ANALISIS DAN SIMULASI IDENTIFIKASI JUDUL LAGU MELALUI SENANDUNG MANUSIA MENGGUNAKAN EKSTRAKSI CIRI LPC (LINEAR PREDICTIVE CODING)

ANALYSIS AND SIMULATION IDENTIFICATION OF SONG'S TITLE THROUGH HUMAN'S HUMMING USING LPC (LINEAR PREDICTIVE CODING) FEATURE EXTRACTION

Ignatius Yoslan Kurniawan[1], Ir. Rita Magdalena, M.T.[2], I Nyoman Apraz Ramatryana, S.T.,M.T.[3]

[1,2,3]Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung
ignatiusyosh@students.telkomuniversity.ac.id, ritamagdalena@telkomuniversity.ac.id, ramatryana@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Pada penelitian ini akan penulis akan membuat suatu identifikasi judul lagu melalui senandung manusia. Penelitian ini akan menggunakan metode ekstraksi ciri suara yang disebut dengan *Linear Predictive Coding* dan metode klasifikasinya adalah *Dynamic Time Warping* (DTW). Sistem yang dirancang ini akan mengidentifikasi judul lagu melalui *humming* dengan keluaran berupa informasi judul lagu.Setelah dilakukan pengujian dengan skenario berbeda pada sistem yang dirancang maka didapatkanlah beberapa hasil akurasi. Untuk pengujian data lagu asli sebagai data latih dan data lagu asli sebagai data uji memiliki akurasi tertinggi sebesar 100 %. Pengujian data lagu vokal sebagai data latih dan data lagu vokal sebagai data uji memiliki akurasi tertinggi sebesar 81,67 %. Pengujian data lagu senandung sebagai data latih dan data lagu senandung sebagai data uji memiliki akurasi tertinggi sebesar 61,67 %. Pengujian data lagu vokal sebagai data latih dan data lagu senandung sebagai data uji memiliki akurasi tertinggi sebesar 78,33 %. Pengujian data lagu asli sebagai data latih dan data lagu senandung sebagai data uji memiliki akurasi tertinggi sebesar 80 %.

Kata Kunci: **Senandung, *Linear Predictive Coding, Dynamic Time Warping* (DTW)**

Abstract

In this research the authors will make an identification of song's title from human's humming. This study will use the voice feature extraction method called Linear Predictive Coding and classification method is Dynamic Time Warping (DTW). This system is designed to identify the title of a song by humming with the output of the song title information. After testing with different scenarios on the system, so there been several result of accuracy. For testing the original song data as training data and the original song data as the test data has the highest accuracy of 100%. Testing the vocal track data as training data and vocal song data as test data has the highest accuracy of 81.67%. Testing humming song data as training data and humming song data as test data has the highest accuracy of 61.67%. Testing the vocal track data as training data and humming song data as test data has the highest accuracy of 78.33%. Testing of the original song data as training data and humming song data as test data has the highest accuracy of 80%.

Keyword: ***Humming, Linear Predictive Coding, Dynamic Time Warping* (*DTW*)Keywords**

1 Pendahuluan

Lagu adalah seni nada atau suara dalam urutan, kombinasi dan hubungan temporal yang biasanya diiringi dengan alat musik untuk menghasilkan musik yang mengandung irama atau suara berirama. Lagu juga merupakan suatu media yang dapat membuat manusia merasa senang, sedih dan bersemangat. Kita sering mendengar lagu atau musik disekitar kita seperti di rumah, kafe, restoran, bahkan ditempat-tempat wisata. Kadang kita mendengar sebuah lagu atau musik yang tidak kita kenal tapi dapat membuat kita menyukai lagu tersebut. Pada penelitian sebelumnya[6] pernah dirancang sistem pengenalan suara menggunakan senandung manusia berbasis jaringan syaraf tiruan back-propagation Pada penelitian sebelumnya ekstraksi ciri yang digunakan adalah fft harmonic dan untuk klasifikasinya menggunakan JST-BP(Jaringan Syaraf Tiruan *Back-propagation*). Dari hasil penelitian sebelumnya didapatkan tingkat akurasi yang paling tinggi adalah 85.55% dengan konfigurasi *frame window* pada

ekstraksi cirinya sebesar 1000ms dan untuk konfigurasi pada jaringan syaraf tiruannya adalah jumlah *hidden layer* 1, jumlah *neuron* tiap *layer* 20, dan nilai *learning rate* 0.05. Pada penelitian ini akan penulis akan membuat suatu identifikasi judul lagu melalui senandung manusia dan membandingkannya dengan penelitian sebelumnya.

Untuk menerapkan ide penelitian ini maka diperlukan suatu metode ekstraksi ciri suara dan metoda klasifikasinya. Penelitian ini akan menggunakan metode ekstraksi ciri suara yang disebut dengan Linear Predictive Coding dan metode klasifikasinya adalah Dynamic Time Warping (DTW) . Metode-metode ini akan diaplikasikan pada software pemrograman Matlab. Sistem yang dirancang ini akan mengidentifikasi judul lagu melalui senandung manusia dengan keluaran berupa informasi judul lagu.

Dengan mengaplikasikan ide penelitian ini diharapkan dapat menjadi suatu kemajuan dibidang teknologi pengolahan sinyal digital dan dapat memberikan dampak positif bagi kehidupan manusia terutama dalam mengidentifikasi judul lagu yang tidak kita kenal melalui senandung manusia.

2 Dasar Teori dan Perancangan Sistem

2.1 Dasar Teori

2.1.1 Suara Manusia[9]

Proses pembentukan suara dapat dibagi menjadi tiga subproses, yaitu: pembangkitan sumber, artikulasi dan radiasi. Organ tubuh yang terlibat dalam proses produksi suara meliputi paru-paru, tenggorokan (*trachea*), laring (*larinx*), faring (*pharynx*), rongga hidung (*nasal cavity*), dan rongga mulut (*oral cavity*).

2.1.2 Struktur Lagu[3]

2.1.2.1 Verse

Verse adalah pengantar sebuah lagu sebelum lagu masuk ke bagian *Chorus*. *Verse* sering disebut bagian "basa-basi" dari sebuah lagu.

2.1.2.2 Chorus dan Reff

Chorus dan *Reff* sebenarnya berbeda, persamanannya hanyalah keduanya adalah inti pesan/inti cerita dari lagu. Banyak yang keduanya seringkali tertukar.

2.1.3 *Humming* (Senandung)[10]

Humming atau senandung adalah merupakan salah satu jenis suara yang dihasilkan oleh manusia. *Humming* dapat dilakukan mulut tertutup atau terbuka untuk menghasilkan suatu suara ataupun nada. *Humming* yang dilakukan oleh manusia biasanya diciptakan oleh resonansi udara di berbagai bagian yang melewati kepala dan tenggorokan pada saat bernafas.

2.1.4 Linear Predictive Coding (LPC)[5, 6, 7]

Linear Predictive Coding (LPC) merupakan salah satu metode analisis sinyal suara yang menyatakan ciri-ciri penting dari sinyal suara tersebut dalam bentuk koefisien-koefisien LPC. Enam langkah utama yang digunakan pada bagian ekstraksi ciri berbasis Linear Predictive Coding (LPC) adalah:

2.1.4.1 Preemphasis

Sinyal suara yang telah diubah menjadi sinyal digital, ⬚⬚, dilewatkan pada sebuah filter yang berorde rendah. Rangkaian *preemphasis* yang paling sering digunakan adalah sebuah sistem orde satu yaitu:

⬚⬚ = ⬚ − ⬚⬚⬚; ⬚ ≤ ⬚ ≤ ⬚ **(2.1)**

Dengan demikian output dari rangkaian filter tersebut, ⬚⬚, dalam fungsi input, ⬚⬚, adalah sebagai berikut:

⬚⬚ = ⬚⬚ − ⬚⬚⬚ − ⬚ **(2.2)**

2.1.4.2 Frame Blocking

Sinyal suara hasil dari proses *preemphasis* ⬚*n)* diblok atau dibagi ke dalam beberapa *frame* yang terdiri dari N-sampel suara, dengan jarak antara *frame* yang berdekatan dipisahkan oleh M-sampel. Jika M ≤ N, beberapa *frame* yang berdekatan akan saling *overlap* dan hasil estimasi spektral LPC akan berkorelasi dari *frame* ke *frame*.

Sebaliknya, jika M > N, tidak akan ada *overlap* antara *frame* yang berdekatan sehingga beberapa isyarat sinyal suara akan hilang total.

2.1.4.3 Windowing

Langkah berikutnya adalah melakukan proses *window* pada setiap bagian sinyal yang telah dibuat sebelumnya. Hal ini dilakukan untuk meminimalkan diskontinyuitas pada bagian awal dan akhir sinyal. Jika didefinisikan sebuah *window* ◆◆◆ dan sinyal tiap bagian adalah ◆◆◆ maka sinyal hasil proses *windowing* ini adalah sebagai berikut:

$$\tilde{x}(n) = x(n).w(n) \quad ; 0 \le n \le N-1 \qquad \textbf{(2.3)}$$

Model *window* yang paling sering digunakan untuk model LPC dengan metode autokorelasi adalah *Hamming Window* yang direpresentasikan dengan persamaan berikut:

$$w(n) = 0.54 - 0.46\cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right) \qquad \textbf{(2.4)}$$

2.1.4.4 Analisis Autokorelasi

Setiap *frame* dari sinyal setelah melalui proses *windowing*, kemudian dilakukan analisis autokorelasi sebagai berikut:

$$r(m) = \sum_{n=0}^{N-1-m} \tilde{x}(n)\,\tilde{x}(n+m) \quad ; m = 0, 1, \ldots, p \qquad \textbf{(2.5)}$$

Dimana nilai tertinggi *p* dari autokorelasi tersebut adalah orde dari analisa LPC yang akan dilakukan. Nilai yang umum untuk orde analisa LPC adalah antara 8 sampai 16.

2.1.4.5 Analisis LPC

Langkah berikutnya adalah analisis LPC dimana semua nilai autokorelasi yang telah dihitung pada tahap sebelumnya akan diubah menjadi sebuah parameter LPC. Metode yang umum untuk menyelesaikan koefisien autokorelasi di atas menjadi koefisien LPC adalah dengan menggunakan metode Durbin yang algoritmanya adalah sebagai berikut:

$$E^{(0)} = r(0) \qquad \textbf{(2.6)}$$

$$k_i = \frac{\{r(i) - \sum_{j=1}^{i-1} \alpha_j^{(i-1)} r(i-j)\}}{E^{(i-1)}} \quad ; 1 \le i \le p \qquad \textbf{(2.7)}$$

$$\alpha_i^{(i)} = k_i \qquad \textbf{(2.8)}$$

$$\alpha_j^{(i)} = \alpha_j^{(i-1)} - k_i.\alpha_{i-j}^{(i-1)} \qquad \textbf{(2.9)}$$

$$E^{(i)} = (1 - k_i^2).E^{(i-1)} \qquad \textbf{(2.10)}$$

Kemudian koefisien LPC yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

$$a_m = \alpha_m^{(p)} \quad ; 1 \le m \le p \qquad \textbf{(2.11)}$$

2.1.4.6 Konversi Parameter LPC menjadi Koefisien *Cepstral*

Parameter LPC yang sangat penting yang bisa diturunkan dari koefisien LPC adalah koefisien *cepstral* LPC, *c(m)*. Persamaan yang digunakan untuk menghitungnya adalah:

$$c_m = a_m + \sum_{k=1}^{m-1} \left(\frac{k}{m}\right) . c_k a_{m-k} \quad ; 1 \le m \le p \qquad \textbf{(2.12)}$$

$$\square_{\square} = \sum_{\square=\square}^{\square} (\frac{\square}{\square}) . \square_{\square} \square_{\square\square} \; ; \square \; \square \qquad (2.13)$$

Koefisien *cepstral* ini adalah koefisien dari representasi transformasi Fourier pada spektrum logaritmis.

2.1.5 Dynamic Time Warping (DTW)[2], [6]

Dynamic Time Warping (DTW) merupakan metode untuk mengklasifikasikan dua data yang disebabkan oleh pergeseran waktu. Prinsip dari metode DTW adalah menentukan kesamaan jarak antara pola-pola yang berbeda dengan menghitung nilai *optimal warping path* dari dua data/*sequence*. Dimana *optimal warping path* adalah jalur dengan cost terpendek dari perbandingan dua data.

Asumsikan terdapat dua kumpulan data $X=\{x_1, x_2, ..., x_n\}$ dan $Y=\{y_1, y_2, ..., y_m\}$. Untuk menentukan optimal warping path pada dua data tersebut kita memerlukan *cost matrix. Cost Matrix* adalah sebuah matriks yang berisi jarak terdekat (*Local Distance*) antar elemen pada dua data yang nantinya akan diakumulasikan dengan persamaan tertentu. Untuk menghitung *Local distance* antar elemen dari dua data didapatkan dengan menggunakan *Euclidean distance.*

$$\text{[illegible]} = \sqrt{\sum_{\text{[illegible]}} (\text{[illegible]} - \text{[illegible]})^2} \quad \textbf{(2.14)}$$

Setelah itu *local distance* akan membentuk sebuah matriks dan akan diakumulasi dengan menggunakan beberapa persamaan berikut:

- Baris pertama

$$\text{[illegible]}(1, \text{[illegible]}) = \sum_{\text{[illegible]}=1} \text{[illegible]}(\text{[illegible]}, \text{[illegible]}), \text{[illegible]} \in [1, \text{[illegible]} \quad \textbf{(2.15)}$$

- Kolom pertama

$$\text{[illegible]}(\text{[illegible]}1) = \sum_{\text{[illegible]}=1} \text{[illegible]}(\text{[illegible]}, \text{[illegible]}), \text{[illegible]} \in [1, \text{[illegible]} \quad \textbf{(2.16)}$$

- Elemen lainnya

$$\text{[illegible]}(\text{[illegible]}) = \text{[illegible]}(\text{[illegible]}) + \min\{\text{[illegible]}(\text{[illegible]} - 1, \text{[illegible]} - 1), \text{[illegible]}(\text{[illegible]} - 1, \text{[illegible]}), \text{[illegible]}(\text{[illegible]} - 1, \text{[illegible]})\}, \text{[illegible]} \in [\text{[illegible]}], \text{[illegible]} \in [1, \text{[illegible]} \quad \textbf{(2.17)}$$

Setelah *Cost Matrix* didapatkan langkah selanjutnya adalah dengan menentukan *optimal warping path. Optimal warping path* dapat ditentukan dengan menggunakan program dinamis dengan persamaan sebagai berikut:

$$W_{\text{[illegible]}} = \text{[illegible]}(\text{[illegible]}) = \min\{\text{[illegible]}(\text{[illegible]} - 1, \text{[illegible]} - 1), \text{[illegible]}(\text{[illegible]} - 1, \text{[illegible]}), \text{[illegible]}(\text{[illegible]} - 1, \text{[illegible]})\} \quad \textbf{(2.18)}$$

Setelah *Optimal warping path* ditentukan selanjutnya kita akan menghitung *cost optimal warping path* dengan persamaan berikut:

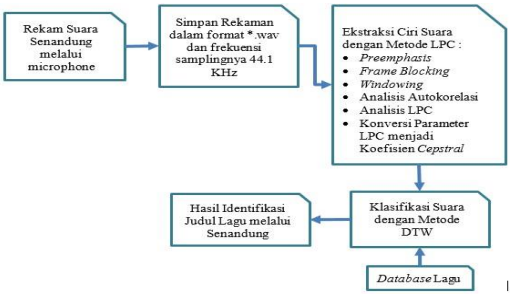
$$\text{[illegible]} = \frac{1}{p} \sum_{\text{[illegible]}=1}^{p} W_{\text{[illegible]}} \quad \textbf{(2.19)}$$

Cost optimal warping path merupakan hasil nilai rata-rata dari seluruh elemen pada *optimal warping path*. Dimana W_l adalah nilai elemen *optimal warping path* dan p adalah jumlah elemen *optimal warping path.*

2.2 Perancangan Sistem

2.2.1 Blok Diagram Sistem

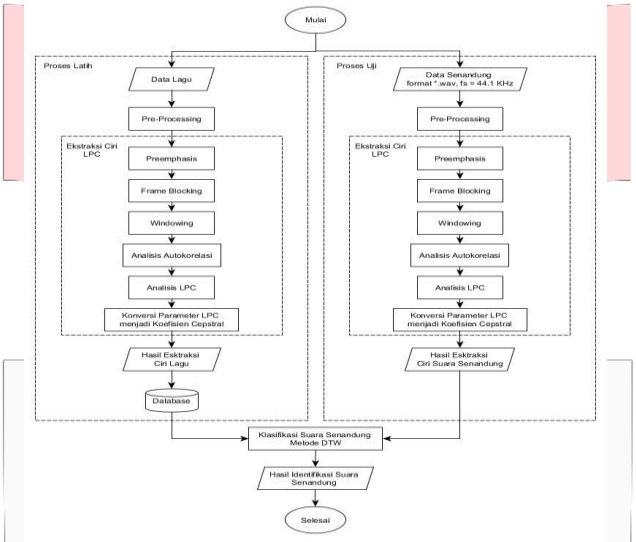
Pada perancangan sistem ini terdapat beberapa komponen yang akan dilakukan yaitu komponen yang pertama adalah merekam suara senandung melalui *microphone*. Berikutnya hasil rekaman tersebut direkam dalam format *.wav dan frekuensi samplingnya diatur pada 44.100 Hz. Kemudian akan dilakukan ekstraksi ciri suara pada hasil rekaman tersbut dengan Metode LPC. Selanjutnya akan dilakukan pengklasifikasian suara terhadap file rekaman tersebut dengan metode DTW. Lalu langkah terakhir adalah menampilkan hasil identifikasi judul lagu dengan hasil rekaman suara senandung yang telah dilakukan.



Gambar 2.1 Blok Diagram Sistem

2.2.2 Diagram Alir Sistem

Diagram alir sistem merupakan tahap yang paling penting dalam proses pembuatan suatu program. Secara Umum pembuatan sistem aplikasi yang akan dirancang dapat dilihat melalui diagram alir berikut.



Gambar 2.2 Diagram Alir Sistem

Berdasarkan diagram alir diatas terdapat dua proses utama yaitu proses latih dan proses uji. Proses latih merupakan proses untuk pembetukan *database* yang berasal dari data lagu asli yang terdiri dari 50 judul lagu dengan jumlah data 100 dikarenakan tiap judul lagu memiliki 2 data(*verse* dan *reff*). Sedangkan proses uji merupakan proses pembentukan data yang akan diuji yang berasal dari data senandung manusia.

2.2.3 Pengambilan Data

Dalam penelitian ini akan dilakukan pengambilan data untuk diproses oleh dua proses utama yaitu proses latih dan proses uji. Untuk proses latih digunakan data lagu yang bukan instrument dengan frekuensi sampling 44100 Hz dan lagu tersebut dibagi menjadi dua bagian yaitu bagian *verse* dan *reff*. Untuk proses data uji digunakan data suara senandung yang direkam menggunakan *external microphone* dengan frekuensi sampling 44100 Hz.

2.2.4 *Pre-Processing*

2.2.4.1 Filtering

Tahap pertama pada pre-processing adalah *Filtering*. Data akan di filter menggunakan BPF untuk meredam sinyal selain sinyal suara senandung yang akan diteliti. Untuk membuat filter tersebut diperlukan perancangan filter digital IIR (*Infinite Impulse Response*). Hal pertama yang akan dilakukan dalam merancang filter tersebut adalah dengan menentukan frekuensi digital filter dengan persamaan berikut:

$$\Omega = \frac{2\pi f}{F_s} \; ; \; \omega = \frac{2\pi f}{F_s} \qquad (2.2)$$

Dimana ω_s dan ω_p adalah frekuensi digital dalam satuan rad/sample, f_p adalah frekuensi pass band, f_s adalah frekuensi stopband dan F_s adalah frekuensi sampling. Langkah berikutnya adalah mengkonversikan frekuensi digital ke frekuensi analog dengan persamaan berikut:

$\Omega_p = 2\,F_s \tan(\frac{}{2})$ rad/detik ; $\Omega_s = 2\,F_s \tan(\frac{}{2})$ rad/detik (2.21)

Selanjutnya adalah proses *backward* LPF. Pada proses *backward* hal yang harus dilakukan adalah menentukan frekuensi cut off LPF ternormalisasi sesuai dengan filter yang dibutuhkan. Pada tugas akhir ini filter yang digunakan adalah BPF berikut adalah persamaannya:

$$A = \frac{-\Omega_{S1}^2 + \Omega_{P1}\Omega_{P2}}{\Omega_{S1}(\Omega_{P2} - \Omega_{P1})} \qquad \Omega_C = \min\{|A|, |B|\}$$
$$B = \frac{-\Omega_{S2}^2 + \Omega_{P1}\Omega_{P2}}{\Omega_{S2}(\Omega_{P2} - \Omega_{P1})} \qquad (2.22)$$

Langkah berikutnya adalah menentukan orde filter. Orde filter yang digunakan adalah orde filter butterworth dengan persamaan sebagai berikut:

$$n = \left\lceil \frac{\log\left(\frac{10^{-R_p/10} - 1}{10^{-R_s/10} - 1}\right)}{2\log\left(\frac{1}{\Omega_C}\right)} \right\rceil \qquad (2.23)$$

Selanjutnya adalah mendesain filter analog LPF ternormalisasi. Pada tahap ini diperlukan fungsi transfer $H_n(s)$ untuk filter butterworth menggunakan persamaan berikut:

$$H_n(s) = \frac{1}{s^N + a_1 s^{N-1} + a_2 s^{N-2} + \ldots + a_{N-1} s + a_N} \qquad (2.24)$$

Berikutnya adalah proses *forward.* Proses ini adalah proses desain filter analog sesuai spesifikasi dengan cara *analog to analog transformation* untuk filter BPF seperti persamaan berikut:

$$s \rightarrow \frac{s^2 + \Omega_{p1}\Omega_{p2}}{s(\Omega_{p2} - \Omega_{p1})} \qquad (2.25)$$

Langkah terakhir adalah mendesain filter digital dari tahap sebelumnya dengan menentukan H(z) menggunakan transformasi bilinear seperti berikut:

$$H(z) = H(s)\Big|_{s \rightarrow 2F_s \frac{z-1}{z+1}} \qquad (2.26)$$

Pada penelitian ini BPF yang digunakan memiliki frekuensi rentang dari 300-3400 Hz dikarenakan frekuensi suara manusia berada pada rentang frekuensi tersebut.

2.2.4.2 Resample

Pada tahap ini data akan disampling ulang untuk mempersingkat kerja sistem dengan frekuensi sampling yang lebih sedikit dari frekuensi sampling aslinya yaitu sebesar 8000 Hz.

2.2.4.3 Convert Stereo to Mono

Pada tahap ini data akan diubah dari stereo ke mono dengan mencari nilai rata-rata kedua kanal pada data stereo untuk diubah menjadi satu kanal saja (mono).

2.2.4.4 DC Removal

Pada tahap ini data yang telah dikonversikan ke mono akan dilakukan DC Removal. DC Removal adalah proses pengurangan sinyal dengan nilai rata-rata sinyal.

2.2.5 Ekstraksi Ciri

Setelah dilakukan *pre-processing* data hasil pre-processing tersebut akan di ekstraksi cirinya menggunakan metode LPC (*Linear Predictive Coding*). Pada Metode LPC data hasil *pre-processing* akan dilakukan proses *preemphasis* yaitu dengan melewatkan data tersebut melalui filter berorde rendah. Lalu data hasil *preemphasis* akan dilakukan *Frame Blocking*. Dimana *Frame Blocking* adalah diblok atau dibagi ke dalam beberapa *frame* yang terdiri dari N-sampel suara, dengan jarak antara *frame* yang berdekatan dipisahkan oleh M-sampel. Selanjutnya akan dilakukan proses *windowing yaitu* proses *window* pada setiap bagian sinyal yang telah dibuat sebelumnya. Pada tahap berikutnya setiap *frame* dari sinyal setelah melalui proses *windowing* akan dilakukan analisis autokorelasi. Hasil dari analisis autokorelasi selanjutnya akan diolah dengan proses analisis

LPC. Dimana analisis LPC adalah semua nilai autokorelasi yang telah dihitung pada tahap sebelumnya akan diubah menjadi sebuah parameter LPC. Pada tahap terakhir parameter LPC akan dikonversi menjadi koefisien cepstral. Hasil pada tahap terakhir inilah yang akan menjadi ciri dari suatu sinyal.

2.2.6 Klasifikasi

Setelah dilakukan proses ekstraksi ciri maka akan dilakukan klasifikasi menggunakan metode *Dynamic Time Warping* (DTW). Pada proses DTW data ciri latih dan ciri uji akan ditentukan jaraknya dengan menentukan terlebih dahulu *cost matrix* dari kedua data tersebut. *Cost Matrix* adalah sebuah matriks yang berisi jarak terdekat (*Local Distance*) antar elemen pada dua data yang diakumulasikan dengan persamaan tertentu. Untuk menentukan *cost matrix* hal yang pertama dilakukan adalah dengan menentukan *local distance* antar elemen kedua data tersebut. *Local distance* yang digunakan adalah *Euclidean distance* menggunakan persamaan (2.14). Misalkan ada dua kumpulan data X={1,2,4,1} dan Y ={3,5,1,8}. Lalu didapatkanlah nilai *local distance* pada tiap-tiap elemen sehingga akan membentuk sebuah matriks seperti berikut:

		X			
		1	2	4	1
Y	3	2	1	1	2
	5	4	3	1	4
	1	0	1	3	0
	8	7	6	4	7

Gambar 2.3 Matriks yang berisi *Local Distance*

Lalu matriks tersebut diakumulasi menggunakan persamaan (2.15), (2.16) , (2.17). Setelah diakumulasikan maka didapatkanlah *cost matrix* yang diperlukan pada metode DTW seperti berikut:

		X			
		1	2	4	1
Y	3	2	3	4	6
	5	6	5	4	8
	1	6	6	7	4
	8	13	12	10	11

Gambar 2.4 *Cost Matrix*

Setelah itu langkah selanjutnya adalah dengan menentukan *optimal warping path* menggunakan persamaan (2.18) dan hasilnuya pada matriks akan seperti berikut:

		X			
		1	2	4	1
Y	3	2	3	4	6
	5	6	5	4	8
	1	6	6	7	4
	8	13	12	10	11

Gambar 2.5 *Optimal warping path*

Dapat dilihat dari gambar diatas bahwa kotak wak berwarna kuning merupakan *optimal warping path* dari data X dan Y. Berikutnya dilakukan perhitungan *cost optimal warping path* dengan menggunakan persamaan (2.19) jika dihitung dengan persamaan tersebut maka nilai *cost optimal warping path*-nya adalah 4.80. *Cost optimal warping path* inilah yang menjadi jarak antara data latih dan data uji sehingga kelas dengan nilai *cost optimal warping path* yang paling minimum lah yang nanti akan diambil oleh sistem untuk mengidentifikasi suatu data uji berdasarkan data latih yang ada.

3 Pembahasan

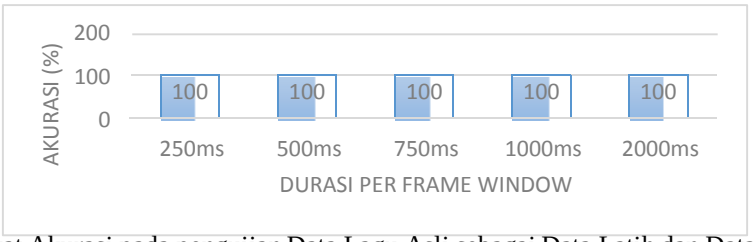
3.1 Simulasi dan Hasil

3.1.1 Pengaruh *Frame Window* Ekstraksi Ciri terhadap Akurasi *Output* Sistem

Pada tahap ini dilakukan pengujian sebanyak 5 *frame window* ekstraksi ciri LPC yaitu 250ms, 500ms, 750ms, 1000ms, dan 2000ms. Pengujian tersebut akan dilakukan dengan 5 skenario pengujian data latih dan data uji sebagi berikut:

3.1.1.1 Pengujian menggunakan Data Lagu Asli sebagai Data Latih dan Data Lagu Asli sebagai Data Uji

Pada skenario ini data latih dan data uji merupakan data yang sama yaitu data lagu asli dengan jumlah 100 data. Dari hasil pengujian didapatkan seperti gambar dibawah ini:

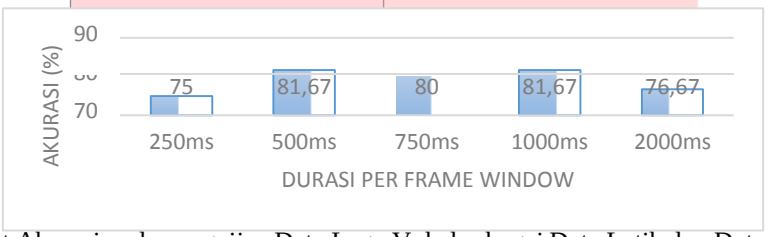


Gambar 3.1 Tingkat Akurasi pada pengujian Data Lagu Asli sebagai Data Latih dan Data Lagu Asli sebagai Data Uji

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa akurasi yang didapat pada tiap frame window memiliki nilai yang sama dikarenakan data yang digunakan merupakan data yang sama.

3.1.1.2 Pengujian menggunakan Data Lagu Vokal sebagai Data Latih dan Data Lagu Vokal sebagai Data Uji

Pada skenario ini data latih menggunakan data vokal dari satu orang dengan jumlah 60 data dan data uji menggunakan data vokal dari dua orang yang berbeda dengan jumlah 60 data. Dari hasil pengujian didapatkan akurasi seperti gambar dibawah ini:

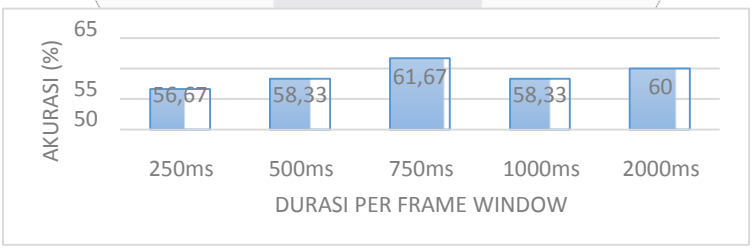


Gambar 3.2 Tingkat Akurasi pada pengujian Data Lagu Vokal sebagai Data Latih dan Data Lagu Vokal sebagai Data Uji

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa akurasi pada *frame window* 250ms dan 500ms mengalami peningkatan begitu juga pada *frame window* 750ms dan 1000ms sehingga untuk skenario pengujian ini dapat dianalisa bahwa semakin besar nilai *frame window* maka semakin tinggi akurasinya. Dan dapat kita lihat bahwa akurasi paling tinggi terdapat pada *frame window* 500ms dan 1000ms dengan akurasi 81,67 %.

3.1.1.3 Pengujian menggunakan Data Lagu Senandung sebagai Data Latih dan Data Lagu Senandung sebagai Data Uji

Pada skenario ini data latih menggunakan data senandung dari satu orang dengan jumlah 60 data dan data uji menggunakan data senandung dari dua orang yang berbeda dengan jumlah 60 data. Dari hasil pengujian didapatkan akurasi seperti gambar dibawah ini:

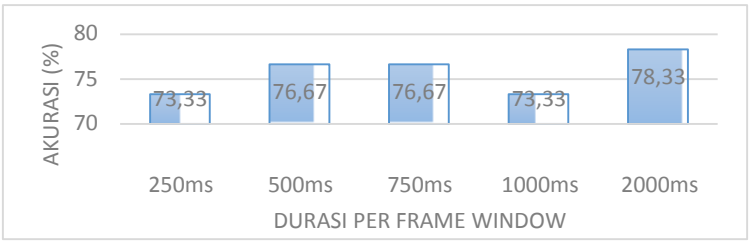


Gambar 3.3 Tingkat Akurasi pada pengujian Data Lagu Senandung sebagai Data Latih dan Data Lagu Senandung sebagai Data Uji

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa akurasi pada *frame window* 250ms, 500ms dan 750ms mengalami peningkatan begitu juga pada *frame window* 1000ms dan 2000ms sehingga untuk skenario pengujian ini dapat dianalisa bahwa semakin besar nilai *frame window* maka semakin tinggi akurasinya. Dan dapat kita lihat bahwa akurasi paling tinggi terdapat pada *frame window* 750ms dengan akurasi 61,67 %.

3.1.1.4 Pengujian menggunakan Data Lagu Vokal sebagai Data Latih dan Data Lagu Senandung sebagai Data Uji

Pada skenario ini data latih menggunakan data vokal dengan jumlah 100 data dan data uji menggunakan data senandung dengan jumlah 60 data. Dari hasil pengujian didapatkan akurasi seperti gambar dibawah ini:

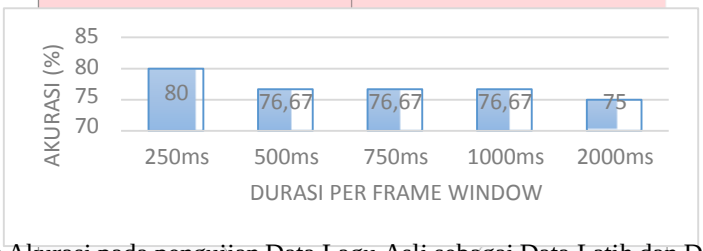


Gambar 3.4 Tingkat Akurasi pada pengujian Data Lagu Vokal sebagai Data Latih dan Data Lagu Senandung sebagai Data Uji

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa akurasi pada *frame window* 250ms, 500ms dan 750ms mengalami peningkatan begitu juga pada *frame window* 1000ms dan 2000ms sehingga untuk skenario pengujian ini dapat dianalisa bahwa semakin besar nilai *frame window* maka semakin tinggi akurasinya. Dan dapat kita lihat bahwa akurasi paling tinggi terdapat pada *frame window* 2000ms dengan akurasi 78,33 %.

3.1.1.5 Pengujian menggunakan Data Lagu Asli sebagai Data Latih dan Data Lagu Senandung sebagai Data Uji

Pada skenario ini data latih menggunakan data vokal dengan jumlah 100 data dan data uji menggunakan data senandung dengan jumlah 60 data. Dari hasil pengujian didapatkan akurasi seperti gambar dibawah ini:

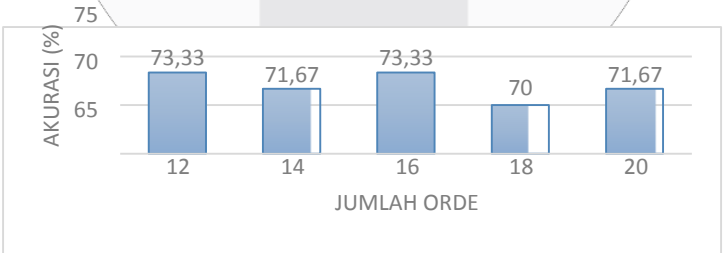


Gambar 3.5 Tingkat Akurasi pada pengujian Data Lagu Asli sebagai Data Latih dan Data Lagu Senandung sebagai Data Uji

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa akurasi pada *frame window* 250ms hingga 2000ms mengalami penurunan sehingga untuk skenario pengujian ini dapat dianalisa bahwa semakin kecil nilai *frame window* maka semakin tinggi akurasinya. Dan dapat kita lihat bahwa akurasi paling tinggi terdapat pada *frame window* 250ms dengan akurasi 80 %.

3.1.2 Pengaruh Orde Analisa LPC Terhadap Akurasi *Output* Sistem

Pada Ekstraksi Ciri LPC terdapat parameter orde analisa LPC yang dapat kita ubah sehingga akan dilakukan pengujian dengan menggunakan data vokal dengan jumlah 100 data sebagai data latih, data senandung dengan jumlah 60 data sebagai data uji, dan nilai *frame window* 1000ms. Dari hasil pengujian didapatkan akurasi seperti gambar dibawah ini:



Gambar 3.6 Tingkat Akurasi pada Orde Analisa LPC yang berbeda

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa akurasi pada orde 12 dan 14 mengalami penurunan begitu juga pada orde 16 dan 18 sehingga untuk skenario pengujian ini dapat dianalisa bahwa semakin kecil nilai orde maka semakin tinggi akurasinya. Dan dapat kita lihat bahwa akurasi paling tinggi terdapat pada orde 12 dan 16 dengan akurasi 73,33 %.

4 Kesimpulan dan saran

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi, pengujian serta analisa yang dilakukan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan berikut:

1. Pada pengujian menggunakan Data Lagu Asli sebagai Data Latih dan Data Lagu Asli sebagai Data Uji, dapat disimpulkan bahwa tiap *frame window* memiliki akurasi yang sama yaitu 100% dengan data latih sebanyak 100 dan data uji sebanyak 100 dikarenakan data latih dan data ujinya sama.
2. Pada pengujian menggunakan Data Lagu Vokal sebagai Data Latih dan Data Lagu Vokal sebagai Data Uji, dapat disimpulkan bahwa akurasi tertinggi terdapat pada *frame window* 500ms dan 1000ms dengan akurasi 81,67 % dengan data latih sebanyak 60 dan data uji sebanyak 60.
3. Pada pengujian menggunakan Data Lagu Senandung sebagai Data Latih dan Data Lagu Senandung sebagai Data Uji, dapat disimpulkan bahwa akurasi tertinggi terdapat pada *frame window* 750ms dengan akurasi 61,67 % dengan data latih sebanyak 60 dan data uji sebanyak 60.
4. Pada pengujian menggunakan Data Lagu Vokal sebagai Data Latih dan Data Lagu Senandung sebagai Data Uji, dapat disimpulkan bahwa akurasi tertinggi terdapat pada *frame window* 2000ms dengan akurasi 78,33 % dengan data latih sebanyak 100 dan data uji sebanyak 60.
5. Pada pengujian menggunakan Data Lagu Asli sebagai Data Latih dan Data Lagu Senandung sebagai Data Uji, dapat disimpulkan bahwa akurasi tertinggi terdapat pada *frame window* 250ms dengan akurasi 80 % dengan data latih sebanyak 100 dan data uji sebanyak 60.
6. Pada Pengujian Orde Analisa LPC dapat dapat kita lihat bahwa akurasi paling tinggi terdapat pada orde 12 dan 16 dengan akurasi 73,33 %.

4.2 Saran

Saran yang dapat digunakan untuk perkembangan penelitian Tugas Akhir selanjutnya, yaitu:

1. Pengembangan metode ekstraksi ciri dan klasifikasi lain yang dapat meningkatkan akurasi yang lebih baik.
2. Pengembangan terhadap durasi humming yang lebih pendek
3. Pengembangan cara kerja sistem yang lebih real time tanpa harus melakukan perekaman terlebih dahulu.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Firmansyah, A. 2007. *Dasar-Dasar Pemrograman Matlab*. IlmuKomputer.com.

[2] Gunawan, Alexander A. S. *Pembelajaran Bahasa Isyarat dengan Kinect dan Metode Dynamic Time Warping*.

[3] JadiBerita.com. 2015. *Mengenal Bagian-bagian dalam Lagu*. [Online] Available at: http://jadiberita.com/58559/mengenal-bagian-bagian-dalam-lagu.html [Accessed 08 November 2015].

[4] Mcloughlin, Ian. 2009. *Applied Speech and Audio Processing with Matlab Examples*.United States: Cambridge University Press.

[5] Nur Rohman, Sigit. 2012. *Aplikasi Pencirian Dengan Linear Predictive Coding Untuk Pembelajaran Pengucapan Nama Hewan Dalam Bahasa Inggris Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan Propagasi Balik.* Semarang: Universitas Diponegoro.

[6] Rachman, Syaiful. 2014. Visualisasi Pengenalan Ucapan Vokal Bahasa Indonesia dengan Metode LPC-DTW. Semarang: Universitas Diponegoro.

[7] Riyanto, Eko., Sutejo. 2014. *Perbandingan Metode Ekstrasi Ciri Suara MFFCC, ZCPA, dan LPC.* STMIK HIMSYA.

[8] Tawakal, Iqbal. 2014. *Analisis Penggunaan Algoritma Genetika untuk Meningkatkan Performansi dari Aplikasi Ketepatan Lagu dari Senandung Manusia Berbasis Jaringan Syaraf Tiruan Back-Propagation.* Bandung: Universitas Telkom.

[9] Wardana, Nyoman Kusuma. 2010. *Mekanisme Pembentukan Suara*. [Online] Available at: http://waterfilling.blogspot.co.id/2010/12/mekanisme-pembentukan-suara.html [Accessed 08 November 2015].

[10] Wikipedia. 2015. *Humming.* [Online] Available at: https://id.wikipedia.org/wiki/Humming [Accessed 08 November 2015].