

Simulasi Aliran Bit (*Bit Stream*) Penyandian Sinyal Ucapan Menggunakan LPC

Oleh : Arida Permata – L2F0908592
 Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
 Jl. Prof. H. Sudarto, S.H, Tembalang, Semarang
 e-mail : cherrymata@yahoo.com

ABSTRAK- *Linear predictive coding (LPC)* merupakan dasar penyandian sinyal ucapan pada *source coding* sistem telekomunikasi. Pada transmitter, *LPC* mengkompresi sinyal ucapan diskret menjadi parameter-parameter pembentuk sinyal ucapan yaitu koefisien peramalan, *pitch*, gain dan kontrol *voiced/unvoiced* yang kemudian ditransmisikan dan kemudian direkonstruksi pada receiver.

Simulasi aliran bit (*bit stream*) dititikberatkan pada penyandian suara menggunakan *LPC*, dengan sinyal ucapan masukan dalam bentuk diskret, pada sisi transmitter, kemudian pada kanal transmisi diberi gangguan *Additive White Gaussian Noise (AWGN)*, dan proses terakhir adalah pendekodean *LPC* pada sisi receiver. Parameter-parameter hasil pengkodean sinyal ucapan dalam aliran bit akan berupa nilai biner dari nilai kuantisasi sesuai dengan bit kuantisasi yang digunakan. Gangguan *AWGN* mempengaruhi hasil rekonstruksi sinyal ucapan sesuai dengan nilai *SNR*. Selain itu parameter-parameter hasil pengkodean dan hasil rekonstruksi sinyal ucapan dipengaruhi oleh orde *LPC* dan ukuran *frame*.

Koefisien peramalan dan gain yang paling mewakili sinyal ucapan berada pada orde *LPC 24* dan pamplingan *100 sample/frame*. Sedangkan *pitch* dan kontrol *voiced/unvoiced* yang paling mewakili sinyal ucapan berada pada pamplingan *320 sample/frame (40 ms)* sehingga mendapatkan pembangkitan pulsa dan derau (*noise*) yang paling baik pada pamplingan yang sama. Dalam pengepakan parameter hasil pengkodean sinyal ucapan ke dalam aliran bit, *pitch* paling banyak mengalami kesalahan. Kemudian aliran bit dan rekonstruksi sinyal ucapan menghasilkan sinyal rekonstruksi paling buruk pada kondisi kanal *AWGN* dengan *SNR = 10 dB*. Hasil rekonstruksi sinyal ucapan yang paling mirip dengan sinyal ucapan asli berada pada orde *LPC 24* dan pamplingan *160 sample/frame*.

Katakunci: *Linear Predictive Coding (LPC)*, aliran bit (*bit stream*), koefisien peramalan, *pitch*, gain, kontrol *voiced/unvoiced*, *frame*, orde *LPC*, bit kuantisasi, gangguan *AWGN*

I. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

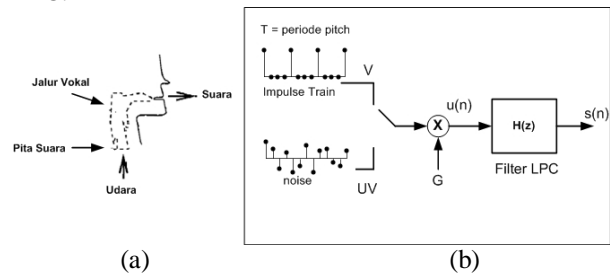
Teknik dasar penyandian sinyal ucapan yang telah banyak diaplikasikan adalah *Linear Predictive Coding (LPC)*. Pada *LPC* ini, sinyal ucapan diskret mengalami proses pengambilan parameter penting sesuai dengan pemodelan fisik pembangkitan suara pada manusia. Parameter tersebut kemudian dikuantisasi. Setelah itu, parameter tersebut tidak langsung dikirim, tetapi mengalami penambahan bit pada pengkodean kanal dengan tujuan melindungi parameter penting yang akan merekonstruksi sinyal ucapan di sisi receiver dari kerusakan saat dikirim melalui kanal radio. Oleh karena itu, parameter hasil *source coding* yang berupa nilai-nilai kuantisasi haruslah dalam bentuk aliran bit (*bit stream*) agar dapat dengan mudah mengalami proses pengkodean kanal atau proses selanjutnya sebelum dikirim ke receiver (penyandian dalam waktu riil). Pada receiver, aliran bit ini akan diubah kembali ke nilai kuantisasi parameter, setelah melalui proses pengkodean kanal dan sebelum melalui proses rekonstruksi sinyal ucapan.

II. Dasar Teori

2.1 Pemodelan Sinyal Ucapan menggunakan LPC

Prinsip kerja *LPC* berdasarkan model fisik dari pembangkitan suara: udara di dorong oleh paru-paru melalui jalur vokal. Kemudian getaran dari pita vokal menghasilkan bunyi dan laju getaran tersebut ditentukan oleh *pitch* suara.

Pada *LPC*, jalur vokal dimodelkan sebagai $H(z)$, udara yg mengalir dengan $u(n)$, getaran pita suara, V , dan periode *pitch* adalah T . Masukan filter *LPC* adalah rangkaian impuls (getaran pita suara *Voiced*) atau *noise (Unvoiced)*, dan keluarannya adalah sinyal ucapan digital, $s(n)$. G merepresentasikan gain (dipengaruhi oleh volume udara yang terdorong ke jalur vokal). Gambar 2.1 menunjukkan pemodelan *LPC*.



Gambar 2.1 (a) Model fisik pembangkitan suara
 (b) Model LPC

Dari penerapan model peramalan linier sinyal ucapan seperti pada Gambar 2.1b didapatkan persamaan pembangkitan sinyal:

$$s(n) = \sum_{i=1}^p a_i \cdot s(n-i) + G \cdot u(n) \dots(2.1)$$

Representasi parameter sinyal ucapan dengan menggunakan LPC dalam sebuah vektor adalah:

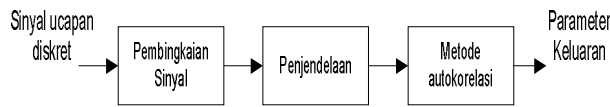
$$A = (a_1, a_2, \dots, a_p, G, V / UV, T) \dots\dots\dots(2.2)$$

Sinyal ucapan berubah terhadap waktu. Dengan asumsi bahwa sinyal ucapan memiliki karakteristik yang tetap pada selang waktu yang singkat, maka parameter sinyal ucapan berdasarkan pemodelan LPC dilakukan dalam selang waktu yang singkat (pembingkaihan).^[5]

2.2 Analisis LPC

Analisis LPC digunakan untuk mendapatkan koefisien peramalan. Prosedur untuk mendapatkan koefisien peramalan ditunjukkan Gambar 2.2. Berdasarkan model Gambar 2.1b, hubungan antara s(n) dan u(n) adalah

$$s(n) = \sum_{k=1}^p a_{ki} \cdot s(n-k) + G \cdot u(n) \dots\dots\dots(2.3)$$



Gambar 2.2 Blok Diagram Analisis LPC^[2]

Sinyal ucapan s(n) pada waktu ke n dapat diperkirakan sebagai kombinasi linier p atas cuplikan sinyal ucapan sebelumnya yaitu:

$$s(n) = a_1s(n-1) + a_2s(n-2) + \dots + a_p s(n-p) \dots(2.4)$$

dengan a₁, a₂, ..., a_p adalah koefisien peramalan yang merupakan koefisien pembobotan untuk kombinasi linier. Dengan memperkecil jumlah kuadrat perbedaan dalam interval waktu tertentu antara sinyal asli dengan sinyal hasil peramalan maka koefisien ini dapat diperoleh.^[2]

Bentuk dari kesalahan peramalan, e(n), adalah

$$e(n) = s(n) - \hat{s}(n) = s(n) - \sum_{k=1}^p a_k s(n-k) \dots\dots(2.5)$$

2.3 Gain

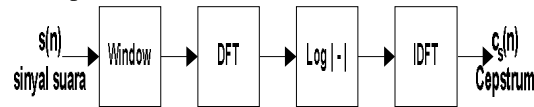
Dengan mengacu pada persamaan 2.6 dan 2.8 akan didapatkan hubungan antara konstanta penguatan G dengan kesalahan peramalan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa G.u(n) = e(n).

$$G = \sqrt{E_n} \dots\dots\dots(2.6)$$

2.4 Deteksi Pitch

Frekuensi fundamental, yang dalam istilah instrumen musik dikenal sebagai *pitch*, merupakan salah satu parameter dari sinyal suara^[9]. Untuk mendeteksi *pitch* dari sebuah sinyal ucapan, dapat digunakan metode analisis *cepstrum*.

Konsep dari analisis cepstrum adalah perhitungan melalui metode yang disebut *Real Cepstrum* (RC). Prosedur perhitungan RC dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Blok Analisis Perhitungan Real Cepstrum^[8]

Hasil dari metode Real Cepstrum adalah persamaan 2.

$$c(n) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \log |P(e^{j\omega})| e^{j\omega n} d\omega \dots\dots(2.7)$$

Untuk menganalisis *pitch*, dipilih bentuk realnya yang disebut *real cepstrum* atau biasa disebut cepstrum. Periode *pitch* akan diperoleh dengan mendeteksi periode munculnya puncak sinyal cepstrum tertinggi.^[9]

2.5 Kuantisasi

Pada penggunaan LPC pada sistem kompresi perlu dilakukan kuantisasi parameter hasil analisis LPC. Kuantisasi adalah proses pembulatan ke nilai terdekat yang diperbolehkan. Keluaran proses kuantisasi adalah indeks *codeword* dari koefisien yang dikuantisasi berdasarkan *codebook* yang disusun.

2.6 Aliran Bit (Bit Stream)

Sinyal keluaran pengkode sinyal ucapan akan memiliki laju bit tertentu sesuai dengan ukuran *frame* dan alokasi bit. Pada pengkodean menggunakan LPC, alokasi bit akan dipengaruhi oleh orde koefisien peramalan, dan bit kuantisasi. Sehingga alokasi bit dapat ditentukan dengan cara berikut:

Jika p = orde LPC dan n = bit kuantisasi maka dapat dibuat tabel alokasi bit seperti Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Penentuan alokasi bit

Parameter	Total per <i>frame</i> (bit)
Koefisien LSP	p x n
Periode <i>pitch</i>	n
Kontrol <i>voiced/unvoiced</i>	1
<i>Gain</i>	n
Total	(pxn) + n + 1 + n

Jika n adalah nilai bit kuantisasi, maka panjang aliran bit tiap nilai kuantisasi adalah sepanjang n.

Agar tidak terjadi kesalahan dalam dekuantisasi di sisi dekoder maka urutan aliran bit dalam tiap *frame* harus ditentukan. Pada Tugas Akhir ini ditentukan urutan aliran bit dalam tiap *frame* sebagai berikut : koefisien LSP – kontrol *voiced/unvoiced* – *pitch* – *gain*.

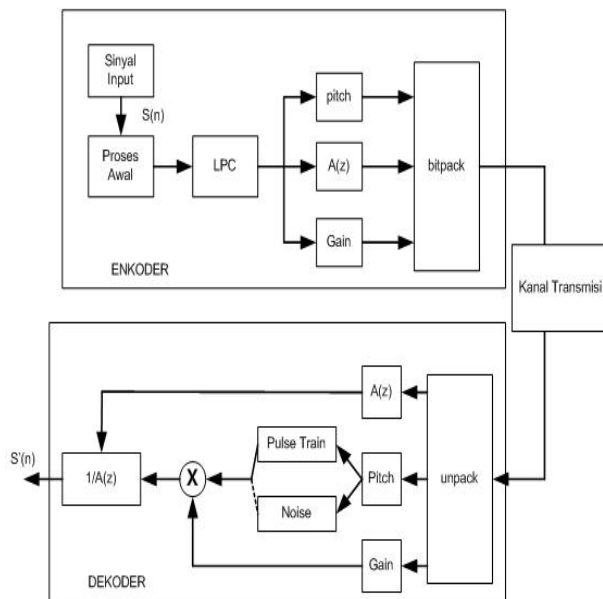
2.7 Rekonstruksi Sinyal Ucapan dari Parameter LPC

Proses utama dari *dekoder* LPC adalah proses rekonstruksi sinyal ucapan sesuai dengan konsep pemodelan LPC pada Gambar (2.1 b). Sehingga sinyal ucapan rekonstruksi ditentukan dari:

$$\hat{s}(n) = \sum_{k=1}^p a_k \hat{s}(n - k)$$

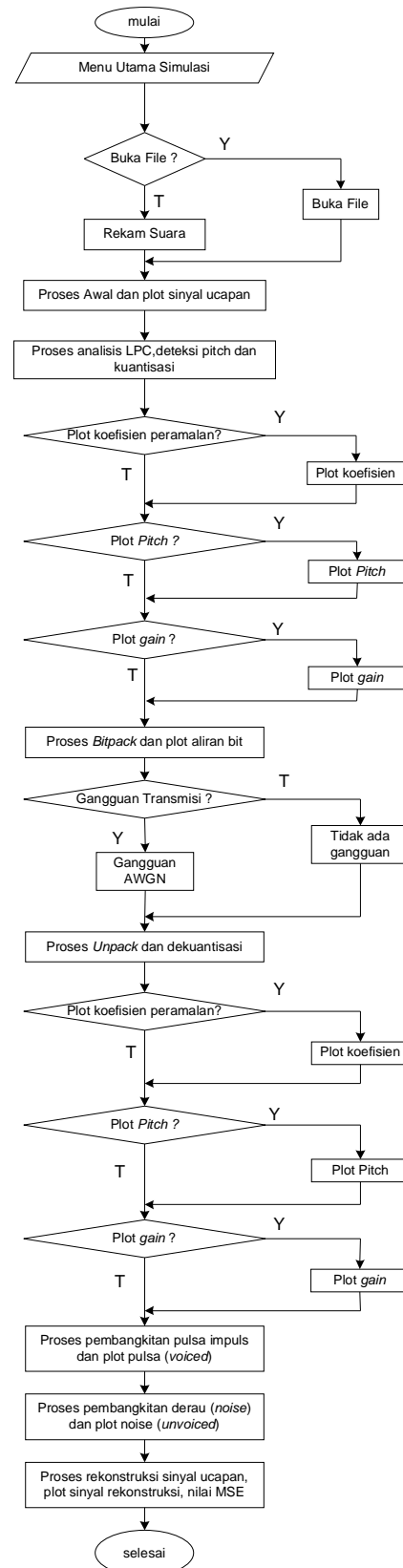
III. Perancangan Program Simulasi

Penyandian sinyal ucapan menggunakan LPC dapat direpresentasikan dengan Gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 Diagram Blok Simulasi Aliran Bit Penyandian Sinyal Ucapan menggunakan LPC

Secara garis besar, program simulasi aliran bit penyandian sinyal ucapan menggunakan LPC dirancang mengikuti diagram alir seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram alir program simulasi

IV. Hasil Pengujian dan Pembahasan

Pengujian dilakukan dengan sample suara yang mengucapkan kata “undip”. Tabel 4.1 menunjukkan aliran bit untuk file suara ‘alkaundip.wav’, pada *frame* ke 26, ukuran sample/*frame* 160, dan orde LPC (p) 10. Di sini parameter yang berubah adalah bit kuantisasi (n). Sedangkan Tabel 4.2 menunjukkan parameter yang berubah adalah orde LPC dan pada bit kuantisasi 8.

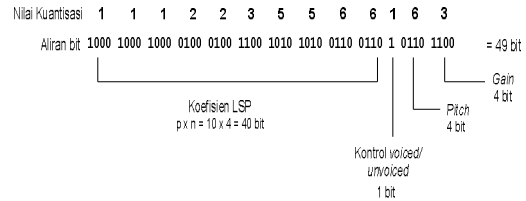
Tabel 4.1 Aliran bit dengan variasi parameter bit kuantisasi (n)

Bit Kuantisasi (n)	Nilai kuantisasi sebelum pengepakan	Aliran bit (MSE)	Nilai kuantisasi sesudah pengepakan	Jumlah bit per frame
4	1 1 1 2 2 3 5 5 6 6 1 6 3	1000 1000 1000 0100 0100 1100 1010 1010 0110 0110 1 0110 1100	1 1 1 2 2 3 5 5 6 6 1 6 3	49
8	11 13 19 35 37 51 77 86 100 110 1 96 44	11010000 10110000 11001000 11000100 10100100 11001100 10110010 01101010 00100110 01110110 1 00000110 00110100	11 13 19 35 37 51 77 86 100 110 1 96 44	97
12	170 215 308 558 592 822 1237 1387 1696 1766 1 1526 700	010101010000 111010110000 001011010000 000101001000 111011011000 101010110010 110101101010 011000100110 011001101010 00000000110 001111010100	170 215 308 558 592 822 1237 1387 1696 1766 1 1526 700	145
16	2726 3446 4923 8324 9480 12169 13796 22189 25702 28268 1 24576 11205	0110010101000000 0110111010110000 1010001011001000 0011101101000100 0001000101100100 1000111011001100 0010101010110010 1011010101101010 1110011000100110 0011011001101010 000000000000110 1010001111010100	2726 3446 4923 8324 9480 12169 13796 22189 25702 28268 1 24576 11205	193

Tabel 4.2 Aliran bit dengan variasi parameter Orde LPC (p)

Orde LPC (p)	Nilai kuantisasi sebelum pengepakan	Aliran bit (MSE)	Nilai kuantisasi sesudah pengepakan	Jumlah bit per frame
1	15 1 96 122	11110000 1 00000110 01011110	15 1 96 122	25
10	11 13 19 35 37 51 77 86 100 110 1 96 44	11010000 10110000 11001000 11000100 10100100 11001100 10110010 01101010 00100110 01110110 1 00000110 00110100	11 13 19 35 37 51 77 86 100 110 1 96 44	97
20	6 11 14 15 25 29 36 37 45 51 59 69 77 82 88 94 100 108 112 118 1 96 41	01100000 11010000 01110000 11110000 10011000 10111000 00100100 10100100 10110100 11001100 11011100 10100010 10110010 01001010 00011010 01111010 00100110 00110110 00001110 01101110 1 00000110 10010100	6 11 14 15 25 29 36 37 45 51 59 69 77 82 88 94 100 108 112 118 1 96 41	177

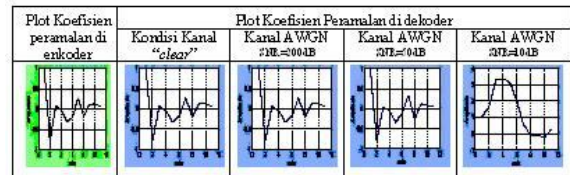
Menurut aturan yang telah ditentukan pada subbab 2.2.5, maka urutan dari aliran bit dalam tiap *frame* adalah : koefisien LSP – kontrol *voiced/unvoiced* – *pitch* – *gain*. Dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2, bahwa aliran bit sudah mengikuti aturan tersebut. Contohnya pada Tabel 4.1 untuk n = 4. Untuk lebih jelasnya dapat ditunjukkan seperti Gambar 4.1.



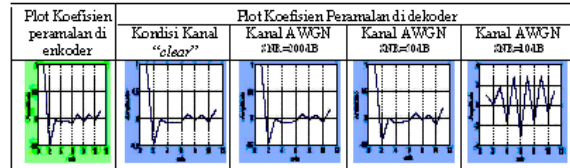
Gambar 4.1 Aliran bit tiap *frame* untuk n = 4, p = 10

Hasil dari penyandian sinyal ucapan menggunakan LPC adalah berupa parameter-parameter seperti koefisien peramalan, *pitch*, kontrol *voiced/unvoiced* dan *gain*. Pada tugas akhir ini seluruh parameter tersebut dalam aliran bit yang kemudian pada saat transmisi dapat diberi gangguan berupa kanal AWGN dengan variasi SNR 200 dB, 50 dB dan 10 dB.

Tabel 4.3 Plot koefisien peramalan pembinaikan 100 sample/*frame* (12,5 ms)

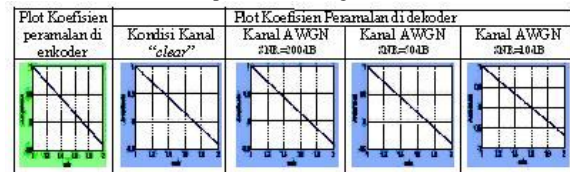


Tabel 4.4 Plot koefisien peramalan pembinaikan 600 sample/*frame* (75 ms)

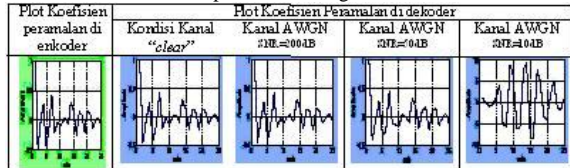


Dapat dilihat dari Tabel 4.3 –Tabel 4.4 bahwa ukuran *sample/frame* yang baik untuk menghasilkan koefisien peramalan adalah 100 *sample/frame*. Semakin besar ukuran *sample/frame* maka harga koefisien peramalan akan semakin mengalami pembulatan.

Tabel 4.5 Plot koefisien peramalan dengan orde LPC 1

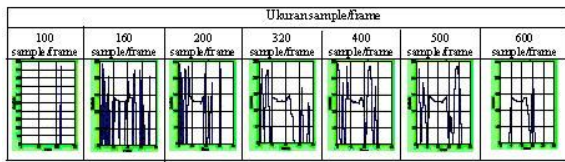


Tabel 4.6 Plot koefisien peramalan dengan orde LPC 24

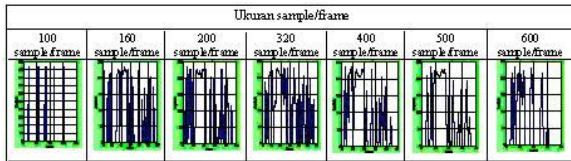


Dapat dilihat dari Tabel 4.5 – Tabel 4.6 bahwa semakin besar orde LPC maka semakin banyak harga koefisien peramalan yang mewakili tiap *frame* sinyal ucapan.

Tabel 4.7 Plot Pitch di Enkoder (file suara “alkaundip.wav”)

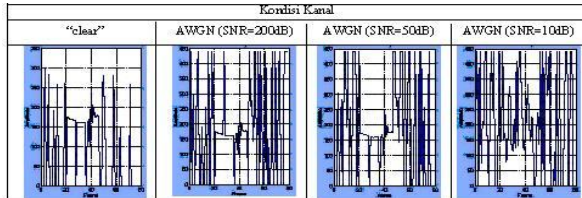


Tabel 4.8 Plot Pitch di Enkoder (file suara “aridaundip.wav”)



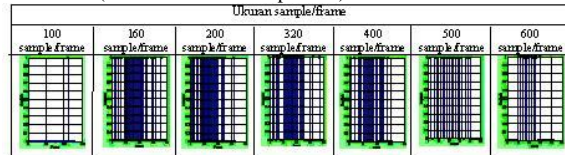
Dapat dilihat dari Tabel 4.7 – Tabel 4.8 bahwa pembungkaan yang menghasilkan harga *pitch* yang paling mewakili sinyal ucapan adalah pada pembungkaan 320 sample/frame (40 ms) .

Tabel 4.9 Plot Pitch di Dekoder

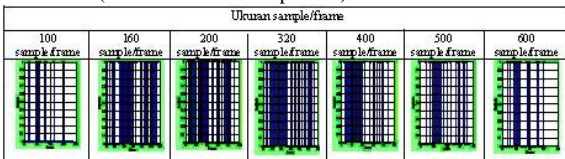


Pada Tabel 4.9 plot *pitch* di dekoder, pada kondisi kanal “clear”, AWGN dengan SNR 200 dB, dan 50 dB, maka terlihat terjadi banyak gangguan pada harga *pitch*. Gangguan terbesar pada harga *pitch* terjadi pada saat kondisi kanal AWGN memiliki SNR = 10 dB, yaitu selisihnya sekitar sampai 440.

Tabel 4.10 Plot kontrol *voiced/unvoiced* di Enkoder (file suara “alkaundip.wav”)

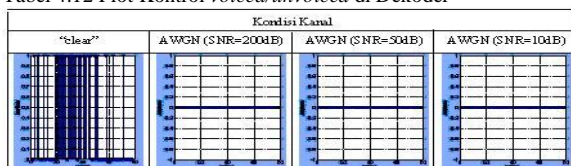


Tabel 4.11 Plot kontrol *voiced/unvoiced* di Enkoder (file suara “aridaundip.wav”)



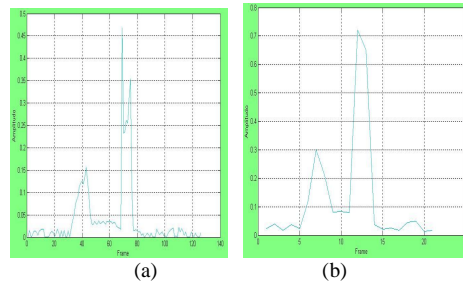
Dapat dilihat dari Tabel 4.10 – Tabel 4.11 bahwa pembungkaan yang menghasilkan harga kontrol *voiced/unvoiced* yang paling mewakili sinyal ucapan dan harga *pitch* adalah pembungkaan 320 sample/frame (40 ms).

Tabel 4.12 Plot Kontrol *voiced/unvoiced* di Dekoder



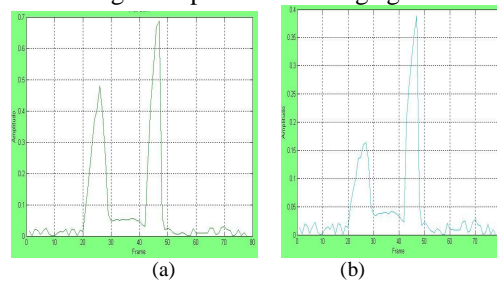
Harga kontrol *voiced/unvoiced* di dekoder bernilai nol jika kondisi kanal transmisinya mengalami gangguan AWGN. Ini dikarenakan pembulatan yang terjadi, yaitu jika harga kontrol *voiced/unvoiced* kurang dari 1 (satu) maka akan berharga 0 (nol).

Untuk file suara ‘alkaundip.wav’, dengan orde LPC 10, bit kuantisasi 8, dan variasi pembungkaan sinyal ucapan, Gambar 4.2 a-b menunjukkan plot gain pada enkoder.



Gambar 4.2 Plot Gain (a) 100 sample/frame (b) 600 sample/frame

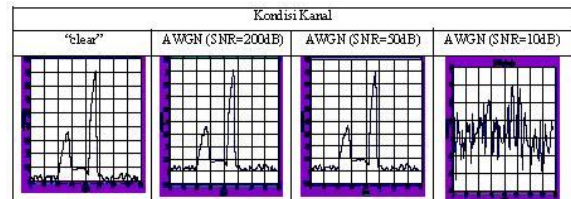
Dapat dilihat dari Gambar 4.2 a-b bahwa plot gain dari pembungkaan yang semakin besar maka akan semakin mengalami pembulatan harga gain.



Gambar 4.3 Plot Gain (a) orde LPC 1 (b) orde LPC 24

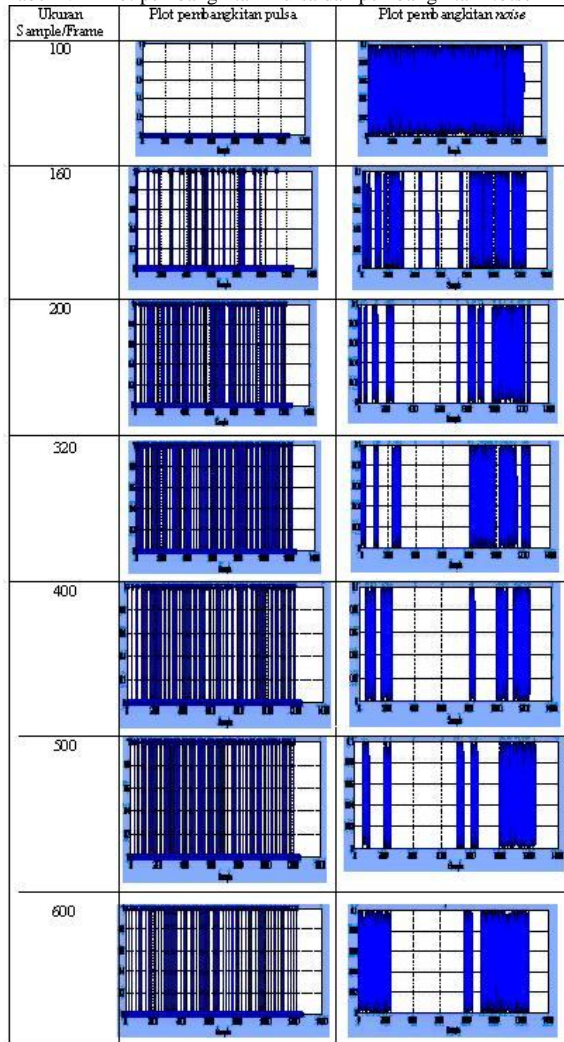
Dapat dilihat dari Gambar 4.3 a-b, bahwa plot gain dari orde LPC yang semakin besar maka semakin tinggi ketelitian perhitungan kesalahan peramalan sehingga semakin kecil harga gain.

Tabel 4.13 Plot Gain di Dekoder

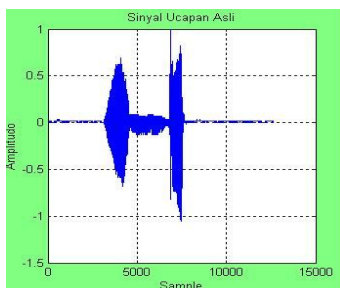


Dapat dilihat dari plot gain di atas, bahwa gain di enkoder dan di dekoder tidak mengalami perubahan besar. Perubahan besar baru terjadi pada saat kondisi kanal mengalami gangguan AWGN dengan SNR = 10 dB (selisih sekitar 0,0001 – 0,2) .

Tabel 4.14 Plot pembangkitan Pulsa dan pembangkitan *Noise*



Dari Tabel 4.14 dapat dilihat bahwa bila semakin besar ukuran sample/frame maka akan semakin banyak pulsa yang dibangkitkan dan semakin sedikit *noise* yang dibangkitkan. Pembangkitan pulsa dan pembangkitan *noise* yang paling mewakili pengucapan kata adalah pada ukuran sample/frame 320 (pembingkaian 40 ms).



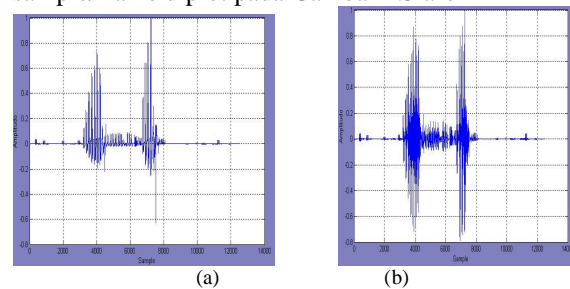
Gambar 4.4 Sinyal Ucapan Asli (file suara 'alkaundip.wav')

Hasil perhitungan MSE dari sinyal ucapan asli dan sinyal hasil rekonstruksi diperlihatkan pada Tabel 4.15

Tabel 4.15 Harga optimal orde LPC masing-masing ukuran sample/frame

Ukuran sample/frame	Harga MSE minimum	Orde LPC optimal
100	0,0184323	1
160	0,0172063	1
200	0,0209277	1
320	0,0197365	1
400	0,0205271	1
500	0,0212316	1
600	0,0220763	1

Dari Tabel 4.15 terlihat bahwa berdasarkan harga MSE, ukuran sample/frame yang memberikan harga MSE paling minimum adalah ukuran sample/frame 160 dengan orde LPC optimal 1. Sinyal hasil rekonstruksi untuk orde LPC 1 dan 24 pada 160 sample/frame diplot pada Gambar 4.5 a-b

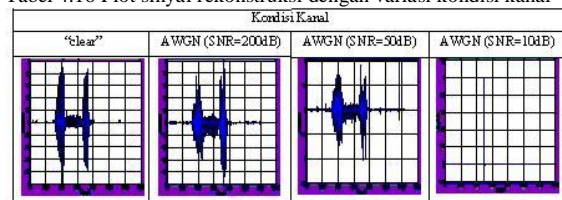


Gambar 4.5 Plot Gain (a) orde LPC 1 (b) orde LPC 24

Berdasarkan Gambar 4.5 a-b di atas terlihat bahwa sinyal hasil rekonstruksi yang paling mendekati sinyal asli adalah hasil rekonstruksi pada orde LPC 24. Dari Tabel 4.15 telah diperoleh harga MSE paling minimum didapat pada orde LPC 1. Hal ini tidak sesuai dengan plot sinyal hasil rekonstruksi yang didapat, dimana orde LPC 1 mempunyai sinyal hasil rekonstruksi paling buruk dan suara seperti robot. Ketidaksesuaian tersebut dikarenakan penilaian MSE yang terkadang tidak akurat. Terkadang perhitungan MSE pada dua sinyal yang mirip menghasilkan nilai MSE yang lebih besar daripada perhitungan MSE dari dua sinyal yang tidak mirip^[2].

Tabel 4.16 menunjukkan hasil rekonstruksi sinyal ucapan file 'alkaundip.wav' dengan bit kuantisasi 8, orde LPC 10 dan ukuran 160 sample/frame, serta pada kondisi kanal transmisi diberi gangguan *Additive White Gaussian Noise* (AWGN) dengan variasi SNR sebesar 200 dB, 50 dB dan 10 dB.

Tabel 4.16 Plot sinyal rekonstruksi dengan variasi kondisi kanal



Pada prinsipnya semakin besar nilai SNR, semakin baik kondisi kanal. Terlihat pada hasil rekonstruksi dengan nilai SNR = 200 dB sampai SNR = 10 dB bahwa sinyal rekonstruksi telah dipengaruhi kondisi kanal. Semakin buruk kondisi kanal, semakin buruk pula hasil rekonstruksi. Pada hasil rekonstruksi pada transmisi aliran bit terganggu AWGN dengan SNR = 10 dB mengakibatkan banyak bit dalam aliran bit yang mengalami kesalahan sehingga hasil rekonstruksi sangat buruk, bahkan tidak mencerminkan sinyal ucapan asli sama sekali.

V. Penutup

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada Tugas Akhir yang dibuat dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Koefisien peramalan yang didapat dari analisis LPC yang paling mewakili sinyal ucapan berada pada orde LPC 24 dan pembangkitan 100 sample/frame.
2. Harga *pitch* dari pendeteksian *pitch* yang paling mewakili sinyal ucapan berada pada pembangkitan 320 sample/frame (40 ms).
3. Harga *gain* dari perhitungan *gain* yang paling mewakili sinyal ucapan berada pada orde LPC 24 dan pembangkitan 100 sample/frame.
4. Kontrol *voiced/unvoiced* yang paling mewakili sinyal ucapan dan harga *pitch* yang didapatkan berada pada pembangkitan 320 sample/frame (40 ms).
5. Pengepakan *pitch* ke dalam aliran bit mengalami kesalahan yang paling besar (selisihnya mencapai 440).
6. Aliran bit parameter kontrol *voiced/unvoiced* paling dipengaruhi adanya gangguan AWGN pada kanal transmisi (100%).
7. Pembangkitan pulsa dan pembangkitan derau (*noise*) yang paling mewakili harga *pitch* dan kontrol *voiced/unvoiced* berada pada pembangkitan 320 sample/frame (40 ms).
8. Sinyal hasil rekonstruksi yang paling mirip dengan sinyal ucapan asli berada pada orde LPC 24 dan pembangkitan 160 sample/frame.
9. Aliran bit dan rekonstruksi sinyal ucapan menghasilkan sinyal rekonstruksi yang paling buruk pada kondisi kanal AWGN dengan SNR = 10 dB (plot hasil rekonstruksi paling tidak mirip dengan sinyal ucapan asli).

5.2 Saran

Pada Tugas Akhir ini, pengepakan parameter analisis LPC ke dalam aliran bit, tidak menggunakan sistem bit error sehingga TA ini dapat dikembangkan dengan memperhitungkan sistem bit error.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bristow, Geoff, *Electronic Speech Synthesizer*, McGraw-Hill, San Fransisco, 1984.
2. Indrajaya, Yunes, *Kompresi Sinyal Ucapan dengan menggunakan Linear Predictive Coding*, Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang, 2002.
3. Loizou, Philipos C, *A Matlab Software Analysis of Speech*, Colea, 1998.
4. Nashelsky, Louis, *Introduction to Digital Computer Technology: 2nd edition*, John Willey & Sons, New York, 1977.
5. R.Rabiner, Lawrence dan Juang, Biing-Hwang, *Fundamental of Speech Recognition*, Prentice Hall, New Jersey, 1993.
6. R.Rabiner, Lawrence, dan Schafer, Ronald W, *Digital Processing of Speech Signals*, Prentice Hall, New Jersey, 1978.
7. Spanias, Andreas dan Painter, Ted, *US Federal Standard 1016 CELP v3.2 for MATLAB (FS-1016)*, 1999.
8. Wismono, R. Yudhi, *Identifikasi Jenis Tingkatan Suara Manusia dengan Metode Real Cepstrum*, Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang, 2002.
9. Yuliasuti, Anni, *Pengenalan Voiced dan Unvoiced dengan Analisis Pitch*, Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang, 2003.
10. _____, *Digital Cellular Telecommunication System (Phase 2+) Adaptive Multi-Rate (AMR) Speech Transcoding*, ETSI, 1998.
11. _____, *Speech Compression*, www.data-compression.com/speech.html.



Arida Permata, Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Diponegoro angkatan 98 dengan konsentrasi Teknik Telekomunikasi. Saat ini sedang menyelesaikan studi srata-1 (S1).

Pembimbing II

Sukiswo, ST
NIP. 132 162 548

