

DETEKSI SLEEP APNEA MELALUI ANALISIS SUARA DENGKURAN DENGAN METODE MEL FREKUENSI CEPSTRUM COEFFICIENT

DETECTION OF SLEEP APNEA BY ANALYSIS OF SNORE SOUNDS USING MEL FREQUENCY CEPSTRUM COEFFICIENT METHOD

FIVELY DARMADI¹ACHMAD RIZAL²UNANG SUNARYA³

^{1, 2, 3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹fively4268@gmail.com ²achmadrizal@telkomuniversitv.ac.id ³unangsunarva@telkomuniversitv.ac.id

Abstrak

Tidur menyebabkan otot faring menjadi kendur dan menyebabkan penyempitan, sehingga menimbulkan getaran udara yang menjadi suara dengkur (*snoring*). Bahkan penyempitan ini dapat menyebabkan udara tidak masuk ke paru-paru, ini yang disebut *sleep apnea*, dan akibat terfatal dari *sleep apnea* adalah kematian. Dalam penelitian ini dilakukan analisa suara dengkur untuk mendeteksi *sleep apnea* pada pasien yang mendengkur. Sistem identifikasi ini secara umum dibagi 2, yaitu ekstraksi ciri menggunakan metode *Mel Frequency Cepstrum Coefficient* (MFCC), dan klasifikasi menggunakan metode *K Nearest Neighbor* (K-NN). Hasil yang diperoleh dari pengujian yang dilakukan pada penelitian ini menunjukkan bahwa sistem yang dibuat dapat mengidentifikasi jenis suara dengkur menggunakan pengolahan sinyal wicara. Setelah dilakukan analisis perhitungan didapatkan akurasi tertinggi untuk *sleep apnea* adalah 80% sedangkan *snoring* 96%.

Kata kunci: *Snoring, Sleep Apnea, Mel Frequency Cepstrum Coefficient, K Nearest Neighbor.*

Abstract

Sleep causes the pharyngeal muscles become loose and cause constriction, and create turbulence that become snore sounds (snoring). Even constriction can cause the air does not enter at all into the lungs, it is called sleep apnea, and the most fatal impact caused by sleep apnea is death. In this final project, the author analyzes the snoring sounds to detect sleep apnea in patient who snore. This identification system consists of feature extraction using Mel Frequency Cepstrum Coefficient method and classification using K Nearest Neighbor method. Results obtained from tests performed on this final project shows the system can identify the type of snoring using signal speech processing. After analyzing the calculation, the highest accuracy for sleep apnea is 80% and for snoring is 96%.

Keywords: *Snoring, Sleep Apnea, Mel Frequency Cepstrum Coefficient, K Nearest Neighbor.*

1. Pendahuluan

Manusia adalah makhluk hidup yang membutuhkan waktu untuk memulihkan tenaga dalam kelangsungan hidupnya, artinya manusia adalah makhluk hidup yang tak lepas dari istirahat. Salah satu cara manusia untuk mengistirahatkan tubuhnya adalah dengan tidur. Rata-rata manusia berusia 17 tahun keatas membutuhkan waktu tidur 6 hingga 8 jam per hari. Ini membuktikan bahwa manusia menggunakan 1/4 hidupnya hanya untuk tidur. Salah satu gangguan tidur yang paling sering ditemukan adalah *sleep apnea* (henti nafas pada waktu tidur), dan gejala yang paling sering timbul pada *sleep apnea* adalah mendengkur. Mendengkur (*snoring*) adalah suara bising yang disebabkan oleh aliran udara melalui sumbatan saluran nafas pada bagian belakang hidung dan mulut yang terjadi saat tidur. *Sleep apnea* ditandai dengan kolaps berulang dari saluran nafas atas. Akibatnya aliran udara berkurang atau berhenti sehingga terjadi desaturasi oksigen dan penderita berkali-kali terbangun. Bila dibiarkan *sleep apnea* dapat mengakibatkan risiko penyakit jantung, stroke, penyumbatan pembuluh darah, impotensi, meningkatnya risiko diabetes bahkan sampai kematian.

Dalam penelitian ini dilakukan analisis suara dengkur sehingga dapat mendeteksi dan membedakan *snoring* dan *sleep apnea* menggunakan pengolahan sinyal suara. Pada sistem identifikasi jenis suara dengkur ini terdiri dari ekstraksi ciri dan pengklasifikasian suara dengkur kemudian disimulasikan. Metode ekstraksi ciri yang digunakan adalah *Mel Frequency Cepstrum Coefficient* (MFCC), sedangkan metode klasifikasi yang digunakan yaitu *K Nearest Neighbor* (K-NN).

Penelitian mengenai deteksi perbedaan *snoring* dan *sleep apnea* menggunakan pengolahan sinyal wicara ini sebelumnya sudah pernah dilakukan dengan menggunakan metode *Linear predictive coding* (LPC) untuk proses ekstraksi ciri, kemudian diklasifikasikan berdasarkan *formant structure* [5]. Namun, penelitian untuk mendeteksi perbedaan *snoring* dan *sleep apnea* kebanyakan menggunakan pengolahan sinyal ECG, EEG, EMG dan EOG yang digunakan pada laboratorium polysomnografi [11].

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan suatu masalah yakni bagaimana proses pengolahan suara dengkur dan cara menganalisisnya. Kemudian bagaimana membuat sistem untuk mengidentifikasi *sleep apnea* melalui analisis suara dengkur dengan menggunakan metode ekstraksi ciri *Mel Frequency Cepstrum Coefficient*, dan metode klasifikasi *K Nearest Neighbor*.

Tujuan dari penelitian penelitian ini yakni untuk menganalisis dan mensimulasikan sistem yang dapat mengidentifikasi *sleep apnea* melalui analisis suara dengkur. Kemudian untuk menerapkan metode ekstraksi ciri *Mel Frequency Cepstrum Coefficient*, dan metode klasifikasi *K Nearest Neighbor* untuk melakukan identifikasi *sleep apnea* melalui analisis suara dengkur. Membagi tingkat bahaya dengkur menjadi 2, yaitu : *snoring* dan *sleep apnea*. Kemudian untuk mendapatkan akurasi yang baik agar sistem dapat digunakan dalam kehidupan sehari-hari.

Pengerjaan penelitian ini dilakukan dengan menggunakan beberapa metode yakni mempelajari beberapa referensi buku, jurnal, dan situs internet yang berkaitan dengan topik yang dibahas pada penelitian ini. Kemudian hasil analisis data-data yang diperoleh dari hasil studi literatur didiskusikan dengan pembimbing guna memecahkan masalah yang sulit dihadapi. Melakukan pengujian terhadap hasil yang didapatkan sehingga sesuai dengan harapan serta melakukan analisis dari sistem yang dibuat. Melakukan pengujian sistem dan analisis terhadap hasil uji penelitian yang dilakukan. Pengambilan kesimpulan terhadap hasil analisis dan pembuatan laporan Penelitian dari seluruh kegiatan penelitian.

2. Dasar Teori

2.1 Snoring dan Sleep Apnea

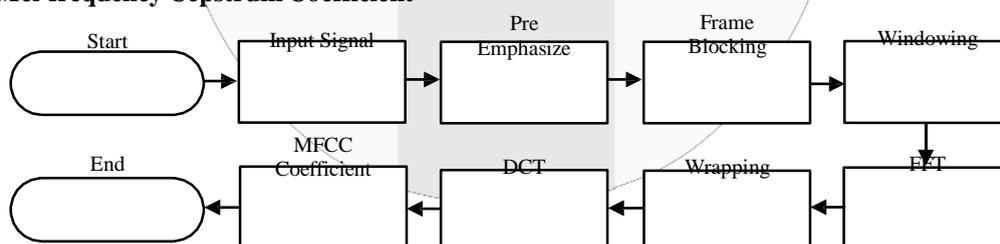
Faring adalah organ yang menghubungkan rongga mulut dengan kerongkongan, panjangnya $\pm 12\text{cm}$ [8]. Saat tidur, otot faring relatif tertekan (relaksasi) sehingga lumen faring menyempit pada saat menarik nafas (inspirasi). Hal ini terjadi pada sebagian orang, yang memiliki beberapa faktor penyebab lumen faring menjadi lebih sempit pada saat tidur. Faktor tersebut antara lain : obesitas, pembesaran tonsil, dan posisi relatif rahang atas dan bawah. Suara dengkur disebabkan oleh getaran udara pada saluran nafas atas akibat penyumbatan. Sumbatan diakibatkan oleh kegagalan otot-otot faring pada saluran nafas atas ketika menstabilkan jalur nafas pada waktu tidur di saat otot-otot faring berelaksasi, lidah dan palatum jatuh ke belakang sehingga terjadi penghalangan (obstruksi).



Gambar 1 Siklus Sleep Apnea

Apnea adalah jeda (henti) nafas ketika saluran nafas tertutup, yang menyebabkan tidak ada udara yang mencapai paru-paru. Hal ini disebabkan oleh otot tenggorokan yang terlalu kendur (*relax*), saluran nafas yang tertutup oleh lidah atau jaringan lemak, dan saluran pernafasan yang sempit. *Sleep Apnea* berarti jeda nafas yang terjadi ketika tidur [8]. Gejala awal dari *Sleep Apnea* adalah mendengkur.

2.2 Mel-frequency Cepstrum Coefficient



Gambar 2 Diagram Blok Proses MFCC

merupakan salah satu metode yang banyak digunakan dalam bidang *speech technology*. Metode ini digunakan untuk melakukan *feature extraction*, sebuah proses yang mengkonversikan sinyal suara menjadi beberapa parameter [2].

Proses pada Mel-frequency Cepstrum Coefficient :

1. Pre Emphasize Filtering

Merupakan jenis *filter* yang sering digunakan sebelum sebuah sinyal diproses lebih lanjut. *Filter* ini mempertahankan frekuensi-frekuensi tinggi pada sebuah spektrum, yang umumnya tereliminasi pada saat proses produksi suara [6].

Bentuk yang paling umum digunakan dalam *pre-emphasize filter* adalah sebagai berikut [1] :

$$y[n] = s[n] - \alpha s[n-1], 0.9 \leq \alpha \leq 1.0$$

Dimana :

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

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

2. Frame Blocking

Merupakan proses pemisahan sampel yang telah didapat dari *analog to digital conversion (ADC)* menjadi beberapa *frame* dengan panjang antara 10-30 ms, dan dibagi sebanyak N sampel. Setelah itu, dilakukan *overlapping* untuk setiap *frame*-nya [3]. Panjang daerah *overlap* yang umum digunakan adalah kurang lebih 20% sampai 50% dari panjang *frame*. *Overlapping* dilakukan untuk menghindari hilangnya ciri atau karakteristik suara pada perbatasan perpotongan setiap *frame* [1].

3. Windowing

Proses *framing* dapat menyebabkan terjadinya kebocoran spektral (*spectral leakage*) atau *aliasing*. *Aliasing* adalah *signal* baru dimana memiliki frekuensi yang berbeda dengan *signal* aslinya. Efek ini dapat terjadi karena rendahnya jumlah *sampling rate*, ataupun karena proses *frame blocking* dimana menyebabkan *signal* menjadi *discontinue*. Untuk mengurangi kemungkinan terjadinya kebocoran spektral, maka hasil dari proses *framing* harus melewati proses *window*. Konsepnya adalah meruncingkan sinyal ke angka nol pada permulaan dan akhir setiap *frame* [9].

Berikut ini adalah representasi dari fungsi *window* terhadap *signal* suara yang diinputkan [3] :

$$w[n] = \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right), 0 \leq n \leq N-1$$

Model *window* yang paling sering digunakan adalah *Hamming Window* yang direpresentasikan dengan persamaan berikut :

$$w[n] = 0.54 - 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right), 0 \leq n \leq N-1$$

Selain *Hamming Window* juga terdapat *Hanning Window* yang memiliki persamaan sebagai berikut :

$$w[n] = 0.5 - 0.5 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right), 0 \leq n \leq N-1$$

Dimana :

$y(n)$ = sinyal hasil *windowing* sampel ke- n

$x(n)$ = nilai sampel ke- n

$W(n)$ = nilai *window* ke- n

N = jumlah sampel dalam *frame*

4. Fast Fourier Transform (FFT)

FFT membagi sebuah sinyal menjadi frekuensi yang berbeda-beda dalam fungsi eksponensial yang kompleks. FFT adalah sebuah algoritma cepat untuk implementasi *Discrete Fourier Transform (DFT)* yang dioperasikan pada sebuah sinyal waktu-diskret yang terdiri dari N sampel sebagai berikut [9] :

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j2\pi kn/N}$$

Dimana :

N = jumlah sampel yang akan diproses

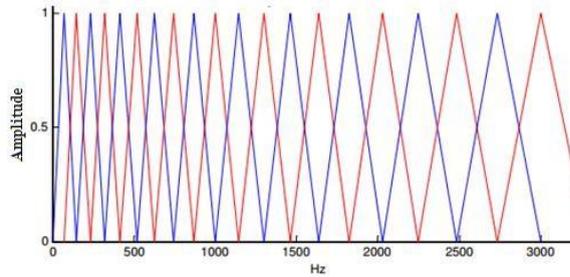
$x(n)$ = nilai sampel sinyal

k = variabel frekuensi diskrit, akan bernilai $k = 0, 1, 2, \dots, N/2, N \in \mathbb{N}$

5. Mel Frequency Wrapping

Dilakukan menggunakan *Filterbank* dengan untuk mengetahui ukuran energi dari *frequency band* tertentu dalam *signal* suara. *Filterbank* dapat diterapkan baik pada domain waktu maupun pada domain frekuensi, tetapi untuk keperluan MFCC, *filterbank* harus diterapkan dalam domain frekuensi, dan menggunakan skala mel. Skala mel bersifat linear pada frekuensi dibawah 1000 Hz, dan logaritmis pada frekuensi diatas 1000 Hz. Untuk mencari skala mel, persamaannya adalah [2]:

$$f_{mel}(k) = 2595 * \log_{10}\left(1 + \frac{f}{700}\right)$$



Gambar 3 Mel Scale Filter Bank

Gambar diatas menunjukkan rangkaian filter segitiga yang digunakan untuk menghitung jumlah berat dari filter komponen spektral sehingga hasil dari proses mendekati skala Mel.

6. Discrete Cosine Transform (DCT)

Merupakan langkah terakhir dari proses utama MFCC *feature extraction*. *Mel-Frequency Cepstrum* kemudian didapat dari DCT untuk mentransformasi lagi sinyal dalam domain *quefency*. Hasilnya disebut sebagai *Mel-Frequency Cepstral Coefficient* (MFCC). Berikut adalah formula yang digunakan untuk menghitung DCT [4]:

$$C_k = \sum_{n=0}^{N-1} (log W_n * cos((k - \frac{1}{2}) \frac{\pi}{N} n))$$

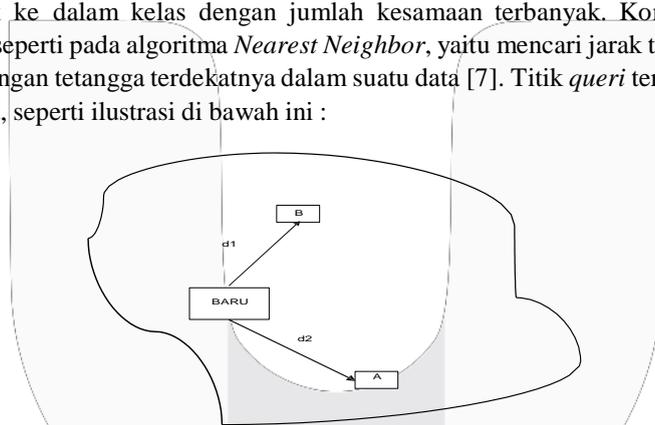
Dimana :

W_n = Keluaran dari proses *filterbank* pada *index k*

K = Jumlah koefisien yang diharapkan

2.3 K Nearest Neighbor

KNN merupakan salah satu algoritma pengklasifikasian yang cukup mudah dipahami, karena KNN mencari jumlah kesamaan terbanyak antara data yang diuji dengan data latih (data yang ada pada *database*). Data uji tersebut akan masuk ke dalam kelas dengan jumlah kesamaan terbanyak. Konsep dasar dari *K-Nearest Neighbor* (KNN) adalah seperti pada algoritma *Nearest Neighbor*, yaitu mencari jarak terdekat dari nilai yang akan dievaluasi (titik *queri*) dengan tetangga terdekatnya dalam suatu data [7]. Titik *queri* tersebut merupakan data yang belum diketahui kelasnya, seperti ilustrasi di bawah ini :



Gambar 4 Ilustrasi kasus pada algoritma 1-*Nearest Neighbor* (Sumber : [7])

Pada ilustrasi, titik *queri* merupakan titik ‘baru’ yang dicocokkan dengan titik-titik yang sudah ada dalam *database*. Pada algoritma 1-*Nearest Neighbor* jumlah titik *queri* hanya 1 titik, namun pada *K-Nearest Neighbor*, titik *queri* yang dicocokkan berjumlah **K**. Kelas terbanyak dari data terdekat sejumlah **K** tersebut dipilih sebagai kelas yang diprediksikan untuk data yang baru. **K** umumnya ditentukan dalam jumlah ganjil untuk menghindari munculnya jumlah jarak yang sama dalam proses pengklasifikasian [10].

Berikut ini adalah langkah-langkah untuk mengklasifikasikan data dengan metode *K-Nearest Neighbor* [7]:

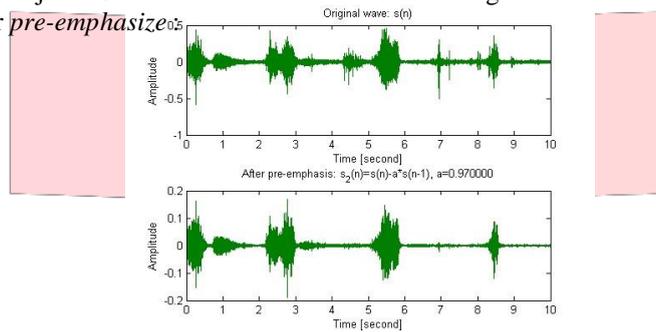
1. Tentukan parameter **K** = jumlah tetangga terdekat.
2. Hitung jarak antara data yang akan dievaluasi dengan semua data pelatihan. Perhitungan dapat dilakukan dengan beberapa pendekatan. Pendekatan yang digunakan antara lain [10] :

- a. Fungsi jarak *Euclidean*, yaitu :
$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$$
- b. Fungsi jarak *Minkowsky*, yaitu :
$$d(x, y) = (\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^r)^{1/r}$$
- c. Fungsi jarak *Manhattan/Cityblock*, yaitu :
$$d(x, y) = \sum_{i=1}^n |x_i - y_i|$$

3. Urutkan jarak yang terbentuk (dari yang terdekat sampai yang terjauh) pada masing-masing titik sejumlah K dan tentukan jarak terdekat pada tiap titik-titik tersebut sampai urutan ke-K.
4. Pasangkan kelas yang bersesuaian (jarak paling dekat antara setiap titik dengan sebuah kelas (data latih) adalah kelas yang bersangkutan).
5. Cari jumlah kelas terbanyak dari tetangga terdekat tersebut, dan tetapkan kelas tersebut sebagai kelas data yang dievaluasi (data uji).

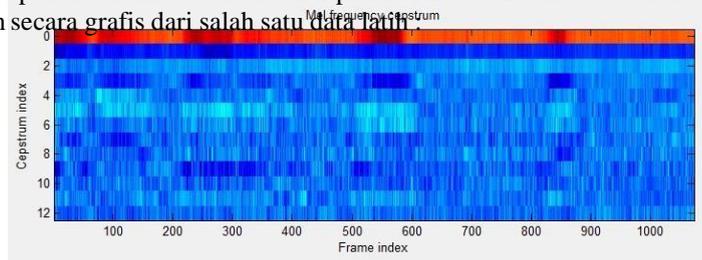
3. Pembahasan

Pertama, dilakukan akuisisi data. Data video .mkv dikonversi menjadi data audio .wav, kemudian durasinya dipotong menjadi 10 detik. Berikut adalah hasil secara grafis dari salah satu data latih yang telah diakuisisi dan difilter *pre-emphasize*



Gambar 5 Akuisize Data dan data setelah difilter *Pre Emphasize*

Kemudian dilakukan ekstraksi ciri yang bertujuan untuk mengambil vektor ciri suatu data dari suatu kelas sehingga data tersebut mempunyai karakter yang membedakan dirinya dengan data pada kelas lain. Ekstraksi ciri yang diteliti pada penelitian ini adalah melalui proses MFCC. Berikut adalah hasil dari proses ekstraksi ciri yang ditampilkan secara grafis dari salah satu data latih



Gambar 6 Ekstraksi ciri MFCC

Gambar diatas merupakan hasil ciri setelah proses MFCC. *Cepstrum index* berarti jumlah *Coefficient Cepstrum* yang dihasilkan, dalam penelitian ini menghasilkan 13 *Coefficient Cepstrum*, yaitu 0 hingga 12. *Coefficient* pertama yaitu 0 (warna orange) tidak digunakan, sebab merupakan energi. *Frame index* berarti jumlah *frame* yang dihasilkan setelah proses *framing* dan *overlapping*. Dalam penelitian ini proses *framing* memotong data menjadi 25ms per frame, kemudian *overlapping* sebesar 25%.

Lalu, Pengujian dilakukan dengan menggunakan KNN sebagai metode klasifikasi untuk mendeteksi *Sleep Apnea*. Dalam KNN sendiri, ada beberapa parameter yang harus diperhatikan. Parameter yang mempengaruhi KNN adalah jumlah K, fungsi jarak, dan juga fungsi *Windowing* dari proses ekstraksi ciri MFCC. K yang dipakai dalam sistem deteksi ini hanya bilangan K yang ganjil untuk menghindari kerancuan. Selain itu, besaran bilangan K yang digunakan hanya 1, 3, 5, dan 7. fungsi jarak yang digunakan untuk pengujian sistem deteksi ini adalah fungsi jarak *Euclidean*, *Minkowsky*, dan *Manhattan/Cityblock*. Sedangkan fungsi *Windowing* yang digunakan pada ekstraksi ciri adalah *Hamming* dan *Hanning*.

Terakhir, Pengujian yang dilakukan pada sistem dilakukan untuk mengukur layak atau tidaknya suatu sistem untuk diimplementasikan. Pada pengujian ini, parameter untuk mengukur tingkat keberhasilan sistem deteksi *Sleep Apnea* adalah tingkat akurasi dan tingkat errornya. Tingkat akurasi dihitung berdasarkan persentase jumlah data uji yang hasilnya tepat. Sementara tingkat error dihitung berdasarkan persentase jumlah data uji yang hasilnya salah.

Rumus tingkat akurasi adalah sebagai berikut:

$$\text{Tingkat akurasi} = \frac{\text{Jumlah Data Uji yang Benar}}{\text{Jumlah Data Uji}} \times 100\%$$

Rumus tingkat error adalah sebagai berikut :

$$\text{Tingkat error} = 100\% - \text{Tingkat akurasi}$$

Setelah dilakukan pengujian terhadap sistem deteksi Sleep Apnea, maka didapatkan hasil dari masing-masing pengujian. Pengujian yang dilakukan seluruhnya menggunakan metode klasifikasi KNN dengan 4 kemungkinan jumlah K, yaitu 1, 3, 5, dan 7, serta 3 kemungkinan fungsi jarak, yaitu *Euclidean*, *Minkowsky*, dan *Manhattan/Cityblock*, dan 2 fungsi *Windowing*, yaitu *Hamming* dan *Hanning* dari metode ekstraksi ciri MFCC.

Tingkat akurasi hasil pengujian sistem pada deteksi *Sleep Apnea* lebih rendah dibandingkan dengan hasil pengujian sistem pada deteksi *Snoring*. Hasil tertinggi dari deteksi *Sleep Apnea* adalah 80% dengan menggunakan parameter fungsi *Window Hanning*, *Distance Manhattan*, dan $K=1$. Sedangkan hasil tertinggi deteksi *Snoring* adalah 96%, dengan menggunakan parameter fungsi $K=7$ untuk semua jenis fungsi *Window* dan *Distance*, kecuali menggunakan *Window Hamming* dan *Distance Manhattan*.

4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem yang dibuat dapat mengidentifikasi *sleep apnea* dengan menganalisis suara dengkur, dan sistem dapat disimulasikan dengan baik. Kemudian identifikasi *sleep apnea* dapat dilakukan menggunakan pengolahan sinyal wicara, dalam penelitian ini berhasil menggunakan metode *Mel Frequency Cepstrum Coefficient* (MFCC) untuk proses ekstraksi ciri dan metode *K Nearest Neighbor* (K-NN) sebagai metode klasifikasi. Dalam mengolah sinyal suara khususnya melalui proses MFCC, ada beberapa parameter yang harus diperhatikan. Pada hasil pengujian sistem deteksi *Sleep Apnea* ini menggunakan fungsi *Windowing* dari ekstraksi ciri MFCC, yaitu *Hamming* dan *Hanning*. Fungsi *Distance* dan K dari klasifikasi K-NN, dimana *Distance* yang digunakan ada 3, yaitu : *Euclidean*, *Manhattan*, dan *Minkowsky*, kemudian fungsi K digunakan 4 bilangan ganjil pertama, yaitu : 1, 3, 5, dan 7. Metode klasifikasi KNN menunjukkan hasil yang berbeda untuk setiap parameter yang berbeda. Semakin besar nilai K, pada identifikasi *sleep apnea* akan semakin buruk hasil yang didapat, tetapi berbanding terbalik dengan identifikasi *snoring*. Sementara fungsi jarak terbaik didapat untuk fungsi jarak jenis *Manhattan*. Tingkat bahaya dengkur pada penelitian ini dapat diklasifikasikan menjadi 2, yaitu : *snoring* dan *sleep apnea*. Hasil pengujian sistem deteksi *Sleep Apnea* menunjukkan tingkat akurasi yang baik dimana didapatkan hasil 80% untuk *Sleep Apnea* dan 96% untuk *Snoring*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Haryono, Rayi Prastiti. 2013. *SIMULASI DAN ANALISIS KEINGINAN BAYI MELALUI TANGISAN DENGAN METODE MEL FREQUENCY CEPSTRAL COEFFICIENT DAN HIDDEN MARKOV MODEL*. Bandung: Universitas Telkom.
- [2] Maesa, Alfredo. 2013. "Text Independent Automatic Speaker Recognition System Using Mel-Frequency Cepstrum Coefficient and Gaussian Mixture Models." *Journal of Information Security* 335-340.
- [3] Muda, Lindsalwa. 2010. "Voice Recognition Algorithms using Mel Frequency Cepstral Coefficient (MFCC) and Dynamic Time Wrapping (DTW) Techniques." *JOURNAL OF COMPUTING, VOLUME 2, ISSUE 3, ISSN 2151-9617* 138-143.
- [4] Muttaqin, Imam. 2013. *SIMULASI DAN ANALISIS IDENTIFIKASI ALAT MUSIK TRADISIONAL BERDASARKAN NADA BUNYI DENGAN METODE MEL FREQUENCY CEPSTRAL COEFFICIENT (MFCC) DAN SUPPORT VECTOR MACHINE (SVM)*. Bandung: Universitas Telkom.
- [5] Ng, Andrew K. 2006. "Speech-like Analysis of snore Signal for the Detection of Obstructive Sleep Apnea." *Intl. Conf. on Biomedical and Pharmaceutical Engineering (ICBPE)* 99-103.
- [6] Patel, Kashyap. 2013. "Speech Recognition and Verification Using MFCC & VQ." *International Journal of Emerging Science and Engineering (IJESE), ISSN: 2319-6378, Volume-1, Issue-7* 33-37.
- [7] Prametshi, Dhita Khairunnisa. 2011. *Analisis Dialek Suara Teleponi dengan Mel-Frequency Cepstral Coefficient dan K-Nearest Neighbor Berbasis Pengolahan Sinyal Digital*. Bandung: Institut Teknologi Telkom.
- [8] Saragih, Abdul Rachman. 2007. *Mendengkur "The Silent Killer" dan Upaya Penanganannya Dalam Meningkatkan Kualitas Hidup*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- [9] Setiawan, Angga. 2011. "Aplikasi Pengenalan Ucapan dengan Ekstraksi Mel-Frequency Cepstrum Coefficients (MFCC) Melalui Jaringan Syaraf Tiruan (JST) Learning Vector Quantization (LVQ) untuk Mengoperasikan Cursor Komputer." *TRANSMISI, ISSN 1411-0814* 82-86.
- [10] Wilson, D. Randall. 1997. "Improved Heterogeneous Distance Functions." *Journal of Artificial Intelligence Research* 1-34.
- [11] Yadollahi, Azadeh. 2006. "Apnea Detection by Acoustical Means." *Proceedings of the 28th IEEE EMBS Annual International Conference* 4623-4626.