

Implementasi Pemodelan *Linear Predictive Coding* (LPC) sebagai Filter Untuk Mereduksi *Noise* pada *Esophageal Speech* (ES)

Implementation of *Linear Predictive Coding* (LPC) Modelling as a Filter to Reduce *Noise* in *Esophageal Speech* (ES)

Nita Fitriana

Program Studi Fisika, FMIPA, Unesa, nita.art27@gmail.com

Drs. Andy Noortjahja, M. T

Program Studi Fisika, FMIPA, Unesa, anduro_k29@yahoo.com

Abstrak

Wicara (suara) adalah sebuah sinyal rumit hasil dari beberapa perubahan yang terjadi pada beberapa level yang berbeda dari semantik, bahasa, pengucapan dan akustik. Secara anatomi sinyal wicara pada manusia dihasilkan oleh kerja sama antara paru-paru, laring atau pita suara. Akan tetapi terkadang terdapat suatu kasus dimana seseorang tidak dapat berbicara secara normal dikarenakan terkena kanker laring. Penyakit kanker laring adalah pertumbuhan sel yang tidak normal secara cepat di tenggorokan. Tindakan terbaik untuk menyelamatkan jiwa penderita adalah dengan pengangkatan organ laring secara total (*laryngectomy*). Untuk mengembalikan kemampuan bicara penderita kanker laring setelah *laryngectomy* adalah melakukan beberapa terapi, salah satunya *esophageal speech* (ES). Namun kualitas dari ES tersebut sangat rendah. Dalam penelitian ini, dengan menggunakan metode pemodelan *Linear Predictive Coding* (LPC) diharapkan mampu mereduksi *noise* pada *esophageal speech*. Dengan menggunakan metode tersebut dihasilkan sinyal suara, spektrogram, spektrum dan sinyal setelah diproses menggunakan LPC. Dari proses analisis LPC dihasilkan nilai *Mean Square Error* (MSE) dan *Signal to Noise Ratio* (SNR). Nilai SNR yang semakin besar menunjukkan bahwa kualitas pengurangan *noise* yang semakin baik. Sebaliknya jika nilai MSE yang dihasilkan semakin kecil maka semakin baik pula kualitas pengurangan *noise* pada sinyal suara tersebut. Nilai MSE dan SNR untuk suara normal berturut-turut yaitu 17.4142 dan 70.8952 dB sedangkan untuk ES yaitu 18.4532 dan 75.3853 dB.

Kata Kunci : *Esophageal speech*, *laryngectomy*, *Linear Predictive Coding* (LPC)

Abstract

Speech is a complex signal as a result of some transformations that occur in several different levels of semantics, linguistics, articulation and acoustic. In the anatomy of human speech signal is generated by cooperation between the lungs, larynx or pita suaras. But sometimes there is a case where a person can not speak normally due to cancer of the larynx. Laryngeal cancer is abnormal cell growth rapidly in the throat. The best action is to save the lives of patients with total removal of the organ larynx (laryngectomy). To restore the ability to speak laryngeal cancer patients after laryngectomy is doing some therapy, one esophageal speech (ES). But the quality of the ES is very low. In this study, using modeling methods Predictive Linear Coding (LPC) is expected to reduce noise in esophageal speech. By using teersebut generated sound signals, spectrograms, spectrum and signal after processing using the LPC. From the LPC analysis generated Mean Square Error (MSE) and Signal to Noise Ratio (SNR). SNR greater value indicates that the quality is getting better noise reduction. Conversely, if the value of the smaller MSE produced the better the quality of noise reduction in the noise signal. MSE and SNR values for normal voice row is 17.4142 and 70.8952 dB while for ES is 18.4532 and 75.3853 dB.

Keywords: *Esophageal speech*, *laryngectomy*, *Linear Predictive Coding* (LPC)

PENDAHULUAN

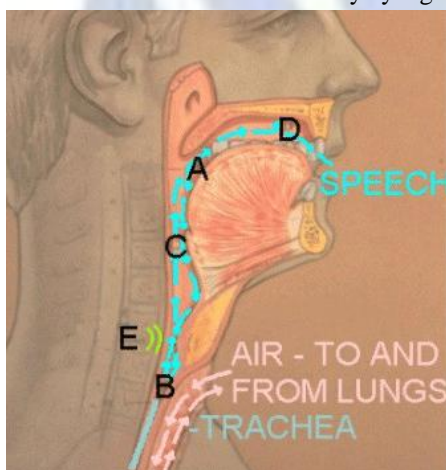
Wicara (suara) adalah sebuah sinyal rumit hasil dari beberapa perubahan yang terjadi pada beberapa level yang berbeda dari semantik, bahasa, prngucapan dan akustik Secara anatomi sinyal wicara pada manusia dihasilkan oleh kerjasama antara paru-paru, laring atau pita suara (*supraglottis*, *glottis*, *subglottis* dan *articulation track*).

Gangguan pada pita suara (laring) menjadi kendala utama bagi individu dalam menyampaikan

sebuah pesan. Penyebab terganggunya fungsi pita suara adalah ketika terkena kanker laring. Laring adalah salah satu organ wicara yang berfungsi sebagai sebuah saluran udara ke paru-paru dan juga yang memungkinkan seseorang untuk melakukan komunikasi. Penyakit kanker pita suara adalah pertumbuhan sel yang tidak normal secara cepat di tenggorokan. Penderita kanker laring pada mulanya mengalami suara parau atau serak yang kronis, selanjutnya ditandai dengan timbulnya rasa sakit untuk menelan ataupun berbicara. Pada fase lanjut dapat disertai dengan sulitnya bernafas yang dikarenakan

Implementasi Pemodelan Linear Predictive Coding (LPC) sebagai Filter Untuk Mereduksi Noise pada Esophageal Speech (ES)

adanya benjolan di sekitar tenggorokan. Tindakan terbaik untuk menyelamatkan jiwa penderita adalah pengangkatan organ laring secara total (*laryngectomy*). Akibat dari *laryngectomy* tersebut pasien tidak dapat bernafas melalui hidung atau mulut. Oleh karena itu dibuat lobang (*stoma*) dibuat di dasar leher dan *trakea* dipindahkan menuju lobang *stoma*. Dengan diambilnya pita suara pasien, maka pasien akan kehilangan kemampuan untuk berbicara seperti sebelumnya. Ada tiga metode agar pasien mempunyai kemampuan untuk berbicara setelah mengalami *laryngectomy* yaitu *Tracheoesophageal*, *Electrolaryng* dan *Esophageal Speech*. Diantara ketiga metode pemulihan suara tersebut, *Esophageal Speech* merupakan salah satu cara yang paling sederhana dan efisien, tanpa menggunakan alat bantu dan tidak memerlukan biaya yang mahal.



Gambar 1. *Esophageal Speech (Inhealth Technologies, USA)*

Secara anatomi *esophageal speech* (setelah *laryngectomy*) berbeda dengan *normal speech* (sebelum *laryngectomy*). Pada *normal speech* terdapat 3 kelompok organ yang mutlak diperlukan, yaitu alat-alat pernafasan (*trakea*, cabang *bronchi* dan paru-paru), alat penghasil suara (tenggorokan), dan alat-alat yang membentuk bunyi-bunyi tertentu (rongga hidung, kerongkongan dan rongga mulut).

Salah satu metode analisis suara yang telah banyak digunakan adalah *Linear Predictive Coding* (LPC). LPC merupakan dasar pengkodean sinyal ucapan pada *source coding* sistem telekomunikasi. LPC memberikan parameter model yang tepat untuk sinyal suara yaitu menyatakan *features* ataupun ciri-ciri penting dari sinyal suara dalam bentuk koefisien-koefisien LPC (Rabiner, 1993).

Langkah-langkah dari pemrosesan sinyal dengan LPC adalah sebagai berikut:

1. Bingkai pemblok (*Frame Blocking*)
2. Penjendelaan (*Windowing*)
3. Analisis autokorerasi

4. Analisis LPC
5. Konversi parameter LPC menjadi koefisien cepstral
6. Pembobotan Cepstral
7. *Delta cepstrum*

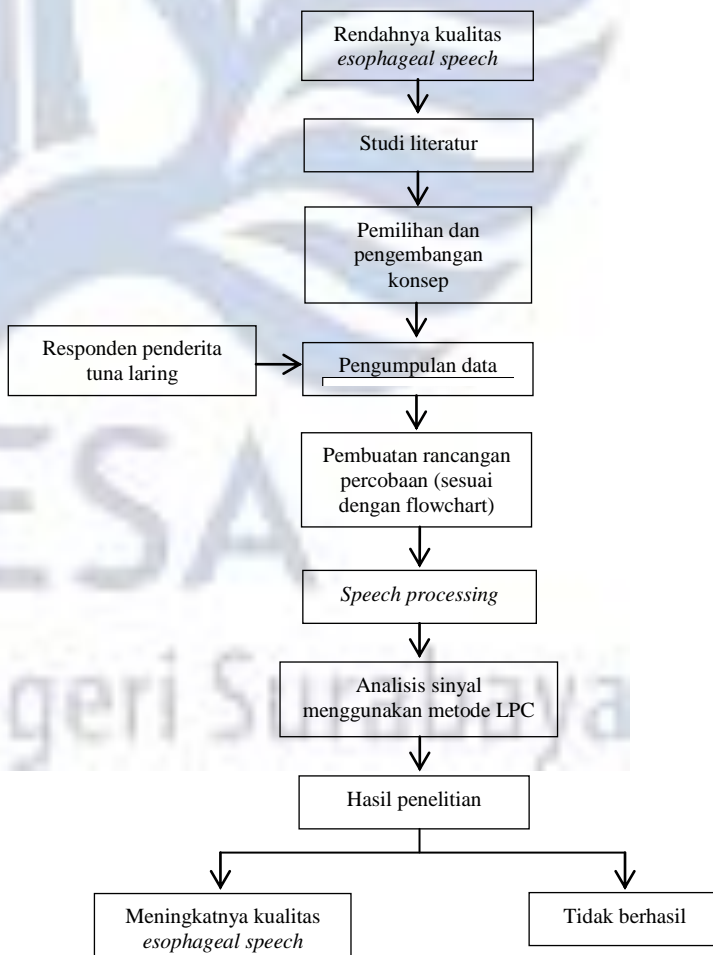
LPC didasarkan pada *theorem Fourier (Fast Fourier Transformation)* yang sering digunakan dalam pengkodean sinyal suara (*speech signal*). Transformasi Fourier ini dilakukan untuk mentransformasikan sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi. Hal ini bertujuan agar sinyal dapat diproses dalam *spectral substraksi*.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui tingkat pengurangan *noise* pada *Esophageal Speech* (ES) menggunakan pemodelan *Linear Predictive Coding* (LPC) dan untuk mengetahui besarnya nilai *Mean Square Error* (MSE) dan nilai *Signal Noise to Ratio* (SNR) pada *normal speech* dan *esophageal speech*.

Berdasarkan beberapa pertimbangan dari hasil penelitian yang telah dilakukan, melalui penelitian ini akan dirancang sebuah *software* untuk meningkatkan kualitas wicara esofagus (*esophageal speech*) menggunakan metode *Linear Predictive Coding* (LPC) dengan bahasa pemrograman Matlab.

METODE

Berikut adalah rancangan desain penelitian yang akan dibuat :



*Implementasi Pemodelan Linear Predictive Coding (LPC) sebagai Filter
Untuk Mereduksi Noise pada Esophageal Speech (ES)*

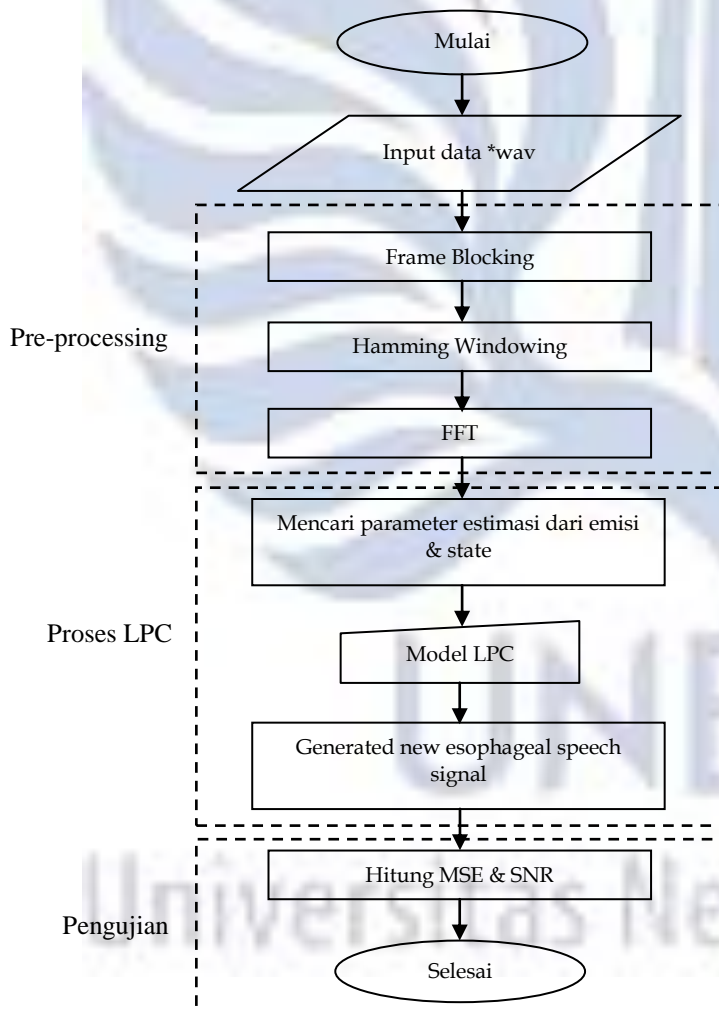
Gambar2. Blok diagram perencanaan penelitian

Penelitian ini akan dilakukan dengan mewawancarai penderita tuna laring yang berada di bawah naungan Perkumpulan Wicara Esophagus (PWE) yang berada di Surabaya. Kemudian beberapa dari mereka akan diminta untuk melafalkan sebuah kalimat, yaitu “Halo, apa kabar?” yang selanjutnya akan direkam dengan menggunakan perangkat berupa *microphone* atau *handphone* dan hasil dari rekaman tersebut akan disimpan untuk kemudian diproses dengan menggunakan *Linear Predictive Coding (LPC)*.

Variabel-variabel yang digunakan yaitu:

- Variabel manipulasi : suara penderita tuna laring (*esophageal speech signal*) dan suara normal
- Variabel kontrol : pemodelan LPC
- Variabel respon : pengurangan *noise* pada *esophageal speech* (dalam hal ini berupa sinyal), besarnya nilai MSE dan nilai SNR.

Berikut adalah *flowchart* untuk program yang akan dibuat:



Gambar3. Diagram alir program simulasi berbasis Matlab

Data yang diperoleh dari penelitian ini akan diolah dengan menggunakan *software* Matlab. Berikut adalah langkah-langkah proses pengolahan sinyal:

1. Bingkai Pemblok (*Frame Blocking*)

Frame blocking merupakan pembagian sinyal suara menjadi beberapa frame dan satu frame terdiri dari beberapa sampel. Pengambilan sampel tersebut tergantung dari tiap detik suara akan disampel dan berapa besar frekuensi samplingnya.

Panjang *frame* yang digunakan sangat mempengaruhi keberhasilan dalam analisa *spektral*. Di satu sisi, ukuran dari *frame* harus sepanjang mungkin untuk dapat menunjukkan *resolusi* frekuensi yang baik. Tetapi di lain sisi, ukuran *frame* juga harus cukup pendek untuk dapat menunjukkan *resolusi* waktu yang baik. Representasi fungsi *frame blocking* sebagai berikut:

$$x(n) = y(M+n) \dots\dots\dots (3.1)$$

dimana,

$x(n)$ = sinyal sesudah di *frame blocking*

y = sinyal hasil *preemphasis*

M = *overlapping frame* sedangkan $n = 1,2,3,\dots$

2. Penjendelaan (*Windowing*)

Setiap frame kemudian di jendela (*proses windowing*) untuk meminimalisir ketidakteraturan sinyal pada awal dan akhir bingkai. Metode penjendelaan yang digunakan adalah jendela Hamming (*Hamming Window*).

Berikut ini adalah representasi fungsi *windowing* terhadap *signal* suara yang diinputkan.

$$w(n) = x(n) \dots\dots\dots (3.2)$$

Rumus *windowing hamming* sebagai berikut :

$$w[n] = 0.54 - 0.46 \cos(2\pi \cdot n / (N-1)) \dots\dots\dots (3.3)$$

dimana,

$n = 1,2,3,\dots$

$\pi = 3.14$

N = panjang frame

Fungsi *windowing hamming* menghasilkan *sidelobe level* yang berkisar -43 dB, selain itu *noise* yang dihasilkan berkisar 1.36 BINS (McAulay, 1986)

3. *Fast Fourier Transformation (FFT)*

Transformasi Fourier ini dilakukan untuk mentransformasikan sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi. Hal ini bertujuan agar sinyal dapat diproses dalam *spectral* substraksi. FFT adalah bentuk khusus dari persamaan integral fourier :

$$H = \int h(t) e^{-j\omega t} dt \dots\dots\dots (3.5)$$

Dengan mengubah *variable-variabel*, waktu (t), frekuensi (ω) ke dalam bentuk diskrit diperoleh transformasi fourier diskrit (DFT) yang persamaannya adalah:

$$H(k\omega_0) = \sum_{n=0}^{N-1} h(nT) e^{-jk\omega_0 nT} \dots\dots\dots (3.6)$$

Disederhanakan dengan $T=1$ sampel waktu N =sample waktu N =sample frekuensi k sehingga menjadi :

$$H(k) = \sum h(n) e^{-jkn} \dots\dots\dots (3.7)$$

Dengan $k : 0, 1, 2, \dots, N-1$

*Implementasi Pemodelan Linear Predictive Coding (LPC) sebagai Filter
Untuk Mereduksi Noise pada Esophageal Speech (ES)*

4. Analisis LPC

Selanjutnya adalah analisa LPC, dimana nilai autokorelasi pada setiap bingkai diubah menjadi satu set parameter LPC yaitu koefisien LPC, koefisien pantulan, dan koefisien perbandingan daerah logaritmis.

5. Parameter Kinerja Pengurangan Noise

Parameter yang digunakan untuk mengetahui kinerja pengurang derau (*noise*) dalam penelitian ini adalah *Signal to Noise Ratio* (SNR) dan *Mean Squared Error* (MSE).

- *Signal to Noise Ratio* (SNR)

SNR adalah perbandingan antara daya sinyal asli terhadap daya sinyal derau. Nilai SNR yang semakin besar menunjukkan bahwa kualitas pengurang *noise* adaptif yang semakin baik. SNR dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$SNR \text{ (dB)} = 10 \log \left[\frac{P1}{|P2 - P1|} \right] \left[\frac{P1}{|P2 - P1|} \right]$$

Dimana:

P1 = dayasinyal asli

P2-P1 = daya noise yang tersisa

P2 = dayasinyaestimasi

- *Mean Square Error* (MSE)

Error terjadi jika adanya perbedaan antara sinyal estimasi dan sinyal asli. Kualitas suatu filter dapat dikatakan baik jika nilai MSE yang dihasilkan mendekati nol. Nilai MSE dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{N=0}^{N-1} [u(n) - e(n)]^2$$

Dimana:

u(n) = sinyal asli

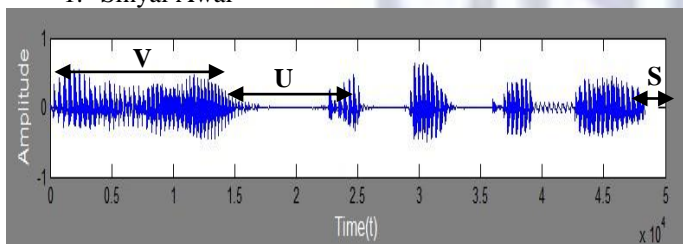
e(n) = sinyal estimasi

N = panjang sampel sinyal

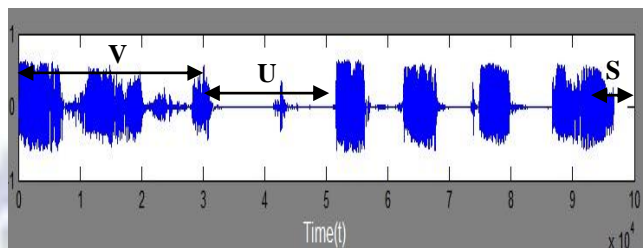
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini berdasarkan pada eksperimen berbasis *software* dalam mengatasi masalah rendahnya kualitas *esophageal speech*. Berikut adalah hasil penelitian yang diperoleh dengan menggunakan *software* berbasis *Linear Predictive Coding* (LPC) sebagai filter guna mereduksi *noise*.

1. Sinyal Awal



Gambar 4.1 Sinyal awal normal speech



Gambar 4.2 Sinyal awal esophageal speech

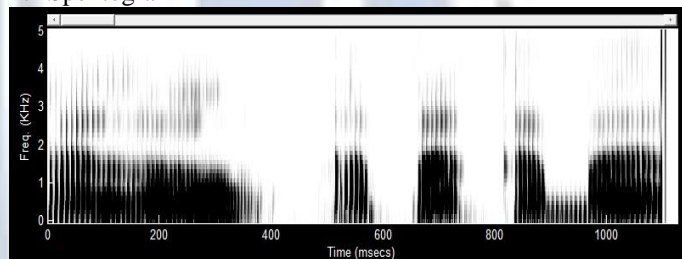
Keterangan:

V : Voiced

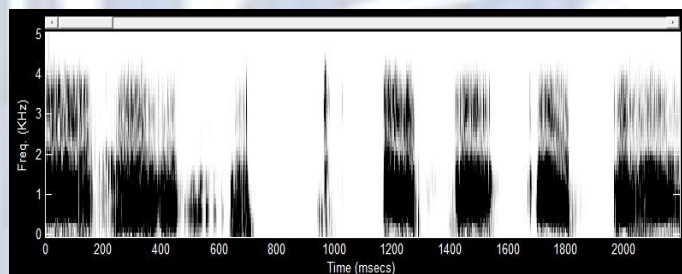
U : Unvoiced

S : Silence

2. Spektrogram



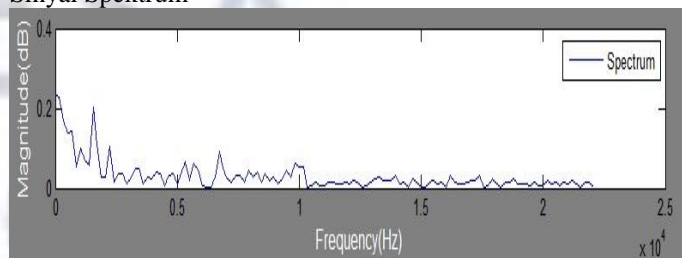
Gambar 4.3 Sinyal spektrogram normal speech



Gambar 4.4 Sinyal spektrogram esophageal speech

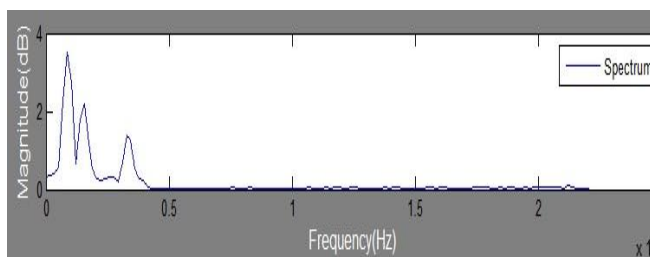
Pada gambar diatas, dapat dilihat sinyal spektrogram dari normal speech dan esophageal speech. Dari sinyal tersebut dapat diketahui tingkat energi dari normal speech dan esophageal speech. Sinyal spektrogram menunjukkan frekuensi sinyal yang berubah terhadap waktu. Waktu ditunjukkan oleh sumbu x sedangkan frekuensi ditunjukkan oleh sumbu y dan untuk tingkat energi ditunjukkan oleh tingkat warna.

3. Sinyal Spektrum



Gambar 4.5 Sinyal spektrum normal speech

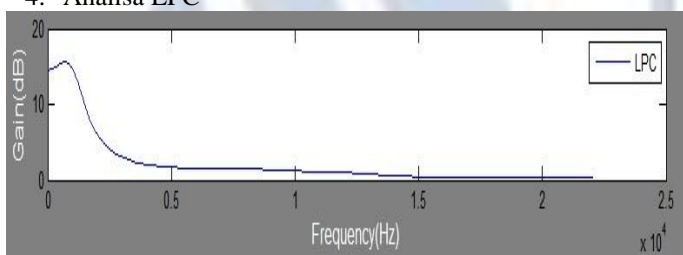
*Implementasi Pemodelan Linear Predictive Coding (LPC) sebagai Filter
Untuk Mereduksi Noise pada Esophageal Speech (ES)*



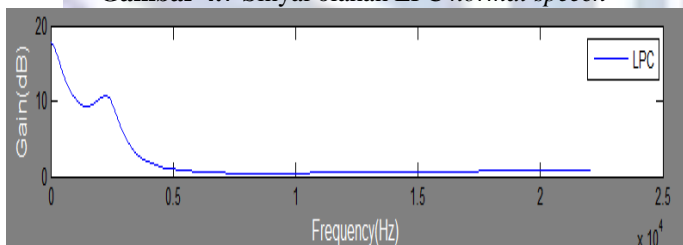
Gambar 4.6 Sinyal spektrum *esophageal speech*

Spektrum merupakan kumpulan dari gelombang sinus, jika dikombinasikan dengan baik dapat menghasilkan sinyal domain waktu. Analisa spektrum disebut juga sebagai analisa domain frekuensi, yaitu proses teknis dekomposisi sinyal yang kompleks menjadi bagian-bagian yang sederhana.

4. Analisa LPC



Gambar 4.7 Sinyal olahan LPC *normal speech*



Gambar 4.8 Sinyal olahan LPC *esophageal speech*

Implementasi LPC pada penelitian ini menghasilkan nilai penguatan (*gain*) pada gelombang sinus dengan satuan desibel (dB). Selain itu didapatkan pula besarnya nilai *Mean Square Error* (MSE) dan *Signal Noise to Ratio* (SNR).

Kondisi sinyal dapat dibagi menjadi tiga, seperti pada gambar 4.1 dan gambar 4.2 diatas, yaitu kondisi *silence* (S) adalah kondisi saat tidak ada ucapan yang diucapkan (diam), kondisi *unvoiced* (U) merupakan kondisi pada saat pita suara tidak melakukan getaran, sehingga suara yang dihasilkan bersifat tidak teratur atau bersifat random dan kondisi *voiced* (V) yang merupakan kondisi pada saat terjadinya getaran pada pita suara. Pada gambar tersebut sudah tercantum keterangan V, U dan S yang dapat mempermudah untuk mengamati perbedaan keadaan-keadaan tersebut. Pada daerah *voiced* (V), menunjukkan pita suarabergetar secara teratur sehingga menggerakkan udara menuju kerongkongan melalui mekanisme akustik hingga keluar mulut dan menghasilkan sinyal suara dalam kata "halo", sedangkan bagian kedua ditandai dengan U, untuk daerah *unvoiced* (U) yang menunjukkan daerah pelemahan pengucapan

artinya bagian tersebut menunjukkan keadaan diam. Derau (*noise*) latar belakang yang ikut terekam ditunjukkan oleh amplitudo kecil yang tampak pada periode tersebut. Setelah itu diikuti oleh *silence* (S) yang menunjukkan keadaan tenang dimana sinyal suara tidak diproduksi. Terlihat jelas bahwa pembagian ucapan menjadi S, U dan V tidak bersifat akurat, artinya ada daerah yang tidak dapat dikelompokkan dengan pasti ke dalam salah satu dari tiga kelompok tersebut. Salah satu penyebabnya adalah perubahan dari keadaan alat ucap manusia yang tidak bersifat diskrit dari satu keadaan ke keadaan lainnya, sehingga bunyi perpindahan dari satu bagian ke bagian lainnya menghasilkan bentuk yang tidak mudah ditentukan. Selain itu, ada bagian-bagian ucapan yang mirip atau bahkan mengandung *silence* didalamnya.

Pada gambar sinyal awal diatas terlihat bahwa sinyal suara pada orang normal lebih rapat daripada sinyal suara ES. Hal ini dikarenakan pada suara orang normal ketika pengucapan kalimat tersebut dapat dilakukan secara teratur tidak seperti pada suara ES yang diucapkan secara putus-putus.

Representasi sinyal dalam domain waktu terhadap amplitudo seperti gambar sebelumnya seringkali tidak cukup untuk mendapatkan besaran-besaran kuantitatif yang efektif untuk melakukan analisis dari suatu ucapan.

Untuk melakukan analisis sinyal ucapan, lebih sering menggunakan spektogram. Spektogram merupakan representasi yang berisi frekuensi sinyal yang berubah terhadap waktu. Dimana waktu ditunjukkan sepanjang sumbu X, frekuensi pada sumbu Y dan jumlah (tingkat) energi sinyal pada waktu tertentu ditunjukkan dengan tingkat warna abu-abu. Jika hanya terdapat sedikit energi, maka pada spektogram muncul putih. Sebaliknya, daerah gelap (hitam) mengindikasikan adanya bidang energi yang disebabkan adanya penutupan lipatan vokal, harmonik atau getaran formant dalam sinyal suara. Dari gambar sinyal di atas terlihat jelas bahwa tingkat energi pada sinyal suara orang normal lebih besar jika dibandingkan dengan tingkat energi pada sinyal suara *esophageal speech*.

Spektrum merupakan kumpulan dari gelombang sinus, jika dikombinasikan dengan baik dapat menghasilkan sinyal domain waktu. Analisa spektrum disebut juga sebagai analisa domain frekuensi, yaitu proses teknis dekomposisi sinyal yang kompleks menjadi bagian-bagian yang sederhana. Sebuah spektrum dapat digambarkan hanya dengan menunjukkan titik akhir setiap garis yang kemudian saling terhubung. Untuk spektrum yang memiliki banyak titik, celah antara garis hampir tidak terlihat dan spektrum akan muncul secara kontinu (berkelanjutan).

Ciri khas spektrum atau *spectral signature* adalah hal-hal khusus atau ciri yang dapat ditarik dari suatu pembacaan spektrum. Pada umumnya yang dapat dilihat adalah puncak-puncak yang muncul dan jarak diantara puncak-puncak tersebut. Ciri khas spektrum dapat digunakan untuk menentukan apakah suatu sistem berada dalam keadaan periodik, semi-periodik atau *chaos*.

Implementasi Pemodelan Linear Predictive Coding (LPC) sebagai Filter Untuk Mereduksi Noise pada Esophageal Speech (ES)

Dari gambar sinyal spektrum normal dan *esophageal speech* di atas dapat dilihat bahwa sinyal spektrum *esophageal speech* pada frekuensi $0,5 \times 10^4$ memiliki nilai *magnitude* yang sangat kecil (hampir mendekati nol) jika dibandingkan dengan sinyal spektrum pada suara normal. Selain itu pada suara normal terlihat bahwa sinyal tersebut lebih periodik daripada sinyal *esophageal speech*. Hal ini ditunjukkan dengan adanya puncak-puncak pada suara normal yang terlihat lebih stabil daripada pada *esophageal speech*.

Linear Predictive Coding (LPC) adalah salah satu teknik analisa suara yang paling kuat, dan salah satu metode yang paling berguna untuk pengkodean suara dengan kualitas yang baik. LPC membuktikan suatu model yang baik untuk pengenalan suara, yaitu memberikan parameter model yang tepat untuk sinyal suara, dapat dilihat pada spektrum koefisien peramalan yang mirip dengan spektrum sinyal aslinya.

Dari hasil pemrosesan menggunakan filter LPC untuk data *normal speech* hanya terdapat satu buah puncak ekstrim formant, sedangkan data *esophageal speech* memiliki dua buah puncak ekstrim formant.

Mean Square Error (MSE) merupakan perbedaan antara sinyal estimasi dan sinyal asli yang menyebabkan terjadinya eror. Kualitas suatu filter dapat dikatakan baik jika MSE yang dihasilkan mendekati nol. Sedangkan *Signal to Noise Ratio* (SNR) adalah perbandingan antara daya sinyal asli terhadap daya sinyal derau. Nilai SNR yang semakin besar menunjukkan bahwa kualitas pengurangan derau yang semakin baik. Sebaliknya jika nilai MSE yang dihasilkan semakin kecil maka semakin baik pula kualitas pengurangan derau pada sinyal suara tersebut.

Berikut adalah hasil MSE dan SNR dari sinyal suara normal dan sinyal *esophageal speech*:

Tabel 1. Tabel nilai MSE dan SN

	MSE	SNR
<i>Normal Speech</i>	17.4142	70.8952
<i>Esophageal Speech</i>	18.4532	75.3853

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa masih ada nilai MSE pada suara normal, hal ini dikarenakan masih adanya derau (*noise*) pada saat proses perekaman. *Noise* adalah suatu sinyal gangguan yang bersifat akustik (suara), elektrik, maupun elektronis yang terdapat dalam suatu sistem dalam bentuk gangguan yang bukan merupakan sinyal yang diinginkan. *Noise* inilah yang menyebabkan adanya nilai MSE pada suara normal. Nilai MSE yang dihasilkan pada *esophageal speech* cukup kecil dan nilai SNR yang dihasilkan cukup besar.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan analisa terhadap hasil yang didapatkan, maka dapat diambil suatu kesimpulan yaitu:

1. *Linear Predictive Coding* (LPC) merupakan pemodelan yang cukup baik untuk mereduksi *noise* pada *esophageal speech*.
2. Semakin kecil nilai *Mean Square Error* (MSE) maka semakin baik pula kualitas filter suara tersebut. Sebaliknya, semakin besar nilai SNR maka semakin baik pula kualitas filter suara tersebut.
3. Besarnya nilai MSE dan SNR pada *esophageal speech* berturut-turut yaitu 18.4532 dan 75.3853. Sedangkan untuk *normal speech* yaitu 17.4142 dan 70.8952.

Saran

1. Tingkat pengurangan *noise* pada waktu perekaman suara yang semakin baik.
2. Perhatikan penulisan *source code*, besar kecilnya huruf harus diperhatikan karena merupakan *case sensitive*.
3. Diperlukan penelitian lanjutan untuk pengembangan pemodelan *Linear Predictive Coding* (LPC) sebagai filter untuk mereduksi *noise* dengan hasil keluaran (*output*) berupa gambar sinyal disertai suara sebelum dan setelah mengalami proses LPC.

DAFTAR PUSTAKA

- L. Rabiner dan B. H. Juang. 1993. *Fundamental Of Speech Recognition*. New Jersey : Prantice-Hall In.
- Lalwani AK : *Current Diagnosis and Tretment in Otolaryngology Head and Neck Surgery* 2nd Edition 2007 : <http://www.accessmedicine.com/>
- Maulida, Nia. 2009. *Pembuatan Program Aplikasi untuk Menampilkan Ciri Sinyal Wicara Menggunakan Matlab*. Laporan Tugas Akhir. Surabaya : Institus Teknologi Sepuluh November.
- Mantilla-Caeiros, A.; Nakano-Miyatake, M.; Perez-Meana, H. A Pattern Recognition Based Esophageal Speech Enhancement System. *Journal of Applied Research and Technology*, Vol. 8, Núm. 1, abril-sin mes, 2010, pp. 56-71 Universidad Nacional Autónoma de México.
- S. W. Smith, "The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing," 2nd ed., California Technical Publishing, 1999.
- RJ. McAulay, T.F. Quatieri, *Speech Analysis / Synthesis Based on a Sinusoidal Representation*, IEEE

*Implementasi Pemodelan Linear Predictive Coding (LPC) sebagai Filter
Untuk Mereduksi Noise pada Esophageal Speech (ES)*

Transactions On Acustics, Speech, and Signal
Processing, Vol ASSP-34, August 1986.

Lestari, Juniar. 2007. Aplikasi Pengenalan Kata Bahasa
Inggris Menggunakan Linear Predictive Coding
(LPC) dan Hidden Markov Model (HMM).
Laporan Tugas Akhir. Jakarta : Universitas
Gunadarma.

Sek, Michael. Tanpa Tahun. *Frequency Analysis Fast
Fourier Transform, Frequency Spectrum*.
Melbourne : Victoria University.

