

## Perbandingan Algoritma Pengkodean Suara Manusia : *Adaptive Delta Modulation and Linear Prediction Coding*

Djadjat Sudaradjat

Universitas Bina Sarana Informatika  
e-mail: [djadjat.dsj@bsi.ac.id](mailto:djadjat.dsj@bsi.ac.id)

---

**Cara Sitasi:** Sudaradjat, D. (2019). Perbandingan Algoritma Pengkodean Suara Manusia : Adaptive Delta Modulation and Linear Prediction Coding. (S. Dalis, Ed.) Paradigma - Jurnal Komputer dan Informatika, 21(1), 23-28. doi:10.31294/p.v21i1.4641

---

**Abstract** - Coding algorithms human voice with ADM (*Adaptive Delta Modulation*) and LPC (*Linear Prediction Coding*) made to the encoding signals digitally produced has bit rate as low as possible, thus saving bandwidth transmission line if it will be distributed to the transmission medium, and save memory or computer storage if it will be stored as data storage. ADM technique different from the LPC, the difference is generally classified on how it is encoded. If the ADM system which is encoded representation of the waveform so often called "waveform coding", while the system is encoded LPC are the parameters of the source of the human voice, so often called the "parametric coding". Human voice coding algorithms to be compared are the results of my own research when conducting studies Bachelor of Engineering and Master of Engineering at ITB. The results of measurements taken from the ADM system materials Bachelor of Engineering Thesis entitled "Low Bit-Rate Delta Modulation", while the LPC system is taken from the material Engineering Master's thesis with the title "Voice Signal Processing with LPC Method". From the measurement results ADM system can generate the bit rate of 16 Kbps, while the LPC system generates the bit rate of 2.4 Kbps with the sound quality is almost the same output quality human voice that can be understood (*intelligible speech*).

**Keywords:** ADM, LPC, Speech Processing, Speech Compression

### PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi komputer digital yang sangat pesat membantu manusia memiliki alat bantu untuk mewujudkan keinginannya, namun alat bantu tersebut hanya bisa mengolah sinyal digital saja, sehingga sumber informasi yang berupa sinyal analog harus diubah dulu ke dalam bentuk sinyal digital agar dapat diolah oleh komputer digital. Misalnya sinyal suara manusia yang memiliki bentuk analog harus dirubah dulu ke bentuk digital agar dapat diolah oleh komputer digital. Proses ini dikenal sebagai konversi analog-ke-digital, atau kadang kadang disebut juga pengkodean sinyal analog ke digital. Dua teknik penting dari pengkodean sinyal analog-ke-digital, pertama pengkodean bentuk sinyal (*waveform coding*) seperti PCM, ADPCM, DM, ADM, dan kedua pengkodean parameter-parameter sumber sinyal (*parametric coding*) seperti LPC, RELP, CELP (Rabiner, 2007).

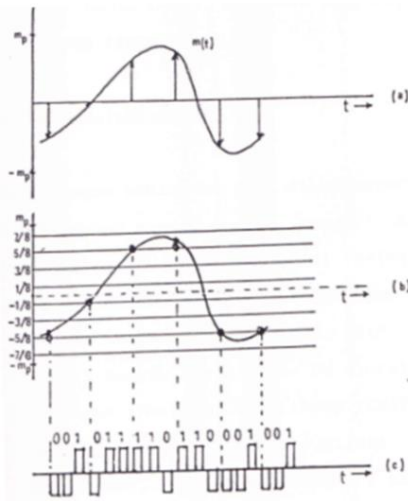
Untuk mendapatkan teknik yang akan menghemat saluran transmisi, dan atau menghemat tempat penyimpanan bit (memori) dikembangkan teknik ADM pada "*waveform Coding*", dan LPC pada "*parametric Coding*", seperti yang akan di bahas di makalah ini (Jurafsky, 2018), (Kala, 2015), (Modi, 2015), (Prayank, 2013), (Rabiner, 2007).

#### 1. Pengkodean bentuk sinyal (*waveform coding*).

Hampir semua kejadian alam sehari-hari bersifat analog, seperti suhu udara, tekanan atmosphere, suara dan sebagainya. Oleh Karena itu, sinyal suara manusia yang mempunyai harga sesaat yang berubah didaerah kontinu, jika ingin dikirimkan dalam bentuk sinyal digital harus diubah terlebih dahulu ke sinyal digital.

Mengubah sinyal analog ke dalam bentuk sinyal digital dapat dilakukan dengan mula-mula mencuplik sinyal analog tersebut secara periodik dan menyatakan harga cuplikan tersebut dalam harga yang dikuantisasikan. Pada PCM (*Pulse Code Modulation*) tiap harga yang dikuantisasikan tersebut dikodekan kedalam N kode pulsa biner. Dengan pilihan ini jumlah level kuantisasi L yang dapat dinyatakan adalah sebesar  $2^N$ . Seperti diperlihatkan pada contoh gambar 1., jika misalnya dipilih kode pulsa dengan N sebesar 3, maka diperoleh jumlah level kuantisasi L sebesar 8. Jika jarak kuantisasi ingin dikecilkan, diperlukan jumlah level kuantisasi L yang besar, sehingga diperlukan jumlah kode pulsa biner N yang besar pula. Hal ini akan mengakibatkan bit-rate yang diperoleh besar, yang untuk menyalurkannya diperlukan band-width

transmisi yang lebar, dan tempat penyimpanan (memori) yang besar pula (Rabiner, 2007).



Sumber : (Sudaradjat, Low Bit-rate Delta Modulation, 1987)  
Gambar 1. (a) Pencuplikan, (b) Pengkuantisasian, (c) Pengkodean.

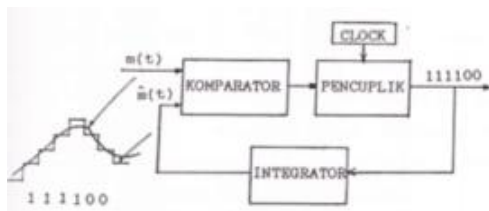
Karena kode pulsa biner ini dapat disimpan di dalam memori, maka tidak perlu tiap harga cuplikan dikirimkan, tapi cukup selisih terhadap harga sebelumnya. Dengan cara ini selisih harga cuplikan terhadap harga cuplikan sebelumnya dapat dikodekan kedalam sejumlah kode pulsa biner  $N$  yang lebih kecil. Modulasi yang diperoleh disebut *Differential PCM (DPCM)*.

Dalam DM (*Delta Modulation*), selisih harga cuplikan terhadap harga cuplikan sebelumnya dikodekan kedalam 1 bit saja. Oleh Karena itu sistem DM juga disebut sebagai DPCM dengan memori 1 bit.

Diagram blok sistem modulator delta diperlihatkan pada gambar 2. Algoritma yang digunakan adalah :

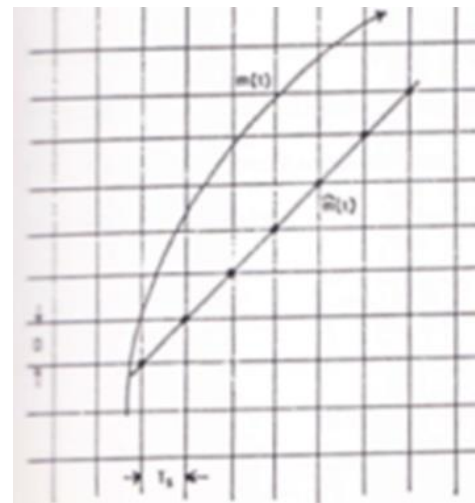
- (i) Jika  $m(t) > \hat{m}(t)$  dihasilkan kode pulsa “1” yang akan mengakibatkan integrator menaikkan harga  $\hat{m}(t)$  sebesar satu langkah.
- (ii) Jika  $m(t) < \hat{m}(t)$  dihasilkan kode pulsa “0” yang akan mengakibatkan integrator menurunkan harga  $\hat{m}(t)$  sebesar satu langkah.

Proses ini berlangsung terus hingga  $\hat{m}(t)$  selalu berusaha mendekati  $m(t)$  setiap pencuplikan dilakukan. Overload dapat terjadi, terutama jika  $m(t)$  berubah terlalu cepat, sehingga  $\hat{m}(t)$  tak mampu mengikuti  $m(t)$ , seperti diperlihatkan di gambar 3.



Sumber : (Sudaradjat, Low Bit-rate Delta Modulation, 1987)

Gambar 2. Modulator Delta.



Sumber : (Sudaradjat, Low Bit-rate Delta Modulation, 1987)  
Gambar 3. Overload.

## 2. Pengkodean parameter-parameter sumber sinyal (*parametric coding*).

### 2.1. Mekanisme Pembentukan ucapan Manusia (Bunyi Bahasa).

Tiga factor 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 4 memperlihatkan semua alat ucap yang “berjasa” dalam pembentukan bunyi Bahasa (Jurafsky, 2018).



Sumber : (Sudaradjat, Pemrosesan Sinyal Suara Dengan Metoda LPC, 1993)

Gambar 4. 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].

2.2. Model Pembentukan Ucapan Manusia.

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 factor 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 5(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). Filter tersebut diimplementasikan pada computer dalam kawasan-z, dari gambar 5(b), diperoleh :

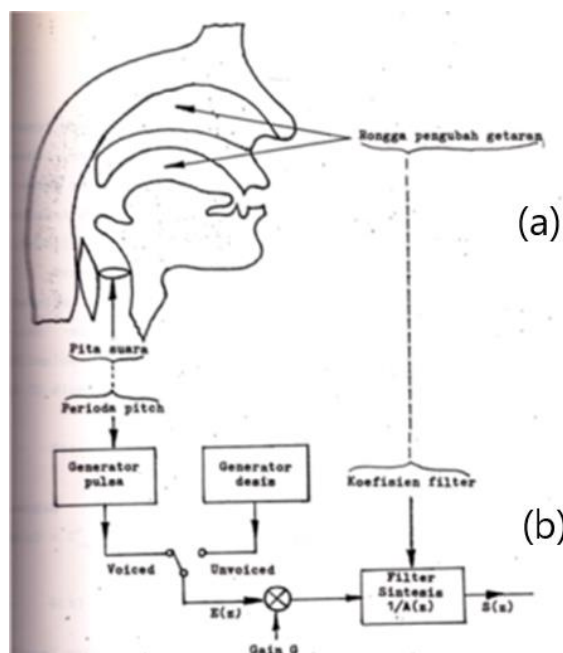
$$S(z) = E(z).G.\frac{1}{A(z)} \quad (\text{model sintesis}) \dots\dots\dots(1)$$

dengan :

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

$$(a(i) = \text{koef. filter, } a(0) = 1) \dots\dots\dots(2)$$

$$S(z) \xrightarrow{Z^{-1}} s(nT) = s(t) \xleftarrow{Z} \dots\dots\dots(3) \quad t = nT$$



Sumber : (Sudaradjat, Pemrosesan Sinyal Suara Dengan Metoda LPC, 1993)

Gambar 5. (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 periode 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 :

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

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, periode 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 periode pitch dan penentuan jenis bunyi bergetar dan tak-bergetar dari sinyal suara.

## METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang penulis buat menggunakan beberapa metode sebagai berikut:

### a. Pengukuran

Penulis melakukan pengukuran secara langsung kepada modul system ADM dan LPC yang dibuat dan melakukan pengukuran dengan menggunakan alat ukur.

### b. Studi Pustaka

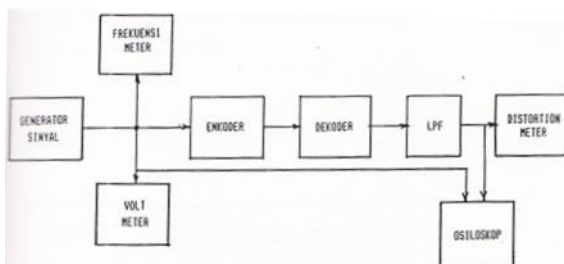
Penulis mencari literatur bacaan serta sumber referensi yang mendukung dan berkaitan dengan topik yang penulis buat agar mendapat landasan teoritis yang akurat.

Untuk menguji system ADM dibuat perangkat kerasnya kemudian diukur kinerjanya di laboratorium menggunakan alat ukur Oscilloscop, Generator Sinyal, dan alat pendukung lainnya. Sedangkan untuk system LPC dibuat dalam bentuk perangkat lunak dan diukur kinerjanya dengan menggunakan suara manusia. Sistem ADM yang dibuat diukur kinerjanya dengan masukan sinyal sinusoidal yang bervariasi amplitudonya dan frekuensinya selebar frekuensi suara manusia sekitar 0 s/d 4 KHz. Keluarannya diukur sebagai respons hasil pengolahan system ADM terhadap masukannya. Sedangkan system LPC yang dibuat perangkat lunaknya pada bagian masukannya dimasukkan sinyal suara manusia, dan dibantu oleh perangkat keras *Analog to Digital Converter* agar sinyal suara manusia yang berbentuk analog dirubah dulu ke bentuk digital agar bisa diproses oleh perangkat lunak LPC di computer PC.

Keluarannya diukur dengan merubah-ubah parameter LPC sehingga didapatkan *Bite Rate* serendah mungkin tetapi menghasilkan keluaran suara manusia yang masih dapat dimengerti (*intelligible speech*).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

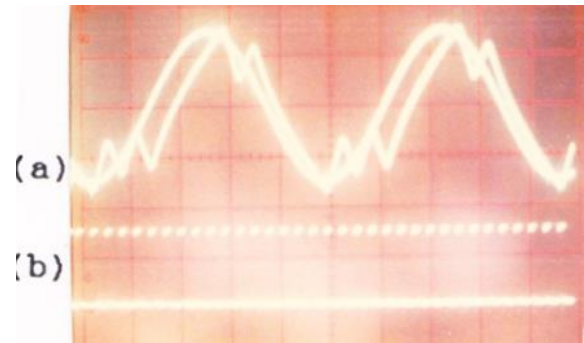
Blok diagram pengukuran kinerja system ADM diperlihatkan di gambar 6.



Sumber : (Sudaradjat, Low Bit-rate Delta Modulation, 1987)

Gambar 6.. Blok diagram pengukuran kinerja system ADM.

Hasil pengukuran dengan osiloskop diperlihatkan di gambar 7.

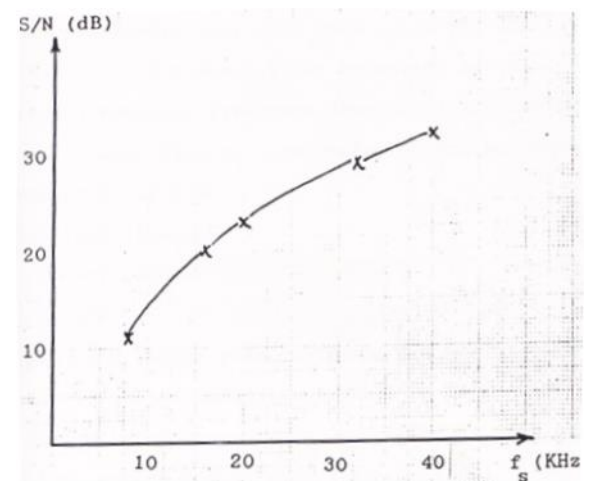


Sumber : (Sudaradjat, Low Bit-rate Delta Modulation, 1987)

Gambar 7. Hasil pengamatan sinyal di bagian Enkoder : (a). Sinyal masukan  $m(t)$  dan sinyal umpan balik  $\hat{m}(t)$ . (b). Sinyal pencuplik.

Dari gambar 7. terlihat bahwa sinyal umpan balik  $\hat{m}(t)$  selalu berusaha mengikuti sinyal masukan  $m(t)$ , perbedaan kedua sinyal tersebut menghasilkan error kuantisasi  $e(t)=m(t)-\hat{m}(t)$ .

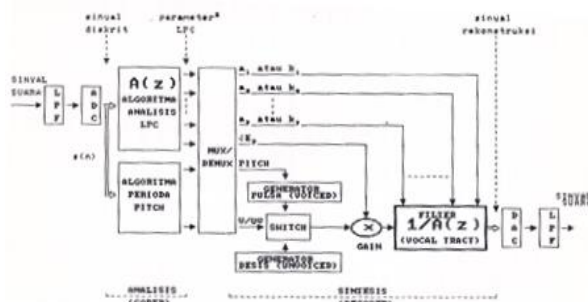
Hasil pengukuran Sinyal to Noise Quantization, S/N terhadap frekuensi cuplik  $f_s$  diperlihatkan pada gambar 8. Makin tinggi frekuensi cuplik, maka makin kecil error kuantisasi, tetapi mengakibatkan makin tinggi juga BR (*Bit rate*) yang dihasilkan. Dengan frekuensi cuplik 16 kbps dihasilkan S/N 20 dB, hasil keluaran ini menghasilkan suara manusia yang bisa dimengerti.



Sumber : (Sudaradjat, Low Bit-rate Delta Modulation, 1987)

Gambar 8. Kurva S/N naik 9 dB/oktaf dengan naiknya frekuensi cuplik  $f_s$

Sistem LPC yang akan dirancang dalam penelitian disini adalah system *Vocoder (voice coder-decoder)* dengan metoda LPC seperti terlihat di Gambar 9.



Sumber : (Sudaradjat, Pemrosesan Sinyal Suara Dengan Metoda LPC, 1993)

Gambar 9. Blok diagram vocoder-LPC

Untuk keperluan uji kualitas suara pada sisten vocoder LPC 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 1, dan rancangan filter sistesis yang digunakan adalah filter dengan struktur lattice.

Tabel 1. Perhitungan bit-rate dengan Panjang frame 30 mdetik dan frekuensi cuplik 8 KHz.

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

Sumber : (Sudaradjat, Pemrosesan Sinyal Suara Dengan Metoda LPC, 1993)

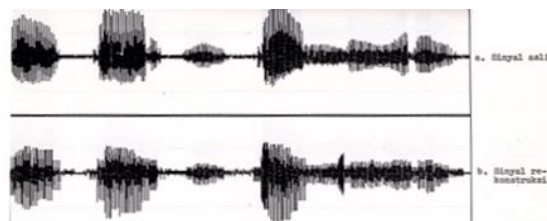
Setelah rancangan system vocoder LPC dengan bit-rate tertentu ditentukan dan rekaman suara hasil proses system vocoder tersebut diperoleh, pengujian kualitas suara secara subyektif dengan teknik MOS (*Mean Opinion Score*) dapat dimulai, lihat Tabel 2 memperlihatkan kondisi pengujian sistem yang digunakan.

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)
<b>Rangkaian uji</b>	Sistem <i>recording-playback</i>	
Pengirim	Keluaran hasil rekaman proses sintesa	
Penerima	Headphone	
Bandwidth	0-3 KHz	
<b>Materi ucapan</b>	Kalimat pendek Bahasa Indonesia	
<b>Pembicara</b>	2 pria dan 2 wanita	
<b>Pendengar</b>	4 pria dan 4 wanita	

Sumber : (Sudaradjat, Pemrosesan Sinyal Suara Dengan Metoda LPC, 1993)

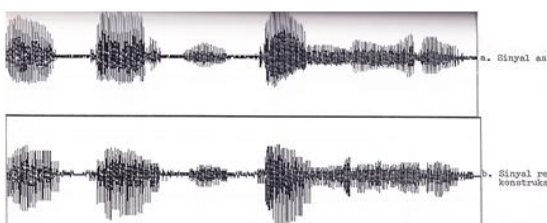
Gambar 10 memperlihatkan bentuk selubung bunyi *ekor-ikan-biru* : (a) sinyal asli masukan, dan (b) sinyal rekonstruksi keluaran sisten *vocoder-LPC* dengan bit-rate 3,4 Kbit/detik



Sumber : (Sudaradjat, Pemrosesan Sinyal Suara Dengan Metoda LPC, 1993)

Gambar 10. Bunyi ekor-ikan-biru, BR 3,4 kbps

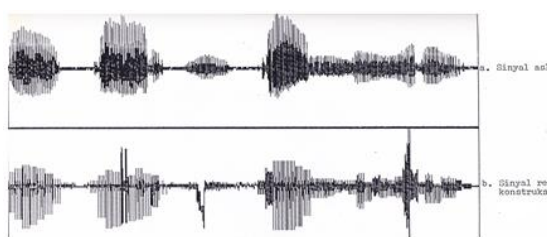
Gambar 11 memperlihatkan bentuk selubung bunyi *ekor-ikan-biru* : (a) sinyal asli masukan, dan (b) sinyal rekonstruksi keluaran sisten *vocoder-LPC* dengan bit-rate 2,4 Kbit/detik



Sumber : (Sudaradjat, Pemrosesan Sinyal Suara Dengan Metoda LPC, 1993)

Gambar 11. Bunyi ekor-ikan-biru, BR 2,4 kbps

Gambar 12 memperlihatkan bentuk selubung bunyi *ekor-ikan-biru* : (a) sinyal asli masukan, dan (b) sinyal rekonstruksi keluaran sisten *vocoder-LPC* dengan bit-rate 1,4 Kbit/detik



Sumber : (Sudaradjat, Pemrosesan Sinyal Suara Dengan Metoda LPC, 1993)

Gambar 12. Bunyi ekor-ikan-biru, BR 1,4 kbps

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

Tabel 3. MOS untuk kalimat *ekor-ikan-biru*

N	Score		
	1,4 KBit/det	2,4 KBit/det	3,4 KBit/det
<b>1</b>	2	2	2
<b>2</b>	2	2	3
<b>3</b>	2	3	3
<b>4</b>	3	3	3
<b>5</b>	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, Pemrosesan Sinyal Suara Dengan Metoda LPC, 1993)

Dari hasil uji kualitas suara dengan Teknik MOS yang diperlihatkan di tabel 3 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, 2007).

## KESIMPULAN

a. Algoritma “*Waveform Coding*” terutama pada sistem PCM banyak digunakan pada aplikasi audio berkualitas tinggi, karena sifatnya yang selalu berusaha mengikuti perubahan bentuk sinyal dalam pengkodeannya dan mengembalikan sinyal ke bentuk aslinya, sehingga warna suara tidak berubah dari suara aslinya, meskipun dengan bit-rate yang tinggi  $\geq 64$  Kbps.

b. Untuk mendapatkan *bit-rate* yang rendah pada algoritma “*Waveform Coding*” dibuat sistem ADPCM dan ADM, pada sistem ADM dapat diperoleh *bit-rate* 16 Kbps.

c. Pada sistem LPC banyak digunakan untuk aplikasi penghematan lebar pita saluran transmisi atau memory penyimpanan data, karena kemampuannya untuk mengkodekan sinyal dengan *bit-rate* yang

rendah sebesar 2,4 Kbps dapat dihasilkan kualitas suara yang dapat dimengerti (*intelligible*), misalnya pada VOIP dan telepon selular.

d. Pada algoritma “*Parametric Coding*” seperti pada sistem LPC banyak digunakan untuk aplikasi yang memanfaatkan parameter-parameter suara yang dihasilkan, karena parameter parameter suara manusia yang unik, sehingga parameter seseorang mudah dikenali oleh computer, seperti pada sistem pengenalan ucapan (*speech recognition*), system pengenalan pembicara (*speaker recognition*) (Prayank, 2013).

## REFERENSI

- Jurafsky. (2018). *Speech and Language Processing*. Third Edition Draft.
- Kala, A. &. (2015). Speech Analysis and Synthesis using Vocoder. *International Journal For Trends In Engineering & Technology*.
- Modi, D. (2015). Speech Cpmression using LPC. *Adaptive Signal Processing Term Paper*, 1-4.
- Prayank, S. &. (2013). Speech Processing. *International Journal of Engineering, Sciences & Emerging Technologies*, 83-87.
- Rabiner, L. R. (2007). *Introduction to Digital Speech Processing*. Foundations and Trends in Signal Processing.
- Sudaradjat, D. (1987). *Low Bit-rate Delta Modulation*. Bandung: ITB.
- Sudaradjat, D. (1993). *Pemrosesan Sinyal Suara Dengan Metoda LPC*. Bandung: ITB.