

DIGITALISASI SINYAL SUARA MANUSIA DENGAN ALGORITMA LINEAR PREDICTIVE CODING

Djadjat Sudaradjat

Teknik Komputer
Universitas Bina Sarana Informatika
www.bsi.ac.id
djadjat.dsj@bsi.ac.id

Abstract— The use of digital computers is now very rapid, so that all information sources in nature which are generally analog signals must be converted into digital signals to be processed by digital computers, such as human voice signals in the form of analog signals that need to be changed to form digital so that it can be processed by digital computers. Problems that arise when sampling analog signals into discrete signals and coding them into binary code will produce large bit speeds, resulting in a large transmission channel bandwidth requirement and a large storage medium is needed if it is stored on a computer storage media, for example with PCM (Pulse Code Modulation) waveform coding method will produce a 64 Kbit / sec bit speed. One way to reduce the bit speed is by data compression using a method of coding human sound parameters known as the LPC (Linear Predictive Coding) algorithm which can produce a 2.4 Kbit / second bitrate with intelligibility sound quality. The research method used is using a measurement of the quality of the sound signal output by the Linear Predictive Coding (LPC) algorithm. The measurement results of the resulting signal output have a very low bit-rate, which is 1.4 Kbit / sec, 2.4 Kbit / sec, and 3.4 Kbit / sec, then the MOS (Mean Opinion Score) method is measured by comparing the various bits of the bit and various diverse Indonesian sentences, so that the intelligibility of the sound quality can be obtained around the speed of the 2.4 Kbit / second bit.

Keywords: LPC, speech processing, speech compression

Intisari—Pemakaian computer dijital saat ini sudah sangat pesat, sehingga semua sumber informasi yang ada di alam yang pada umumnya berbentuk sinyal analog harus dirubah dahulu kedalam bentuk sinyal dijital agar bisa diproses oleh computer dijital, seperti sinyal suara manusia yang berbentuk sinyal analog perlu dirubah dulu ke bentuk dijital agar bisa diproses oleh computer dijital. Masalah yang timbul ketika dilakukan pencuplikan sinyal analog menjadi sinyal diskrit dan dilakukan pengkodean menjadi kode biner akan menghasilkan kecepatan bit yang besar,

sehingga mengakibatkan kebutuhan bandwidth saluran transmisi yang besar dan dibutuhkan media penyimpanan yang besar pula bila akan disimpan di media penyimpanan computer, misalnya dengan metoda pengkodean bentuk gelombang PCM (Pulse Code Modulation) akan dihasilkan kecepatan bit 64 Kbit/detik. Salah satu cara untuk mengurangi kecepatan bit tersebut adalah dengan kompresi data menggunakan metoda pengkodean parameter-parameter suara manusia yang dikenal dengan algoritma LPC (Linear Predictive Coding) yang dapat menghasilkan kecepatan bit 2,4 Kbit/detik dengan kualitas suara yang dapat dimengerti (intelligibility). Metoda penelitian yang digunakan adalah menggunakan pengukuran terhadap kualitas sinyal suara keluaran system algoritma Linear Predictive Coding (LPC). Hasil pengukuran keluaran sinyal yang dihasilkan memiliki kecepatan bit (bit-rate) yang sangat rendah, yaitu 1,4 Kbit/detik, 2,4 Kbit/detik, dan 3,4 Kbit/detik, kemudian dilakukan pengukuran dengan metoda MOS (Mean Opinion Score) dengan cara membandingkan beragam kecepahan bit tersebut dan beragam kalimat Bahasa Indonesia yang beragam pula, sehingga diperoleh hasil kualitas suara yang dapat dimengerti (intelligibility) di sekitar kecepatab bit 2,4 Kbit/detik.

Kata Kunci: LPC, speech processing, speech compression

PENDAHULUAN

Computer dijital saat ini telah menjadi alat bantu manusia yang sangat besar peranannya setelah ditunjang oleh kemajuan teknologi semikonduktor (VLSI/Very Large Scale Integration) (Rabiner & Schafer, 2007). Dengan teknologi pengolahan sinyal dijital (DSP/Digital Signal Processing), sinyal-sinyal informasi yang berbentuk analog dapat diolah dengan menggunakan computer dijital, sehingga sinyal suara manusia yang berbentuk analog dapat diolah oleh computer dijital untuk menghasilkan sinyal informasi yang diinginkan oleh pengguna, seperti untuk menghemat lebar pita transmisi dijital suara

telepon dengan kecepatan bit rendah, untuk membuka *password* menggunakan suara manusia (*speaker recognition*), untuk menggerakkan peralatan menggunakan perintah suara manusia (*speech recognition*), untuk mengubah suara manusia yang sumbang menjadi merdu (mesin karaoke), dan banyak lagi kegunaan sinyal suara manusia dalam bentuk digital (Sehgal & Jain, 2013)

Sinyal suara manusia membawa informasi tata Bahasa, nada pembicara, dan emosi pembicara. Pertukaran informasi suara memegang peranan yang sangat penting dalam kehidupan kita. Struktur tata Bahasa dan akustik dari suara manusia menunjukkan kemampuan intelektual kita, selain itu sangat erat hubungannya dengan perkembangan social dan budaya kita (Jurafsky & Martin, 2018).

Masalah yang timbul ketika dilakukan pencuplikan sinyal analog menjadi sinyal diskrit dan dilakukan pengkodean menjadi kode biner akan menghasilkan kecepatan bit yang besar, sehingga mengakibatkan kebutuhan bandwidth saluran transmisi yang besar (Rabiner & Schafer, 2007). dan dibutuhkan media penyimpanan yang besar pula (Rabiner & Schafer, 2007) bila akan disimpan di media penyimpanan computer, misalnya dengan metoda pengkodean bentuk gelombang PCM (Pulse Code Modulation) akan dihasilkan kecepatan bit 64 Kbit/detik (Rabiner & Schafer, 2007). Salah satu cara untuk mengurangi kecepatan bit tersebut adalah dengan kompresi data menggunakan metoda pengkodean parameter-parameter suara manusia yang dikenal dengan algoritma LPC (Linear Predictive Coding) yang dapat menghasilkan kecepatan bit 2,4 Kbit/detik dengan kualitas suara yang dapat dimengerti (intelligibility) (Rabiner & Schafer, 2007).

Penelitian ini bertujuan untuk meneliti unjuk kerja system pemrosesan sinyal informasi dengan metoda LPC (*Linear Predictive Coding*), dan meneliti karakteristik sinyal informasi dengan cara simulasi menggunakan pengolah (*processor*) sinyal digital, khususnya sinyal suara manusia sebagai obyek penelitian. Dengan pengolahan sinyal digital maka semua sinyal informasi dapat diolah dan karakteristik dari sinyal-sinyal informasi tersebut dapat dilihat dengan cepat (Rabiner & Schafer, 2007).

Penelitian disini merupakan pengkajian dari penelitian yang dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya yang sebagian besar terdapat dalam referensi (Jurafsky & Martin, 2018), (Kala & Vanitha, 2015), (Modi, 2015), (Sehgal & Jain, 2013), (Rabiner & Schafer, 2007).

BAHAN DAN METODE

Tiga faktor utama yang terlibat dalam pembentukan ucapan manusia adalah sumber tenaga, alat ucap yang menimbulkan getaran, dan rongga pengubah getaran. Udara pernapasan dari paru-paru, sebagai sumber tenaga, dapat keluar melalui rongga mulut dan menghasilkan *bunyi oral*. Udara juga bisa keluar melalui hidung dan ini menghasilkan *bunyi nasal* (sengau). Bisa juga, arus udaranya keluar melewati hidung dan mulut; bunyi ini disebut bunyi *dinasalisasi* (bunyi yang disengaukan). Bagan di gambar 1 memperlihatkan semua alat ucap yang “berjasa” dalam pembentukan bunyi Bahasa (Rabiner & Schafer, 2007).



Sumber : (Sudaradjat, 1993)

Gambar 1. Bagan mekanisasi pembentukan ucapan manusia.

Bunyi Bahasa yang dihasilkan oleh alat-alat ucap ini dipelajari, salah satunya, dalam bidang fonetik artikulatoris. Kita tahu bahwa ketika paru-paru menghembuskan udara, pita suara dapat merapat dan merenggang. Pita suara merapat, maka bunyi Bahasa yang keluar terasa “berat”; ini menghasilkan *bunyi tak-bergetar (unvoiced)*, contohnya [s]. Bila pita suara merenggang, arus udara mudah lewat dan bunyi dihasilkan dengan “ringan”; ini menghasilkan *bunyi bergetar (voiced)*, misalnya [a]. Setelah melewati rongga faring, arus udara mengalir kebagian atas tenggorokan. Jika uvula menutup saluran ke rongga hidung, maka arus udara akan lewat mulut. Ini menghasilkan bunyi-bunyi seperti [p], [g], dan [f]. Bila ingin nasal, uvula diturunkan sampai menempel ke belakang lidah, dan udara bebas lewat hidung. Bunyi yang dihasilkan, misalnya [m], dan [n].

Dari mekanisme pembentukan ucapan tersebut diketahui parameter-parameter yang diperlukan untuk membentuk suatu ucapan. Model mekanisme pembentukan ucapan dengan parameter-parameternya dibuat sebagai model dibagian *decoder* dari sistem *vocoder*, dan dinamakan model sintesis. Di bagian *coder*,

parameter-parameter untuk membentuk suatu ucapan tersebut dibangkitkan dengan cara menganalisis sinyal masukan, dan modelnya dinamakan model analisis. (Kala, 2015)

Dari ketiga faktor utama yang terlibat dalam pembentukan suatu ucapan seperti alat ucap yang menimbulkan getaran, sumber tenaga, dan rongga pengubah getaran dapat dibuat modelnya seperti terlihat di Gambar 2(b). Pita suara yang menimbulkan getaran dimodelkan sebagai dua jenis fungsi eksitasi, yaitu pertama jika bunyi yang dihasilkan adalah bergetar maka digunakan model pembangkit pulsa yang akan bekerja dengan periode sebesar prioda pitch dan kedua jika bunyi yang dihasilkan adalah tak-bergetar maka digunakan model pembangkit desis (acak) yang akan bekerja. Sumber tenaga yang akan menentukan keras lembutnya bunyi dimodelkan sebagai penguatan (gain), sedangkan rongga pengubah getaran dimodelkan sebagai filter. Karena filter yang digunakan pada model sistesis bersifat all-pole, maka model tersebut disebut model all-pole atau model AR (autoregressive) (Rabiner & Schafer, 2007). Filter tersebut diimplementasikan pada computer dalam kawasan-z, dari Gambar 2(b) diperoleh :

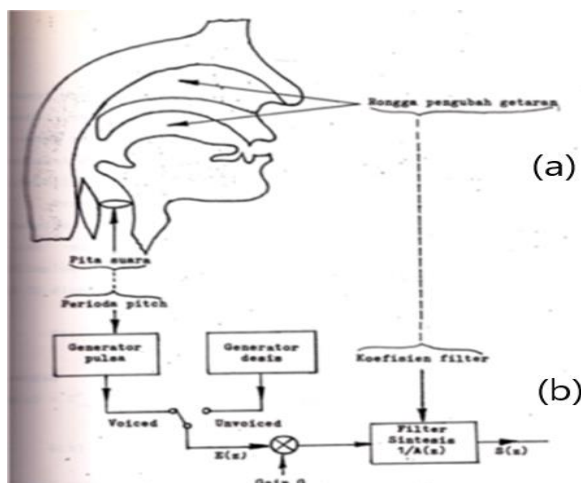
$$S(z) = E(z) \cdot G \cdot \frac{1}{A(z)} \quad (\text{model sintesis}) \dots\dots\dots(1)$$

dengan :

$$A(z) = \sum_{i=0}^p a(i)z^i$$

(a(i) = koef. filter, a(0) = 1).....(2)

$$S(z) \xleftrightarrow[Z]{Z^{-1}} s(nT) = s(t) \quad t = nT \dots\dots\dots(3)$$



Sumber : (Sudaradjat, 1993)

Gambar 2. (a) Bagan pembentukan ucapan manusia, (b) Gambar model pembentukan ucapan manusia (model sintesis).

Sinyal waktu diskrit $s(nT)$ merupakan invers transformasi-z dari $S(z)$. Untuk perioda waktu diskrit yang dinormalisasi $T=1$, maka $S(z) \longleftrightarrow s(n)$. Dengan hubungan yang sama dengan sinyal $s(n)$ diatas, $E(z) \longleftrightarrow e(n)$ adalah model dari keluaran pita suara. Jika jenis bunyi bergetar, $e(n)$ akan berbentuk fungsi pulsa. Jika jenis tak-bergetar, $e(n)$ akan berbentuk fungsi acak. Sinyal $e(n)$ sesudah diperkuat G dilewatkan kedalam model rongga pengubah getaran dalam bentuk filter all-pole $1/A(z)$ untuk menghasilkan sinyal $s(n)$.

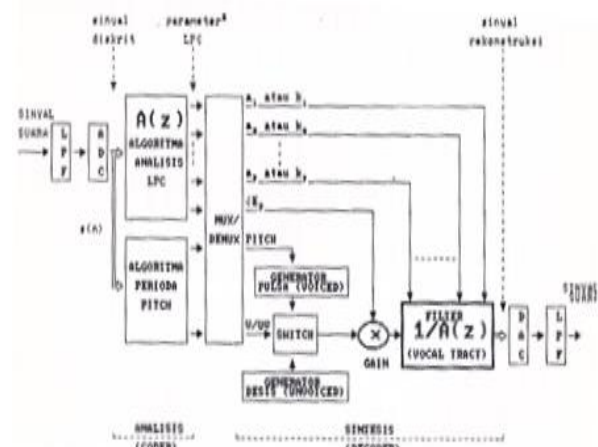
Dari persamaan (1) dapat diperoleh model analisis dalam bentuk persamaan :

$$E(z) = 1/G \cdot S(z) \cdot A(z) \quad (\text{model analisis}) \dots\dots\dots(4)$$

dimana $S(z)$ adalah transformasi-z dari sinyal suara $s(n)$ sebagai masukan invers filter (filter all-zero) $A(z)$, keluaran $E(z)$ akan membawa informasi parameter-parameter sinyal suara masukan tersebut.

Untuk pembentukan kembali suatu ucapan pada model sintesis diperlukan parameter-parameter berupa koefisien filter, gain, perioda pitch P dan jenis bunyi voiced/unvoiced. Dengan demikian dibagian model analisis pada simulasi vocoder LPC akan dibagi dua algoritma perhitungan, yaitu pertama "algoritma analisis LPC" yang berisi perhitungan koefisien filter dan gain, kedua "algoritma periode pitch" yang berisi perhitungan perioda pitch dan penentuan jenis bunyi bergetar dan tak-bergetar dari sinyal suara (Kala & Vanitha, 2015).

Sistem yang akan dirancang dalam penelitian disini adalah system *Vocoder (voice coder-decoder)* dengan metoda LPC seperti terlihat di Gambar 3.



Sumber : (Sudaradjat, 1993)

Gambar 3. Blok diagram *vocoder-LPC*

Sistem tersebut disimulasikan dengan menggunakan computer, yaitu dengan menggunakan perangkat keras dan lunak, kartu analog/dijital converter (ADC/DAC) model 25 dengan perangkat lunaknya.

Langkah awal dari penelitian ini adalah memilih kata-kata yang diucapkan dalam Bahasa Indonesia. Kata-kata tersebut mewakili keenam vocal yang ada dalam Bahasa Indonesia, yaitu /i/, /e/, /ə/, /a/, /u/, dan /o/. Keenamnya dapat menduduki posisi awal, tengah, dan akhir suku kata. Ini dapat dilihat pada table 1 berikut :

Tabel 1. Vokal Bahasa Indonesia.

	Awal		Tengah		Akhir
/i/	/ikan/	ikan	/ketika/	ketika	/api/ api
/e/	/ekor/	ekor	/aneka/	aneka	/sate/ sate
/ə/	/angan/	anggan	/sedekah/	sedekah	/tante/ tante
/a/	/kata/	kata	/selatan/	selatan	/bahasa/ bahasa
/u/	/usay/	usai	/petugas/	petugas	/biru/ biru
/o/	/obat/	obat	/sekolah/	sekolah	/gigolo/ gigolo

Sumber : (Sudaradjat, 1993)

Untuk keperluan uji kualitas suara dengan teknik MOS (*mean opinion score*) diperlukan rangkaian kata-kata yang membentuk kalimat. Rangkaian kata-kata tersebut diambil dari kata-kata yang ada di table 1, misalnya membentuk kalimat *ekor-ikan-biru, aneka-sate-ikan, petugas-sekolah, dan biru-api*. Banyaknya pembicara, pendengar, dan lain-lain kondisi yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada table 2.

Tabel 2. Kondisi uji kualitas suara.

Metoda uji cara subyektif	Metoda uji opini pendengaran	
Score	Skala kualitas	Skala kerusakan sinyal
5	Baik sekali	Tidak terasa adanya gangguan
4	Baik	Dapat dimengerti & tidak ada gangguan
3	Cukup	Dapat dimengerti & agak mengganggu
2	Jelek	Mengganggu tetapi dapat dimengerti
1	Jelek sekali	Sangat mengganggu (tidak dapat dimengerti)
Rangkaian uji	Sistem <i>recording-playback</i>	
	Pengirim	Keluaran hasil rekaman proses sintesa
	Penerima	Headphone
	Bandwidth	0-3 KHz
Materi ucapan	Kalimat pendek Bahasa Indonesia	
Pembicara	2 pria dan 2 wanita	
Pendengar	4 pria dan 4 wanita	

Sumber : (Sudaradjat, 1993)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian terhadap masukan dan keluaran sistem *vocoder* LPC seperti yang ditunjukkan Gambar 3, sinyal diskrit $s(n)$ sebagai masukan bagian analisis (coder), parameter-parameter LPC (koefisien refleksi k_1 s/d k_{10} , gain, pitch, dan V/UV) sebagai keluaran bagian analisis dan masukan bagian sintesis (decoder), dan sinyal rekonstruksi sebagai keluaran bagian sintesis.

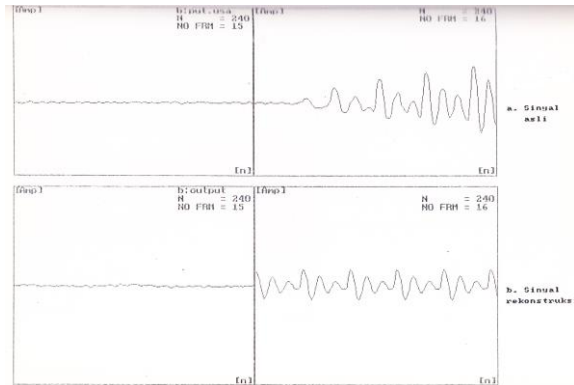
Sinyal $s(n)$ adalah data diskrit ucapan hasil pencuplikan oleh ADC. Data diskrit tersebut

disimpan dalam file dan dapat diplot seperti satu contoh grafik di gambar 4a. Gambar grafik tersebut adalah sebagai hasil interpolasi linier dari bentuk grafik PAM (Pulse Amplitude Modulation), yaitu tiap dua titik pulsa yang berdekatan dihubungkan dengan garis sehingga membentuk grafik kontinu. Gambar 4a adalah sebagai contoh grafik ucapan "usai" dari seorang laki-laki berumur 31 tahun dan digambarkan untuk tiap frame yang berurutan dengan Panjang frame 240 sample atau 30 mdetik jika digunakan frekuensi cuplik 8 KHz. Grafik ucapan "usai" tersebut terdiri dari 30 frame, dan yang ditampilkan di gambar 4a adalah frame ke 15 dan ke 16.

Data diskrit ucapan tiap frame di gambar 4a tersebut merupakan data yang akan dianalisis oleh "algoritma analisis LPC" sehingga menghasilkan parameter-parameter koefisien refleksi k_1 s/d k_{10} dan gain, dan oleh "algoritma perioda pitch" sehingga menghasilkan parameter-parameter periode pitch dan V/UV. "Algoritma analisis LPC" dan "algoritma perioda pitch" tersebut merupakan dua buah subroutine (procedure) dalam listing program coder. Parameter-parameter keluaran hasil perhitungan oleh program coder tersebut selanjutnya disimpan dalam file dan dapat ditampilkan dalam bentuk karakteristik ASCII (Rabiner & Schafer, 2007), seperti yang ditunjukkan di tabel 3 untuk frame ke-15 dan tabel 4 untuk frame ke-16. Bilangan real sebelah kiri di tabel 3 dan tabel 4 menunjukkan bilangan parameter yang belum dikuantisasi dan bilangan real sebelah kanan menunjukkan bilangan parameter yang sudah dikuantisasi dengan bit-rate 2,4 Kbit/det seperti yang diperlihatkan oleh perhitungan bit-rate yang tertera di tabel 5.

Untuk menguji kebenaran dari program coder ini dapat dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan dari parameter-parameter LPC yang ditunjukkan oleh tabel 3 dan tabel 4 dengan hasil pengamatan secara visual dari grafik ucapan asli yang ditunjukkan oleh gambar 4(a), misalnya perioda pitch sinyal ucapan di gambar 4(a) dapat diperkirakan (estimasi) besarnya dan dibandingkan dengan besar perioda pitch di tabel 3 dan tabel 4. Contoh untuk frame ke-15 di gambar 4(a) secara visual berjenis UV (Unvoiced) dan di interpretasikan dengan benar oleh tabel 3 adalah FALSE dengan perioda pitch = 0, sedangkan frame ke-16 di gambar 4(a) secara visual berjenis V (Voiced) dan di interpretasikan dengan benar oleh tabel 4 adalah TRUE dengan perioda pitch = 46. Demikian juga dengan perioda pitch sebelum dan sesudah dikuantisasi dihasilkan nilai yang sama. Sedangkan nilai parameter koefisien k_1 s/d k_{10} dan parameter gain memiliki nilai yang tidak jauh berbeda antara sebelum dan sesudah di kuantisasi.

Dari hasil pengamatan di gambar 4(a), 4(b), dan tabel 3 dan tabel 4 tampak bahwa sinyal rekonstruksi tidak sama bentuknya dengan sinyal aslinya, tetapi sinyal rekonstruksi tersebut mengandung informasi pesan ucapan yang sama, sehingga kualitas suaranya tentu tidak akan sama, namun sinyal rekonstruksi tersebut masih dapat dimengerti (*intelligibility*). Ini dapat dibuktikan dari hasil uji dengar kualitas suara yang akan dibahas selanjutnya.



Sumber : (Sudaradjat, 1993)

Gambar 4. Contoh (a) sinyal asli dan (b) sinyal rekonstruksi bunyi "usi" frame ke 15 dan 16.

Tabel 3. Parameter-parameter LPC frame ke 15 sebelum dan sesudah dikuantisasi

Sebelum	Sesudah
k1 -9.1190621848E-01	k1 -9.1372549020E-01
k2 7.1052538165E-01	k2 7.1428571429E-01
k3 -5.0861125602E-01	k3 -5.1612903226E-01
k4 1.3743637500E-01	k4 1.2903225806E-01
k5 -1.7256745716E-01	k5 -2.0000000000E-01
k6 -1.4759909709E-01	k6 -1.3333333333E-01
k7 -9.7151097367E-02	k7 -6.6666666667E-02
k8 -7.4836643652E-02	k8 -6.6666666667E-02
k9 -1.6438339106E-01	k9 -1.3333333333E-01
k10 -3.9925125547E-02	k10 -6.6666666667E-02
Gain 6.8616585968E-04	Gain 6.6666666667E-04
Pitch 0	Pitch 0
V/UV FALSE	V/UV FALSE

Sumber : (Sudaradjat, 1993)

Tabel 4. Parameter-parameter LPC frame ke 16 sebelum dan sesudah dikuantisasi

Sebelum	Sesudah
k1 -9.1289307909E-01	k1 -9.1372549020E-01
k2 8.7148223103E-01	k2 8.7301587302E-01
k3 5.7284987346E-02	k3 6.4516129032E-02
k4 9.7501887144E-02	k4 9.6774193548E-02
k5 2.3506238196E-01	k5 2.6666666667E-01
k6 8.6932041477E-02	k6 6.6666666667E-02
k7 -1.5725427797E-01	k7 -1.3333333333E-01
k8 -1.7431306948E-01	k8 -2.0000000000E-01
k9 4.3525834282E-02	k9 -6.6666666667E-02
k10 2.1561870407E-01	k10 2.0000000000E-01
Gain 1.0036185036E-02	Gain 1.0000000000E-02
Pitch 46	Pitch 46
V/UV TRUE	V/UV TRUE

Sumber : (Sudaradjat, 1993)

Untuk keperluan uji kualitas suara pada sisten vocoder dengan bit-rate tertentu perlu direncanakan dahulu rancangan system pengkodean dan filter sistesis yang digunakan. Pada penelitian disini dirancang system pengkodean dengan bit-rate seperti terlihat di perhitungan Tabel 5, dan rancangan filter sistesis yang digunakan adalah filter dengan struktur lattice.

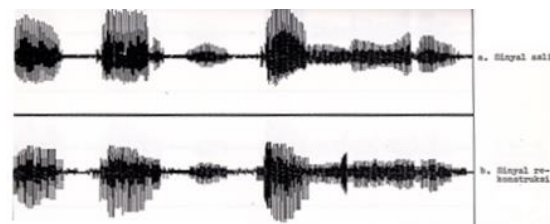
Tabel 5. Perhitungan bit-rate dengan Panjang frame 30 mdetik dan frekuensi cuplik 8 KHz.

Parameter	Jumlah bit/frame		
k1	6	9	12
k2	4	7	10
k3, k4	2x3	2x6	2x9
k5, k6, k7, k8, k9, k10	6x2	6x5	6x8
Pitch	7	7	7
V/UV	1	1	1
Gain	5	5	5
Sinkronisasi	1	1	1
Jumlah total bit	42	72	102
Bit-rate (KBit/detik)	1,4	2,4	3,4

Sumber : (Sudaradjat, 1993)

Setelah rancangan system vocoder dengan bit-rate tertentu ditentukan dan rekaman suara hasil proses system vocoder tersebut diperoleh, pengujian kualitas suara secara subyektif dengan teknik MOS dapat dimulai. Tabel 2 memperlihatkan kondisi pengujian sistem yang digunakan.

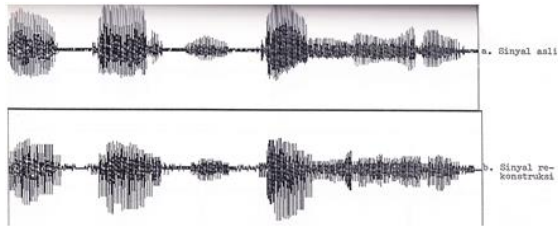
Gambar 5 memperlihatkan bentuk selubung bunyi ekor-ikan-biru : (a) sinyal asli masukan, dan (b) sinyal rekonstruksi keluaran sisten vocoder-LPC dengan bit-rate 3,4 Kbit/detik



Sumber : (Sudaradjat, 1993)

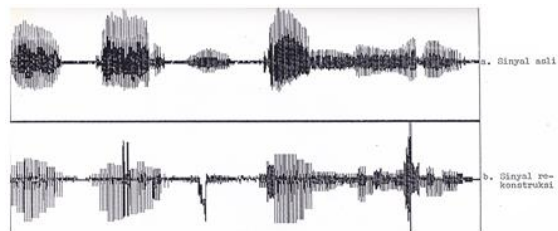
Gambar 5. Bunyi ekor-ikan-biru, BR 3,4 kbps

Gambar 6 memperlihatkan bentuk selubung bunyi ekor-ikan-biru : (a) sinyal asli masukan, dan (b) sinyal rekonstruksi keluaran sisten vocoder-LPC dengan bit-rate 2,4 Kbit/detik



Sumber : (Sudaradjat, 1993)
Gambar 6. Bunyi ekor-ikan-biru, BR 2,4 kbps

Gambar 7 memperlihatkan bentuk selubung bunyi *ekor-ikan-biru* : (a) sinyal masukan, dan (b) sinyal rekonstruksi keluaran sisten *vocoder-LPC* dengan bit-rate 1,4 Kbit/detik



Sumber : (Sudaradjat, 1993)
Gambar 7. Bunyi ekor-ikan-biru, BR 1,4 kbps

Hasil pengujian bunyi kalimat *ekor-ikan-biru* diperlihatkan pada table 6 untuk masing-masing bit-rate 1,4 Kbit/det, 2,4 Kbit/det, dan 3,4 Kbit/det.

Tabel 6. MOS untuk kalimat *ekor-ikan-biru*

N	Score		
	1,4 KBit/det	2,4 KBit/det	3,4 KBit/det
1	2	2	2
2	2	2	3
3	2	3	3
4	3	3	3
5	2	2	2
6	2	3	3
7	2	2	3
8	3	2	3
9	2	2	2
10	2	3	3
11	2	2	2
12	3	2	3
13	3	3	3
14	3	4	4
15	3	4	4
16	2	4	4
17	2	4	3
18	2	4	3
19	3	4	4
20	3	4	4
21	3	4	4
22	2	3	3
23	3	4	3
24	3	4	3
25	3	2	3
26	2	3	3
27	2	3	3
28	2	3	3
29	2	2	2

30	2	3	3
31	3	3	3
32	2	3	3
\bar{x}	2,41	3,00	3,03

Sumber : (Sudaradjat, 1993)

Hasil pengujian bunyi kalimat *aneka-sate-ikan* diperlihatkan pada table 7 untuk masing-masing bit-rate 1,4 Kbit/det, 2,4 Kbit/det, dan 3,4 Kbit/det.

Tabel 7. MOS untuk kalimat *aneka-sate-ikan*

N	Score		
	1,4 KBit/det	2,4 KBit/det	3,4 KBit/det
1	2	2	3
2	2	2	3
3	2	2	3
4	2	3	3
5	2	2	2
6	2	3	3
7	2	3	3
8	2	3	3
9	2	2	3
10	2	2	3
11	3	2	2
12	3	2	3
13	3	3	3
14	3	4	3
15	3	4	4
16	2	4	4
17	2	4	3
18	2	4	3
19	2	4	3
20	3	4	3
21	3	3	3
22	3	3	3
23	3	4	3
24	3	4	3
25	3	2	3
26	2	3	3
27	2	3	3
28	2	3	3
29	2	2	3
30	2	3	3
31	3	3	3
32	2	3	3
\bar{x}	2,37	2,97	3,00

Sumber : (Sudaradjat, 1993)

Hasil pengujian bunyi kalimat *petugas-sekolah* diperlihatkan pada table 8 untuk masing-masing bit-rate 1,4 Kbit/det, 2,4 Kbit/det, dan 3,4 Kbit/det.

Tabel 8. MOS untuk kalimat *petugas-sekolah*

N	Score		
	1,4 KBit/det	2,4 KBit/det	3,4 KBit/det
1	2	2	3
2	2	2	3
3	2	2	3
4	2	2	3
5	2	2	2
6	2	3	3

7	2	3	3
8	3	3	3
9	2	2	2
10	2	3	3
11	2	2	2
12	3	2	3
13	3	3	3
14	3	4	3
15	3	4	4
16	2	4	4
17	2	4	3
18	2	3	3
19	3	3	3
20	3	4	3
21	3	4	4
22	2	3	3
23	3	4	3
24	3	4	3
25	3	3	3
26	2	3	3
27	2	3	3
28	2	3	4
29	2	3	2
30	2	3	3
31	3	3	3
32	2	3	3
\bar{x}	2,37	3,00	3,00

Sumber : (Sudaradjat, 1993)

Hasil pengujian bunyi kalimat *biru-api* diperlihatkan pada table 9 untuk masing-masing bit-rate 1,4 KBit/det, 2,4 KBit/det, dan 3,4 Kbit/det.

Tabel 9. MOS untuk kalimat *biru-api*.

N	Score		
	1,4 KBit/det	2,4 KBit/det	3,4 KBit/det
1	2	2	3
2	2	3	3
3	3	3	3
4	3	3	3
5	2	2	2
6	2	3	3
7	2	2	3
8	3	2	3
9	2	2	2
10	2	3	3
11	2	2	2
12	2	2	3
13	3	3	3
14	3	4	4
15	3	4	4
16	3	4	4
17	2	4	3
18	2	4	3
19	3	4	3
20	2	4	4
21	3	4	4
22	2	3	3
23	3	4	3
24	3	4	3
25	3	2	3
26	3	3	3
27	3	3	3
28	2	3	4
29	2	2	2
30	2	3	3

31	2	3	3
32	2	3	3
\bar{x}	2,44	3,03	3,06

Sumber : (Sudaradjat, 1993)

Dari hasil uji kualitas suara dengan Teknik MOS yang diperlihatkan di tabel 6, 7, 8, dan 9 diperoleh harga rata-rata \bar{x} untuk system pengkodean sinyal suara dengan metoda LPC memiliki kualitas suara yang dapat dimengerti (*intelligible*) dan batas bit-rate minimal yang digunakan adalah sekitar 2,4 Kbit/det. Berbeda dengan system pengkodean bentuk gelombang (*waveform coding*) yang memiliki kualitas suara yang baik, akan tetapi bit-rate yang dihasilkan juga besar sekitar 64 Kbit/det pada system PCM (*Pulse Code Modulation*) (Rabiner & Schafer, 2007).

KESIMPULAN

LPC (*Linear Predictive Coding*) adalah salah satu metoda digitalisasi sinyal suara manusia yang menghasilkan bit-rate rendah, yaitu sekitar 2,4 Kbit/detik dengan kualitas yang dapat dimengerti (*intelligible*). Dengan bit-rate yang rendah akan dihemat *bandwidth* untuk saluran transmisi, dan menghemat memori penyimpanan didalam computer digital.

Dengan metoda LPC akan diperoleh parameter-parameter pembentukan sinyal suara manusia, sehingga dengan parameter-parameter tersebut dapat digunakan untuk keperluan pengenalan suara manusia (*speech recognition*), pengenalan suara si pembicara (*speaker recognition*), dan dapat digunakan untuk mengendalikan perangkat otomatis menggunakan suara manusia sebagai pengendalinya.

REFERENSI

- Jurafsky, D., & Martin, J. H. (2018). *Speech and Language Processing: An Introduction to Natural Language Processing, Computational Linguistics, and Speech Recognition Third Edition draft (3 Draft)*. Staford: Prentice Hall. Retrieved from <https://web.stanford.edu/~jurafsky/slp3/ed3book.pdf>
- Kala, A., & Vanitha, S. (2015). Speech Analysis and synthesis using Vocoder. *INTERNATIONAL JOURNAL FOR TRENDS IN ENGINEERING & TECHNOLOGY*, 3(3), 20–24. Retrieved from <http://ijtet.com/wp-content/plugins/ijtet/file/upload/docx/24761CICCE0209-pdf.pdf>
- Modi, D. (2015). Speech Compression using LPC.

Adaptive Signal Processing Term Paper 2015,
1-4. Retrieved from
<https://www.slideshare.net/DishaModi1/speech-compression-using-lpc-59182073>

Rabiner, L. R., & Schafer, R. W. (2007). Introduction to Digital Speech Processing. *Foundations and Trends® in Signal Processing*, 1(1-2), 1-194. <https://doi.org/10.1561/20000000001>

Sehgal, P., & Jain, R. K. (2013). SPEECH PROCESSING. *International Journal of Engineering Sciences & Emerging Technologies*, 5(2), 83-87. Retrieved from http://www.ijeset.com/media/0001/2N10_IJES0502117_v5_iss2_83to87.pdf

Sudaradjat, D. (1993). *Pemrosesan Sinyal Suara Dengan Metoda LPC*. Institut Teknologi Bandung.