

IDENTIFIKASI NADA ANTARA SULING SUNDA DAN SULING REKORDER DENGAN MENGGUNAKAN METODE *MEL FREQUENCY CEPSTRAL COEFFICIENTS* (MFCC) DAN *DYNAMIC TIME WARPING* (DTW)

Fawwaz Muhammad S.^{*1}, Youllia Indrawaty N.², Irma Amelia D.³

^{1,2,3}Program Studi Informatika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional, Bandung, Indonesia

Email: ¹suryadikarsa@gmail.com, ²youllia@itenas.ac.id, ³irma_amelia@itenas.ac.id

*Penulis Korespondensi

(Naskah masuk: 14 Januari 2019, diterima untuk diterbitkan: 14 Januari 2020)

Abstrak

Suling adalah sebuah instrumen musik yang biasa digunakan oleh para pemain musik ataupun masyarakat pada umumnya. Suling sunda merupakan alat musik tradisional asal Pasundan ini mampu menghipnotis yang mendengarkannya karena nada khasnya yang indah, suling rekorder adalah alat musik modern dengan bunyi seperti peluit. Tetapi tidak banyak orang tahu bahwa nada pada suling sunda bisa juga dimainkan pada suling rekorder, sehingga pelajar yang mengikuti dengung (seni sunda) harus membawa 2 buah suling ke sekolah apabila bertepatan dengan kelas musik. Identifikasi nada antara suling sunda dan rekorder ini adalah sebuah sistem yang digunakan untuk membandingkan dan mencocokkan frekuensi nada yang sama antara suling sunda dan suling rekorder, agar musik yang dimainkan di suling sunda bisa juga dimainkan di suling rekorder. Penelitian ini dibuat dengan menggunakan algoritma *Mel Frequency Cepstral Coefficient* (MFCC) sebagai metode proses ekstraksi ciri dan algoritma *Dynamic Time Warping* (DTW) sebagai identifikasi nada dengan perbedaan waktu pada saat perekaman. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, sistem mengidentifikasi nada suling sunda ke suling rekorder dengan total tingkat akurasi sebesar 70% dengan data latih diambil dari seorang ahli, dan sistem gagal mengidentifikasi nada suling sunda ke suling rekorder dengan total 30%. Ketidaksesuaian identifikasi nada diakibatkan jarak ekstraksi ciri antar nada yang berdekatan dan karena suling sunda bisa menggunakan nada rendah, standar, dan tinggi dan untuk penelitian ini hanya nada standar saja yang digunakan dan pada saat pengambilan data uji semua peniup adalah orang awam terhadap meniup suling sehingga kerap terjadi kesalahan pada saat proses pengambilan data uji.

Kata kunci: *suling, rekorder, suling sunda, mel frequency cepstral coefficient, dynamic time warping*

THE IDENTIFICATION BETWEEN TONE OF SUNDANESE FLUTE AND FLUTE RECORDER BY MEL FREQUENCY CEPSTRAL COEFFICIENTS (MFCC) AND DYNAMIC TIME WARPING (DTW) METHODS

Abstract

Flute is a musical instrument commonly used by music players or public people. Sundanese flute is a traditional musical instrument from Pasundan that is can hypnotize people who hear it because of the beautiful special tone, flute recorder is a modern musical instrument with sounds like whistle. But not many people know the tone Sundanese flute can be played using recorder flutes, so that students who follow the dengung (Sundanese art) must bring 2 flutes to school when it coincides with the music class. The identification between tone of Sundanese flute and flute recorder is a system to compare and match frequency same tones between Sundanese flute and recorder flute so the music that is usually played on Sundanese flute can also be played on the flute recorder. This research was made using an algorithm Mel Frequency Cepstral Coefficient (MFCC) to perform feature extraction and algorithm processes Dynamic Time Warping (DTW) is used to identify the time difference of recording. Based on results of research, the system can identifies Sundanese flute tones to refine recorders with total accuracy rate of 70% with training data taken from an expert, and the system fails to identify the tone flute Sunda to flute recorder with a total of 30%. Incompatibility matching tones caused by the distance between adjacent tones and because Sundanese flutes can use low, standard, and high tones and for this study only standard tones are used and when taking test data all blowers are laymen to blow flutes so that errors often occur during the process of taking test data.

Keywords: *flute, recorder, sundanese flute, mel frequency cepstral coefficient, dynamic time warping*

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Suling adalah salah satu jenis musik tiup yang umumnya terbuat dari bambu, namun ada juga suling yang terbuat dari nikel – perak, bahkan ada pula suling yang terbuat dari emas. Alat musik tiup ini menjadi sebuah instrumen primer yang biasa digunakan oleh pemain musik, yang mana diantaranya terdapat suling rekorder atau suling modern dan suling bambu atau suling tradisional (Huda, Nurul., 2013).

Suling sunda merupakan alat musik tiup yang terbuat dari bambu tamiang yaitu salah satu jenis bambu yang tipis dan berdiameter kecil. Dari beberapa jenis suling sunda yang ada, salah satu jenis suling sunda yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah suling sunda berjenis pelog. Suling ini memiliki lima tangga nada, yakni meliputi nada : 1(da); 2 (mi); 3(na); 4(ti); 5(la). (Indonesia, Bambu., 2012).



Gambar 1. Suling Sunda Lubang 6
(Sumber : Macamakati, Alat Musik Tradisional)

Suling rekorder yang juga merupakan suling modern dari keluarga alat musik tiup dengan bunyi seperti pluit ini memiliki 7 nada meliputi nada: 1(do); 2(re); 3(mi); 4(fa); 5(so); 6(la); 7(si). Suling rekorder yang digunakan adalah suling rekorder dengan jenis soprano.



Gambar 2. Suling Rekorder
(Sumber : Bunga Chia, Alat Musik Rekorder)

Nada adalah bunyi yang beraturan, dan memiliki frekuensi tunggal tertentu. Dalam teori musik, setiap nada memiliki tinggi nada atau tala tertentu menurut frekuensinya ataupun menurut jarak relatif antara tinggi

nada tersebut terhadap tinggi nada patokan. Besar kecilnya nilai frekuensi yang dihasilkan tergantung dari baik buruknya suatu nada, yang ditentukan oleh posisi jari dan kecepatan aliran udara yang ditiup oleh mulut.

Perbedaan frekuensi dari setiap nada yang keluar dari alat musik menjadi kunci penting dalam klasifikasi instrumen (Muttaqin, Imam., 2013), dengan hal ini maka penelitian yang dapat dilakukan adalah bagaimana caranya alat musik tradisional seperti suling sunda bisa dimainkan di suling rekorder. Sistem yang dirancang bertujuan untuk menentukan nilai frekuensi dari suling bambu agar bisa dicocokkan dan digunakan oleh suling rekorder dengan menggunakan metode *Mel Frequency Cepstral Coefficients* (MFCC) sebagai ekstraksi ciri dan *Dynamic Time Warping* (DTW) sebagai metode pengidentifikasiannya.

1.2. Tujuan Penelitian

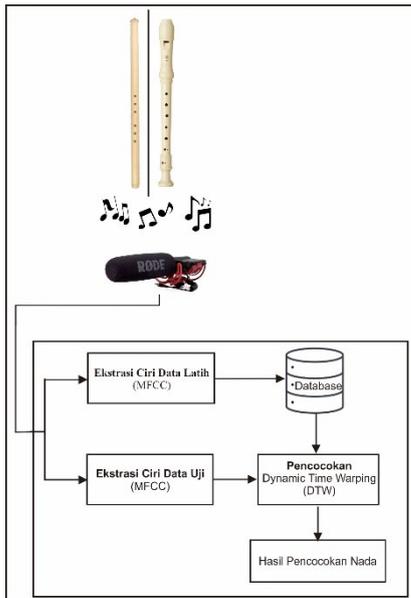
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mencari nilai frekuensi antara nada suara suling sunda dengan nada suara suling rekorder untuk dibandingkan dan dicocokkan.

Kontribusi penelitian ini ditujukan kepada pelajar yang mengikuti ekstrakurikuler degung (seni sunda) dan pada hari tersebut juga bertepatan dengan mata pelajaran musik, sehingga mengharuskan pelajar tersebut membawa 2 buah suling yaitu suling sunda dan suling rekorder, dan pada penelitian ini juga menguji seberapa akuratkah metode MFCC dan DTW untuk pecocokan frekuensi nada.

1.3. Metode Penelitian

Sebagai pendukung keberhasilan penelitian, metodologi pengembangan sistem yang digunakan dalam membangun aplikasi ini adalah metodologi prototype. Metode ini menyajikan gambaran yang lengkap tentang sistem yang akan dibangun, *client* dapat melihat pemodelan sistem dari sisi tampilan maupun teknik prosedural yang akan dibangun. Pada sisi development akan ditampilkan efisiensi algoritma, interaksi dengan *OS* dan *user*. Metode ini dapat mengidentifikasi kebutuhan pemakai, analisis sistem akan melakukan studi kelayakan dan studi terhadap kebutuhan pemakai, meliputi model *interface*, teknik *prosedural* dan teknologi yang akan digunakan.

Aktifitas metodologi *prototype* terdiri dari perencanaan sistem, analisis, perancangan penelitian, implementasi, pengujian, dan pemeliharaan sistem. Perencanaan sistem bertujuan merencanakan pembangunan sistem yang akan dibangun terhadap kebutuhan user seperti apa, dengan mencari data permasalahan yang ada. Aktifitas selanjutnya yaitu analisis. Analisis kebutuhan *user* dilakukan guna melengkapi kebutuhan penelitian yang dilakukan, kebutuhan tersebut bisa berupa jurnal, *txt book*, *paper* dan artikel. Perancangan penelitian yang akan dibangun meliputi tahapan yang dijelaskan pada Gambar 3.

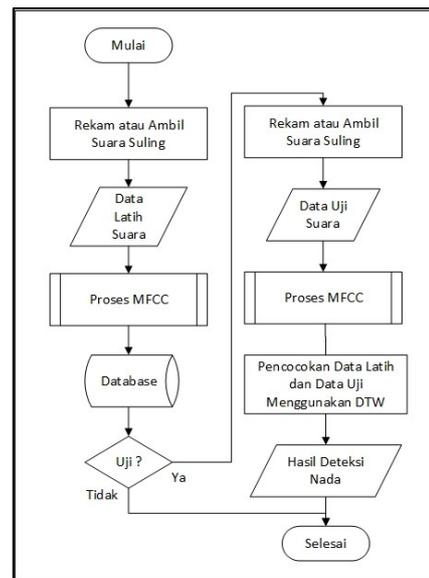


Gambar 3. Gambaran Umum Sistem

Pada Gambar 3., ditunjukkan gambaran umum pada sistem perbandingan nada suara suling sunda dan suling rekorder. Suling yang menghasilkan nada suara akan diterima oleh mikrofon yang dihubungkan ke komputer dan akan disimpan dalam bentuk .wav. Setelah penyimpanan, MFCC digunakan sebagai metode ekstraksi ciri, dimana proses ini digunakan untuk mengubah sinyal suara menjadi nilai *matrix*. Nilai *matrix* yang disimpan ke dalam *database* berbentuk file .txt. Algoritma DTW dalam proses ini digunakan sebagai metode identifikasi antara data latih dan data uji nada suara suling. Setelah dilakukan perhitungan dengan algoritma tersebut, nilai yang dihasilkan akan dibandingkan dan dicocokkan untuk dilihat nilai mana yang mendekati antara data latih dan data uji. Konfigurasi tersebut akan menghasilkan suatu sistem yang dapat melakukan perbandingan nada suling sunda dan suling rekorder secara akurat. Aktifitas yang selanjutnya setelah melakukan perancangan penelitian adalah implementasi hasil analisis dan perancangan, berupa proses pembangunan sistem. Sistem yang akan dibangun adalah sistem identifikasi nada suara suling sunda dengan suara suling rekorder menggunakan metode MFCC dan DTW dimana metode MFCC sebagai ekstraksi ciri sinyal suara dan DTW sebagai identifikasi antara data latih dan data uji. Dalam tahap pengujian, pengujian dilakukan terhadap sistem dengan cara melakukan perekaman beberapa nada suara suling sunda secara acak dan data diambil secara offline dengan menggunakan metode alpha-test yang bertujuan untuk menguji beberapa fungsionalitas sistem dan tahapan terakhir yaitu pemeliharaan sistem yang bertujuan untuk dilakukannya pengembangan dan perbaikan sistem agar bisa menjadi lebih baik dan lebih stabil.

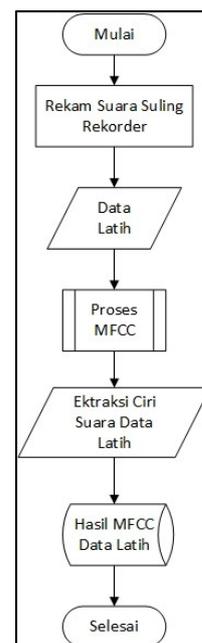
2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dibuat sistem identifikasi nada suara suling sunda dan suling rekorder dengan menggunakan metode MFCC dan DTW yang dirancang untuk mengkonversi suara suling sunda ke suling rekorder ataupun sebaliknya dengan cara mencocokkan hasil ekstraksi suara suling dengan data latih yang sebelumnya sudah tersimpan di dalam *database*. Pengambilan seluruh data suara latih dan data suara uji dilakukan di tempat hening dengan tingkat kebisingan sekitar sebesar 21-27dB (diukur dengan soundmeter).



Gambar 4. Alur Sistem

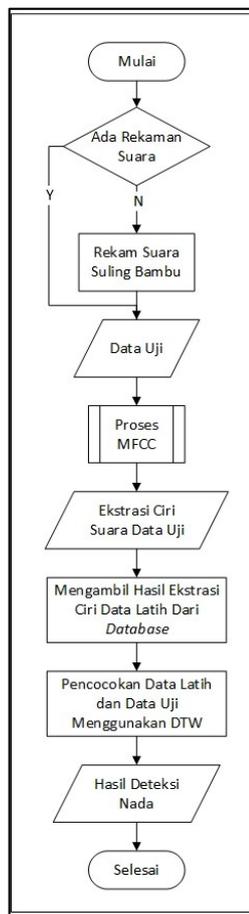
Gambar 4. menunjukkan alur dari keseluruhan sistem identifikasi nada suara suling sunda dan rekorder yang dibuat.



Gambar 5. Alur Sistem Data Latih

Gambar 5. menunjukkan tahapan proses pengambilan data latih. Tahap pertama yaitu pengumpulan sampel nada dengan melakukan perekaman yang akan dijadikan sebagai data latih suara, selanjutnya sampel nada akan diekstraksi oleh MFCC sehingga menghasilkan nilai ekstrasi ciri. Nilai ekstrasi ciri suara data latih yang sudah diperoleh dari proses MFCC akan disimpan di database.

Sampel nada untuk data latih ditiup oleh seorang ahli, data latih yang diambil untuk sistem ini sebanyak 10 data untuk setiap tangga nada, sehingga untuk suling sunda yang memiliki 5 tangga nada yaitu da, mi, na, ti, la ada sebanyak 50 data nada, dan untuk suling rekorder yang memiliki 7 tangga nada yaitu do, re, mi, fa, sol, la, si ada sebanyak 350 data nada dengan format .wav.

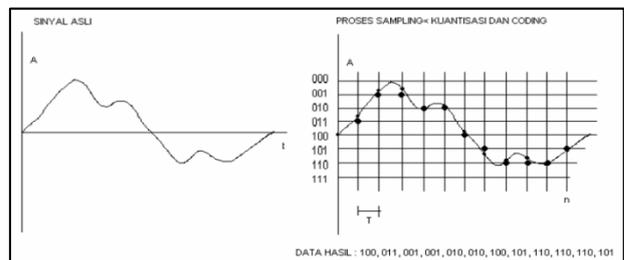


Gambar 6. Alur Sistem Data Latih

Setelah diketahui ekstraksi ciri suara data latih sebagai parameter untuk mendeteksi suara suling, proses selanjutnya adalah proses data uji, proses data uji memiliki tahapan yang hampir sama dengan proses data latih. Pada Gambar 6. ditunjukkan proses data uji, pertama dilakukan perekaman suara dari *user* atau pengambilan data rekaman suara berbentuk .wav dan selanjutnya diekstraksi menggunakan metode MFCC. Setelah suara diekstraksi, dilakukan identifikasi data dari ekstrasi ciri suara menggunakan metode DTW dan dilakukan perhitungan jarak penyimpangan dengan data latih. Hasil dari identifikasi data uji dan data latih merupakan hasil deteksi nada suling.

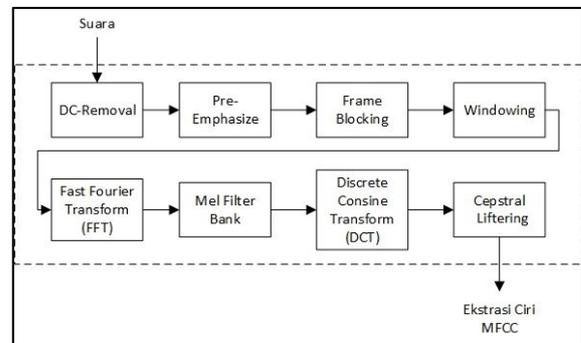
2.1. Konversi sinyal analog menjadi sinyal digital

Tahap pertama sebelum masuk ke tahapan MFCC adalah pengkonversian sinyal suara dari sinyal asli ke sinyal digital. Sinyal asli yang dihasilkan umumnya seperti *signal continue*, yaitu sinyal yang memiliki nilai *infinity*. Sedangkan sinyal yang dapat diproses oleh komputer adalah *signal discrete* atau disebut dengan istilah *digital signal*. Maka dari itu sinyal tersebut harus dikonversi terlebih dahulu dari data *signal continue* menjadi *digital signal*, penggambaran konversinya dari sinyal asli ke sinyal digital dapat dilihat pada Gambar 7. Proses konversi tersebut terdapat 3 tahap, tahap pertama yaitu tahap *sampling* data, tahap kedua yaitu tahap kuantisasi, dan yang terakhir tahap pengkodean. (Putra, Darma dan Resmawan, Adi., 2011)



Gambar 7. Proses Penggambaran Sinyal Digital
(Sumber : Verifikasi Biometrika Suara Menggunakan Metode MFCC Dan DTW Vol.2 no.1)

2.2. Tahapan MFCC



Gambar 8. Langkah - Langkah Ekstrasi Ciri MFCC

Langkah – langkah proses ekstraksi ciri MFCC ditunjukkan pada Gambar 8. Setelah mendapatkan nilai ekstraksi ciri dari nada suling, sistem melakukan identifikasi nada antara nada suling sunda dan suling rekorder dengan menggunakan metode DTW. Tahap akhir dari sistem ini adalah menampilkan informasi hasil identifikasi nada.

1. DC-Removal

Tujuan dari *DC-Removal* adalah untuk mendapatkan nilai normalisasi dari data sinyal suara yang di *input*. Nilai normalisasi ini di dapat dengan cara menghitung nilai rata-rata dari data sampel suara yang dimiliki. Nilai rata-rata yang telah didapatkan akan menjadi nilai pengurang dari setiap nilai sampel suara. (Putra, Darma dan Resmawan, Adi., 2011). Perhitungan *DC-Removal* menggunakan persamaan 1.

$$y[n] = x[n] - \pi, 0 \leq n \leq N - 1 \quad (1)$$

Keterangan :

$y[n]$ = sampel sinyal hasil *DC-Rremoval*

$x[n]$ = sampel sinyal asli

π = nilai rata-rata sampel sinyal asli

N = panjang sinyal

Input dari proses *DC-Removal* ini berbentuk *array* dengan nilai *output* berbentuk *array* yang sudah dinormalisasi. (Manunggal, HS. 2005).

2. Pre-Emphasize

Salah satu jenis *filter* yang sering digunakan dalam proses filtering sebuah suara sebelum sebuah sinyal diproses lebih lanjut adalah *Pre-emphasize* filtering. Cara kerja dari *filter* ini adalah mempertahankan frekuensi-frekuensi tinggi pada sebuah grafik yang umumnya akan terbuang pada saat proses produksi suara. *Default* nilai *alpha* yang digunakan dalam proses *pre-emphasize* filtering adalah 0,97 (Rabiner, Lawrence, and Biing-Hwang Juang, 1993).

$$y[n] = s[n] - \alpha s[n - 1] \quad (2)$$

Keterangan :

$y[n]$ = sinyal hasil *pre-emphasize* filter

$s[n]$ = sinyal sebelum *pre-emphasize* filter

$\alpha = 0.97$ (berdasarkan Lawrence Rabiner)

Tujuan dari *Pre-Emphasize* ini adalah untuk mendapatkan bentuk *spectral* frekuensi sinyal yang lebih halus dengan mengurangi *noise ratio* pada sinyal.

3. Frame Blocking

Hasil dari perekaman suara suling adalah *signal analog*, yaitu sinyal yang bergantung terhadap waktu atau *variant time*. Maka karena sinyal tersebut bergantung terhadap waktu, sinyal tersebut harus dipecah dalam bagian-bagian waktu tertentu agar dapat diibaratkan tidak tergantung terhadap waktu atau *invariant time*. Sinyal suara dipotong sepanjang 20 milidetik. Setiap potongan tersebut disebut *frame*. Lebar *frame* saat pemotongan, sangat berpengaruh terhadap keberhasilan pada analisis *spectral*. Lebar *frame* harus diperlebar agar menghasilkan resolusi frekuensi yang baik, tapi di sisi lain juga ukuran *frame* harus cukup sempit agar bisa menghasilkan resolusi waktu yang baik.

$$\frac{T_s}{M} \quad (3)$$

Keterangan :

T_s = Durasi pengambilan suara (ms)

M = Panjang *Frame* (ms)

4. Windowing

Proses selanjutnya dari *frame blocking* adalah *windowing*, yang bertujuan untuk mengurangi

kemungkinan terjadinya kebocoran spektral. Kebocoran spektral terjadi karena rendahnya jumlah nilai *sampling rate* atau karena proses *frame blocking*, yang mana proses tersebut menyebabkan sinyal menjadi terhenti.

$$x[n] = xi[n] w[n], n = 0,1,2,3,4,5 \dots, N - 1 \quad (4)$$

Keterangan :

$x(n)$ = nilai sampel sinyal hasil windowing

$xi(n)$ = nilai sampel dari *frame* signal ke i

$w(n)$ = fungsi window

N = banyaknya *frame*

5. Fast Fourier Transform (FFT)

Fast Fourier Transform adalah salah satu metode dari analisis *fourier*. Analisis *fourier* merupakan sebuah metode yang digunakan untuk melakukan analisis terhadap sinyal yang diiputkan berupa *spectrogram*.

Waktu dan frekuensi dalam *spectrogram* sangat berkaitan satu sama lain. Keterkaitan antara waktu dan frekuensi adalah hubungan berbanding terbalik, yang dimana apabila resolusi waktu yang digunakan rendah, maka resolusi frekuensi yang dihasilkan akan semakin tinggi (Rabiner, Lawrence, and Biing-Hwang Juang, 1993). FFT Dihitung dengan persamaan:

$$F(k) = \sum_{n=1}^N f(n) \cos \frac{2\pi kn}{N} - j \sum_{n=1}^N f(n) \sin \frac{2\pi kn}{N} \quad (5)$$

Keterangan :

W_n = Sinyal hasil FFT

j = Nilai *imaginary*

N = Jumlah titik sampling sinyal

Dan untuk melihat nilai FFT digunakan persamaan:

$$f(u) = [r^2 + i^2]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

Keterangan :

$f(u)$ = Sinyal hasil *Fourier Spectrum*

r = Nilai *real*

i = Nilai *imaginary*

6. Mel Filter Bank

Filterbank adalah salah satu bentuk dari *filter* yang dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui ukuran energi dari *frequency band* tertentu dalam sinyal suara.

$$Y[i] = \sum_{j=1000}^N S[j] Hi[j] \quad (7)$$

Keterangan :

N = Jumlah *magnitude spectrum*

$S[j]$ = *Magnitude spectrum* pada frekuensi j

$Hi[j]$ = koefisien *filterbank* pada frekuensi j ($1 < i < M$)

Untuk mendapatkan Hi digunakan rumus:

$$H_i = \frac{2595 \cdot \log(1 + \frac{f}{700})}{\frac{si}{2}} \quad (8)$$

Keterangan :
 si = Nilai FFT pada frekuensi i

7. Discrete Cosine Transform (DCT)

Discrete Cosine Transform (DCT) adalah langkah terakhir dari proses utama ekstraksi ciri MFCC.

$$cn = \sum_k^K (\log Sk \cos \{n(k - \frac{1}{2})\frac{\pi}{K}\}, n = 1,2,3 \dots, K) \quad (9)$$

Keterangan :
 Sk = keluaran dari proses filter bank pada index
 K = jumlah koefisien yang diharapkan

8. Cepstral Liftering

Cepstral liftering merupakan salah satu standar teknik yang diterapkan untuk meningkatkan kualitas pengenalan suara. Hasil proses utama MFCC memiliki beberapa kelemahan yaitu *low order* dari cepstral coefficients yang sangat sensitif terhadap spectral slope dan bagian *high order* yang sensitif terhadap noise. Penambahan fungsi window terhadap cepstral features dapat dilakukan untuk meminimalisir sensitifitas dari proses utama MFCC. Penambahan fungsi window dapat dilihat pada persamaan (10).

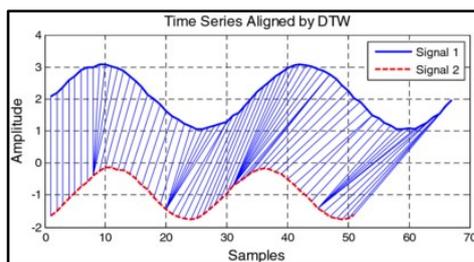
$$W_{[n]} = \{n + \frac{L}{2} \sin(\frac{n\pi}{L-1})\}, n = 1,2,3 \dots L \quad (10)$$

Keterangan :
 L = jumlah cepstral coefficients
 n = index dari cepstral coefficients

2.3. Tahapan DTW

Algoritma DTW merupakan salah satu metode yang digunakan untuk membandingkan dua buah sequence di waktu dan kecepatan yang berbeda.

Keunggulan dari algoritma DTW sendiri jika dibandingkan dengan metode jarak yang lainnya adalah mampu menghitung jarak atau selisih antar dua vektor yang dibandingkan dengan menghitung dari optimal warping path atau jalur pembengkokan optimal. Penggambaran hasil dari identifikasi metode DTW dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Proses DTW

(Sumber : Sciencedirect, Constrained selective dynamic time warping of trajectories in three dimensional batch data)

Dari tiga proses utama teknik DTW, perhitungan yang sering digunakan adalah dengan menggunakan metode pemrograman dinamis.

$$D = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2} \quad (11)$$

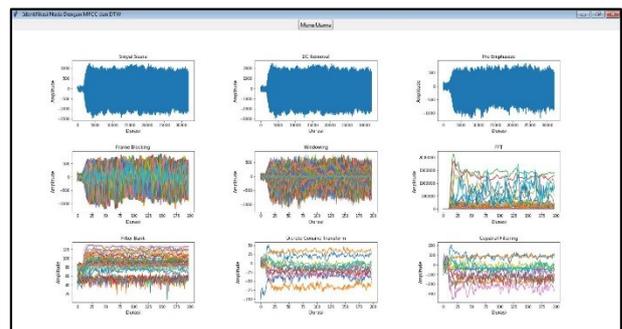
Keterangan :
 (X1,X2) = Sinyal Uji
 (Y1,Y2) = Sinyal Latih

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, Anaconda 3 v.5.2.0 digunakan sebagai tools untuk menganalisis data, bahasa pemrograman yang digunakan adalah Python 3.6.5, dan Audacity v.2.2.2 untuk pengambilan suara secara offline. Pada pengambilan nada untuk data latih ataupun data uji, jarak yang digunakan yaitu sejauh 5cm. Pada Gambar 10. ditunjukkan form awal pada sistem yang dibangun.



Gambar 10. Form Awal Sistem



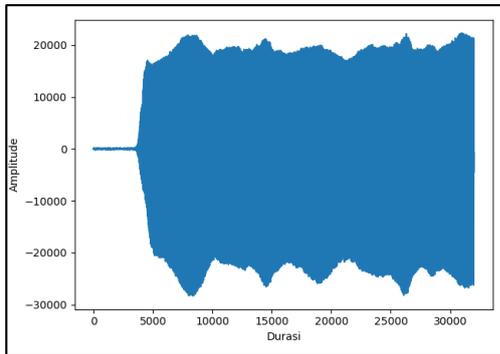
Gambar 11. Form Hasil Ekstraksi Ciri MFCC

Pada Gambar 11. adalah hasil perubahan sinyal pertahap dari proses ekstraksi ciri MFCC, berikut penjelasan tahapan penelitian yang dilakukan dan analisis pengujian terhadap identifikasi nada suling sunda dan suling rekorder.

3.1. DC-Removal

Setelah sinyal suara diterima, tahap pertama dari MFCC adalah DC-Removal, gunanya adalah untuk menghitung rata-rata dari sinyal suara. Gambar 12.

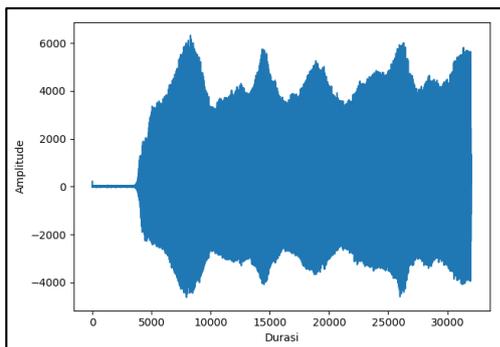
memperlihatkan hasil dari plot sinyal masukan telah di proses dengan rumus *DC-Removal*.



Gambar 12. *DC-Removal*

3.2. *Pre-Emphasize*

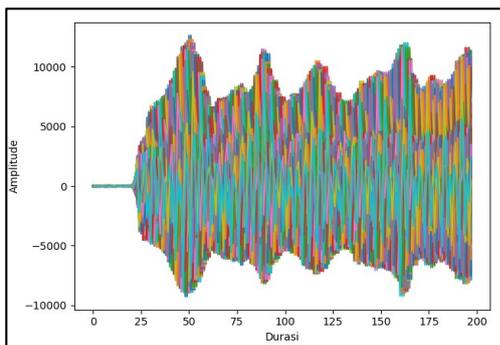
Tahap selanjutnya setelah *DC-Removal* adalah *Pre-Emphasize*. Gambar 13. memperlihatkan hasil plot sinyal yang telah di proses dengan *Pre-Emphasize*, dimana pada tahap ini menampilkan plot hasil pengikisan sinyal dengan cara mempertahankan frekuensi tinggi pada sinyal tersebut.



Gambar 13. *Pre-Emphasize*

3.3. *Frame Blocking*

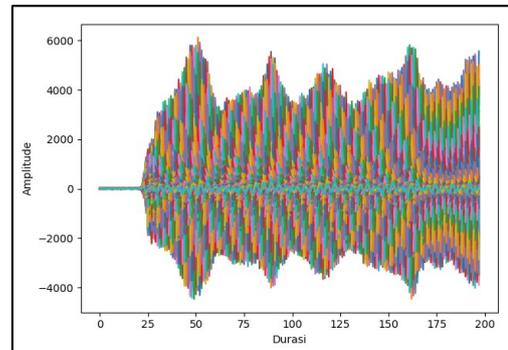
Tahap selanjutnya adalah tahap *frame blocking*. *Frame blocking* berfungsi mengiris tiap sampel dengan *range* yang sama. Pada penelitian ini pengirisan sinyal diatur dengan durasi 20ms, dapat dilihat pada durasi pada Gambar 14. menjadi 200 yang pada tahap *Pre-Emphasize* yang durasinya 30000.



Gambar 14. *Frame Blocking*

3.4. *Windowing*

Setelah *Frame Blocking*, tahap selanjutnya adalah *windowing*, pada Gambar 15. memperlihatkan hasil dari *Windowing*. Pada saat pengirisan sinyal oleh *frame blocking* tidak selalu tepat pada titik *zero-crossing*, sehingga rentan terjadinya kebocoran spektral. Proses ini ini bisa meminimalisir terjadinya hal tersebut.

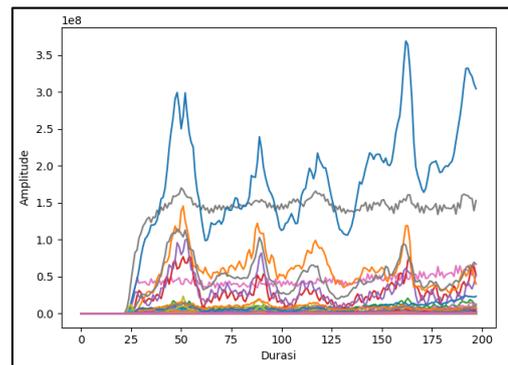


Gambar 15. *Windowing*

3.5. *Fast Fourier Transform (FFT)*

Tahap selanjutnya adalah tahap perhitungan FFT, dimana FFT adalah perhitungan cepat dari *Discrete Cosine Transform (DFT)* karena menghilangkan perhitungan kembar yang ada di DFT. Gambar 16. yang ditampilkan adalah hasil sinyal suara yang sudah dikonversi dari domain waktu ke domain frekuensi dengan proses FFT.

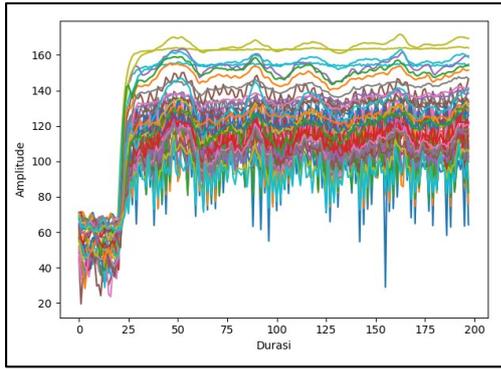
Karena pada penelitian ini penulis menggunakan bahasa python3 yang dimana python3 fungsi untuk pemrosesan sinyal suaranya tidak sekumplit matlab, maka hasil plot dari sinyal FFT tidak seperti yang diharapkan, ditunjukkan oleh Gambar 16.



Gambar 16. *Fast Fourier Transform*

3.6. *Mel FilterBank*

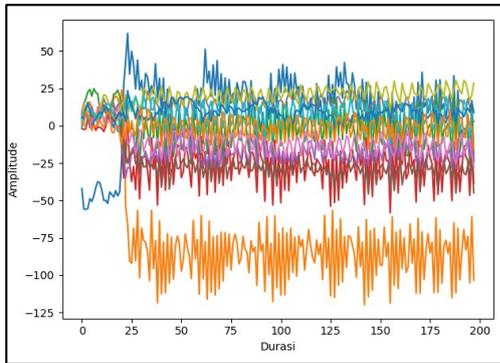
Setelah FFT adalah tahap *Mel Filter Bank*. Gambar 17. Ditampilkan grafik hasil proses *Filter Bank* yang digunakan untuk memisahkan sinyal masukan menjadi beberapa komponen yang masing-masing menjadi beberapa komponen. Komponen tersebut masing-masing membawa satu *subband* frekuensi sinyal asli yang di perlihatkan pada tiap-tiap garis warna-warni yang satu garis mewakili satu *subband*



Gambar 17. Mel Filter Bank

3.7. Discrete Cosine Transform (DCT)

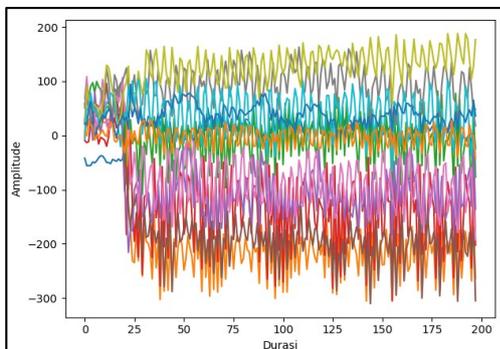
Tahap selanjutnya dari Mel Filter Bank adalah DCT. Pada Gambar 17. DCT bertujuan untuk mendekorelasikan *mel spectrum* sehingga menghasilkan representasi yang baik dari *property* spektral lokal.



Gambar 18. Discrete Cosine Transformation

3.8. Cepstral Liftering

Tahap selanjutnya adalah *Cepstral Liftering*. Pada Gambar 19. dapat dilihat grafik hasil dari proses *Cepstral Liftering*. *Cepstral liftering* berfungsi untuk menghaluskan grafik spektrum hasil dari proses DCT sehingga hasil dari *cepstral liftering* ini bisa digunakan lebih baik untuk proses *pattern matching*.



Gambar 19. Cepstral Liftering

3.9. Dynamic Time Warping

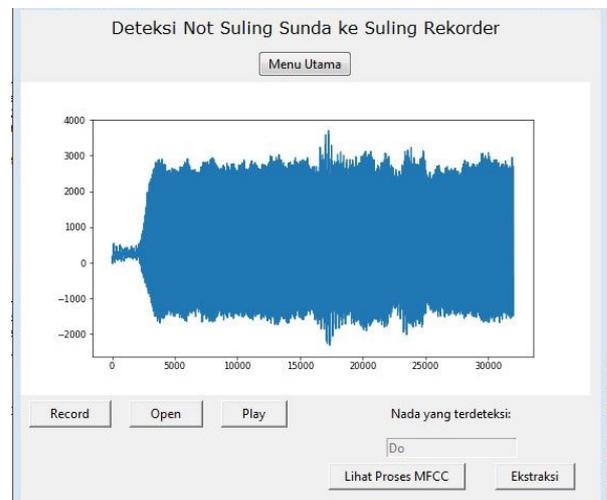
Pada penelitian ini hasil identifikasi nada menggunakan metode DTW ditunjukkan pada Gambar 20.

```

Loading Do sound samples
Loading Re sound samples
Loading Mi sound samples
Loading Fa sound samples
Loading Sol sound samples
Loading La sound samples
Loading Si sound samples
Comparing with Do sound samples:
Distance: 65057.65382680172
Distance: 55092.26006567581
Distance: 49784.96296853238
Distance: 60649.10405055271
Distance: 51073.96405317898
Distance: 66743.91827842833
Distance: 68657.63840648034
Distance: 70616.3446217305
Distance: 73420.0505389841
Distance: 54792.698947148274
Comparing with Re sound samples:
Distance: 77310.21520503135
Distance: 76786.73655829139
Distance: 81441.49699029421
Distance: 75876.96527230703
Distance: 81491.57882972652
Distance: 78592.40139622684
Distance: 77248.11211336625
Distance: 76287.04089948762
.
.
Looking for best match from every notes...
Looking for best match between the notes...
Result best matching note: Do
    
```

Gambar 20. Identifikasi Nada Dengan DTW

Pada Gambar 20., adalah proses identifikasi antara nada suling sunda dan suling rekorder dengan metode DTW hingga didapatkan simpangan terkecil antar kedua nada, lalu sistem akan menunjukkan hasil identifikasi nada yang ditunjukkan pada Gambar 21.



Gambar 21. Hasil Identifikasi Nada

3.11. Hasil Pengujian

Tabel 1 adalah perbandingan nada berdasarkan referensi dari Saung angklung Udjo.

Tabel 1. Perbandingan Nada Suling Sunda Dengan Suling Rekorder

Nada	Pelog	Sorog	Salendro
Da	Do	Fa	Re
Mi	Si	Mi	Do
Na	Sol	Do	La
Ti	Fa	Si	Sol
La	Re	La	Fa

Sebelum dilakukan identifikasi, data latih perlu melalui tahap ekstrasi ciri MFCC. sehingga diketahuilah hasil nilai terendah dan nilai tertinggi ekstrasi ciri dari setiap nada. Setelah nilai didapatkan, maka selanjutnya nilai disimpan ke dalam *database* untuk selanjutnya dicocokkan dengan data uji. Jarak nilai ekstrasi data latih setiap nada terdapat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Rentang Nilai Nada Suling Rekorder

Nada	Rentang Nilai Ekstrasi Ciri
Do	-34.567 - 32.953
Re	-37.829 - 42.622
Mi	-37.163 - 55.257
Fa	-38.621 - 42.814
Sol	-42.525 - 45.896
La	-41.550 - 42.647
Si	-30.349 - 41.574

Tabel 3. Rentang Nilai Nada Suling Sunda

Nada	Rentang Nilai Ekstrasi Ciri
Da	-34.030 - 22.137
Mi	-39.579 - 47.711
Na	-31.002 - 43.411
Ti	-33.622 - 39.363
La	-35.096 - 37.831

Pengujian dilakukan dengan 5 orang dengan jarak 5cm dari ujung suling ke microphone. Ada 5 tangga nada yaitu nada da, mi, na, ti, dan la dan setiap nada diambil 10x pengulangan jadi setiap peniup terdapat 50 data uji suara suling sunda. Lalu data latih adalah suling rekorder sebanyak 70 data, yaitu nada do, re, mi, fa, sol, la, dan si.

Pada Gambar 22. adalah hasil detail dari identifikasi antara nada suling sunda dan suling rekorder, sehingga dapat dihitung validasi presentase identifikasi nada dengan persamaan

Hasil Identifikasi Nada Cocok :

$$validasi = \frac{Hasil\ yang\ sesuai/benar}{total\ seluruh\ uji\ coba} \times 100\% \quad (12)$$

Validasi deteksi nada Da = Do : $\frac{39}{50} \times 100\% = 78\%$

Validasi deteksi nada Mi = Si : $\frac{50}{50} \times 100\% = 100\%$

Validasi deteksi nada Na = Sol : $\frac{24}{50} \times 100\% = 48\%$

Validasi deteksi nada Ti = Fa : $\frac{40}{50} \times 100\% = 80\%$

Validasi deteksi nada La = Re : $\frac{22}{50} \times 100\% = 44\%$

Total keberhasilan deteksi nada : $\frac{175}{250} \times 100\% = 70\%$

Hasil Identifikasi Nada Tidak Cocok :

$$validasi = \frac{Hasil\ yang\ tidak\ sesuai}{total\ seluruh\ uji\ coba} \times 100\% \quad (13)$$

Validasi deteksi nada Da ≠ Do : $\frac{11}{50} \times 100\% = 22\%$

Untuk kegagalan identifikasi nada Da = Do setelah diselidiki hasil ekstrasi ciri berada di antara nada Si dan Re, karena nada Da saat ditiup menggunakan nada tinggi sehingga nilai hasil ekstrasi ciri melebihi *range* nada Do.

Validasi deteksi nada Mi ≠ Si : $\frac{0}{50} \times 100\% = 0\%$

Validasi deteksi nada Na ≠ Sol : $\frac{26}{50} \times 100\% = 52\%$

Untuk kegalan identifikasi nada Na = Sol, dikarenakan karena *range* ekstrasi ciri La berada di dalam nada ekstrasi ciri Sol (dapat dilihat pada Tabel 2), sehingga teridentifikasinya sebagai La.

Validasi deteksi nada Ti ≠ Fa : $\frac{10}{50} \times 100\% = 20\%$

Untuk kegagalan identifikasi nada Ti = Fa menampilkan hasil Sol karena hasil ekstrasi melebihi *range* Fa sehingga masuk ke nada Sol, dan Ti menampilkan hasil Do itu dikarenakan nada yang ditiup terlalu rendah sehingga masuk kedalam *range* ekstrasi ciri terendah yaitu Do.

Validasi deteksi nada La ≠ Re : $\frac{28}{50} \times 100\% = 56\%$

Untuk kegagalan identifikasi nada La = Re menampilkan hasil Mi dan Fa karena hasil ekstrasi melebihi *range* Re sehingga nada masuk ke *range* nada Mi dan Fa, dan La menampilkan hasil Do itu dikarenakan nada yang ditiup terlalu rendah sehingga masuk kedalam *range* ekstrasi ciri terendah yaitu Do.

Total identifikasi nada tidak cocok : $\frac{75}{250} \times 100\% = 30\%$

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian serta pengujian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa sistem identifikasi nada menggunakan algoritma MFCC dan DTW dapat mengidentifikasi nada suling sunda ke suling rekorder dengan total tingkat akurasi sebesar 70%. Hal itu dikarenakan suling sunda bisa digunakan dengan nada rendah, standar, dan tinggi dan untuk penelitian ini hanya nada standar saja yang digunakan dan pada saat pengambilan data uji semua peniup adalah orang awam dalam meniup suling sehingga sering terjadi kesalahan pada saat proses pengambilan data uji.

Dan Beberapa hal lain yang dapat menyebabkan ketidaksesuaian nada diantaranya adalah karena jarak ujung suling dan mic yang terlalu dekat (5cm) sehingga hembusan nafas yang keluar dari ujung suling tersebut menjadi *noise* untuk suara itu sendiri, tidak stabilnya tiupan pada saat perekaman dan lubang suling yang tidak tertutup sempurna pada saat perekaman sehingga terjadinya nada yang sumbang.

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya diharapkan sistem dapat mengidentifikasi lagu dan logat ayunan nada yang khas dari suling sunda.

Microphone Rode Videomic											
Data Uji		Ahli Pria(1)		Pria(2)		Pria(3)		Wanita(1)		Wanita(2)	
Nada	No.	HPN	JST	HPN	JST	HPN	JST	HPN	JST	HPN	JST
Da 1	Do	6.369	Do	7.697	Do	6.274	Si	8.907	Re	6.683	
Da 2	Do	7.313	Do	8.245	Do	5.746	Si	8.097	Do	6.378	
Da 3	Do	6.905	Do	7.939	Do	6.206	Si	7.578	Do	6.301	
Da 4	Do	6.677	Do	6.601	Do	6.268	Si	7.657	Do	5.891	
Da 5	Do	6.077	Do	6.512	Do	6.342	Si	7.663	Do	6.805	
Da 6	Do	6.041	Do	7.199	Do	6.072	Si	9.014	Do	6.465	
Da 7	Do	5.828	Do	7.326	Do	6.471	Si	8.544	Do	6.165	
Da 8	Do	6.633	Do	7.045	Do	6.330	Si	8.424	Do	6.345	
Da 9	Do	6.520	Do	6.865	Do	6.335	Si	8.316	Do	6.532	
Da 10	Do	6.031	Do	7.805	Do	6.218	Si	8.734	Do	6.578	
Mi 1	Si	5.956	Si	5.825	Si	5.747	Si	7.330	Si	5.362	
Mi 2	Si	5.924	Si	6.157	Si	6.174	Si	7.768	Si	6.905	
Mi 3	Si	6.323	Si	5.871	Si	5.900	Si	7.058	Si	5.852	
Mi 4	Si	6.044	Si	6.593	Si	5.674	Si	7.740	Si	5.858	
Mi 5	Si	5.859	Si	6.421	Si	6.286	Si	8.136	Si	5.467	
Mi 6	Si	6.016	Si	6.306	Si	6.174	Si	7.149	Si	5.767	
Mi 7	Si	6.097	Si	6.304	Si	5.648	Si	8.242	Si	6.182	
Mi 8	Si	5.998	Si	6.421	Si	5.731	Si	7.914	Si	5.985	
Mi 9	Si	6.590	Si	6.404	Si	5.759	Si	7.270	Si	5.735	
Mi 10	Si	5.821	Si	5.946	Si	5.875	Si	8.133	Si	5.873	
Na 1	Sol	5.010	Sol	4.981	La	6.266	La	7.274	La	6.294	
Na 2	Sol	4.964	Sol	4.620	La	6.514	Sol	6.242	La	6.555	
Na 3	Sol	5.213	Sol	5.090	La	5.929	La	7.140	La	6.345	
Na 4	Sol	5.298	Sol	5.137	La	6.153	Sol	6.838	La	6.260	
Na 5	Sol	5.104	Sol	5.264	La	5.724	Sol	6.335	La	6.538	
Na 6	Sol	4.602	Sol	5.211	La	6.324	La	6.775	La	6.207	
Na 7	Sol	4.784	Sol	4.872	La	6.023	La	6.859	La	6.121	
Na 8	Sol	5.153	Sol	5.263	La	6.261	La	7.239	La	6.178	
Na 9	Sol	4.936	Sol	5.122	La	6.107	La	7.041	La	6.039	
Na 10	Sol	4.797	Sol	5.042	La	6.024	Sol	6.852	La	6.130	
Ti 1	Fa	6.172	Fa	5.881	Sol	7.451	Fa	6.758	Fa	7.046	
Ti 2	Fa	5.993	Fa	6.050	Fa	7.643	Fa	7.314	Fa	5.900	
Ti 3	Fa	5.925	Fa	5.887	Fa	7.468	Fa	6.496	Sol	6.925	
Ti 4	Fa	5.981	Fa	5.955	Fa	7.268	Fa	6.397	Fa	6.533	
Ti 5	Fa	5.741	Fa	5.757	Fa	8.176	Do	10.256	Fa	6.765	
Ti 6	Fa	5.956	Fa	5.747	Fa	8.213	Fa	6.515	Sol	6.824	
Ti 7	Fa	5.816	Fa	5.933	Fa	7.805	Do	10.469	Fa	6.609	
Ti 8	Fa	5.988	Fa	6.010	Fa	7.743	Do	10.920	Sol	6.162	
Ti 9	Fa	5.863	Fa	5.815	Fa	7.777	Do	10.975	Fa	5.766	
Ti 10	Fa	5.737	Fa	6.097	Fa	7.307	Do	9.737	Sol	6.017	
La 1	Re	6.806	Re	6.944	Fa	6.193	Do	9.370	Fa	7.365	
La 2	Re	5.964	Re	6.193	Fa	6.629	Re	6.691	Fa	7.084	
La 3	Re	6.497	Re	6.709	Fa	7.244	Mi	7.079	Fa	6.979	
La 4	Re	6.518	Re	6.223	Fa	7.090	Mi	7.293	Fa	7.036	
La 5	Re	6.258	Re	6.990	Fa	6.856	Do	11.238	Fa	7.224	
La 6	Re	7.357	Re	7.025	Fa	6.580	Mi	7.051	Fa	6.999	
La 7	Re	6.746	Re	7.006	Fa	6.592	Do	11.383	Fa	6.074	
La 8	Re	7.061	Re	5.736	Fa	6.235	Do	10.291	Fa	6.722	
La 9	Re	7.244	Re	6.090	Fa	7.233	Fa	8.661	Re	5.935	
La 10	Re	7.089	Re	6.538	Fa	7.185	Do	11.743	Fa	6.969	

Keterangan : HPN = Hasil Pencocokan Nada, JST = Jarak Simpangan Terkecil
 Gambar 22. Hasil Identifikasi Nada Suling Sunda dan Suling Rekorder Dengan Simpangan Terkecilnya.

DAFTAR PUSTAKA

ANDRIANA, A.D., 2013. Perangkat Lunak Untuk Membuka Aplikasi Pada Komputer Dengan Perintah Suara Menggunakan Metode MFCC. [online]. Tersedia di: <http://komputa.if.unikom.ac.id/jurnal/perangkat-lunak-untuk-membuka.11> [Diakses pada 3 Mei 2018]

BRILIAN, A.H., 2016. Pengenalan sandi morse sinyal Electroencephalogram yang direkam perangkat Neurosky Mindwave menggunakan DTW. [online]. Tersedia di: <http://juti.if.its.ac.id/index.php/juti/article/view/511> [Diakses pada 3 Mei 2018]

BUONO, M.L., 2013. Pendeteksian Kata Dengan MFCC Sebagai Ekstraksi Ciri Dan CODEBOOK Sebagai Pengenalan Pola. [online]. Tersedia di: <https://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/65276> [Diakses pada 6 Mei 2018]

CHARISMA, A., 2013. Sistem Verifikasi Penutur menggunakan Metode Mel Frequency Cepstral Coefficients-Veqtor Quantization (MFCC-VQ)

serta Sum Square Error (SSE) dan Pengenalan Kata Menggunakan Metoda Lgika Fuzzy. [online]. Tersedia di: <https://ejournal.itp.ac.id/index.php/telektro/article/view/112> [Diakses pada 15 Juni 2018]

DAVID, A.H., 2015. Implementasi Voice Recognition Menggunakan MFCC Pada Aplikasi Pendeteksi Emosi Manusia. [online]. Tersedia di: <http://eprints.itenas.ac.id/189/1/APLIKASI%20PENDETEKSI%20EMOSI%20MANUSIA.pdf> [Diakses pada 27 April 2018]

DINATA, C., 2017. Implementasi Teknik Dynamic Time Warping (DTW) Pada Aplikasi Speech To Text. [online]. Tersedia di: <http://eprints.mdp.ac.id/2042/> [Diakses pada 21 Mei 2018]

FLORENIA, N., 2017. Speaker Recognition Menggunakan MFCC dan Algoritma DTW. [online]. Tersedia di: <http://eprints.mdp.ac.id/2042/> [Diakses pada 15 Juni 2018]

LESTARI, A.A., 2015. Identifikasi Suara Tangisan Bayi Menggunakan LPC (Linear Predictive Coding) dan Proses Matching Dengan Algoritma Euclidean Distance. [online]. Tersedia di: <https://ejournal.itenas.ac.id/index.php/elkomika/article/view/1724> [Diakses pada 27 April 2018]

MUTTAQIN, I., 2013. Simulasi Dan Analisis Identifikasi Alat Musik Tradisional Berdasarkan Nada Bunyi Dengan Metode Mel Frequency Cepstral Coefficient (MFCC) Dan Support Vector Machine (SVM). [online]. Tersedia di: <https://openlibrary.telkomuniversity.ac.id/pustaka/93181/simulasi-dan-analisis-identifikasi-alat-musik-tradisional-berdasarkan-nada-bunyi-dengan-metode-mel-frequency-cepstral-coefficient-mfcc-dan-support-vector-machine-svm.html> [Diakses pada 27 April 2018]

PERMANA, I.S., 2018. Implementasi Metode MFCC dan DTW Untuk Pengenalan Jenis Suara Pria Dan Wanita. [online]. Tersedia di: <https://ejournal.itenas.ac.id/index.php/mindjournal/article/view/2556> [Diakses pada 15 Juni 2018]

PERMATASARI, D., 2017. Pengenalan Pembicara untuk Menentukan Gender menggunakan metode MFCC dan VQ. [online]. Tersedia di: <https://ejournal.itenas.ac.id/index.php/mindjournal/article/view/2402> [Diakses pada 15 Juni 2018]

SADEWA, R.A., 2015. Implementasi Speaker Recognition Untuk Otentikasi Menggunakan Modified MFCC – VQ Algoritma LBG. [online]. Tersedia di: <https://libraryproceeding.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/2562> [Diakses pada 21 Mei 2018]