MODEL SINUSOIDA SECARA SEGMENTAL UNTUK PENGKODEAN SINYAL SUARA

Florentinus Budi Setiawan[1,3], Soegijardjo Soegijoko[2], Sugihartono[1], dan Suhartono Tjondronegoro[1]

1. Laboratorium Telekomunikasi Radio dan Gelombang Mikro, STEI – ITB, Bandung 40132, Indonesia
2. Laboratorium Teknik Biomedika, STEI - ITB, Bandung 40132, Indonesia
3. Teknik Elektro, Universitas Katolik Soegijapranata , Semarang 50236, Indonesia

E-mail: fbudisetiawan@yahoo.com

Abstrak

Sinyal yang periodik dapat didekomposisikan ke dalam bentuk sinusoida dengan menggunakan bantuan deret Fourier. Berdasarkan karakteristik sinyal suara yang demikian, maka dapat dilakukan pemodelan dengan mengacu pada bentuk sinusoida. Dengan menggunakan model sinusoida dapat dilakukan proses kuantisasi untuk mengkodekan sinyal suara pada laju yang rendah. Metode sinusoida telah banyak digunakan untuk mengkodekan sinyal suara. Dengan metode tersebut satu blok sinyal suara selebar 20 milidetik sampai dengan 30 milidetik dapat dikodekan dengan menggunakan koefisien deret Fourier. Metode baru yang diusulkan adalah kuantisasi dan rekonstruksi sinyal suara berdasarkan model sinusoida secara segmental. Segmen yang diambil adalah antara satu nilai puncak tertentu menuju ke nilai puncak berikutnya yang berlawanan, bukan berupa blok sinyal dengan panjang yang tetap seperti pada metode sinusoida yang sudah ada. Pengkode yang dirancang terdiri atas bagian enkoder dan dekoder. Enkoder berfungsi untuk mengkodekan sinyal suara pada laju variabel. Sinyal terkode selanjutnya dikirimkan ke penerima. Pada sisi penerima terdapat dekoder berfungsi untuk mengembalikan bentuk sinyal agar sesuai dengan asalnya dengan kualitas yang tidak jauh berbeda. Berdasarkan hasil percobaan diperoleh nilai rata-rata SNR segmental lebih dari 20 dB.

Abstract

Segmental Sinusoidal Model for Speech Signal Coding. Periodic signal can be decomposed by sinusoidal component with Fourier series. With this characteristic, it can be modeled referring by sinusoidal form. By the sinusoidal model, signal can be quantized in order to encode the speech signal at the lower rate. The recent sinusoidal method is implemented in speech coding. By using this method, a block of the speech signal with 20 ms to 30 ms width is coded based on Fourier series coefficients. The new method proposed is quantization and reconstruction of speech signal by the segmental sinusoidal model. A segment is defined as a block of the speech signal from certain peak to consecutive peak. The length of the segment is variable, instead of the fixed block like the recent sinusoidal method. Coder consists of the encoder and the decoder. Encoder works to code speech signal at variable rate. Then coded signal will be transmitted to receiver. On the receiver, coded signal will be reconstructed, so that the reconstruction signal has the near quality compared with the original signal. The experimental results show that the average of segmental SNR is more than 20 dB.

Keywords: peak, period, quantization, segmental, sinusoidal

1. Pendahuluan

Jumlah kanal yang tersedia untuk komunikasi menjadi semakin terbatas seiring dengan makin pesatnya penggunaan kanal komunikasi. Kapasitas kanal yang terbatas mendorong untuk terus melakukan efisiensi di semua bagian pada sistem komunikasi. Komunikasi suara pada lebar pita 4 kHz pada format PCM 8-bit menyebabkan kanal harus menyediakan lebar pita 64 kbps untuk dapat mengirimkan informasi yang dapat ditangkap sesuai dengan aslinya. Pada perkembangannya, telah dilakukan upaya untuk melakukan kompresi sinyal suara agar diperoleh laju yang lebih rendah, untuk menghemat penggunaan kanal transmisi. Sinyal suara telah diolah sedemikian rupa sehingga dapat menghilangkan redundansi dan diperoleh informasi yang cukup ringkas untuk ditransmisikan [1].

Sinyal suara manusia yang memiliki komponen yang hampir periodik, terutama pada bagian sinyal yang bergetar. Jenis sinyal suara selain yang bergetar ada juga memiliki sifat periodik, misalnya sinyal desis. Sinyal suara manusia terdiri atas bagian bergetar yang umumnya dilambangkan dalam bentuk huruf vokal dan bagian yang tidak bergetar yang dilambangkan sebagai konsonan [2,3]. Sinyal bergetar memiliki periode getar tertentu yang disebut sebagai *pitch*. Sinyal yang periodik, secara teroritis dapat didekomposisi dalam bentuk sinusoida dengan menggunakan bantuan deret Fourier [4,5]. Jika ditinjau dari kawasan frekuensi, maka sinyal bergetar memiliki spektra tertentu. Bagian-bagian spektra yang menonjol, yaitu frekuensi-frekuensi yang memiliki nilai amplituda terbesar dibanding sekitarnya disebut sebagai *formant*. Pada umumnya, suara manusia memiliki empat *format* untuk daerah frekuensi dari 0 samapi dengan 4 kHz.[2]. Di lain pihak terdapat *formant* yang lebih tinggi untuk frekuensi di atas 4 kHz. Sinyal tidak bergetar memiliki spektra frekuensi dari nol sampai dengan tak terhingga, seperti spektra sinyal derau. Sinyal ini lebih sulit dianalisis mengingat karakteristiknya yang mirip derau [1].

Berdasarkan karakteristik sinyal suara yang demikian, maka dapat dilakukan pemodelan dengan mengacu pada bentuk sinusoida seperti dilakukan oleh beberapa peneliti [6-12]. Dalam pengkodean sinyal suara telah dikenal dengan adanya pengkodean transformasi sinusoidal (STC) [13]. Dilain pihak ada model lain yang dikenal sebagai STN (*Sines+Transients+ Noise*). Masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangannya sendiri. Dengan menggunakan model sinusoida dapat dilakukan proses kuantisasi untuk mengkodekan sinyal suara pada laju yang rendah. Pada tulisan ini dipaparkan metode baru kuantisasi sinyal suara dengan proses rekonstruksi berdasarkan model sinusoidal secara segmental.

Kuantisasi adalah proses untuk mengelompokkan elemen-elemen yang bernilai kontinyu. Pada proses pengubahan sinyal analog menjadi digital, mula-mula sinyal analog diambil pada selang waktu yang tetap yang disebut juga dengan proses pencuplikan. Hasil pencuplikan adalah berupa PAM (*Pulse Amplitude Modulation*). Selanjutnya nilai PAM dikelompokkan atau dikuantisasi ke dalam nilai-nilai sinyal digital yang dikenal sebagai PCM (*Pulse Code Modulation*).

Proses kuantisasi juga dilakukan pada pengolahan sinyal suara, utamanya pada pengkodeaan sinyal suara. Pada pengkode berbasis CELP (*Code Excitation Linear Prediction*), sinyal acak dikelompokkan atau dikuantisasi dalam bentuk buku kode [14-15]. Buku kode disusun berdasarkan sifat-sifat sinyal yang akan dikelompokkan. Jika sinyal yang akan dikelompokkan bersifat Gaussian seperti halnya pada sinyal kesalahan prediksi dari sinyal suara, maka buku kode harus disusun dengan memperhatikan sifat sinyal acak Gaussian [16].

Sinyal suara pada dasarnya terdiri atas fluktuasi tekanan udara yang dihasilkan oleh sistem suara pada manusia mulai dari paru-paru sampai ke ujung mulut dan hidung. Nilai periodisitas sinyal suara sangat berpengaruh pada persepsi penerima. Jika semua nilai puncak sinyal dipertahankan, maka periodisitas sinyal dapat tetap terjaga [17]. Nilai puncak yang masih tetap terjaga, akan memiliki tingkat periodisitas yang tinggi dan dapat dibuktikan dengan menggunakan deret Fourier. Periode fundamental sebuah sinyal pada segmen dari puncak positif menuju puncak negatif atau sebaliknya bernilai dua kali dari jarak puncak tersebut. Dengan menggunakan asumsi tersebut, maka sinyal suara dapat dikuantisasi berdasarkan jarak puncak maksimum ke puncak minimum dan sebaliknya. Sedangkan hasil kuantisasi tersebut dapat dikembalikan lagi ke bentuk semula (pendekatan) dengan menggunakan model sinusoida.

2. Model Sinusoida

Model sinyal suara secara sinusoida pada umumnya menggunakan menggunakan panjang blok sinyal yang tetap, yaitu antara 20 ms sampai dengan 30 ms untuk proses pengkodean. Model ini membutuhkan banyak koefisien Fourier untuk dapat menyusun ulang bentuk sinyal.

Sinyal suara bergetar dapat dinyatakan dalam k sinyal sinusoida. Jika sinyal tersebut hendak dikuantisasi dalam komponen-komponen sinusoida, maka akan terdapat k sebanyak tak terhingga. Jumlah yang tak terhingga dapat ditekan dengan menampilkan bagian-bagian yang dianggap mewakili, namun kualitas akan menurun seiring dengan semakin sedikitnya jumlah bagian sinyal yang dipakai untuk mewakili keseluruhan sinyal. Sinyal suara dapat didekomposisikan dalam bentuk komponen termodulasi seperti dinyatakan oleh Rao [18]. Selain itu sinyal suara dapat juga dimodelkan dalam bentuk modulasi amplituda dan modulasi frekuensi [19]. Pemodelan untuk analisis dan sintesis sistem berdasarkan kombinasi model sinusoida *overlap-add* diusulkan oleh George [20] untuk sintesis dan perbaikan mutu suara.

Sinyal periodik yang dicuplik dengan frekuensi cuplikan Fs, akan menghasilkan sinyal diskrit $s(n)$ sebanyak N, dari n=0 sampai dengan n=N-1. Sinyal diskrit $s(n)$dapat dinyatakan dalam bentuk deret Fourier. Jika n menyatakan cuplikan sinyal, a_0 adalah koefisien deret Fourier ke-nol, sedangkan a_k dan b_k adalah koefisien deret Fourier ke-k , dimana k adalah banyaknya komponen sinusoida, dan $\omega = 2\pi/T$, dimana T adalah

periode, maka akan terdapat sejumlah besar komponen sinusoida dan dapat dinyatakan sebagai :

$$s(n) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos k\omega + \sum_{k=1}^{\infty} b_k \sin k\omega \quad (1)$$

Pada persamaan di atas, jumlah koefisien *Fourier* adalah tak terhingga. Dengan pendekatan yang mirip dengan metode transformasi sinusoida untuk menghasilkan sinyal pendekatan, maka dapat diambil beberapa koefisien *Fourier* saja yang dipakai untuk mewakili keseluruhan komponen sinusoida dalam selang waktu tertentu.

3. Model Sinusoida secara Segmental

Model sinusoida yang sudah ada membutuhkan banyak koefisien Fourier pada selang waktu yang tetap untuk dapat menyusun ulang bentuk sinyal. Di lain pihak, sinyal suara dapat dimodelkan dalam segmen yang dinamis[21]. Berdasarkan model segmen yang dapat berubah secara dinamis, maka sinyal suara tidak harus dimodelkan secara sinusoida dengan blok yang panjangnya tetap. Metode baru yang diusulkan adalah mengambil blok sinyal suara dengan panjang yang bervariasi, tergantung dari posisi puncak positif dan puncak negatif dari sinyal. Metode baru yang diusulkan hanya membutuhkan dua koefisien Fourier saja untuk setiap blok, jauh lebih sedikit dibanding dengan metode yang ada yang menggunakan koefisien Fourier lebih dari sepuluh buah.

Suara dapat didengar oleh telinga karena adanya fluktuasi dari satu nilai tekanan udara ke nilai tekanan udara berikutnya, menguat dan melemah. Fluktuasi tersebut menyebabkan munculnya puncak-puncak baik berupa nilai maksimum maupun minimum pada selang waktu tertentu. Karakteristik sinyal dengan puncak dan lembah (puncak minimum) dapat digunakan sebagai model untuk mendekati bentuk sinyal suara. Bagian sinyal dari satu puncak ke puncak yang lain dapat diwakili oleh satu segmen sinyal sinusoida[22-23]. Pola puncak ke puncak sangat berperan dalam menentukan tingkat periodisitas sinyal. Sedangkan tingkat periodisitas sinyal sangat menentukan persepsi pendengaran manusia, terutama sinyal bergetar yang merupakan bagian terbesar dari sinyal suara.

Dengan munculnya puncak positif dan negatif yang bergantian, maka sinyal suara dapat dikuantisasi dari puncak ke puncak. Rekonstruksi dilakukan dengan menggunakan model pendekatan secara sinusoida. Kuantisasi dilakukan dengan cara mendeteksi jarak waktu antara puncak maksimum ke puncak minimum berikutnya. Selanjutnya adalah deteksi jarak waktu dari puncak minimum ke puncak maksimum. Demikian seterusnya sehingga diperoleh nilai jarak waktu di antara puncak ke puncak yang berlawanan.

Dalam penelitian ini, hanya koefisien Fourier a_0 dan a_1 saja yang dipakai untuk mendekati sinyal dari puncak ke puncak berikutnya, sehingga untuk bagian sinyal pada selang ke-*i*, *s(i)* dapat didekati dengan:

$$s(i) = a_0 + a_1 \cos \omega_i \quad (2)$$

Nilai a_0 dan a_1 masing-masing menyatakan koefisien Fourier yang ke nol *(offset DC)* dan koefisien pertama yang merupakan amplituda harmonik pertama. Pada bagian sinyal dari *v(i)* sampai dengan *p(i+1)* dapat dinyatakan sebagai:

$$s(i) = a_0 - a_1 \cos \omega_i \quad (3)$$

Dengan model tersebut, maka satu bagian sinyal dari suatu nilai minimum menuju ke nilai maksimum berikutnya dapat didekati sebagai sinyal cosinus dari π menuju 2π. Sebaliknya, bagian sinyal dari suatu nilai puncak maksimum menuju puncak minimum berikutnya dapat didekati sebagai sinyal cosinus dari 0 sampai π. Masing-masing sinyal cosinus dikoreksi dengan penambahan *offset D*C untuk mendapatkan posisi nilai puncak yang sama antara sinyal asli dan sinyal sintesis.

Sinyal dapat direkonstruksi berdasarkan nilai puncak maksimum dan nilai-nilai puncak minimum pada selang pengamatan *(1 frame*). Jika nilai-nilai puncak maksimum ke-*i* dinyatakan sebagai *p(i)* dan puncak minimum ke-*i* dinyatakan sebagai *v(i)*, sedangkan p*(i)* adalah puncak maksimum sebelum puncak minimum *v(i)* maka sinyal pendekatan dapat dinyatakan dengan persamaan (4) dan (5) berikut ini. Potongan sinyal dari bagian puncak minimum menuju ke puncak maksimum didekati dengan sinyal cosinus dari 0 menuju ke π disebut sebagai $s_{pv}(n)$ dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan berikut ini:

$$s_{pv}(n) = a_0 + \sum_{i=1}^{k} a_1 \cos\left(\frac{(n - n_{p(i)})\pi}{n_{v(i)} - n_{p(i)}}\right) \quad (4)$$

Variabel n menyatakan cuplikan, a_0 dan a_1 adalah koefisien deret Fourier ke-nol dan ke-satu, sedangkan $n_{p(i)}$ menyatakan cuplikan yang memiliki nilai puncak maksimum ke-*i* dan $n_{v(i)}$ menyatakan cuplikan yang memiliki nilai puncak minimum ke-*i*. Potongan sinyal dari bagian puncak minimum menuju ke puncak maksimum didekati dengan sinyal cosinus dari π

menuju ke 2π disebut sebagai $s_{vp}(n)$ dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan berikut ini:

$$s_{vp}(n) = a_0 - \sum_{i=1}^{k} a_1 \cos\left(\frac{(n - n_{v(i)})\pi}{n_{p(i+1)} - n_{v(i)}}\right) \quad (5)$$

Pada potongan sinyal sebesar satu frame terdapat 2k segmen sinyal pendekatan sinusoida, masing-masing terdapat sebanyak k sinyal cosinus dari 0 menuju π dan sebanyak k sinyal cosinus dari π menuju ke 2π.

4. Pengkode Sinyal Suara

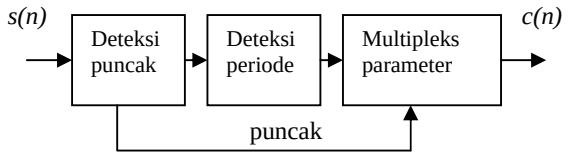
Pengkode yang dirancang terdiri atas bagian enkoder dan dekoder. Enkoder berfungsi untuk mengkodekan sinyal suara menjadi sinyal terkuantisasi periode dan puncak. Sinyal terkode selanjutnya dikirimkan ke penerima. Pada sisi penerima terdapat dekoder berfungsi untuk mengembalikan bentuk sinyal agar sesuai dengan asalnya dengan kualitas yang tidak jauh berbeda.

Enkoder terdiri atas dua bagian utama, yaitu bagian pendeteksi puncak dan dan bagian penghitung periode antar puncak. Diharapkan dengan skema tersebut dapat diperoleh mutu suara yang mendekati kualitas yang baik.

Rancangan pengkode usulan, ditampilkan pada Gambar 1 berikut ini. Bagian awal dari pengkode adalah *buffer* 20 ms, yang sangat menentukan tundaan pengkodean sebesar 20 ms. Pengambilan sinyal yang tetap dimaksudkan untuk menjamin adanya mode transmisi sinkron. Tahap selanjutnya adalah deteksi puncak dan deteksi periode sinyal. Kedua informasi tersebut dimultipleks dan selanjutnya dikirim ke penerima.

Pada bagian dekoder, sinyal terkode diproses dengan menggunakan algoritma yang ditampilkan dalam bentuk blok proses seperti Gambar 2. Parameter termultipleks diuraikan menjadi informasi puncak dan periode, selanjutnya dibangkitkan sinyal sinusoida secara segmental agar membentuk sinyal yang diharapkan mirip dengan sinyal asalnya.

Tingkat kemiripan sinyal asal dibandingkan dengan sinyal rekonstruksi dapat diukur dengan perbandingan



Gambar 1. Diagram Blok Pengkode Sinyal Suara

antara sinyal asal terhadap sinyal kesalahan, berupa selisih sinyal asal dan sinyal rekonstruksi (*Segmental Signal to Noise Ratio*). Jika sinyal asal dinyatakan sebagai $s(n)$ dan sinyal rekonstruksi adalah $\hat{s}(n)$, maka SNR secara segmental adalah :

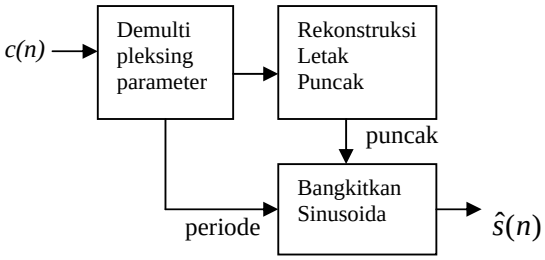
$$SegSNR = 10\log\left[\frac{\sum_{n=1}^{N} s(n)^2}{\sum_{n=1}^{N}\left[s(n) - \hat{s}(n)\right]^2}\right] \text{ dB} \quad (6)$$

Dalam hal ini *n* adalah cuplikan dan *N* menyatakan banyaknya cuplikan sinyal. Perhitungan perbandingan SNR secara segmental dinyatakan dalam desibel (dB).

5. Hasil dan Pembahasan

Percobaan yang dilakukan adalah pengkodean sinyal suara pada format *.wav dengan menggunakan rancangan yang ditampilkan pada Gambar 1 dan dikembalikan lagi ke bentuk yang mendekati sinyal asal dengan menggunakan dekoder dengan rancangan yang ditampilkan pada Gambar 2.

Kinerja sistem di ukur secara obyektif dengan menggunakan ukuran perbandingan sinyal terhadap selisih sinyal asal dengan sinyal rekonstruksi. Tabel 1.



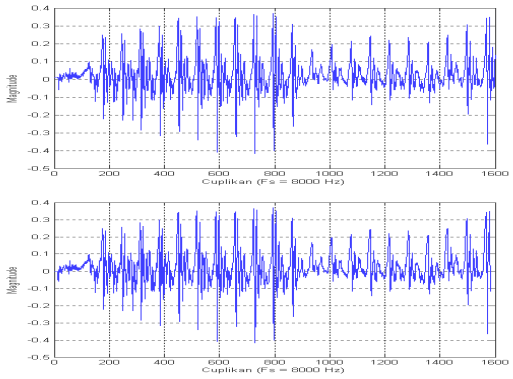
Gambar 2. Diagram Blok Pendekode Sinyal Suara

Tabel 1. Pengukuran SNR Secara Segmental

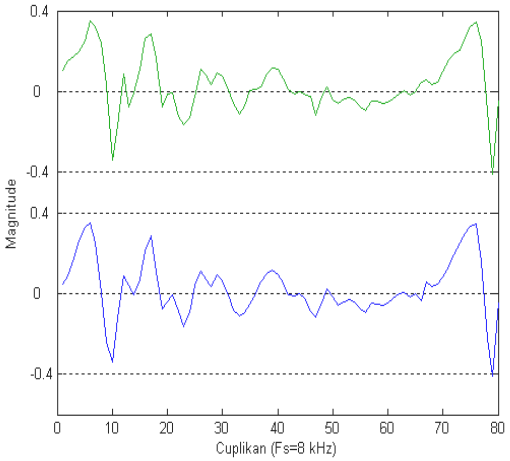
Bunyi Ucapan	SegSNR(dB)	
	Laki-laki	Perempuan
Bandung Kota Kembang.	25,39	23,62
Bahasa Indonesia	25,12	21,11
Cigadung Raya	24,86	20,04
Indonesia Raya	17,97	21,36
Institut Teknologi Bandung	26,99	38,43
Jalan Ganesha Sepuluh	22,81	21,10
Jalan Lamongan Barat	25,56	19,98
Jawa Barat	24,71	25,59
Rangkaian Listrik	25,96	22,80
Teknik Elektro	27,49	28,50
Unika Soegijapranata	22,66	23,41

berisi beberapa hasil perhitungan SNR secara segmental antara sinyal asal dengan sinyal sintesis dengan model sinusoida. Nilai SNR segmental semakin besar, apabila sinyal asal mengandung bentuk-bentuk yang menyerupai sinusoida. SNR segmental rata-rata dari hasil percobaan bernilai lebih besar dari 20 dB dengan variasi antara 17 dB sampai 38 dB. Nilai SNR segmental bernilai lebih dari 20 dB akan cenderung memiliki kualitas persepsi terhadap pendengar yang cukup baik [2,16]

Pada Tabel 1. ditampilkan nilai SNR untuk percobaan terhadap beberapa kata dalam bahasa Indonesia, oleh satu orang laki-laki dan satu orang perempuan. Berikut ini ditampilkan contoh potongan sinyal sumber dan sinyal sintesis dengan menggunakan sistem pengkode berbasis sinusoidal secara segmental, untuk kata "elektro". Contoh ini dipilih untuk ditampilkan mengingat nilai SegSNR-nya yang cukup besar.



Gambar 3. Sinyal 1600 cuplikan pertama kata "elektro" (atas) dan hasil rekonstruksi (bawah)



Gambar 4. Sinyal 80 cuplikan dari kata "elektro" (atas) dan hasil rekonstruksi (bawah)

Perubahan bentuk sinyal sintesis terhadap sinyal asalnya pada selang waktu 1600 cuplikan (200 ms, pada frekuensi cuplikan Fs=8000 Hz) tidak terlihat secara nyata. Oleh karena itu, dapat dijamin bahwa kualitas persepsi terhadap bunyi sinyal sintesis masih dapat dipertahankan.

Gambar 4. menampilkan secara lebih detail untuk selang waktu yang lebih pendek, yaitu 80 cuplikan (10 ms). Pada gambar terlihat bahwa sinyal asal pada daerah di antara puncak, direkonstruksi secara sinusoida.

6. Kesimpulan

Sinyal suara dapat dimodelkan dalam bentuk sinusoida untuk keperluan pengkodean. Sinyal suara dapat pula dikodekan dengan menggunakan model sinusoida secara segmental pada selang antarpuncak. Sinyal yang dikirimkan ke penerima berupa informasi periode dan puncak. Berdasarkan informasi tersebut, sinyal dapat dikembalikan lagi dalam bentuk yang mendekati asalnya dengan kualitas SNR segmental rata-rata lebih dari 20 dB.

Daftar Acuan

[1] JR. Deller, JG. Proakis, JHL. Hansen, *Discrete-Time Processing of Speech*, Macmillan Publishing Company, New York, 1993.

[2] S. Furui, *Digital Speech Processing, Synthesis, and Recognition*, Marcel Dekker Incorporation, New York, 1989.

[3] L. Rabiner, BH. Juang, *Fundamentals of Speech Recognition*, Prentice Hall international, New Jersey, 1993.

[4] TF Quatiery, RJ.McAulay, *Speech Transforma tions Based on a Sinusoidal Representation*, IEEE TASSP**,** vol. ASSP-34, no. 6, 1986

[5] RJ.McAulay, TF Quatiery, Speech, *Analysis/ Synthesis Based on a SinusoidalRepresentation*, IEEE TASSP, vol. ASSP-34, no. 4, 1986

[6] T. Abe, dan M. Honda, *Sinusoidal Model Based On Instantaneous Frequency Attractor*, TSALP vol 14 No.4, 2006

[7] R. Boyer, dan Abed-Meraim, K, *AudioModeling Based on Delayed Sinusoids*, TSAP vol 12, No.2, 2004.

[8] CO. Etemoglu, dan V. Cuperman, V, *Matching Pursuit Sinusoidal Speech Coding*, TSAP vol 11, No.5, 2003.

[9] GH. Hotho, dan RJ. Sluijter, *A Narrowband Low Bit Rate Sinusoidal Audio and Speech Coder*, Company Research - Philips Electronics Nederland, 2003.

[10] J. Jensen, R. Heusdens, dan SH. Jensen, *A Perceptual Subspace Approach for Modeling of*

Speech and Audio Signal with Damped Sinusoid, TSAP vol 12, No.2, 2004

[11] S. Marchand dan M. Raspud, *Enhanced Time-Stretching Using Order-2 Sinusoidal Modeling,* Conference on DAFX, Napels, 2004.

[12] S. Ramamohan, dan S. Dandapat, : *Sinusoidal Model Based Analysis and Classification of Stressed Speech,* TSALP vol 14 No.3, 2006.

[13] S. Ahmadi, A. Spanias, *A new Model for Sinusoidal Transform Coding of Speech*, IEEE TSAP, 1998

[14] BS. Atal, V. Cuperman, A. Gersho, *Advances in Speech Coding*, Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, 1991.

[15] BS. Atal, V. Cuperman, A. Gersho, *Speech and Audio Coding for Wirelles and Network Applications*, Kluwer Academic Publishers, Massachusetts L, 1993,.

[16] AM. Kondoz, *Digital Speech : Coding for Low Bit Rate Communications Systems*, John Wiley & Sons Ltd,West Sussex, 1995.

[17] T. Painter,dan A. Spanias, *Perceptual Segmentation and Component Selection for Sinusoidal Representation of Audio,* IEEE TSAP, vol 13, 2005, hal 149 - 162

[18] A. Rao, R. Kumaresan, *On Decomposing Speech into Modulated Components,* IEEE TSAP vol 8, hal 240-254, 2000.

[19] TF. Quatieri, TE. Hanna, GC. O'Leary, *AM-FM Separation Using Auditory-Motivated Filters,* IEEE TSAP, vol 5, 1997, hal. 465-480.

[20] EB. George, MJT. Smith, *Speech Analysis/Synthesis and Modification Using an Analysis-by-Synthesis/Overlap-Add Sinusoidal Model*, IEEE TSAP, vol 5, 1997, hal 389-406.

[21] HK. Jang dan JS. Park, *Multiresolution Sinusoidal model with Dinamic Segmentation for Time Scale Modification of Polyphonic Audio Signal,* TSAP vol 13, No.2, 2005

[22] FB Setiawan, S. Tjondronegoro, *Pemodelan Sinyal Suara dalam Bentuk Sinusoida*, Prosiding Seminar Nasional UTY, Yogyakarta, 2005

[23] FB Setiawan, S. Tjondronegoro, *Model Sinyal Suara dengan Harmonik Pertama pada Segmen Puncak ke Puncak*, Prosiding SITIA-ITS, Surabaya, 2006.