

## IMPLEMENTASI *HIDDEN MARKOV MODEL* UNTUK MENINGKATKAN *INTELLIGIBILITY* *ESOPHAGEAL SPEECH* BAGI PENDERITA TUNA LARING

**Abdullah Faqih**

Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya  
e-mail: faqih.github@gmail.com

**Endah Rahmawati**

Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya

### Abstrak

Suara manusia yang digunakan sebagai alat komunikasi verbal terjadi melalui proses pengencangan laring. Sehingga akibat pengencangan laring tersebut, laring bergetar. Adanya tekanan udara dari paru-paru kemudian disempumakan dengan getaran udara yang berasal dari laring tersebut melalui bagian-bagian yang terdapat pada rongga mulut seperti lidah, gigi, dan bibir. Namun terkadang ada suatu kasus dimana seseorang tidak bisa lagi berbicara (bersuara) normal. Hal tersebut terjadi karena adanya kerusakan pada pita suara. Banyak faktor yang menyebabkan seseorang mengalami kerusakan pita suara, salah satunya akibat terkena kanker pita suara. Apabila seseorang telah terkena kanker pita suara, dan sel kanker telah 80% menutupi glottis maka tindakan terbaik pada kondisi ini yaitu operasi pengangkatan pita suara (*laryngectomy*). Untuk mengembalikan kemampuan bicara pasien *laryngectomy* salah satunya dengan *esophageal speech*. Akan tetapi, *esophageal speech* tersebut memiliki kualitas suara yang rendah. Pada penelitian ini, penulis menggunakan Hidden Markov Model (HMM) untuk meningkatkan kualitas *esophageal speech* tersebut. Sehingga fokus studi kolokium ini yaitu mengetahui tingkat kualitas *esophageal speech* pada penderita tuna laring dan meningkatkan *intelligibility* sinyal pada *esophageal speech* dengan menggunakan *Hidden Markov Model* (HMM).

**Kata kunci:** *Hidden Markov Model, kejelasan suara esofagus, tuna laring*

### Abstract

The human voice used as a verbal communication tool that occurs through the process of tightening the larynx. So due to the tightening of the larynx, the larynx vibrates. The existence of air pressure from the lungs then it enhanced with the vibration of the air that coming from the larynx through the parts contained in the oral cavity such as tongue, teeth, and lips. But sometimes there is a case where a person cannot speak normally any longer. This happens because of damage to the vocal cords. Many factors can cause a person to damage the vocal cords, one of them due to cancer of the vocal cords. If a person has acquired vocal cord cancer, and the cancer cell has 80% covered the glottis then the best action under these conditions is surgical removal of the vocal cords (*laryngectomy*). To restore speech ability of *laryngectomy* patient one of them is with *esophageal speech*. However, the *esophageal speech* has a low sound quality. In this study, the author uses the Hidden Markov Model (HMM) to improve the quality of *esophageal speech*. So the focus of this colloquium study is to know the level of *esophageal speech* quality in people with *laryngectomy* and improve the *intelligibility* signals in *esophageal speech* by using Hidden Markov Model (HMM).

**Key words:** *Hidden Markov Model, intelligibility esophageal speech, laryngectomy*

### PENDAHULUAN

Wicara merupakan sarana komunikasi lisan manusia untuk berinteraksi dengan orang lain. Organ yang berperan dalam produksi suara meliputi paru-paru, tenggorokan, laring, rongga hidung, dan rongga mulut. Namun jika laring terkena virus /terjadi kecelakaan yang mengakibatkan pengangkatan organ pita suara, maka

orang tersebut akan kehilangan pita suara sehingga tidak dapat berbicara.

Kehilangan pita suara atau disebut juga dengan tuna laring menyebabkan hilangnya kemampuan untuk menghasilkan suara dan berbicara. Penderita tuna laring/*laryngectomee* di dunia lebih dari 600.000 ribu orang (dalam Tompunu, 2012). Kehilangan pita suara

tersebut disebabkan oleh banyak faktor, baik yang diakibatkan oleh adanya virus pada laring ataupun terjadinya kecelakaan yang mengakibatkan pengangkatan organ pita suara (*vocal folds*). Di Indonesia kasus kanker laring tiap tahun meningkat sekitar 30%, meskipun paling banyak terjadi para pria, namun kanker pita suara ini juga bisa menyerang kaum wanita.

Berdasarkan hasil data di Poli Audiologi THT-KL RSU dr Soetomo, dari 2001 hingga 2009 tercatat 100 pasien penderita kanker laring yang telah menjalani operasi pengangkatan pita suara (dalam Tompunu, 2012). Di departemen rehabilitasi medik RS. Cipto Mangunkusumo Jakarta, rata-rata 25 orang pertahun kehilangan pita suara diakibatkan virus pada laring dan 90% diantaranya disebabkan oleh rokok dan alkohol (dalam Tompunu, 2012).

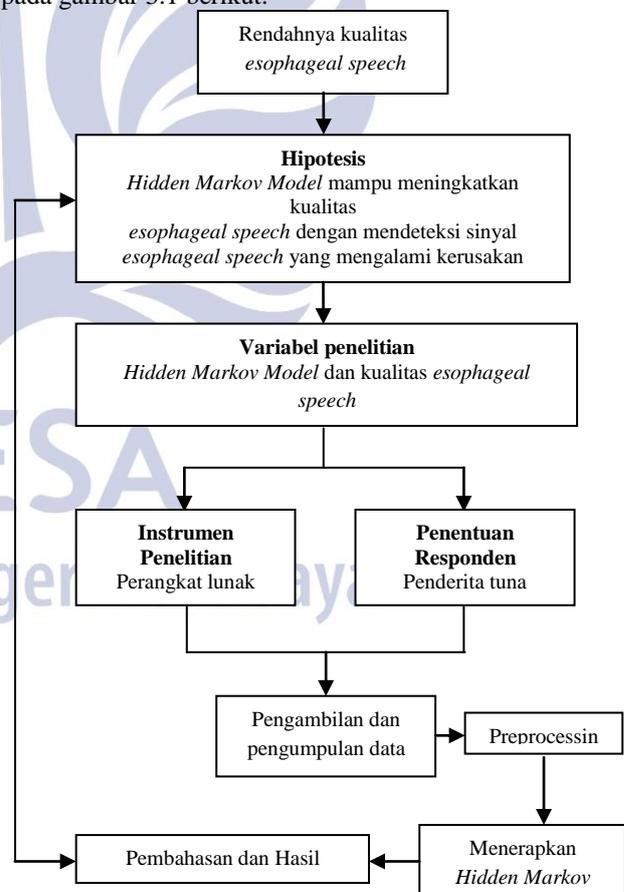
Salah satu usaha yang dapat membantu penderita tuna laring agar dapat berbicara yaitu melalui *esophageal speech* (suara perut). Metode ini mengharuskan individu untuk belajar bagaimana untuk menghirup udara masuk melalui kerongkongan dan kemudian diteruskan ke saluran pencernaan, kemudian udara dikeluarkan kembali secara terkendali mirip orang bersendawa dan keluar pada kerongkongan, sehingga menggetarkan jaringan lunak yang akan diteruskan ke rongga mulut selanjutnya suara tersebut kemudian dibentuk oleh artikulator-artikulator dari rongga mulut menjadi ucapan. Keuntungan *esophageal speech*, tidak memerlukan perangkat mahal dan pemeliharaan perangkat dan suara yang dihasilkan lebih alami.

Kejelasan wicara dengan teknik *esophageal speech* dipengaruhi oleh *noise* yang dihasilkan oleh perangkat atau *noise* yang dihasilkan lingkungan sekitar sehingga kualitas suara kurang jelas. *Noise* yang terpancar menghasilkan kejelasan wicara yang buruk, sehingga diperlukan suatu metode yang dapat meningkatkan *intelligibility* (kejelasan) *esophageal speech* bagi penderita tuna laring. Oleh karena itu diperlukan cara untuk meningkatkan *intelligibility* (kejelasan) *esophageal speech* bagi penderita tuna laring yaitu dengan *Hidden Markov Model*.

Berdasarkan uraian tersebut, dilakukan penelitian dengan judul “Implementasi *Hidden Markov Model* untuk Meningkatkan *Intelligibility Esophageal Speech* bagi Penderita Tuna Laring”. Tujuan penelitian ini adalah Untuk mendeskripsikan kemampuan *Hidden Markov Model* (HMM) sehingga mampu meningkatkan *intelligibility esophageal speech* bagi penderita tuna laring.

## METODE

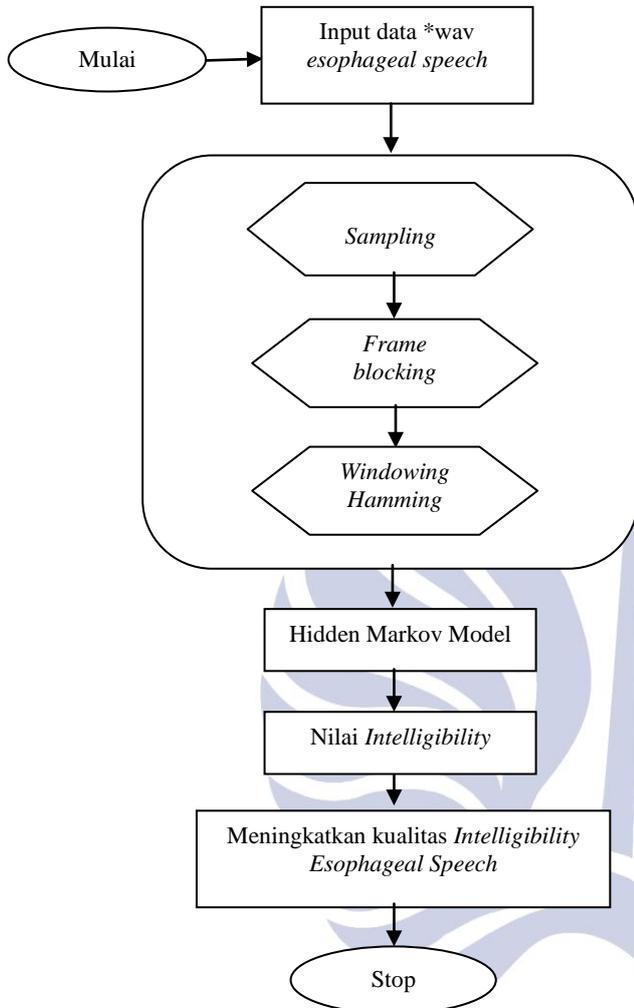
Rancangan penelitian merupakan rencana menyeluruh dari penelitian yang mencakup hal-hal yang akan dilakukan peneliti dari membuat hipotesis dan implikasinya secara operasional sampai pada analisis akhir data yang selanjutnya disimpulkan dan diberikan saran. Suatu desain menyatakan struktur masalah penelitian maupun raencana penelitian yang akan dipakai untuk memperoleh bukti empiris mengenai hubungan-hubungan dalam masalah. Berdasarkan hipotesis dalam rancangan penelitian ini ditentukan variabel-variabel yang dipergunakan dalam penelitian. Ada dua variabel yaitu kualitas *esophageal speech* dan *Hidden Markov Model*. Selanjutnya menentukan instrumen berdasarkan variabel penelitian kemudian menentukan respon. Pengumpulan data dilakukan dengan metode dokumentasi. Pengolahan data diawali dengan *frame blocking*, *windowing hamming*, *Fast Fourier Transform* (FFT), kemudian menerapkan *Hidden Markov Model* (HMM). Hasil analisis kemudian diinterpolasikan dan langkah terakhir disimpulkan serta diberikan saran. Untuk lebih jelasnya rancangan penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut:



**Gambar 3.1**  
Diagram rancangan penelitian

### Pelaksanaan penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan cara mengambil sampel *esophageal speech*. Sampel suara tersebut disimpan dalam bentuk data \*.wav. Data yang dipakai dalam penelitian ini merupakan data primer.

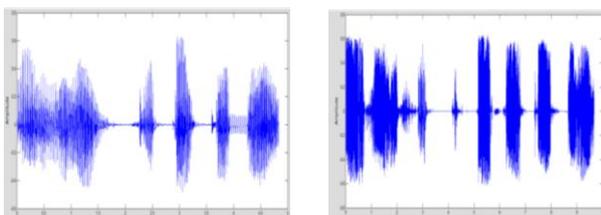


Gambar 3.2. Flowchart Penelitian

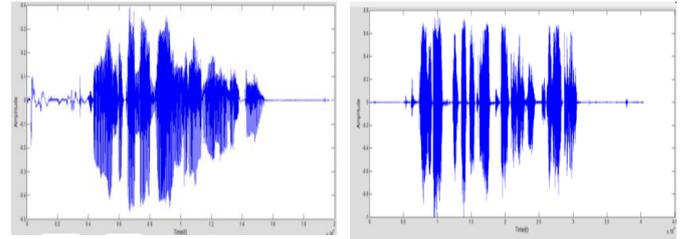
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil gambar sampling suara

Pada pencuplikan *sample* sinyal suara esophagus, kami menggunakan 2 sinyal suara normal & esophagus sebagai bahan perbandingan bentuk *sampling* penelitian, yakni suara normal & esophagus “halo apa kabar” dan “saya suka baju yang berwarna merah tua” di bawah ini :



Gambar 4.1 & 4.2 : *Sample* sinyal suara “halo apa kabar” normal (kiri) & esophagus (kanan)

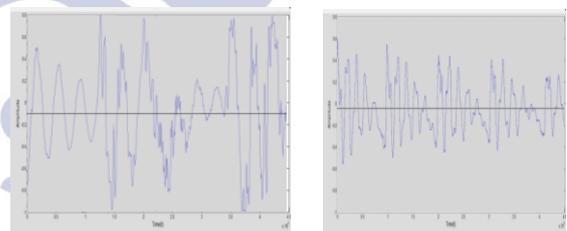


Gambar 4.3 & 4.4 : *Sample* sinyal suara “saya suka baju yang berwarna merah tua” normal (kiri) & esophagus (kanan)

Pada *sample* suara diperoleh *waveform* berwarna biru yang mendeskripsikan sinyal suara direpresentasikan dalam besarnya amplitudo tiap satuan waktu. Dimana skala sumbu X (merekpresentasikan *time*) dan sumbu Y (merekpresentasikan amplitudo) pada Gambar 4.1, gambar 4.2, gambar 4.3 & Gambar 4.4 di atas. *Sample* ini merupakan *waveform* sinyal suara normal & esophagus “halo apa kabar” dan “saya suka baju yang berwarna merah tua” masing masing berdurasi 1 detik, 2 detik, 9 detik dan 8 detik dalam format data.wav.

### 4.2 Hasil Proses *Frame blocking*

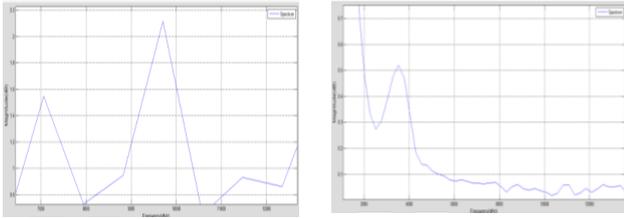
Proses *Frame blocking* suara esophagus, *waveform* berwarna biru sebagai hasil tahapan penelitian untuk melihat dan menganalisa secara lebih jelas bentuk sinyal suara esophagus. *Frame blocking* ini pada presentase sebesar 10% dari panjang *frame* keseluruhan sinyal, secara tampak bentuk gelombang sinyal suara esophagus “halo apa kabar” lebih teratur periodik daripada gelombang sinyal suara esophagus “saya suka baju yang berwarna merah tua”



Gambar 4.5 & 4.6: *frame blocking* suara esophagus “saya suka baju yang berwarna merah tua” (kiri) dan “halo apa kabar”(kanan)

### 4.3 Hasil Proses *Windowing*

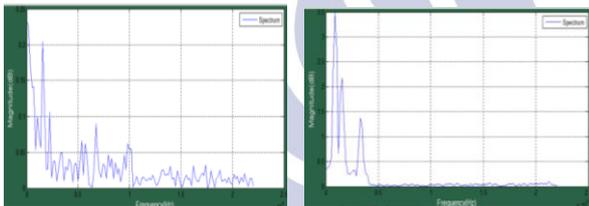
*Windowing* suara esophagus, sebagai hasil tahap penelitian untuk mendapatkan bentuk puncak gelombang yang lebih jelas dari sinyal yang akan jadi bahan penelitian dengan pengecilan *sampling* sebesar  $N=50$ . Terlihat bentuk sinyal suara “saya suka baju yang berwarna merah tua” lebih jelasnya daripada sinyal suara “halo apa kabar”.



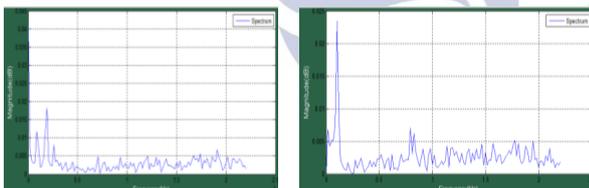
Gambar 4.7 & 4.8 : *Windowing* suara esophagus “saya suka baju yang berwarna merah tua” (kiri) & “halo apa kabar”(kanan)

#### 4.4 Hasil Proses *Fast Fourier Transform*

Transformasi Fourier ini dilakukan untuk mentransformasikan sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi. Hal ini bertujuan agar sinyal dapat diproses dalam spectral substraksi. Output dari FFT berupa *spectrum* yang menunjukkan besarnya *magnitude* tiap satuan frekuensi, dimana sumbu-x merepresentasikan frekuensi dan sumbu-y merepresentasikan *magnitude*, seperti gambar di bawah ini:



Gambar 4.9 & 4.10 : *spectrum* sinyal suara ” halo apa kabar” normal (kiri) & esophagus (kanan)



Gambar 4.11&4.12 : *Spectrum* sinyal suara “saya suka baju yang berwarna merah tua”normal (kiri) & esophagus (kanan)

Dari *spectrum* sinyal suara yang muncul baik pada *spectrum* sinyal suara esophagus “halo apa kabar” dan “saya suka baju yang berwarna merah tua” dibandingkan suara normalnya kita mendapatkan bentuk frekuensi *spectrum* yang lebih sempit. Bisa kita lihat pada *spectrum* sinyal suara yang lebih rapat Hal ini menunjukkan bahwa sinyal suara esophagus memang benar benar sinyal suara yang rusak (Liu H, L. N Manwa. 2007).

Pada *spectrum* sinyal suara esophagus “halo apa kabar” seperti gambar 4.10 di atas, kita mendapatkan nilai frekuensi *samplingnya* mulai dari Frekuensi 0 Hz pada *magnitude* 0.03371 dB hingga Frekuensi 2.200 Hz pada *magnitude* 0.02383dB. Nilai *magnitude* tertinggi yakni 4.757 dB pada frekuensi 882 Hz, kita mendapatkan juga

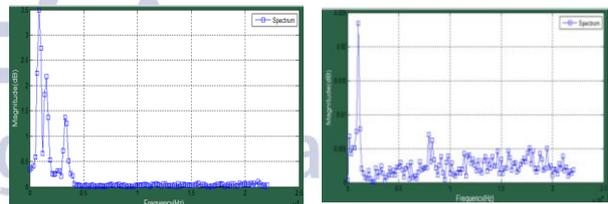
nilai *magnitude* yang semakin mengecil dimulai pada nilai *magnitude* 0.06716 dB pada frekuensi 412 Hz.

Pada *Spectrum* sinyal suara “saya suka baju yang berwarna merah tua” pada gambar 4.12 di atas. Kita mendapatkan nilai Frekuensi *samplingnya* mulai dari frekuensi minimum 0 Hz pada nilai *magnitude* 0.003661 dB hingga Frekuensi maksimum 2200 Hz pada nilai *magnitude* 0.0005478 dB. Kita mendapatkan nilai *magnitude* terbesarnya sebesar 0.0246 dB pada nilai frekuensi 102 Hz, Namun demikian, Agar *spectrum* sinyal suara esophagus dapat diinterpolasi sesuai teori kita harus memunculkan nilai data penyusun *spectrum* sinyal suara esophagus seperti langkah selanjutnya (Kientzle, Tim. 1998).

#### 4.5 Analisis Data Penyusun Sinyal Suara

Bentuk *spectrum* sinyal suara esophagus masih kurang informatif karena kita tidak bisa mengetahui nilai data titik sampel penyusun *spectrum* sinyal suara esophagus tersebut. Sesuai teori agar kualitas suara esophagus meningkat dengan memfilter *spectrum* sinyal suara esophagus melalui metode HMM. Supaya *spectrum* sinyal suara esophagus dapat difilter diperlukan memunculkan data titik penyusun *spectrum* sinyal suara esophagus tersebut. Maka perlu ada program selanjutnya untuk memunculkan data titik sampel penyusun *spectrum* sinyal suara esophagus.

Dari program di atas, maka didapatkan nilai data *sample point* penyusun *spectrum* sinyal suara esophagus yang bisa dilihat persebaran nilai titik data tersebut seperti gambar 4.13 dan gambar 4.14 di bawah. Dimana data titik tersebut akan menjadi data acuan pemfilteran *spectrum* yang akan meningkatkan kualitas sinyal suara esophagus. (Kientzle, Tim. 1998).



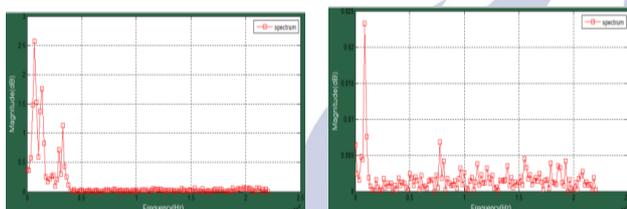
Gambar 4.13 & 4.14: gambar sebaran data *sample point spectrum* sinyal suara esophagus “halo apa kabar”(kiri)& “saya suka baju yang berwarna merah tua”(kanan)

Kotak kecil kecil biru yang muncul pada gambar 4.13 dan gambar 4.14 merupakan data *sample point* penyusun *spectrum* sinyal suara esophagus. Data ini menyebar dari data frekuensi nol hingga frekuensi akhir 2200 Hz. Pada kedua gambar tersebut data *sample point* penyusun sinyal suara esophagus menyebar sepanjang *spectrum* sinyal suara esophagus. Dimana semakin kecil nilai *magnitudenya* maka semakin rapat data titik sampel

penyusunnya yang menghubungkan antar titik satu ke titik yang lain menjadi garis lurus.

#### 4.6 Analisa Data hasil pengolahan HMM

Berdasarkan tabel nilai data *sample point* yang didapat dari program “data *point*” pada sub bab 4.5 sebelumnya, dimana data titik tersebut akan menjadi bahan data acuan yang menghubungkan antar titik satu ke titik yang lain dan dimungkinkan muncul titik-titik perantaranya dari setiap pasang koordinat ke pasang koordinat pada proses penginterpolasian menjadi garis lurus dan menjadi persamaan fungsi linear yang baru. sehingga dapat membentuk hasil interpolasi *spectrum* sinyal suara esophagus dengan nilai data penyusunnya seperti bisa dilihat pada gambar dibawah ini :

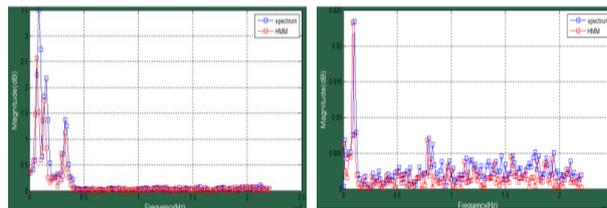


Gambar 4.15 & 4.16 : hasil *intelligibility HMM* dan data penyusun suara “halo apa kabar”(kiri) “saya suka baju yang berwarna merah tua”(kanan)

Kotak kecil kecil merah yang muncul pada Gambar 4.15 & gambar 4.16 merupakan data *point* penyusun *spectrum* sinyal suara esophagus yang telah terinterpolasi. Menyebarkan dari data frekuensi nol hingga frekuensi akhir 2200 Hz. Pada kedua gambar tersebut data *point* penyusun *spectrum* sinyal suara esophagus yang telah terinterpolasi menyebarkan sepanjang *spectrum* sinyal suara esophagus, yang menghubungkan antar titik satu ke titik yang lain menjadi garis lurus.

Berdasarkan tabel 4.3 dan tabel 4.4 dapat diketahui bahwa peningkatan kualitas suara dengan menggunakan metode HMM pada titik titik data sampel *spectrum* sinyal suara esophagus akan memunculkan titik data baru ditengah tengah antar titik sebagai perantara yang menyambungkan antar titik koordinat satu ke titik koordinat yang lain menjadi garis lurus *spectrum* sinyal suara baru yang telah difilterkan sesuai teori yakni Metode HMM adalah memperkirakan lokasi titik ketiga di antara kedua titik yang diberikan untuk pengepasan sebuah fungsi baru yang lebih rapat (Ma, Hu & Loizou, 2009).

Selain bentuk data, peneliti juga dapat menampilkan hasil bentuk data dan gambar perbandingan perubahan antara *spectrum* sinyal suara esophagus awal dengan *spectrum* sinyal suara esophagus hasil pemfilteran HMM sebagai peningkatan kualitas suara esophagus bisa dilihat pada Gambar berikut ini:



Gambar 4.17 & 4.18 : Perbandingan perubahan suara “halo apa kabar”(kiri) “saya suka baju yang berwarna merah tua”(kanan)

Pada gambar 4.17 & gambar 4.18 menunjukkan gambar perubahan sinyal suara, sinyal berwarna biru merepresentasikan sinyal suara esophagus awal, dan sinyal berwarna merah merepresentasikan sinyal suara esophagus hasil pemfilteran HMM. Berdasarkan gambar 4.17 & gambar 4.18 dapat diketahui bahwa Metode Peningkatan *Intelligibility* ini telah menunjukkan bagaimana bentuk perubahan data dan persamaan fungsi penyusunnya serta bentuk *spectrum* sinyal suara esophagus, yakni pemfilteran nilai *unvoice* dan dengan tidak merubah nilai *magnitude* aslinya. Sehingga meningkatkan kualitas suara esophagus.

Hasil peningkatan *Intelligibility* ini cukup akurat untuk meningkatkan kualitas suara esophagus. Namun, demikian sebagai parameter kuantitatif yang menunjukkan nilai keberhasilan/hasil perubahan pemfilteran *spectrum* sinyal suara esophagus dengan pendekatan metode HMM untuk tujuan peningkatan kualitas suara esophagus kita gunakan parameter baku PESQ yang akan kita bahas pada subbab selanjutnya.

#### 4.7 Analisis Hasil nilai FFT dan HMM

Parameter-parameter yang digunakan untuk mengetahui kinerja peningkatan kualitas suara esophagus yang dirancang adalah Fast Fourier Transform (FFT) dan Hidden Markov Model (HMM). Perhitungan tersebut dilakukan dengan melakukan perbandingan nilai FFT asli dengan nilai HMM yang sudah di *intelligibility*. Hasil perhitungan ditunjukkan dalam tabel 4.1 dan tabel 4.2.

Kita mendapatkan hasil perhitungan HMM nilainya semakin menurun pada saat setelah sinyal suara esophagus di *intelligibility* dibandingkan nilai FFT sinyal suara esophagus awal yang masih rusak pada suara “halo apa kabar” sebesar = 1.54382 dan pada suara “saya suka baju yang berwarna merah tua” sebesar = 1.75623 sedangkan untuk hasil perhitungan HMM didapatkan nilai semakin rendah setelah sinyal suara esophagus di *intelligibility* yakni pada suara “halo apa kabar” sebesar = 0.291486 dan pada suara “saya suka baju yang berwarna merah tua” sebesar = 1.51708 didapatkan nilai error yang semakin menurun dan nilai HMM yang semakin menurun pula.

Dimana kualitas suatu metode intelligibility dikatakan semakin baik secara teori adalah semakin menurun nilai HMM yang telah difilter dari nilai FFT awal yang banyak terdapat nois. Hasil nilai FFT dan HMM intelligibility suara esophagus dibandingkan nilai FFT dan HMM suara normal “halo apa kabar” dan “saya suka baju yang berwarna merah tua” hampir mendekati. Hal ini semakin menunjukkan bahwa perubahan peningkatan hasil intelligibility suara esophagus berubah meningkat lebih baik dari suara sebelum proses intelligibility. Seperti bisa dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.1 : Data nilai FFT dan HMM suara normal “halo apa kabar” dan “saya suka baju yang berwarna merah tua”

| No   | FFT      | HMM      |
|--|----------|----------|
| 1 “halo apa kabar”                         | 0.968231 | 0.430189 |
| 2 “saya suka baju yang berwarna merah tua” | 1.02183  | 0.773928 |

Tabel 4.2 : Data nilai FFT dan HMM suara esophagus “halo apa kabar” dan “saya suka baju yang berwarna merah tua”

| No   | FFT     | HMM      |
|--|---------|----------|
| 1 “halo apa kabar”                         | 1.54382 | 0.291486 |
| 2 “saya suka baju yang berwarna merah tua” | 1.75623 | 1.51708  |

Tabel diatas menjelaskan perbandingan keluaran nilai FFT yang belum direduksi noisnya dan keluaran nilai HMM setelah direduksi noisnya. Untuk nilai keluaran noise FFT suara normal “halo apa kabar” yaitu 0.968231 dan nilai keluaran noise HMM yaitu 0.430189. Nilai noise FFT suara normal “saya suka baju yang berwarna merah tua” yaitu 1.02183 dan nilai noise keluaran HMM yaitu 0.773928. dan untuk keluaran nilai noise FFT dari suara esophagus “halo apa kabar” yaitu 1.54382 dan nilai keluaran noise HMM yaitu 0.291486, dan keluaran nilai FFT suara esophagus “saya suka baju yang berwarna merah tua” yaitu 1.75623, dan keluaran noise HMM “saya suka baju yang berwarna merah tua” yaitu 1.51708. dari nilai noisr FFT esophagus hingga keluar nilai noise HMM yaitu mengalami penurunan noise hingga 54.8%.

## PENUTUP

### Simpulan

Dari data dan analisis yang kita bahas dapat disimpulkan bahwa salah satu cara metode untuk meningkatkan kualitas suara esophagus adalah dengan pendekatan metode peningkatkan *intelligibility* dengan cara mereduksi nois suara esophagus “halo apa kabar” dengan nilai FFT yaitu 1.54382 menjadi nilai PESQ yaitu 0.291486, dan suara esophagus “saya suka baju yang

berwarna merah tua” dengan nilai FFT yaitu 1.75623 menjadi nilai PESQ 1.51708. Nilai noise terbukti menurun dari hasil perubahan grafik dan nilai parameter kualitas suaranya awal FFT menjadi nilai PESQ yang mengalami penurunan nois hingga 54.8%, maka kualitas suara meningkat menjadi lebih baik dari data suara esophagus awal yang masih rusak dan sulit didengar walau masih adanya kekurangan dan ketidakakuratan karena jumlah data yang kurang banyak.

### Saran

Saran untuk mencoba mengembangkan menganalisis *intelligibility* dengan jenis yang lain. Disamping itu juga dapat dikembangkan / dilanjutkan hingga bisa digunakan / difungsikan pada program hardware.

### DAFTAR PUSTAKA

- Alfredo Mantilla, Hector-Perez-meana, Jorge Trevino, 2006 Patricia Ortal. *Analisis and Recognition of Esophageal Speech*. IEEE Internasional Symposium on signal processing and Information Technology.
- Ardisasmita, Muhammad Syamsa. 2003. *Sistem Kendali Peralatan dengan Perintah Suara Menggunakan Model Hidden Markov dan Jaringan Saraf Tiruan*. Batan: Pusat Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi.
- Firdaniza, Nurul Gusriani dan Akmal. 2006. *Hidden Markov Model*. Jatinangor: Universitas Padjadjaran.
- Hapsari, Jenny Putri. 2010. *Aplikasi Pengenalan Suara dalam Pengaksesan Sistem Informasi Akademik*. Semarang: Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Hermani B, Hutauruk SM. 2006. *Gangguan Suara Pada Penyanyi: Oto Rhino Laryngologica Indonesiana*.
- Hemani, Bambang. 2007. *Mengenal Tumor Ganas Larynx*. Jakarta: Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia.
- Hidayatno, Achmad dan Sumardi. 2006. *Pengenalan Ucapan Kata Terisolasi dengan Metode Hidden Markov Model (HMM) melalui Ekstraksi Ciri Linear Predictive Coding (LPC)*. Semarang: Teknik Elektro Universitas Diponegoro.
- Hironori Doi, Keigo Nakamura, 2010 *Statistical Approach To Enhancing Esophageal Speech Based On Gaussial Mixture Models*. Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology.

- Jason Pauelsen, Ward. 2010. *A design for intent-to-speak detection by use of a light Sensor placed in the oral cavity*. Netherlands: Hanzehogeschool and UMCG RUG.
- Jemal, A., Murray, T., Samuels, A., Ghafoor, A., Ward, E., & Thun, M. J. (2003). *Cancer statistics 2003. Cancer Journal for Clinicians 2003*, 53(1), pp. 5-26.
- Kenji Matsui1;\*, Noriyo Hara1, Noriko Kobayashi2 and Hajime Hirose2, 2001, *Enhancement of esophageal speech using formant synthesis*. Technology Research Laboratories, Matsushita Electric Ind. Co., Ltd.
- Mantilla-Caeiros, A.2010; Nakano-Miyatake, M.; Perez-Meana, H. *A pattern recognition based esophageal speech enhancement system*. Journal of Applied Research and Technology, Vol. 8.
- Mulyana, Sri, Afiayati, dan Wijaya Adhi Surya. 2008. *Penerapan Hidden Markov Model dalam Clustering Sequence Protein Globin*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Permana, Arief Fajar. 2011. *Implementasi Hidden Markov Model Untuk Aplikasi Pengenalan Ucapan Sebagai Kendali Gerak Robot Mobil*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Prasetyo, Muhammad Eko. 2010. *Teori Dasar Hidden Markov Model*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Rym Haj Ali and Sofia Ben Jebara :*Esophageal Speech Enhancement Using Excitation Source Synthesis and Formant Structure Modification*. Research Unit TECHTRA Ecole Supérieure des Communications de Tunis.
- Sepritahara. 2012. *Sistem Pengenalan Wajah (Face Recognition) Menggunakan Metode Hidden Markov Model (HMM)*. Depok: Universitas Indonesia.
- Sinard, R. J., Netterville, J. L., Garrett, C. G., & Ossoff, R. H. (1996). *Cancer of the larynx*. In E. N. Myers & J. Y. Suen, eds: *Cancer of the head and neck*, (pp. 381-421). Philadelphia: W. B. Saunders Company.
- Singer, M. I., & Blom, E. D. (1980). An endoscopic technique for restoration of voice after total esophageal speech.
- Sofia Ben Jebara, 2008 *Periodic/Aperiodic Decomposition and Wavelet Transform For Noise Reduction in Esophageal Speech*. Research Unit TECHTRA.
- Tompunu, Alan Novi. 2012. *Implementasi Algoritma Least Mean Square Untuk Peningkatan Kualitas Suara Penderita Tuna Laring Berbasis Processor TMS320C6713*. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Wibisono, Y. 2008. *Penggunaan Hidden Markov Model untuk Kompresi Kalimat*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

