dan 4) dalam waktu yang bersamaan. Hal ini dilakukan agar perbandingan kualitas suara yang dihasilkan beberapa *smartphone* tersebut memiliki bias yang kecil. Tahap perekaman dimulai dari menekan tombol *record* sesaat sebelum memulai pengucapan kalimat sampel pada masing-masing *smartphone* untuk mendapat data rekaman suara. Selanjutnya proses rekaman dilakukan dengan mengucapkan lima kalimat sampel yang dipilih sebagai contoh pada Tabel 1 dengan lima kali pengulangan yang bersumber dari suara tiga orang laki-laki dan tiga orang perempuan.

2.2 Desain Penelitian

Untuk menjaga agar *smartphone* penerima menghasilkan kualitas suara yang baik, maka perlu dilakukan pembatasan dan desain penelitian seperti yang ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Batasan dan Desain Penelitian

No.	Desain Penelitian	Deskripsi
1.	<i>Smartphone</i>	<i>Input</i> : <i>Smartphone</i> tipe 5 <i>Smartphone</i> yang berbeda dengan <i>brand</i> keempat <i>smartphone output</i> <i>Output</i> : <i>Smartphone</i> tipe 1, 2, 3 dan 4 <i>Smartphone</i> yang berada pada kisaran harga 1,8 sampai 2,5 juta dan dibeli pada tahun 2019 dengan spesifikasi <i>sound</i> yang sama, yaitu terdapat <i>loudspeaker</i> dan 3.5mm jack (<i>brand smartphone</i> berbeda-beda)
2.	Pembicara	Tiga orang laki-laki dan tiga orang perempuan.
3.	Intonasi	Pengucapan huruf dan kalimat dilakukan dengan intonasi yang normal dan artikulasi yang jelas.
4.	Lingkungan	Laboratorium Jurusan Statistika Universitas Syiah Kuala dengan kondisi yang dipastikan tenang dan jaringan yang lancar. Jarak penelepon dan penerima telepon disesuaikan
5.	Sampel kalimat	1. Hari ini Kelas Biometrika diliburkan karena dosen harus menghadiri rapat. 2. Saya berencana untuk menyelesaikan studi sarjana selama empat tahun. 3. Alasan saya datang ke sini adalah untuk mengambil berkas penilaian praktikum. 4. Beberapa mahasiswa statistika akan mengikuti konferensi nasional di Jakarta. 5. Milad Unsyiah rutin dilaksanakan pada awal bulan September setiap tahunnya.
6.	Pengulangan	Lima kali pengulangan untuk setiap kalimat yang diucapkan oleh masing-masing pembicara. Dengan demikian akan diperoleh 150 rekaman untuk setiap tipe <i>smartphone</i> yang digunakan.

Tabel 1 menunjukkan bahwa semua aspek penting yang berkaitan dengan desain penelitian telah dipersiapkan secara baik dengan harapan dapat menghasilkan kualitas suara rekaman yang baik dan mampu meminimalisir bias yang mungkin terjadi. Sinyal hasil perekaman dalam analisis suara harus diolah terlebih dahulu untuk menemukan posisi *pitch* dari sinyal pada domain waktu [16].

2.3 Variabel Penelitian

Adapun variabel yang digunakan pada penelitian ini ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2 menunjukkan bahwa terdapat lima variabel yang digunakan dalam penelitian ini. Variabel *Reference* (*Y*) merupakan data *pitch* suara asli (*input*) yang digunakan sebagai acuan dalam perbandingan kualitas suara yang dihasilkan masing-masing *smartphone output*. Variabel *Query* (*X*) merupakan data *pitch* suara *output* yang

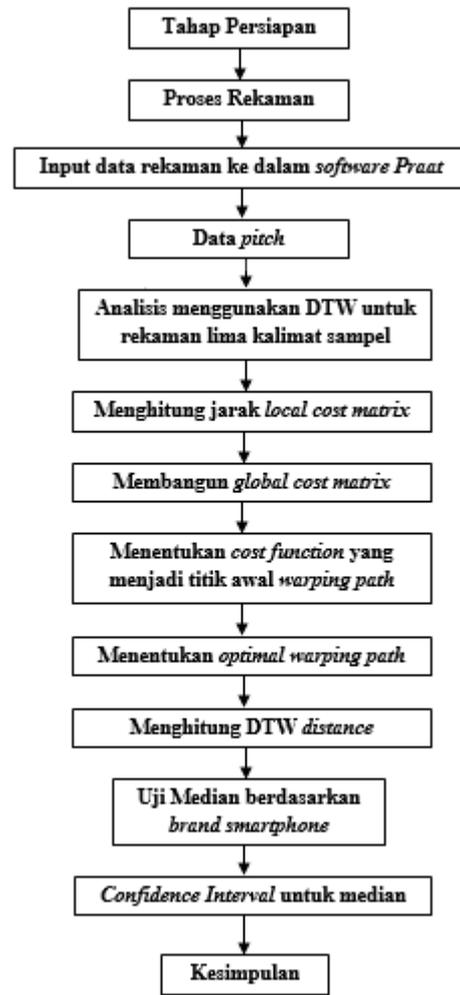
dihasilkan *smartphone* tipe 1, 2, 3 dan 4 yang akan dibandingkan dengan suara asli sehingga dapat diketahui *smartphone* tipe mana di antara keempat *smartphone* tersebut yang memiliki kualitas suara terbaik yang paling mendekati suara asli. Semua variabel tersebut diukur dalam skala data rasio dengan satuan Hertz (Hz). Sebagai catatan, data *pitch* hasil rekaman suara tersebut diperoleh dengan menggunakan bantuan *software* PRAAT.

Tabel 2. Definisi Operasional Variabel

Variabel	Keterangan	Skala	Satuan
Reference (Y)	Pitch rekaman suara input dari <i>Smartphone</i> tipe 5		
Query (X)	Pitch rekaman suara output dari <i>Smartphone</i> tipe 1	Rasio	Hertz (Hz)
	Pitch rekaman suara output dari <i>Smartphone</i> tipe 2		
	Pitch rekaman suara output dari <i>Smartphone</i> tipe 3		
	Pitch rekaman suara output dari <i>Smartphone</i> tipe 4		

2.4 Metode Analisis Data

Penelitian ini menggunakan dua metode statistika yaitu *Dynamic Time Warping* (DTW) dan Uji Median beserta selang kepercayaannya. Metode DTW digunakan untuk menghitung nilai DTW *distance* pada masing-masing rekaman suara untuk mengetahui kualitas suara sebuah *smartphone* yang dianalisis. Sedangkan uji Median dan selang kepercayaannya digunakan untuk menganalisis secara agregat konsistensi dari *performance* sebuah *smartphone* berdasarkan seluruh rekaman suara yang dianalisis. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak *Microsoft Excel* 2013, *Minitab* dan *R* versi 4.0.3 dengan *package* yang digunakan adalah *dtw*, *RVAideMemoire*, *coin* dan *FSA*. Secara umum, langkah analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dibagi dalam empat tahapan sebagai berikut: (1) Menghitung nilai DTW *distance*. Perhitungan nilai DTW *distance* terdiri dari beberapa proses dimulai dengan mendefinisikan variabel *reference* (Y) dan *query* (X), menghitung jarak dalam bentuk *local cost matrix*, membangun *global cost matrix*, menentukan *cost function* yang menjadi titik awal *warping path*, menentukan *optimal warping path* dan diakhiri dengan menghitung nilai DTW *distance*; (2) Melakukan uji median *c* kelompok sampel untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan kualitas suara diantara keempat tipe *smartphone* output; (3) Melakukan uji median dua kelompok sampel untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan kualitas suara diantara dua tipe *smartphone* dari semua kombinasi perbandingan yang mungkin dilakukan; dan (4) menghitung selang kepercayaan nilai median untuk mengetahui tingkat stabilitas kualitas suara yang dihasilkan sebuah *smartphone*. Secara lengkap alur penelitian dapat dijelaskan melalui diagram pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Berikut adalah penjelasan singkat mengenai metode statistika yang digunakan dalam penelitian ini.

2.4.1 Analisis *Dynamic Time Warping* (DTW)

Dynamic Time Warping (DTW) merupakan salah satu ukuran jarak yang paling relevan dalam analisis *time series* [17]. DTW merupakan sebuah metode yang menggunakan pendekatan pemrograman dinamis untuk menyelaraskan dua *time series* dengan menghitung jarak paling minimal antar titik data. Penyelarasan dua *time series* menggunakan DTW membutuhkan sebuah matriks berukuran $N \times M$ yang berisikan elemen jarak $D(i, j)$ antara dua titik x_i dan y_j dengan $i \in [1, N], j \in [1, M]$ [18]. Algoritma DTW dimulai dengan membangun matriks jarak $C \in \mathbb{R}^{N \times M}$ yang mewakili semua jarak berpasangan antara *time series* X dan Y di mana $X = (x_1, x_2, \dots, x_N)$, $N \in \mathbb{N}$ dan $Y = (y_1, y_2, \dots, y_M)$, $M \in \mathbb{N}$. Matriks jarak ini disebut dengan *local cost matrix* untuk penyelarasan dua *time series* X dan Y yang diberikan pada Persamaan (1).

$$C \in \mathbb{R}^{N \times M} : c_{i,j} = \left| |x_i - y_j| \right| \quad (1)$$

Selanjutnya dibangun *accumulated cost matrix* atau *global cost matrix* yang didefinisikan sebagai berikut:

Baris pertama matriks C :

$$D(i, 1) = \sum_{k=1}^i c(x_k, y_1) \quad (2)$$

Kolom pertama matriks C :

$$D(1, j) = \sum_{k=1}^j c(x_1, y_k) \quad (3)$$

Elemen lainnya dalam matriks C :

$$D(i, j) = \min \left\{ \begin{array}{l} D(i-1, j-1) \\ D(i-1, j) \\ D(i, j-1) \end{array} \right\} + c(x_i, y_j) \quad (4)$$

di mana $D(i, j)$ adalah elemen jarak untuk elemen x pada posisi ke- i dan y pada posisi ke- j [14].

Setelah *global cost matrix* dibangun, selanjutnya dicari *warping path* (disimbolkan dengan p) yang dimulai dari sel dengan *cost function* yang letaknya di posisi terendah pada *global cost matrix*, yaitu sel $(1,1)$. *Cost function* adalah sebuah fungsi yang terkait dengan *warping path* yang dihitung dengan menggunakan *global cost matrix* yang mewakili semua jarak berpasangan dan didefinisikan sebagai Persamaan (5).

$$c_p(X, Y) = \sum_{l=1}^K c(x_{nl}, y_{ml}) \quad (5)$$

Secara formal, *warping path* yang dibangun dalam DTW adalah sebuah urutan titik $p = (p_1, p_2, \dots, p_K)$ dengan $p_l = (p_i, p_j) \in [1, N] \times [1, M]$ untuk $l \in [1, K]$ yang harus memenuhi tiga kriteria berikut: (1) *Boundary condition*: $p_1 = (1,1)$ dan $p_K = (N, M)$. Titik awal dan akhir dari *warping path* harus menjadi titik pertama dan terakhir dari urutan yang selaras; (2) *Monotonicity condition*: $n_1 \leq n_2 \leq \dots \leq n_K$ dan $m_1 \leq m_2 \leq \dots \leq m_K$. Kondisi ini menjaga urutan waktu dari yang terendah sampai yang tertinggi; dan (3) *Step size condition*. Kriteria ini membatasi *warping path* dari pergeseran waktu yang terlalu jauh dengan menggunakan kondisi ukuran langkah dasar yang diformulasikan sebagai $p_{l+1} - p_l \in \{(1,1), (1,0), (0,1)\}$.

Warping path juga dapat dibangun dengan urutan titik $p = (p_K, p_{K-1}, \dots, p_1)$ atau berawal dari sel dengan *cost function* yang letaknya di posisi tertinggi pada *global cost matrix*, yaitu sel (N, M) . Kemudian kriteria yang harus dipenuhi akan disesuaikan dengan pergeseran atau langkah awal dari *warping path*. *Warping path* yang memiliki *cost function* minimal disebut dengan *optimal warping path* dan disimbolkan dengan P^* . Selanjutnya dihitung nilai DTW *distance* menggunakan Persamaan (6).

$$DTW(X, Y) = c_{P^*}(X, Y) = \min \{c_p(X, Y), p \in P^{N \times M}\} \quad (6)$$

dimana $P^{N \times M}$ adalah himpunan semua *warping path* yang mungkin berdasarkan perhitungan *global cost matrix* sebelumnya [19].

2.4.2 Uji Median

Uji Median adalah sebuah uji statistik yang digunakan untuk melihat apakah terdapat perbedaan median antar sampel yang dibandingkan. Jika dua sampel atau lebih memiliki nilai median yang sama (θ), maka dapat dicari nilai median gabungannya (M). Uji Median dapat digunakan untuk membandingkan median dari dua sampel atau lebih. Jika terdapat lebih dari dua sampel, maka Uji Median dimulai dengan menggabungkan semua observasi, mengurutkannya dan menghitung median gabungan dari semua observasi tersebut. Hipotesis yang digunakan dalam Uji Median untuk c sampel adalah sebagai berikut:

H_0 : $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = \dots = \theta_c$ (semua kelompok sampel memiliki nilai median yang sama)

H_1 : sekurang-kurang terdapat satu $\theta_i \neq \theta_j$ (sekurang-kurangnya terdapat satu kelompok sampel yang memiliki nilai median yang berbeda)

Selanjutnya dibangun tabel kontingensi yang diberikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Tabel Kontingensi Untuk Uji Median c Sampel

Kriteria observasi	Sampel					Total
	1	2	3	...	c	
$>M$	O_{11}	O_{12}	O_{13}	...	O_{1c}	$n_{1.}$
$\leq M$	O_{21}	O_{22}	O_{23}	...	O_{2c}	$n_{2.}$
Total	$n_{.1}$	$n_{.2}$	$n_{.3}$...	$n_{.c}$	n

Statistik uji untuk Uji Median c sampel diberikan pada Persamaan (7).

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^c \left[\frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \right] \quad (7)$$

dimana $E_{ij} = (n_{i.})(n_{.j})/n$.

Apabila statistik uji χ^2 hasil perhitungan lebih kecil daripada χ^2 tabel dengan derajat bebas $c - 1$, maka keputusan pengujiannya adalah tidak dapat menolak H_0 yang menyimpulkan bahwa semua kelompok sampel memiliki nilai median yang sama. Sebaliknya, jika statistik uji χ^2 hitung lebih besar daripada χ^2 tabel, maka keputusan pengujiannya adalah menolak H_0 . Dengan kata lain, sekurang-kurangnya terdapat satu kelompok sampel yang memiliki nilai median yang berbeda dengan kelompok sampel yang lainnya. Apabila H_0 ditolak, maka selanjutnya perlu dilakukan Uji Median untuk dua sampel dengan membandingkan kombinasi dari keseluruhan sampel agar diketahui sampel mana yang memiliki median yang berbeda dengan yang lain [20].

Jika dua sampel memiliki nilai median yang sama (θ) dengan jumlah sampel masing-masing sebanyak m dan n , maka dapat dicari nilai median gabungannya (M).

Pada Uji Median untuk dua kelompok sampel, masing-masing observasi $m + n$ diklasifikasikan menjadi kelompok yang berada di atas dan di bawah nilai M . Hipotesis yang digunakan dalam pengujian ini adalah $H_0: \theta_1 = \theta_2$ dan $H_1: \theta_1 \neq \theta_2$ untuk uji dua arah. Selanjutnya dibangun tabel kontingensi 2 x 2 yang diberikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Tabel Kontingensi Untuk Uji Median Dua Sampel

Sampel	$> M$	$\leq M$	Total
Sampel 1	a	b	$a + b$
Sampel 2	c	d	$c + d$
Total	$a + c = m$	$b + d = n$	$m + n$

Statistik uji untuk Uji Median dua sampel diberikan pada Persamaan (8):

$$T = \frac{(a/m)-(b/n)}{\sqrt{\hat{p}(1-\hat{p})(1/m+1/n)}} \quad (8)$$

di mana $\hat{p} = \left(\frac{a+b}{m+n}\right)$.

Kriteria pengujian untuk Uji Median dua sampel adalah membandingkan nilai statistik uji T dengan tabel $Z_{\alpha/2}$. Jika nilai statistik uji (T) lebih kecil dibandingkan nilai $-Z_{\text{tabel}}$ atau lebih besar dari Z_{tabel} , maka H_0 dapat ditolak. Sebaliknya, jika nilai statistik uji (T) berada di antara nilai $-Z_{\text{tabel}}$ dan Z_{tabel} , maka H_0 tidak dapat ditolak [20].

2.4.3 Selang Kepercayaan untuk Nilai Median

Selang kepercayaan atau *confidence interval* untuk nilai median memberikan batas bawah dan atas kemungkinan nilai median dengan tingkat kepercayaan tertentu. Nilai 95% selang kepercayaan untuk nilai median dapat dinotasikan sebagai (d_1, d_2) di mana d_1 adalah batas bawah yang diberikan oleh observasi ke- j dan d_2 adalah batas atas yang diberikan oleh observasi ke- k . Letak batas bawah dan batas atas 95% selang kepercayaan untuk nilai median dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (9) dan (10).

$$j = \frac{n}{2} - \frac{1,96\sqrt{n}}{2} \quad (9)$$

$$k = 1 + \frac{n}{2} + \frac{1,96\sqrt{n}}{2} \quad (10)$$

di mana n adalah jumlah sampel [21].

3. Hasil dan Pembahasan

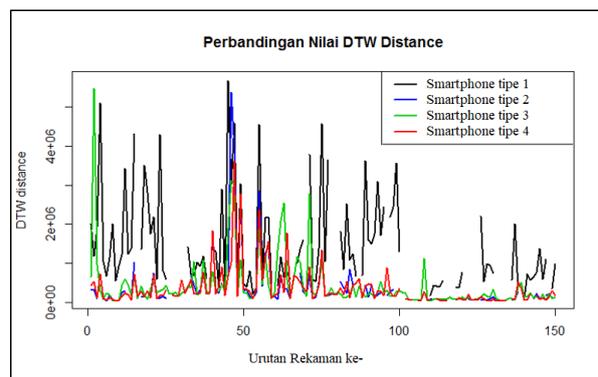
3.1 Analisis Dynamic Time Warping (DTW)

Proses perhitungan DTW *distance* membutuhkan suatu algoritma pemrograman dalam penyelesaiannya. Hal ini dikarenakan proses perhitungan *local* dan *global cost matrix* melibatkan data dengan jumlah sampel yang cukup banyak. Sehingga ukuran matriks yang dihasilkan juga cukup besar yaitu sekitar 350×350 . Selain itu, jumlah kelompok sampel data yang perlu dianalisa juga cukup banyak yaitu 150 rekaman (5 kalimat \times 5 kali pengulangan \times 6 orang pembicara) untuk setiap tipe

smartphone. Algoritma pemrograman tersebut disusun dengan mempertimbangkan langkah berikut: pendefinisian variabel *reference* (Y) dan *query* (X), perhitungan jarak dalam bentuk *local cost matrix* dan *global cost matrix*, penentuan *cost function* yang menjadi titik awal *warping path*, penentuan *optimal warping path* dan perhitungan nilai DTW *distance* dengan menggunakan Persamaan (1) hingga Persamaan (6).

Meskipun telah direncanakan dengan baik dengan menentukan desain penelitian pada Tabel 1, namun terdapat beberapa kendala pada saat proses perekaman data sehingga terdapat beberapa rekaman yang rusak atau tidak terekam secara sempurna. Salah satu penyebab rekaman yang rusak atau tidak terekam secara sempurna tersebut adalah karena adanya *noise* (suara gangguan). Lingkungan tanpa *noise* merupakan kondisi ideal dimana tingkat akurasi tertinggi pada penerimaan suara input dapat dicapai [22]. Rekaman yang rusak atau tidak terekam secara sempurna tersebut tidak diikutsertakan dalam analisis lebih lanjut karena berpotensi menimbulkan bias. Jumlah rekaman suara awal untuk masing-masing tipe *smartphone* adalah sebanyak 150 rekaman suara. Sedangkan jumlah rekaman yang dianalisis untuk masing-masing tipe *smartphone* dapat dilihat pada Tabel 5 kolom ketiga. Sebagai catatan, *filter* dapat digunakan untuk menyaring sinyal-sinyal suara yang tidak dibutuhkan seperti *noise* [23]. Namun proses *filtering* membutuhkan teknik khusus dan mengakibatkan waktu *processing* data menjadi lebih lama.

Perhitungan DTW *distance* dengan menggunakan algoritma pemrograman dilakukan untuk seluruh rekaman suara oleh setiap pembicara untuk semua kalimat sampel dan pengulangan untuk masing-masing tipe *smartphone*. Visualisasi hasil akhir analisis DTW berupa nilai DTW *distance* untuk seluruh sampel rekaman suara setiap tipe *smartphone* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Perbandingan Nilai DTW *distance* Keempat Tipe *Smartphone*

Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai DTW *distance* data *pitch* untuk setiap rekaman suara sebuah tipe *smartphone* cukup bervariasi sehingga diperlukan

sebuah nilai yang dapat mewakili gambaran umum kecenderungannya. Statistik yang dapat menggambarkan nilai tersebut adalah median yang merupakan statistik yang lebih bersifat *robust* dibandingkan dengan mean (rata-rata). Median dipilih karena nilai DTW *distance* rekaman suara untuk setiap tipe *smartphone* memiliki distribusi yang tidak simetris. Adapun ringkasan median nilai DTW *distance* untuk masing-masing tipe *smartphone* ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Median Nilai DTW *Distance*

Tipe <i>Smartphone</i>	Jumlah Rekaman Suara Dianalisis	Median Nilai DTW <i>distance</i>	Rank	Keterangan
Tipe 1	116	1.040.377,0	4	Output 1
Tipe 2	107	196.553,9	1	Output 2
Tipe 3	150	227.210,0	3	Output 3
Tipe 4	142	199.132,5	2	Output 4

Perbandingan median nilai DTW *distance* pada Tabel 5 menunjukkan bahwa *smartphone* tipe 2 dan tipe 4 merupakan *smartphone* yang memiliki median nilai DTW *distance* yang relatif lebih kecil dibandingkan *smartphone* tipe yang lainnya. Selanjutnya, *smartphone* yang memiliki median nilai DTW *distance* terendah yang ketiga adalah *smartphone* tipe 3. Sedangkan *smartphone* tipe 1 merupakan *smartphone* yang memiliki median nilai DTW *distance* yang paling besar. Secara peringkat, *smartphone* dengan kualitas suara *output* terbaik yang mendekati suara *input* secara berurutan adalah *smartphone* tipe 2, 4, 3 dan 1 pada peringkat terakhir. Meskipun secara peringkat *smartphone* tipe 2 merupakan *smartphone* dengan median nilai DTW *distance* yang paling kecil, namun tetap diperlukan pengujian lebih lanjut secara statistik untuk mengetahui kualitas suara keempat *smartphone* tersebut melalui Uji Median.

3.2 Uji Median

Setelah memperoleh nilai DTW *distance* untuk seluruh rekaman suara, selanjutnya data tersebut dihimpun menjadi satu dataset baru dan dilakukan Uji Median untuk mengevaluasi perbandingan kualitas suara antar keempat tipe *smartphone*. Uji Median untuk perbandingan median nilai DTW *distance* dari empat tipe *smartphone* dimulai dengan mendefinisikan hipotesis nol yang menyatakan bahwa semua tipe *smartphone* memiliki median nilai DTW *distance* yang sama, sedangkan hipotesis alternatifnya yaitu sekurang-kurangnya terdapat satu tipe *smartphone* yang memiliki median nilai DTW *distance* yang berbeda dengan yang lainnya. Berdasarkan perhitungan Uji Median diperoleh statistik uji $\chi^2 = 125,61$ dengan $p - value < 0,001$. Disisi lain, dengan menggunakan $\alpha = 0,05$ diperoleh nilai χ^2 tabel yaitu $\chi_{\alpha,df}^2 = \chi_{0,05;3}^2$ sebesar 7,815. Nilai χ^2 hitung yang lebih besar dari pada χ^2 tabel dan $p - value$ yang lebih kecil daripada 0,05 menunjukkan bahwa hipotesis nol dapat ditolak. Sehingga dapat

disimpulkan bahwa sekurang-kurangnya terdapat satu tipe *smartphone* yang memiliki median nilai DTW *distance* yang berbeda dengan yang lainnya.

Untuk mengetahui tipe *smartphone* manakah yang memiliki median nilai DTW *distance* yang berbeda tersebut, maka dilakukan Uji Median dua sampel yang membandingkan seluruh kombinasi yang mungkin antara dua dari keseluruhan tipe *smartphone* yang dibandingkan dalam penelitian ini. Hipotesis nol uji median dua sampel menyatakan bahwa tidak terdapat perbedaan median nilai DTW *distance* antara *smartphone* pertama dan *smartphone* kedua yang dibandingkan dan hipotesis alternatif menyatakan adanya perbedaan median nilai DTW *distance* antara kedua *smartphone* tersebut. Hipotesis nol akan ditolak apabila nilai statistik uji $T > Z_{tabel}$ atau $T < -Z_{tabel}$ dan $p - value < \alpha$. Sebaliknya, hipotesis nol tidak dapat ditolak apabila nilai statistik uji T berada pada interval $-Z_{tabel} < T < Z_{tabel}$ dan $p - value > \alpha$. Sebagai catatan, dengan menggunakan $\alpha = 0,05$ diperoleh nilai $Z_{tabel} = Z_{0,05/2}$ sebesar $\pm 1,96$. Adapun nilai statistik uji T dan $p - value$ untuk setiap pasangan tipe *smartphone* yang dibandingkan disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Statistik Uji dan $p - value$ Uji Median Antar Dua Tipe *Smartphone*

No.	Tipe <i>smartphone</i> yang Dibandingkan	Statistik Uji (T)	$p - value$
1.	Tipe 1 – Tipe 2	9,699	< 0,001
2.	Tipe 1 – Tipe 3	10,120	< 0,001
3.	Tipe 1 – Tipe 4	9,993	< 0,001
4.	Tipe 2 – Tipe 3	-1,337	0,181
5.	Tipe 2 – Tipe 4	-0,073	0,942
6.	Tipe 3 – Tipe 4	1,169	0,242

Berdasarkan Tabel 6 dapat diketahui bahwa hipotesis nol uji median dua sampel dapat ditolak untuk perbandingan dua *smartphone* antara tipe 1 – tipe 2, tipe 1 – tipe 3, dan tipe 1 – tipe 4. Sebaliknya, hipotesis nol tidak dapat ditolak untuk perbandingan dua *smartphone* antara tipe 2- tipe 3, tipe 2 – tipe 4, dan tipe 3 – tipe 4. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan median nilai DTW *distance* antara *smartphone* tipe 1 dengan tipe 2, tipe 3 dan tipe 4. Namun, tidak terdapat perbedaan median nilai DTW *distance* antara *smartphone* tipe 2 dengan tipe 3 dan tipe 4, maupun antara *smartphone* tipe 3 dengan tipe 4.

Hasil pengujian median dua sampel menunjukkan bahwa *smartphone* tipe 1 memiliki kualitas suara yang berbeda dengan *smartphone* tipe 2, 3 dan 4. Perbedaan yang signifikan tersebut diduga dipengaruhi oleh kondisi panggilan bawaan sehingga harus menggunakan bantuan aplikasi *call recorder* yang diunduh melalui *PlayStore*. Kondisi tersebut menyebabkan kualitas suara yang direkam tidak sebaik kualitas suara hasil perekaman dengan menggunakan fitur bawaan yang tersedia pada *smartphone* tipe yang lainnya.

Hasil pengujian median dua sampel lainnya menyimpulkan bahwa *smartphone* tipe 2, 3 dan 4 memiliki kualitas suara yang sama pada taraf $\alpha = 0,05$. Meskipun demikian, perlu diselidiki lebih lanjut *smartphone* tipe manakah yang cenderung lebih baik di antara ketiganya. Oleh karena itu, diperlukan perhitungan selang kepercayaan untuk median nilai DTW *distance* masing-masing tipe *smartphone*.

3.3 Selang Kepercayaan untuk Nilai Median

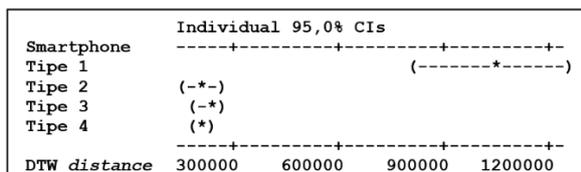
Selang kepercayaan nilai median digunakan untuk melihat batas kemungkinan nilai median DTW *distance* masing-masing tipe *smartphone* pada tingkat kepercayaan tertentu. Selang kepercayaan dapat memberikan gambaran terkait stabilitas kualitas suara sebuah *smartphone* yang diuji. *Smartphone* yang memiliki nilai selang kepercayaan untuk median nilai DTW *distance* yang lebih sempit menunjukkan bahwa kualitas suara yang dihasilkannya lebih stabil dari pada *smartphone* yang memiliki selang kepercayaan yang lebih lebar. Adapun 95% selang kepercayaan untuk nilai median DTW *distance* masing-masing tipe *smartphone* ditampilkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Selang Kepercayaan untuk Nilai Median DTW *Distance*

No.	Tipe <i>Smartphone</i>	Median	95% Selang Kepercayaan	
			Batas Bawah	Batas Atas
1.	Tipe 1	1.040.377	816.000	1.240.000
2.	Tipe 2	196.554	152.000	257.000
3.	Tipe 3	227.210	184.000	257.000
4.	Tipe 4	199.132	172.000	235.000

Tabel 7 menunjukkan bahwa *smartphone* tipe 1 memiliki 95% selang kepercayaan untuk median nilai DTW *distance* yang sangat lebar, berbeda jauh dengan ketiga tipe *smartphone* lainnya. Hal ini sejalan dengan Uji Median yang telah dilakukan sebelumnya dimana kualitas suara *smartphone* tipe 1 berbeda secara signifikan dengan tipe *smartphone* lainnya. Tabel 7 juga menunjukkan bahwa *smartphone* tipe 2 dan tipe 4 merupakan dua *smartphone* dengan median nilai DTW *distance* terkecil dan cukup berdekatan, yaitu masing-masing sebesar 196.554 dan 199.132.

Untuk mempermudah interpretasi dalam perbandingan kualitas suara keempat tipe *smartphone*, maka nilai median DTW *distance* dengan 95% selang kepercayaan masing-masing *smartphone* pada Tabel 7 disajikan secara visual pada Gambar 3.



Gambar 3. Visualisasi 95% Selang Kepercayaan untuk Median Nilai DTW *Distance*

Berdasarkan Tabel 7 dan Gambar 3 dapat diketahui bahwa meskipun *smartphone* tipe 2, tipe 3 dan tipe 4 memiliki kualitas suara yang sama berdasarkan Uji Median, namun *smartphone* tipe 4 terlihat memiliki rentang selang kepercayaan yang lebih sempit. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas suara yang dihasilkan *smartphone* tipe 4 lebih stabil dibandingkan *smartphone* tipe 2 dan tipe 3. Dengan kata lain, meskipun perekaman suara dilakukan dengan menggunakan kalimat sampel dan pengulangan yang berbeda-beda, *smartphone* tipe 4 tetap memiliki kualitas suara yang lebih stabil dibandingkan dengan *smartphone* tipe 2 dan tipe 3.

Setelah melalui analisis mendalam menggunakan DTW, Uji Median dan selang kepercayaannya, maka dapat ditetapkan bahwa peringkat *smartphone* terbaik berdasarkan kualitas suara yang dihasilkannya adalah *smartphone* tipe 4 pada posisi pertama dan diikuti oleh *smartphone* tipe 2, tipe 3 dan *smartphone* tipe 1 pada urutan terakhir. Dengan demikian, metode DTW efektif digunakan dalam menganalisis kualitas suara sebuah *smartphone*.

4. Kesimpulan

Metode DTW *distance* dapat digunakan untuk menganalisis kualitas suara sebuah *smartphone* dengan cara membandingkan suara asli (*input*) dengan suara yang dihasilkan (*output*) *smartphone* tersebut. Dari 4 tipe *smartphone* yang dibandingkan sebagai contoh pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa *smartphone* tipe 1 memiliki kualitas suara yang berbeda dengan *smartphone* tipe 2, 3 dan 4. Sementara itu, *smartphone* tipe 2, 3 dan 4 memiliki kualitas suara yang sama berdasarkan uji median. Meskipun demikian, 95% selang kepercayaan untuk median nilai DTW *distance* menunjukkan bahwa kualitas suara yang dihasilkan *smartphone* tipe 4 lebih stabil jika dibandingkan *smartphone* tipe 2 dan 3. Dengan demikian, *smartphone* dengan kualitas suara *output* terbaik yang mendekati suara *input* secara berurutan adalah *smartphone* tipe 4, 2, 3 dan tipe 1 pada peringkat terakhir. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai salah satu referensi dalam pemilihan tipe *smartphone* terutama bagi mereka yang mengutamakan kualitas suara. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa analisa terhadap kualitas suara *smartphone* secara efektif dapat dilakukan dengan menggunakan metode DTW.

Daftar Rujukan

- [1] Shuib, L., Shamshirband, S., & Ismail, M. H., 2015. A review of mobile pervasive learning: Applications and issues. *Computers in Human Behavior*, 46, pp. 239–244.
- [2] O’Dea, S., 2020. *Number of smartphone users worldwide from 2016 to 2021 (in billions)*. [Online] (update 10 December 2020). Available: <https://www.statista.com/statistics/330695/number-of-smartphone-users-worldwide/>. [Accessed: 10-

- Dec-2020].
- [3] BPS., 2019. *Statistik Kesejahteraan Rakyat 2019*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- [4] Wahyudin, A., Amanaf, M. A., & Ratnasari, I. K., 2019. Perancangan dan Analisis LTE Advanced 850 Mhz untuk Meningkatkan Penetrasi Mobile Broadband di Indonesia. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 7(1), pp. 57–71. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v7i1.57>.
- [5] Kemkominfo., 2017. *Survey Penggunaan TIK 2017: Serta Implikasinya terhadap Aspek Sosial Budaya Masyarakat*. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Informatika dan Informasi dan Komunikasi Publik, Kemkominfo.
- [6] OnoSokki., 2019. *Technical Report: What is sound quality evaluation?*. Yokohama: OnoSokki.
- [7] Yildirim, Ş., & Eski, I., 2008. Sound quality analysis of cars using hybrid neural networks. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 16(4), pp. 410–418.
- [8] Yadav, M., & Alam, M. A., 2018. Dynamic Time Warping (DTW) Algorithm In Speech: A Review. *International Journal of Research in Electronics and Computer Engineering*, 6(1), pp. 524–528.
- [9] Dhingra, S., Nijhawan, G., & Pandit, P., 2013. Isolated speech recognition using MFCC and DTW. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 2(8), pp. 4085–4092.
- [10] Ding, I. -J., Yen, C. -T., & Ou, D. -C., 2014. A Method to Integrate GMM, SVM and DTW for Speaker Recognition. *International Journal of Engineering and Technology Innovation*, 4(1), pp. 38–47.
- [11] Ariyanto, F., & Kusuma, W. A., 2018. Identifikasi Wajah Menggunakan Klasifikasi Dynamic Time Warping. *Sistemasi: Jurnal Sistem Informasi*, 7(2), pp. 162–168.
- [12] Lee, H. -S., 2019. Application of dynamic time warping algorithm for pattern similarity of gait. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 15(4), pp. 526–530. <https://doi.org/10.12965/jer.1938384.192>.
- [13] Permanasari, Y., Harahap, E. H., & Ali, E. P., 2019. Speech recognition using Dynamic Time Warping (DTW). In *Journal of Physics: Conference Series 1366, 2nd International Conference on Applied & Industrial Mathematics and Statistics*. Pahang, Malaysia 23-25 July 2019. Institute of Physics Publishing Ltd: Bristol. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1366/1/012091>.
- [14] Prayoga, N. F. I., Astuti, Y., & Waluyo, C. B., 2019. Analisis Speaker Recognition Menggunakan Metode Dynamic Time Warping (DTW) Berbasis Matlab. *Aviation Electronics, Information Technology, Telecommunication, Electricals, and Control*, 1(1), pp. 77–85. <https://doi.org/10.28989/avitec.v1i1.492>.
- [15] Rahman, F. S., & Yuhefizar, Y., 2017. Aplikasi Virtual Kata Untuk Komunikasi Penyandang Tunarungu Berbasis Android. *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, 1(2), pp. 99–105. <https://doi.org/10.29207/resti.v1i2.49>.
- [16] Bhaskoro, S. B., Ariani, I., & Alamsyah, A. A., 2014. Transformasi Pitch Suara Manusia Menggunakan Metode PSOLA. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 2(2), pp. 129–151. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v2i2.129>.
- [17] Silva, D. F., & Batista, G. E. A. P. A., 2016. Speeding up All-Pairwise Dynamic Time Warping Matrix Calculation. In *16th SIAM International Conference on Data Mining 2016*. Florida, USA 5-7 May 2016. Society for Industrial and Applied Mathematics Publications: Philadelphia. <https://doi.org/10.1137/1.9781611974348.94>.
- [18] Muda, L., Begam, M., & Elamvazuthi, I., 2010. Voice Recognition Algorithms using Mel Frequency Cepstral Coefficient (MFCC) and Dynamic Time Warping (DTW) Techniques. *Journal of Computing*, 2(3), pp. 138–143.
- [19] Senin, P., 2008. *Dynamic Time Warping Algorithm Review*. Honolulu: University of Hawaii at Manoa.
- [20] Daniel, W. W., 2000. *Applied Nonparametric Statistics*. Second Edition. Massachusetts: Cengage Learning.
- [21] Hazra, A., 2017. Using the Confidence Interval Confidently. *Journal of Thoracic Disease*, 9(10), pp. 4125–4130. <https://doi.org/10.21037/jtd.2017.09.14>.
- [22] Rahmantara, D. S., Wardhani, K. D. K., & Saf, M. R. A., 2018. Aplikasi Pengenalan Nama Surah pada Juz ke 30 Kitab Suci Al-Qur'an Menggunakan Speech Recognition. *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, 2(1), pp. 345–353. <https://doi.org/10.29207/resti.v2i1.285>.
- [23] Bustamin, A., & Prayogi, A. A., 2019. Perbandingan Kinerja Filter Butterworth Berdasarkan Spesifikasi Frekuensi untuk Pengolahan Sinyal Suara. *Techno.Com*, 18(4), pp. 332–339. <https://doi.org/10.33633/tc.v18i4.2714>.