

JURNAL

ISSN 1411-8289

Elektronika dan Telekomunikasi

VOLUME 8, NOMOR 2

Juli – Desember 2008

Akreditasi LIPI No. 72 / Akred – LIPI / P2MBI / 5 / 2007



LIPI

PUSAT PENELITIAN ELEKTRONIKA DAN TELEKOMUNIKASI
LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA

J. El. Kom	Vol. 8	No. 2	Hal. 55 - 128	Bandung Juli 2008	ISSN 1411-8289
------------	--------	-------	---------------	----------------------	-------------------

JURNAL Elektronika dan Telekomunikasi

SUSUNAN REDAKSI

Penanggung Jawab : Kepala Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi LIPI

Dewan Redaksi : Prof. Dr. Masbah RT. Siregar
Prof. Dr. Totok MS Soegandi
Prof. Dr. Ir. Adang Suwandi Ahmad
Prof. Ir. Ika Hartika Ismet, MA
Dr. AB. Suksmono
Dr. Ir. Adit Kurniawan, M Eng
Dr. Goib Wiranto
Dr. Mashury Wahab, MEng
Dr. Purwoko Adhi, DEA

**Redaksi Pelaksana
Ketua** : Ir. Yuyu Wahyu, MT

Anggota : Ir. Pamungkas Daud, MT
Lilis Retnaningsih, S.Si
Yadi Radiansyah, ST

Sirkulasi : Poppy Sumarni

Alamat Redaksi : Sub. Bid. Jasa dan Informasi
PPET LIPI
Jl. Sangkuriang Bandung 40135
Telp. (022) 2504660/1 ; Fax. (022) 2504659
E-mail : Info@ppet.lipi.go.id

Akreditasi LIPI No. 72 / Akred-LIPI / P2MBI / 5 / 2007

DAFTAR ISI

Kata Pengantar

1. Analisa Teori dan Numerik Pembebanan Resistif terhadap Kestabilan Impedansi input Antena GPR di atas Permukaan Tanah 55-60
(*A. Adya Pramudita, Kurniawan, A. B Suksmono dan A. Andaya L*)
2. Discriminator pada Audio Demodulator Analog Satelit Receiver 61-64
(*Fredrika. H. Kana*)
3. Indikasi dan Interpretasi Pola Target pada Sistem Radar di Bawah Permukaan Tanah 65-69
(*Nana Rachman, Luthfi Kurniadi, Sugihartono, Hendrawan, dan AB Suksmono*)
4. Karakterisasi Resistansi Versus Temperatur Terhadap Lapisan Tipis ZnO dan SnO₂ Hasil Penumbuhan dengan Teknik Sputtering 70-75
(*Lilis Retnaningsih dan I Dewa Putu Hermida*)
5. Model Pengatur Lampu Lalu Lintas dengan Metal Detektor Berbasis Mikrokontroler ATMega 8535 76-80
(*Yaya Sulaeman, Asep Yudi H dan Iqbal Syamsu*)
6. Optimasi Desain Filter Optik Jenis Parallel Cascaded Microring Resonator (PCMR) dengan menggunakan Metoda Transfer Matrix dan Signal Flow Graph 81-87
(*Dadin Mahmudin dan Iip Syarif. H*)
7. Pengaruh Jarak antar FeedPoint dalam Meningkatkan Akurasi Footprint Antena GPR 88-92
(*Yudi Yuliyus M, Yuyu Wahyu, Folin O, A.A Lestari, A. Kurniawan, Sugihartono,*)
8. Pengkode Sinyal Suara pada Laju 4 kbps : Menggunakan Model Sinusoida Segmen Antar Puncak 93-98
(*Suhartono Tjondronegoro, Florentinus Budi Setiawan*)
9. Rancang Bangun Rectifier Antena 890 915 MHz 99-105
(*Asep Yudi Hercuadi, Yuyu Wahyu dan A Tenri Pakkua*)
10. Restorasi Citra Digital dengan Pendekatan Spin Glass Markov Random Field 106-113
(*Kusworo Adi, A.B Suksmono dan Tati L.R Mengko*)
11. Sinyal kode Berbasis Derau dan Intensitas Daya Optik untuk Sensor dalam Sistem Keamanan Ruang 114-121
(*Syamsu Ismail dan Deni Permana*)
12. Tuner pada Analog Satellit Receiver 122-125
(*Fredrika H. Kana*)
13. Indeks Elektronika dan Telekomunikasi
Volume 8 No. 1. Januari Juni 2008
No. 2. Juli Desember 2008
 - A. Indeks Pengarang 126
 - B. Indeks Judul Makalah 126
 - C. Indeks Kata Kunci 127
 - D. Key Words Indeks 128

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Salam Sejahtera untuk kita semua

Pembaca Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi yang budiman

Kita panjatkan puji dan syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia sehingga Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi bisa terbit di hadapan para pembaca semua.

Pada terbitan Volume 8 nomor 2 tahun 2008 ini meliputi bidang komponen mikroelektronika, bidang elektronika dan bidang telekomunikasi sesuai dengan bidang kompetensi kami dengan judul-judul antara lain :

Analisa Teori dan Numerik Pembebanan Resistif terhadap Kestabilan Impedansi input Antena GPR di atas Permukaan Tanah, Discriminator pada Audio Demodulator Analog Satelit Receiver, Indikasi dan Interpretasi Pola Target pada Sistem Radar di Bawah Permukaan Tanah, Karakterisasi Lapisan ZnO dan SnO₂ dengan Teknologi Sputtering sebagai Bahan Sensitif pada Sensor Gas CO, Model Pengatur Lampu Lalu Lintas dengan Metal Detektor Berbasis Mikrokontroler ATmega 8535, Optimasi Desain Filter Optik Jenis ParallelCascaded Microring Resonator (PCMR) dengan menggunakan Metoda Transfer Matrix dan Signal Flow Graph, Pengaruh Jarak antar feedPoint dalam Meningkatkan Akurasi Footprint, Pengkode Sinyal Suara pada Laju 4 kbps : Menggunakan Model Sinusoida Segmen Antar Puncak, Rancang Bangun Rectifier Antena 890 915 MHz, Restorasi Citra Digital dengan Pendekatan Spin Glass Markov Random Field, Sinyal kode Berbasis Derau dan Intensitas Daya Optik untuk Sensor dalam Sistem Keamanan Ruangan, Tuner pada Analog Satellit Receiver.

Kami mengharapkan saran dan kritik dari para pembaca untuk perbaikan jurnal ini agar lebih berkualitas. Mudah-mudahan apa yang kami sajikan dapat menambah wawasan dan bermanfaat bagi kita semua.

Redaksi

Pengkode Sinyal Suara Pada Laju 4 kbps : Menggunakan Model Sinusoida Segmen Antar Puncak

Suhartono Tjondronegoro¹, Florentinus Budi Setiawan^{1,2}

¹Laboratorium Telekomunikasi radio dan Gelombang Mikro, STEI - ITB,
Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia

²Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang, Indonesia
fbudisetiawan@yahoo.com

Abstract

Communications equipment should be able work at low bit rate, that can reduce the need for transmission bandwidth. The proposed speech coder generates coded signal at the rate of 4 kbps with low complexity. Thus, the transmission channel can be used for great number of communications connection. The low bit rate speech coder can be realized by using segmental sinusoidal model. By using this model, signal parameters are used to generate the synthetic speech signal.. In this paper, we proposed a sinusoidal model by using the peak of signal amplitude, called as segmental sinusoidal model. The proposed coder is combined with waveform interpolation model and codebook, thus it can work at low bit rate. The coder has MOS score of 3.8 (out of 5). It means that the perception quality is fairly good. The output data rate of encoder is 4 kbps or bellow, with complexity less than 10 MIPS (Million Instruction per Second).

Keywords : *analysis, frequency, interpolation, peak, period, segmental, sinusoidal, synthesis*

Abstrak

Perangkat komunikasi dituntut untuk dapat bekerja pada laju yang rendah untuk menurunkan penggunaan lebar pita transmisi. Pengkode sinyal usulan memiliki laju 4 kbps dengan kompleksitas rendah. Dengan demikian, kanal transmisi dapat dipakai untuk lebih banyak koneksi komunikasi. Pengkode sinyal suara dengan laju rendah dan kompleksitas rendah dapat direalisasi dengan model sinusoida secara segmental. Dengan menggunakan model ini, parameter sinyal berupa informasi periode dan informasi puncak dipakai untuk membangkitkan sinyal sintesis. Pada tulisan ini diusulkan sebuah model sinusoida menggunakan puncak amplituda sinyal, yang disebut sebagai model sinusoidal segmental. Pengkode tersebut dikombinasi dengan model interpolasi gelombang dan penggunaan bukukode untuk mendapatkan laju rendah. Pengkode memiliki skor MOS (Mean Opnion Score) sebesar 3,8 (dari 5) yang berarti bahwa kualitas sinyal cukup baik. Laju data keluaran pengkode adalah 4 kbps dengan kompleksitas kurang dari 10 juta instruksi per detik (MIPS, Million Instruction per Second).

Kata Kunci: *analiss, frekuensi, interpolasi, periode, puncak, segmental, sinusoida, sintesis*

1. Pendahuluan

Perangkat sistem komunikasi pada saat ini dituntut untuk dapat bekerja pada laju data dan kompleksitas rendah. Hal tersebut harus dipenuhi, mengingat jumlah kanal yang terbatas, namun terdapat banyak permintaan untuk melakukan komunikasi.

Pengkode yang diusulkan bekerja pada laju rendah, yaitu 4 kbps dengan kompleksitas yang cukup rendah dibandingkan dengan pengkode sejenis. Model sinusoida secara segmental dipakai sebagai dasar untuk membangun sistem pengkode

sinyal suara pada laju rendah. Model sinusoida diterapkan dengan berdasarkan asumsi bahwa sinyal suara memiliki karakteristik yang hampir periodik. Model tersebut mampu menjaga kualitas persepsi, khususnya dalam menjaga periodisitas sinyal sintesis yang dibangkitkan pada dekoder. Sinyal suara dapat dinyatakan sebagai kombinasi sinyal sinusoida dengan variasi amplituda, fasa dan frekuensi. Untuk model kuantisasi berdasarkan puncak ke puncak, puncak positif dan negatif yang berurutan dideteksi terlebih dahulu. Selanjutnya jarak waktu diantara puncak dikuantisasi. Dalam tulisan ini dijelaskan model

baru usulan yang dibagi dalam segmen antar puncak berdasarkan model sinusoida. Bagian sinyal diantara puncak positif dan negatif yang berurutan atau sebaliknya diestimasi dengan membangkitkan setengah perioda sinyal sinusoida. Selisih level antar puncak yang berurutan diasumsikan sebagai dua kali amplituda cosinus.

Sinyal suara dapat dimodelkan dalam bentuk sinyal sinusoida [1][2] untuk sepanjang frame dengan lebar 15 ms sampai dengan 30 ms. Komponen sinyal sinusoida diambil dari parameter sinyal sinusoida [3] untuk dikirimkan ke penerima. Jumlah komponen sinusoida berkisar antara 40 sampai dengan 60 untuk membangkitkan sinyal sintesis. Model sinyal usulan, adalah pemodelan berbasis model sinusoidal secara segmental [4]. Sinyal diambil pada segmen yang lebarnya bervariasi tergantung di jarak waktu diantara puncak yang berurutan. Puncak mengandung arti sebagai nilai maksimum dan nilai minimum yang berfluktuasi sepanjang frame. Satu segmen mengandung arti bagian sinyal diantara puncak maksimum dan minimum yang berurutan atau bagian sinyal diantara puncak minimum dan maksimum yang berurutan. Satu segmen sinyal diantara puncak maksimum menuju puncak minimum berikutnya dapat dimodelkan sebagai setengah perioda sinyal cosinus dari $=0$ sampai dengan π . Sedangkan segmen sinyal diantara puncak minimum menuju ke puncak maksimum dapat dimodelkan sebagai setengah perioda sinyal cosinus dari $=\pi$ sampai dengan 2π . Komponen sinyal sebanyak k dengan daya yang terbesar digunakan untuk mensintesis sinyal sepanjang frame. Sinyal rekonstruksi akan sama dengan sinyal asli jika terdapat sejumlah tak terhingga komponen sinyal k . Semakin banyak jumlah k , maka sinyal rekonstruksi akan semakin akurat.

Tulisan ini disusun dalam lima bagian. Setelah bagian pendahuluan ini adalah bagian kedua yang menjelaskan mengenai model sinusoida. Bagian berikutnya adalah perancangan enkoder dan

dekoder berdasarkan model sinusoida. Bagian keempat adalah mengenai hasil percobaan beserta dengan pembahasannya. Sedangkan yang terakhir adalah kesimpulan dari tulisan ini.

2. Model Sinusoida untuk Sinyal Suara

Model sinyal sinusoida untuk sinyal suara dapat dipakai untuk pengkodean sinyal suara seperti pada *Sinusoidal Transform Coding* (STC)[5][6][7]. Proses pada *sinusoidal transform coding* adalah mengambil beberapa komponen sinusoida yang memiliki amplituda terbesar. Jumlah komponen sinusoida yang dibutuhkan adalah berkisar antara 40 sampai dengan 60.

Dengan menggunakan model sinusoida secara segmental, dua sinyal berupa komponen DC dan frekuensi fundamental digunakan untuk melakukan estimasi sinyal. Satu segmen berarti bagian sinyal dari puncak maksimum menuju ke puncak minimum, atau sebaliknya. Jarak waktu diantara puncak maksimum ke- i disebut sebagai informasi periode dan dilambangkan sebagai $p_d(i)$. Puncak maksimum dan puncak minimum disebut sebagai informasi puncak dan dilambangkan sebagai $p_k(i)$. Informasi puncak diperoleh dengan mendeteksi puncak maksimum dan puncak minimum sepanjang frame. Informasi periode diperoleh dengan menghitung jarak waktu diantara puncak yang berurutan

Tahap pertama untuk memperoleh parameter sinyal adalah menetapkan satu frame dengan lebar 30 ms. Tahap berikutnya adalah menandai puncak sinyal, baik untuk puncak maksimum dan puncak minimum. Jarak waktu antara puncak ke- i menuju puncak ke- $(i+1)$ adalah sama dengan setengah periode sinyal estimasi, $p_d(i)$. Proses diteruskan untuk puncak berikutnya, sehingga deretan informasi periode dan informasi puncak didapatkan.

Sinyal rekonstruksi berdasarkan informasi periode dan puncak untuk segmen ke- i dari puncak maksimum menuju ke puncak minimum dapat dinyatakan sebagai :

$$s_{pv}(i,n) = \frac{p_k(i)+p_k(i+1)}{2} + \frac{p_k(i)-p_k(i+1)}{2} \cos\left(\frac{\pi.(n-n_k(i))}{p_d(i)}\right) \quad (1)$$

Jika $p_k(0) > p_k(1)$, $i=0,2,4... (I-2)$ jika I genap

$i=0,2,4... (I-1)$ jika I ganjil

Jika $p_k(0) < p_k(1)$, $i=1,3,5... (I-1)$ jika I genap

$i=1,3,5... (I-2)$ jika I ganjil

Dimana $n_k(i)$ adalah lokasi puncak $p_k(i)$. Koefisien komponen sinusoida untuk sinyal estimasi dari puncak minimum $p_k(i)$ menuju ke puncak maksimum berikutnya $p_k(i+1)$ dapat dinyatakan sebagai :

$$s_{vp}(i,n) = \frac{p_k(i)+p_k(i+1)}{2} + \frac{p_k(i+1)-p_k(i)}{2} \cos\left(\frac{\pi.(n-n_k(i))}{p_d(i)}\right) \quad (2)$$

Jika $\cos(A) = -\cos(A+)$, maka persamaan tersebut dapat dinyatakan sebagai :

$$s_{vp}(i,n) = \frac{p_k(i)+p_k(i+1)}{2} + \frac{p_k(i)-p_k(i+1)}{2} \cos\left(\frac{\pi.(n-n_k(i))}{p_d(i)} + \pi\right) \quad (3)$$

Jika $p_k(0) > p_k(1)$, $i=1,3,5... (I-1)$ jika I genap

$i=1,3,5... (I-2)$ jika I ganjil

Jika $p_k(0) < p_k(1)$, $i=0,2,4... (I-2)$ jika I genap

$i=0,2,4... (I-1)$ jika I ganjil

Sinyal estimasi sepanjang frame adalah deretan sinyal s_{pv} and s_{vp} untuk $i=0$ sampai dengan $i=I-1$. Berdasarkan penjelasan di atas, untuk $p_k(0) > p_k(1)$, sinyal rekonstruksi menggunakan model sinusoidal secara segmental dapat ditulis sebagai :

$$s_r(i,n) = \frac{p_k(i)+p_k(i+1)}{2} + \frac{p_k(i)-p_k(i+1)}{2} \cos\left(\frac{\pi.(n-n_k(i))}{p_d(i)} + i\pi\right) \quad (4)$$

untuk $i = 0,1,2 \dots (I-1)$

Jika $p_k(0) < p_k(1)$, sinyal rekonstruksi dapat dinyatakan sebagai :

$$s_r(i,n) = \frac{p_k(i)+p_k(i+1)}{2} + \frac{p_k(i)-p_k(i+1)}{2} \cos\left(\frac{\pi.(n-n_k(i))}{p_d(i)} + (i+1)\pi\right) \quad (5)$$

untuk $i = 0,1,2 \dots (I-1)$

3. Pengkode Sinyal Suara pada laju 4 kbp

Enkoder sinyal suara pada laju kurang dari atau

sama dengan 4 kbps dirancang dalam beberapa blok dan algoritma. Bagian depan dari enkoder terdiri atas detektor sinyal dan detektor pitch. Blok berikutnya adalah proses klasifikasi sinyal bergetar dan sinyal tidak bergetar, pengkode dengan model sinusoida secara segmental, dan pengkode formant. Mode operasi enkoder dibedakan dalam dua jenis proses untuk mendapatkan kualitas persepsi yang cukup tinggi [8][9]. Mode operasi terdiri atas : mode operasi pada keadaan tidak ada sinyal dan mode operasi jika terdeteksi ada sinyal. Mode operasi pada keadaan tidak ada sinyal adalah proses mengirimkan informasi ke dekoder bahwa dalam frame tersebut tidak ada sinyal. Mode operasi pada keadaan ada sinyal dibagi dalam dua jenis, yaitu proses untuk sinyal bergetar dan sinyal tidak bergetar. Masukan adalah sinyal suara yang dikuantisasi dalam format PCM linier 16 bit pada frekuensi 8 kHz.

Bagian awal dari pengkode adalah buffer sinyal untuk sinyal selebar 30 ms. Proses dilakukan dengan menerapkan jendela rektanguler. Selanjutnya sinyal masukan diklasifikasikan sebagai sinyal hening atau kondisi ada sinyal. Jika dinyatakan ada sinyal, maka proses berikutnya adalah deteksi periode pitch. Berdasarkan informasi periode pitch, sinyal dapat diklasifikasikan sebagai sinyal bergetar atau sinyal tidak bergetar. Jika periode pitch kurang dri 160 cuplikan, maka sinyal dinyatakan sebagai sinyal bergetar. Jika periode pitch 160 cuplikan atau lebih disebut sebagai sinyal tidak bergetar. Proses selanjutnya tergantung dari jenis sinyal. Untuk sinyal bergetar, sinyal karakteristik [10][11] diambil berdasarkan lebar pitch yang terdeteksi. Sinyal karakteristik dikuantisasi dengan model sinusoida secara segmental. Informasi formant untuk tiap frame dikirimkan ke dekoder untuk mengatur frekuensi tengah postfilter. Blok berikutnya adalah penelusuran indeks bukode perioda, puncak dan formant. Semua parameter sinyal terkode dikirimkan ke dekoder dalam laju kurang dari atau sama dengan 4 kbps.

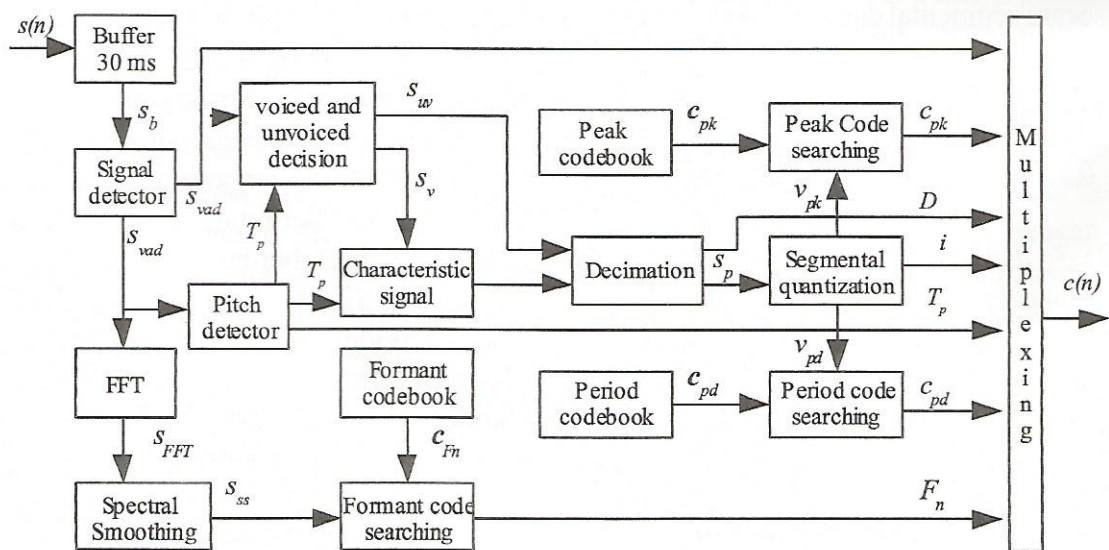
Pitch adalah parameter yang penting dalam proses encoding. Berdasarkan nilai perioda pitch sinyal dapat diidentifikasi sebagai sinyal bergetar ataupun sinyal tidak bergetar. Periode pitch sinyal bergetar bervariasi antara 2.5 ms sampai dengan 20 ms. Periode pitch dideteksi dengan menggunakan proses otokorelasi. Pada tahap pertama, sinyal dideteksi nilai maksimumnya. Berdasarkan nilai maksimum tersebut dapat ditentukan nilai ambang untuk proses pemotongan tengah. Nilai ambang adalah sebesar setengah dari nilai sinyal maksimum yang ada dalam frame. Selanjutnya sinyal dalam frame dikurangi dengan nilai ambang tersebut. Jika nilai sinyal hasil pemotongan kurang dari nol, maka sinyal tersebut diberi nilai nol. Hal ini dimaksudkan untuk menurunkan kompleksitas proses perhitungan otokorelasi. Proses otokorelasi menghasilkan dua jenis pola sinyal, yaitu pola puncak-lembah-puncak dan pola puncak-lembah.

Sinyal bergetar dan sinyal tidak bergetar diklasifikasikan berdasarkan hasil proses deteksi periode pitch. Hasil proses otokorelasi berupa periode pitch dipakai sebagai acuan untuk menentukan jenis sinyal adalah sinyal bergetar atau sinyal tidak bergetar. Jika pola yang

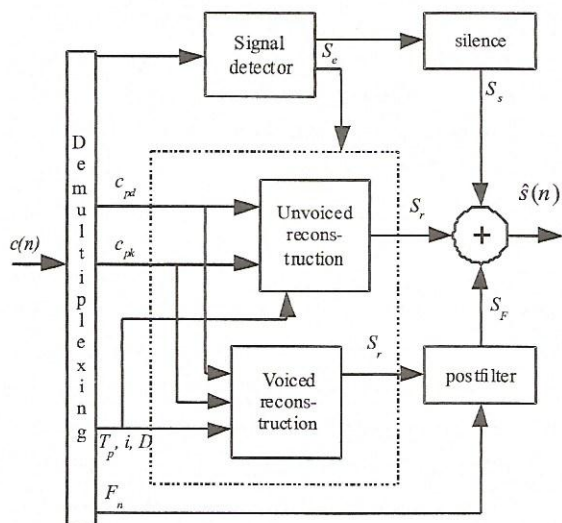
dihasilkan berbentuk puncak-lembah-puncak dan jika jarak diantara puncak lebih dari 2.5 ms dan kurang 20 ms dinyatakan sebagai sinyal bergetar. Jika pola yang dihasilkan adalah puncak-lembah, dan jarak antara puncak lebih dari 20 ms dinyatakan sebagai sinyal tidak bergetar.

Sinyal bergetar diambil selebar satu periode pitch, yang disebut sebagai sinyal karakteristik, untuk diproses dengan kuantisasi sinusoda secara segmental. Sinyal karakteristik dipakai untuk membangkitkan sinyal bergetar pada periode berikutnya, sampai frame selebar 30 ms terpenuhi oleh sinyal [10][11]. Panjang sinyal karakteristik adalah selebar satu periode pitch. Tahap selanjutnya adalah kuantisasi sinusoda secara segmental. Untuk sinyal tidak bergetar, dilakukan proses desimasi untuk mendapatkan jumlah informasi periode dan puncak yang lebih kecil dari 40. Sinyal estimasi dbangkitkan berdasarkan informasi periode dan puncak.

Ukuran informasi puncak dikurangi dengan menggunakan sepuluh buah bukode. Bukode dibangkitkan dengan algoritma k-means berdasarkan vektorkode training sehingga diperoleh bukode puncak. Jumlah indeks bukode bervariasi antara 6 sampai dengan 10 untuk mendapatkan hasil proses pegkodean yang



Gambar 1 : Blok diagram enkoder.



Gambar 2 : Blok diagram dekoder

optimum. Ukuran informasi perioda juga dikurangi dengan menggunakan bukukode. Indeks bukukode untuk informasi puncak bervariasi antara 6 sampai dengan 10, seperti pada bukukode puncak. Tingkat akurasi perioda harus dijaga untuk mendapatkan persepsi penerima yang baik. Informasi formant sangat berguna pada proses filtering sinyal bergetar yang biangkitkan dekoder.

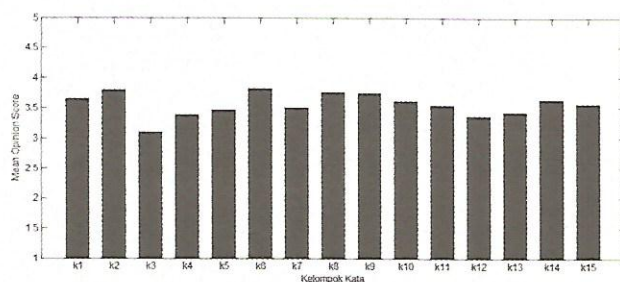
Oleh karena itu informasi formant harus dikirim ke dekoder. Filter yang digunakan adalah susunan paralel empat buah filter bandpass yang bekerja secara adaptif untuk menonjolkan puncak-puncak formant dan mengurangi lembah diantara puncak formant untuk meningkatkan kualitas persepsi lokasi formant dideteksi dengan menggunakan FFT dan filter penghalus yang bekerja seperti filter lowpass. Selanjutnya berdasarkan keluaran filter penghalus, akan dapat diperoleh puncak formant. Lokasi puncak formant dikirimkan ke dekoder untuk mengatur koefisien susunan empat filter bandpass agar sesuai dengan formant yang terdeteksi.

Parameter yang dikirimkan ke penerima adalah puncak, perioda, pitch, formant, segmen dan desimasi. Informasi puncak membutuhkan sebanyak 16-56 bit, informasi perioda butuh 6-54 bit, pitch membutuhkan 7 bit, informasi segmen butuh 6 bit, dan informasi formant membutuhkan 0-14 bit. Jumlah total bit yang dibutuhkan untuk

satu frame selebar 30 ms adalah 120 bit, sehingga diperoleh laju data 4 kbps.

4. Hasil dan Pembahasan

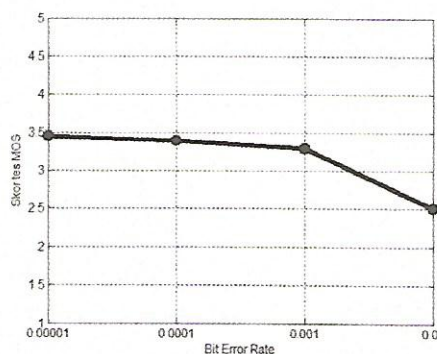
Sinyal rekonstruksi pengkode dengan model sinusoida secara segmental terlihat lebih halus dibandingkan sinyal aslinya. Artinya terjadi degradasi pada bagian frekuensi tinggi. Namun kualitas persepsi tetap terjaga, karena level periodisitas sinyal tetap terjaga.



Gambar 3 : Hasil tes MOS

Pengkode sinyal suara disimulasikan pada komputer dengan menggunakan program *coder 4 kbps* yang dibangun dengan menggunakan bahasa pemrograman C++. Hasil tes MOS (mean opinion score) untuk 15 buah deretan kata dalam bahasa Indonesia adalah 3,8 (dari 5). Tes dilakukan pada 46 orang dengan variasi jenis kelamin, latar belakang dan umur. Kompleksitas pengkode kuang dari 10 MIPS, dibanding jenis pengkode yang lain yang memiliki kompleksitas antara 0.01 MIPS sampai dengan 90 MIPS. Jumlah ruang memori yang dibutuhkan adalah kurang dari 16 kB.

Jika sinyal terkode dicampur dengan derau dengan tingkat kesalahan bit (*bit error rate*, BER)



Gambar 4 : Nilai tes MOS pada BER tertentu

10^{-5} , 10^{-4} , 10^{-3} dan 10^{-2} maka terjadi degradasi hasil tes MOS seiring dengan meningkatnya BER pada sisi dekoder.

Tabel 1. Kinerja pengkode sinyal suara [12]

NO	NAMA PENGKODE	Laju (kbps)	MOS
1	INMARSAT	4,15	3,2
2	CELP (U.S. FS 1016)	4,8	3,2
3	QCELP (US CDMA)	1 – 8	3,4
4	VSELP (Seluler Jepang)	6,8	3,3
5	G.723.1 (H.323 dan H.324)	6,3	3,98
6	GSM Half Rate	5 – 6	3,4

Dibandingkan dengan beberapa pengkode sinyal suara pada laju di sekitar 4 kbps, pengkode usulan menghasilkan kualitas yang lebih baik.

Tabel 2. Kompleksitas pengkode suara [12]

NO	NAMA PENGKODE	Laju (kbps)	MIPS
1	PCM (G.711)	64	0,01
2	ADPCM (G.726)	16-40	~2
3	LD-CELP (G.728)	16	~19
4	RPE-LTP (GSM)	13	6
5	VSELP (IS-54)	8	13,5
6	CELP (DoD1016)	4,8	16
7	LPC-10e (DoD1015)	2,4	7
8	CS-ACELP (G.729)	8	17
9	CS-ACELP (G.723)	5,3/6,3	14,6/16
10	MELP	2,4	20

5. Kesimpulan

Sinyal suara dapat dikodekan dalam laju 4 kbps dan dapat direkonstruksi dengan kualitas yang cukup baik berdasarkan model sinusoida secara segmental. Hasil tes MOS adalah 3,8 untuk 15 deretan kata dalam bahasa Indonesia. Kompleksitas pengkode cukup rendah, yaitu kurang dari 10 MIPS. Hasil tersebut lebih baik daripada pengkode sinyal suara yang lain pada laju lebih besar atau sama dengan 4 kbps.

Daftar Pustaka

1. T.F. Quatieri, and R.J. McAulay, "Speech Transformation Based on a Sinusoidal Representation", *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, ASSP-34, 1986, pp. 1449-1464.
2. R.J. McAulay, and T.F. Quatieri, "Speech Analysis/Synthesis Based on a Sinusoidal Representation", *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, ASSP-34, 1986, pp. 744-754.
3. M. Lagrange, S. Marchand, and J.B. Rault, "Sinusoidal Parameter Extraction and Component Selection in A Non Stationary Model", *Proceedings of the 5th International Conference on Digital Audio Effects*, 2002, pp. 59-64.
4. FB Setiawan, S. Tjondronegoro, "Sinusoidal Model of the Speech Signal", Yogyakarta : Proceedings of National Seminar UTY, 2005.
5. S. Ahmadi, dan A.S. Spanias, "A New Phase Model for Sinusoidal Transform Coding of Speech", *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, 6, 1998, pp. 495-501.
6. T. Abe, and M. Honda, "Sinusoidal Model Based On Instantaneous Frequency Attractor", *IEEE Transaction on Speech, Audio and Language Processing*, 14, 2006, pp. 1292-1300.
7. J. Epps, and W.H. Holmes, Speech Enhancement Using STC-based Bandwidth Extension, *Proceedings of 5th International Conference on Spoken Language Processing*, 1998, pp. 519-522.
8. B.S. Atal, V. Cuperman, and A. Gersho, *Advances in Speech Coding*, Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 1991.
9. A.M. Kondoz, : *Digital Speech : Coding for Low Bit Rate Communications Systems*, West Sussex, England : John Wiley & Sons Ltd, 1995.
10. O. Gottesman, and A. Gersho, "Enhanced Waveform Interpolative Coding at Low Bit-Rate", *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, 9, 2001, pp. 1-13.
11. U. Sinervo , *Waveform Interpolation Speech Coding at 2.4-4.0 kb/s*, Master of Science Thesis, Tampere University of Technology, Finland, 2000.
12. N. Peleg, : *Introduction to Speech Coding*, The Signal and Image Pro-cessing Laboratory, Technion Electrical Engineering Department, Israel, 2005. <http://cs.haifa.ac.il/~nimrod/Compression/Speech/s3coding2004.pdf>.