

ANALISA DETEKSI JENIS KELAINAN PITA SUARA DENGAN MENGGUNAKAN TRANSFORMASI WAVELET BIORTHOAGONAL

ANALYSIS OF VOCAL FOLD DISORDER DETECTION WITH WAVELET TRANSFORM BIORTHOAGONAL

Firda Nurmalida¹, Suwandi², Hertiana Bethaningtyas³

¹Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

²Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

³Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹fnurmalida@yahoo.com, ²suwandi@telkomuniversity.ac.id, ³hertiana@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Suara manusia merupakan salah satu sarana komunikasi yang sangat efektif. Gangguan fungsi fisiologis sementara maupun permanen mengakibatkan perubahan suara yang seringkali berkaitan dengan kelainan pita suara. Teknik standar yang biasa digunakan oleh tenaga medis untuk mendeteksi kelainan pita suara yaitu dengan memasukkan laringoskopi dan stroboskopi (berupa kabel elastis) yang bersifat invasive ke tenggorokan. Pada tugas akhir yang dilakukan, berfokus pada penelitian deteksi kelainan pita suara dengan metode non-invasive. Teknik yang dipakai yaitu dengan meminta pasien mengucapkan vokal /a/ secara kontinu dalam satu tarikan nafas. Sinyal suara tersebut kemudian dianalisis dengan menggunakan transformasi wavelet biorthogonal dengan tahapan dekomposisi dan rekonstruksi. Dimana hasil transformasi wavelet biorthogonal diperoleh koefisien approximation dan koefisien detail pada penyakit nodul vokal, polip, tumor, paresis, laringitis, dan kista.

Kata kunci : kelainan pita suara, transformasi wavelet biorthogonal, koefisien approximation, koefisien detail

Abstract

The human voice is a highly effective for communication. Malfunctioning of temporary or permanent physiological changes resulting sound often associated of vocal fold disorder. A standard technique used by medical personnel to detect vocal fold disorder by integrating laryngoscopy and stroboskopi (in the form of an elastic cord) that are invasive to the throat. In this study, focusing on the detection of the vocal fold disorder research with non-invasive methods. The technique used is the patient asked to say the vowel /a/ is continuous in one breath. The voice signal is analyzed by using biorthogonal wavelet transform by stages decomposition and reconstruction. The Results on biorthogonal wavelet transform is approximation coefficients and detail coefficients of disease vocal nodule, polyp, tumor, vocal fold paralysis, laryngitis, and cyst.

Keywords : vocal fold disorder, biorthogonal wavelet transform, approximation coefficients, detail coefficients

1. Pendahuluan

Suara manusia merupakan salah satu sarana komunikasi yang sangat efektif. Selain efektif manusia juga lebih *familiar* menggunakan suara dalam berkomunikasi. Gangguan fungsi fisiologis sementara maupun permanen mengakibatkan perubahan suara sehingga sulit untuk berbicara. Perubahan suara seringkali berkaitan dengan kelainan pita suara yang merupakan bagian dari kotak suara (laring).

Teknik standar yang biasa digunakan oleh tenaga medis untuk mendeteksi kelainan pita suara yaitu dengan memasukkan laringoskopi dan stroboskopi (berupa kabel elastis) yang bersifat *invasive* ke tenggorokan. Alat tersebut seringkali menimbulkan ketidaknyamanan pada pasien serta membutuhkan tenaga ahli (dokter)^[1]. Mengingat alat tersebut tidak banyak tersedia, diperlukan adanya metode alternatif untuk membantu tenaga medis dalam pemeriksaan salah satunya dengan metode *non-invasive* yang tidak mengganggu kenyamanan pasien.

Penggunaan metode *non-invasive* dapat dilakukan dengan cara mencari ciri untuk dijadikan tolak ukur yang akurat dalam menentukan tipe penyakit dan tingkat parah-tidaknya kelainan pada pita suara^[2]. Teknik yang dipakai sangat sederhana yaitu dengan meminta pasien mengucapkan vokal (misalnya /a/) secara kontinu dalam satu tarikan nafas (*phonation*)^[3]. Sinyal kontinu tersebut dianalisis dengan membandingkan amplitudo harmonisasi suara orang normal dengan suara orang sakit pita suara dengan menggunakan transformasi *Wavelet* untuk pengolahan sinyal suara. Penelitian yang telah dilakukan yaitu menggunakan transformasi *Wavelet* dengan basis *Wavelet Daubechies*

(db) melalui analisa statistic *Jitter*, *Shimmer*, dan HNR (*Harmonic to Noise Ratio*) untuk menentukan parameter sakit atau tidaknya suara pasien dari sinyal suara pasien yang dianalisis. Sedangkan *Wavelet Daubechies* digunakan untuk menentukan jenis penyakit, tetapi hanya untuk beberapa jenis penyakit saja dan belum ada perhitungan nilai *error*^[4]. Dari hasil penelitian penentuan jenis basis *Wavelet* yang cocok untuk diagnosa penyakit kelainan pita suara, didapat bahwa *Wavelet biorthogonal* adalah basis yang terbaik karena memiliki MSE paling kecil dibandingkan *Wavelet* yang lain, yaitu $2,48 \times 10^{-15}$ ^[2].

Berdasarkan penelitian sebelumnya, penelitian terkait dengan penggunaan metode *non-invasive* untuk penyakit kelainan pita suara dengan basis *Wavelet biorthogonal* belum dilakukan. Maka dari itu, penulis berkeinginan untuk mendeteksi kelainan pita suara dengan cara menganalisis sinyal suara menggunakan transformasi *Wavelet* dengan basis *Wavelet biorthogonal* dan menghitung nilai MSE untuk menunjukkan seberapa besar perbedaan hasil estimasi dengan nilai yang akan diestimasi.

Tujuan dari penelitian ini antara lain dapat melakukan analisis suara menggunakan metode transformasi *Wavelet biorthogonal*, menentukan koefisien *Wavelet biorthogonal* untuk mendeteksi kelainan pita suara, menunjukkan performansi *error Wavelet biorthogonal*, serta penerapan validasi metode transformasi *Wavelet* dengan *gold standard* dokter.

2. Dasar Teori /Material dan Metodologi/perancangan

2.1 Proses Pembentukan Suara Manusia

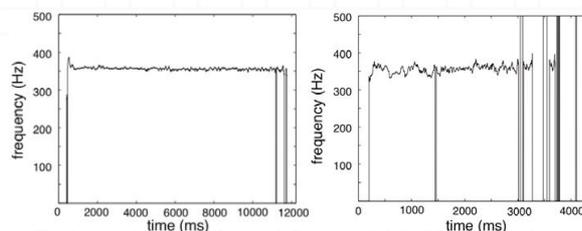
Proses pembentukan suara pada manusia dapat dibagi menjadi tiga bagian proses fisiologis, yaitu: pembentukan aliran udara dari paru-paru, perubahan aliran udara dari paru-paru menjadi suara, baik pada saat bersuara (*voiced*) maupun tidak bersuara (*unvoiced*) yang lebih dikenal dengan istilah *phonation*, dan proses modulasi atau pengaturan suara menjadi bunyi yang spesifik (artikulasi)^[5]. Organ tubuh yang terlibat dalam proses produksi suara meliputi paru-paru, tenggorokan (*trachea*), laring (*larinx*), faring (*pharynx*), rongga hidung (*nasal cavity*), dan rongga mulut (*oral cavity*). Terdapat suatu lintasan vokal (*vocal tract*) yang terdiri dari faring (koneksi antara kerongkongan dan mulut) dan mulut^[7].

Paru-paru mengembang dan mengempis untuk menyedot dan mengeluarkan udara. Udara yang diembuskan oleh paru-paru keluar melewati suatu daerah yang dinamakan daerah *glotal*. Pita suara (*vocal cord*) pada kondisi tersebut akan bervibrasi menghasilkan berbagai jenis gelombang suara. Udara kemudian melewati lorong yang dinamakan faring. Dari faring, udara melewati dua lintasan, yaitu melalui hidung dan melalui rongga mulut. Lidah, gigi, bibir dan hidung bertindak sebagai modulator untuk menghasilkan berbagai bunyi yang berbeda^[8].

Pita suara bergetar pada frekuensi 80-100 Hz pada pria, 180-220 Hz pada wanita, dan sekitar 300 Hz pada anak-anak^[6]. Volume suara dapat disesuaikan dengan meningkatkan tekanan pada pita suara saat bergetar.

2.2 Kelainan Pita Suara

Kelainan pita suara secara fisiologis akan menyebabkan perubahan suara yang disebut dengan suara parau. Suara parau dapat ditandai dengan ciri suara terdengar serak, kasar dengan nada lebih rendah daripada biasanya, suara lemah, hilang suara, suara tegang dan susah keluar, suara terdiri dari beberapa nada, nyeri saat bersuara, dan ketidakmampuan mencapai nada atau intensitas tertentu^[9].



Gambar 1. Frekuensi Dasar Sinyal Suara. (kiri) Normal; (kanan) Sakit^[9]

Karakteristik frekuensi dasar dari sinyal suara normal akan terlihat lebih *smooth* dibandingkan dengan sinyal suara sakit yang memiliki banyak distorsi, seperti terlihat pada Gambar 1. Jenis kelainan pita suara antara lain, nodul vocal, polip, tumor, *vocal cord paralysis*, laringitis, dan kista.

2.3 Harmonics to Noise Ratio (HNR)

Harmonics to Noise Ratio (HNR) digunakan untuk mengetahui tingkat kejelasan dari sinyal suara yang diukur. Dengan cara mencari nilai harmonisasi amplitudo sinyal dalam desibel (dB), nilai yang lebih besar diperoleh HNR maka sinyal yang digunakan lebih harmonis^[16]. Harmonisa suatu sinyal suara yang diperoleh dengan menggunakan frekuensi dasar dan algoritma estimasi formant^{[17][18]}. Berikut persamaan untuk HNR^{[14][15]}:

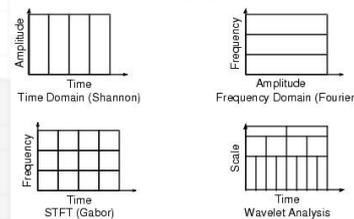
$$HNR = 10 * \log_{10} \frac{AC_v(T)}{AC_v(0) - AC_v(T)} [\text{dB}] \quad (1)$$

AC_v : puncak amplitudo pada posisi indeks yang sesuai dengan periode sinyal
 T : periode [s]

2.4 Analisa Transformasi Wavelet

Transformasi *Wavelet* merupakan suatu metode transformasi untuk menganalisis frekuensi sinyal secara otomatis. Transformasi *Wavelet* akan menguraikan (dekomposisi) suatu sinyal ke dalam bentuk suku-suku *Wavelet* dengan menggunakan fungsi translasi (pergeseran), dan dilatasi (penskalaan). Transformasi *Wavelet* dipandang sebagai bentuk representasi waktu-frekuensi untuk sinyal kontinu terhadap waktu (sinyal analog). Transformasi *Wavelet* merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengolah sinyal non-stasioner yang selalu mengalami perubahan. Transformasi *Wavelet* dapat memberikan representasi waktu dan frekuensi secara bersamaan, sehingga dapat merepresentasikan sinyal yang dimaksud^[11].

Transformasi *Wavelet* memiliki kelebihan untuk merepresentasikan fungsi yang memiliki diskontinuitas dan kenaikan atau penurunan yang tajam, serta secara akurat mendekomposisi dan merekonstruksi sinyal non-stasioner. Transformasi *Wavelet* dapat mengatasi kekurangan dari STFT (*Short Time Fourier Transform*) yang sama-sama dapat menganalisis sinyal non-stasioner. STFT juga merepresentasikan informasi frekuensi dan waktu secara bersamaan hanya saja memberikan resolusi konstan pada semua frekuensi, sedangkan Transformasi *Wavelet* menggunakan teknik multiresolusi yang dapat menganalisis frekuensi berbeda dengan resolusi yang berbeda^[6].



Gambar 2. Ilustrasi perbandingan antara STFT (*Short Time Fourier Transform*) dengan Transformasi *Wavelet*^[8]

Wavelet dapat dibentuk dari satu fungsi $\Psi(x)$ yang dikenal sebagai *mother Wavelet* dalam suatu interval berhingga. *Wavelet* merupakan gelombang singkat (*small wave*) yang energinya terkonsentrasi pada suatu selang waktu untuk memberikan kemampuan analisis transien, ketidakstasioneran, atau fenomena berubah terhadap waktu (*time varying*). Karakteristik dari *Wavelet* antara lain adalah beresolusi singkat, translasi (pergeseran), dan dilatasi (penskalaan)^[7].

Sinyal dengan perubahan tajam akan lebih baik jika dianalisis dengan *Wavelet* yang mempunyai basis tidak teratur daripada dianalisis dengan sinyal sinus. Penggunaan basis terbaik akan memberikan hasil analisis yang lebih baik daripada pemilihan basis secara acak^[9]. *Wavelet* memiliki banyak keluarga, dibedakan berdasarkan pada *filter bank* yang digunakan. Keluarga *Wavelet* terdiri atas *orthogonal Wavelet*, *biorthogonal Wavelet*, *Meyer Wavelet*, *Morlet Wavelet*, *Shanon Wavelet*, dan masih banyak lainnya.

2.5 Transformasi Wavelet Biorthogonal

Wavelet biorthogonal merupakan perluasan dari *Wavelet orthogonal*. Istilah *biorthogonal* merujuk pada adanya dua fungsi basis atau fungsi skala yang *orthogonal* satu sama lain, tetapi masing-masing tidak membentuk set *orthogonal*. Merancang *Wavelet biorthogonal* memiliki derajat kebebasan yang lebih tinggi daripada *Wavelet orthogonal*^[10]. Pada *Wavelet biorthogonal*, *low pass filter* dan *high pass filter* tidak memiliki jarak yang sama. *Low pass filter* selalu simetris, sedangkan *high pass filter* salah satunya dapat simetris atau anti-simetris. Pada transformasi *Wavelet biorthogonal* terdapat dua fungsi skala yang *ortogonal* satu sama lain. Pada *Wavelet* diskrit, kondisi orthogonalitasnya memenuhi persamaan^[9]:

$$\left(\sum_{n \in \mathbb{Z}} h(k) h^*(k + 2m) \right) = 2\delta_{m0} \quad (2)$$

dengan $h(k)$ adalah koefisien-koefisien fungsi skala pertama yang digunakan pada transformasi *Wavelet* dan $h^*(k)$ adalah koefisien-koefisien fungsi skala kedua yang digunakan pada invers transformasi *Wavelet*.

Untuk *perfect reconstruction*, *Wavelet biorthogonal* mempunyai panjang yang genap atau ganjil pada setiap filternya. Kedua analisis tersebut dapat simetris dengan panjang yang ganjil atau salah satu simetris dan lainnya anti-simetris dengan panjang yang genap. Selain itu, kedua analisis dan *synthesis filter* harus selalu merangkap.

3. Pembahasan

3.1 Perekaman Data Suara Pasien

Perekaman data suara pasien dilakukan dengan kerjasama penelitian di Poliklinik Telinga, Hidung, Tenggorokan dan bedah Kepala-Leher (THT-KL) RS. TK.II 03.05.01 Dustira Cimahi. Setelah melakukan prosedur administrasi terkait proses pengambilan data, dilakukan pendekatan kepada pasien dengan penjelasan agar bersedia dilakukan perekaman suara oleh dokter spesialis di poliklinik THT-KL. Bila pasien bersedia, kemudian pasien mengisi *informed-consent* dan ditandatangani oleh pasien atau wali dari pasien tersebut.

Sebelum perekaman dimulai, pasien terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan oleh dokter spesialis dengan menggunakan teknik *gold-standard*. Selanjutnya, pasien dijelaskan mengenai prosedur pengambilan data. Pasien diminta untuk fonasi melafalkan vokal /a/ satu tarikan nafas secara kontinu sesuai kapasitas udara di paru-paru. Perekaman sinyal suara pasien dilakukan dengan frekuensi sampling 44100 Hz, resolusi 16 bit, *mono channel* dan disimpan dalam format *.wav. Identitas pasien hanya diberi nomor sesuai dengan urutan pengisian *informed-consent*.

3.2 Estimasi Frekuensi Dasar

Frekuensi dasar (F_0) merupakan ciri untuk membedakan suara manusia antara satu individu dengan individu lainnya, baik dari segi jenis kelamin ataupun dari segi usia. Besaran fisis frekuensi dasar suara manusia disebut *pitch*. *Pitch* hanya memiliki kualitas secara kualitatif tetapi tidak memiliki besaran. Berbeda dengan F_0 yang memiliki satuan yaitu *Hertz* karena merupakan jumlah gerak osilasi pada getaran pita suara dalam satuan waktu^[5]. Nilai F_0 pada wanita berkisar antara 250-300 Hz, sedangkan pada pria berada disekitar 150 Hz.

F_0 memiliki sifat tidak berubah terhadap waktu karena merupakan parameter dari fungsi fisiologis pita suara yang merupakan frekuensi alami yang dihasilkan dari getaran pita suara, maka dari itu F_0 dipilih sebagai karakteristik ciri utama dalam teknik diagnosa *non-invasive*. Adanya gangguan pada fungsi fisiologis pita suara, mengakibatkan terganggunya F_0 . Gangguan berupa osilasi yang terjadi pada estimasi frekuensi dasar dapat berupa *pitch-halving* dan *pitch-doubling*. Semakin parah gangguan fungsi fisiologis pita suara, maka semakin besar perbedaan nilai pada F_0 akibat gangguan getaran pita suara. Dari deteksi ciri berdasarkan distorsi F_0 , menunjukkan kesulitan untuk membedakan antara suara normal dengan suara penderita penyakit kelainan pita suara. Maka dari itu, diperlukan deteksi ciri tambahan untuk mendeteksi penyakit kelainan pita suara yaitu dengan cara menentukan parameter nilai HNR agar mengetahui harmonisasi amplitudo sinyal (dB) dan tingkat kejelasan dari sinyal suara yang diukur. Parameter nilai HNR dari suara normal dan suara penderita penyakit kelainan pita suara dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Nilai HNR Suara Normal dan Suara Penderita Penyakit Kelainan Pita Suara

Data Suara	HNR (dB)
Normal	20,13 - 30,65
Nodul Vokal	9,13 - 13,15
Paresis	4,95 - 8,14
Kista	6,76 - 13,45
Laringitis	12,65 - 16,51
Tumor	8,16 - 10,38
Polip	7,49 - 10,31

Dari hasil perhitungan parameter Nilai HNR, untuk meningkatkan ketepatan dalam mengidentifikasi, selanjutnya dilakukan dekomposisi dan rekonstruksi untuk mencari nilai koefisien pada setiap penyakit dari data suara dengan menggunakan pengolahan sinyal transformasi wavelet biorthogonal.

3.3 Dekomposisi Wavelet

Proses dekomposisi wavelet bertujuan untuk membagi sinyal suara menjadi koefisien *approximation* dan koefisien *detail*. Koefisien *approximation* merupakan sinyal informasi pada frekuensi rendah. Sedangkan koefisien *Detail* merupakan sinyal informasi pada frekuensi tinggi yang identik dengan *noise*. *Mother wavelet* yang digunakan dalam proses dekomposisi wavelet adalah *biorthogonal 2.4* pada level 3. Proses selanjutnya adalah rekonstruksi wavelet yang bertujuan untuk menggabungkan sinyal suara koefisien *approximation* dan koefisien *detail* menjadi sinyal asal dengan *noise* lebih sedikit dibandingkan sinyal asal. Pada proses ini didapatkan nilai koefisien *approximation* dan koefisien *detail* untuk data suara normal dan sakit, seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Koefisien *Approximation* dan Koefisien *Detail* Untuk Data Suara Normal dan Sakit

Data Suara	Koefisien <i>Approximation</i>	Koefisien <i>Detail</i>
Normal	-0,73333 - 1,01538	-1,48553 -1,39725
Nodul	-0,65736 - 0,54810	-0,52563 - 0,50119
Paresis	-0,43913 - 0,63690	-0,60914 - 0,65120
Kista	-0,52222 - 0,85497	-0,63385 - 0,74535
Laringitis	-1,65881 - 1,07978	-1,38428 - 1,27140
Tumor	-0,64837 - 0,85287	-0,88662 - 1,04908
Polip	-0,83444 - 1,03522	-0,96342 - 1,10379

3.4 Analisis Transformasi Wavelet Biorthogonal

Pada penelitian ini dilakukan proses pengolahan sinyal dengan menggunakan Transformasi wavelet biorthogonal 2.4 yang memiliki nilai MSE lebih kecil yaitu $2,48 \times 10^{-15}$ dibanding dengan wavelet *Daubechies* yang memiliki nilai MSE $3,2 \times 10^{-13}$ [2]. Data yang digunakan yaitu 18 data nodul vokal, 5 data paresis, 12 data kista, 32 data laringitis, 19 data tumor, dan 24 data polip. Dalam plotting 2D, sumbu mendatar adalah panjang data berupa durasi fonasi dikalikan dengan frekuensi sampling sebesar 8000 Hz dan sumbu tegak adalah skala frekuensi dari koefisien wavelet Biorthogonal, sedangkan intensitas warna adalah persentase amplitudo (*strength*) koefisien dari sinyal suara. Interpretasi dalam bentuk 3D dengan sumbu x adalah skala panjang data, sumbu y merupakan penskalaan frekuensi, dan sumbu z adalah persentase amplitudo (*strength*) koefisien dari sinyal suara.



Gambar 3. Plotting Transformasi Wavelet Biorthogonal dari Suara Normal

Pada Gambar 3 menunjukkan bahwa sebaran koefisien wavelet biorthogonal adalah merata (homogen) dibidang skala-waktu untuk suara normal selama waktu fonasi sepanjang data 6×10^4 pada skala frekuensi sepanjang 33 hingga 100 dengan persentase energi maksimum koefisien wavelet sebesar 1×10^{-6} . Sedangkan pada penderita laringitis selama waktu fonasi sepanjang data 8×10^4 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, terlihat hampir sama dengan suara normal tetapi intensitas tinggi di awal fonasi merata dari skala 41 hingga 65 dengan persentase energi maksimum koefisien wavelet sebesar 1×10^{-4} .



Gambar 4. Plotting Transformasi Wavelet Biorthogonal dari Penderita Laringitis

Pada Gambar 5 merupakan plotting transformasi biorthogonal dari penderita nodul vokal. Kelainan ini terjadi akibat penderita sering memaksakan fonasi dengan suara keras dan dilakukan berulang-ulang. Pada penderita nodul vokal dengan waktu fonasi sepanjang data 5×10^6 pada skala frekuensi sepanjang 9 hingga 49 dengan persentase energi maksimum koefisien wavelet sebesar 2×10^{-4} terjadi perbedaan yang signifikan pada daerah skala-waktu setelah 0,5 detik dari awal fonasi. Intensitas skala terlihat lebih jelas, ini berarti bahwa pada penderita nodul vokal intensitas keparauan juga lebih jelas.



Gambar 5. Plotting Transformasi Wavelet Biorthogonal dari Penderita Nodul Vokal

Pada penderita kista terlihat pada Gambar 6, selama waktu fonasi sepanjang data 12×10^4 pada skala frekuensi sepanjang 45 hingga 81 memiliki persentase energi maksimum koefisien wavelet sebesar 0.6×10^{-4} . Intensitas skala terlihat lebih jelas dan berarti tingkat keparauan juga lebih jelas dibandingkan dengan nodul vokal.



Gambar 6. Plotting Transformasi Wavelet Biorthogonal dari Penderita Kista

Dari Gambar 7 penderita paresis dengan waktu fonasi sepanjang data 7.5×10^4 pada skala frekuensi sepanjang 10 hingga 27 memiliki persentase energi maksimum koefisien wavelet sebesar 0.3×10^{-3} .



Gambar 7. Plotting Transformasi Wavelet Biorthogonal dari Penderita Paresis

Gambar 8 merupakan plotting transformasi wavelet biorthogonal dari penderita tumor. Pada awal fonasi terlihat banyak distorsi dengan waktu fonasi sepanjang data 4.5×10^4 pada skala frekuensi sepanjang 9 hingga 41 memiliki persentase energi maksimum koefisien wavelet sebesar 2.9×10^{-4} .



Gambar 8. Plotting Transformasi Wavelet Biorthogonal dari Penderita Tumor

Pada Gambar 9 merupakan plotting transformasi biorthogonal dari penderita polip dengan waktu fonasi sepanjang data 3.5×10^4 pada skala frekuensi sepanjang 9 hingga 35 memiliki persentase energi maksimum koefisien wavelet sebesar 0.4×10^{-3} . Dapat dilihat bahwa intensitas dari koefisien biorthogonal pada penderita polip sudah terjadi distorsi pada awal fonasi dan terlihat lokalisasi dari intensitas skala wavelet pada bidang skala-waktu.



Gambar 9. Plotting Transformasi Wavelet Biorthogonal dari Penderita Polip

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka kesimpulan yang diperoleh adalah sebagai berikut :

1. Diperoleh teknik untuk melakukan analisis deteksi kelainan pita suara dengan menggunakan metode *non-invasive* melalui analisa frekuensi dasar dengan parameter nilai HNR pada suara normal sebesar 20,13 - 30,65 dB, untuk penderita nodul vokal 9,13 - 13,15 dB, untuk penderita paresis 4,95 - 8,14 dB, untuk penderita kista 6,76 - 13,45 dB, untuk penderita laringitis 12,65 - 16,51 dB, untuk penderita tumor 8,16 - 10,38 dB, dan untuk penderita polip 7,49 - 10,31 dB.
2. Diperoleh analisa *scalogram* untuk mendeteksi kelainan pita suara menggunakan metode transformasi wavelet biorthogonal dengan nilai *error* $1,98 \times 10^{-18}$.

3. Diperoleh rentang koefisien *Approximation* dan koefisien *Detail* untuk setiap jenis kelainan pita suara. Suara normal memiliki rentang koefisien *Approximation* -0,73333 - 1,01538 dan koefisien *Detail* -1,48553 -1,39725, untuk penderita nodul vokal memiliki rentang koefisien *Approximation* -0,65736 - 0,54810 dan koefisien *Detail* -0,52563 - 0,50119, untuk penderita paresis memiliki rentang koefisien *Approximation* -0,43913 - 0,63690 dan koefisien *Detail* -0,60914 - 0,65120, untuk penderita kista memiliki rentang koefisien *Approximation* -0,52222 - 0,85497 dan koefisien *Detail* -0,63385 - 0,74535, untuk penderita laringitis memiliki rentang koefisien *Approximation* -1,65881 - 1,07978 dan koefisien *Detail* -1,38428 - 1,27140, untuk penderita tumor memiliki rentang koefisien *Approximation* -0,64837 - 0,85287 dan koefisien *Detail* -0,88662 - 1,04908, dan untuk penderita polip memiliki rentang koefisien *Approximation* -0,83444 - 1,03522 dan koefisien *Detail* -0,96342 - 1,10379.

Daftar Pustaka:

- [1] Soedjak, S., Analisa Suara Penyakit pada Pita Suara, Disertasi Doktor, Fakultas Kedokteran, Universitas Airlangga, 1997.
- [2] Arifianto, D., Noveriyanto, B., "Best Basis Selection for Vocal Fold Diagnosis," ICMNS, 2010.
- [3] Koike, Yasuo, "Vowel Amplitude Modulation in Patients with Laryngeal Diseases," J. Acoust. Soc. Amer., vol 45, no.4, pp. 839-844, 1969.
- [4] Arifianto D., B., D., K., Hertiana, Sekartedjo, "Voice Analysis in Determining Vocal Cord Disorder Severity Using Wavelet Transform," Departement of Engineering Physics, Sepuluh November Institute of Technology, 2009.
- [5] Furui, S., 2001, Digital Speech Processing, Synthesis and Recognition, Marcel Dekker Inc., New York.
- [6] Martini, F.H., Nath, J.L., Bartholomew, E.F., "Fundamentals of Anatomy & Physiology," San Fransisco: Pearson Education, Inc., 2012.
- [7] Rabiner, L., Juang, B.H., 1993, Fundamental of Speech Recognition, Prentice-Hall Inc., New Jersey.
- [8] Picone, J., 1996, Fundamentals Of Speech Recognition, A Short Course, Institute for Signal and Information Processing Department of Electrical and Computer Engineering Mississippi State University, Mississippi.
- [9] Arifinto D., Sekartedjo, "Speech Disorder Analysis using Time-Varying Autoregressive," Proc. IEEE-MWSCAS 2004, pp.III191-III194, July 2004, Hiroshima, Japan.
- [10] Burrus, C.S. Gopinath R.A., dan Guo, H., "Introduction to Wavelets and Wavelet Transforms A Primer," International Edition, Prentice-Hall International, Inc., 1998.
- [11] Fugal, Lee, D., "Conceptual Wavelets in Digital Signal Processing," 2009.
- [12] Mallat, Stephane, "A Wavelet Tour of Signal Processing," Second Edition, Academic Press 84 Theobald's Road, London WC1X 8RR, United Kingdom, 1999.
- [13] Bangun, Arya, A.P., Deteksi Melodi pada Gitar Menggunakan Transformasi Wavelet, Institut Teknologi Telkom, 2010.
- [14] Teixeira, J. P.; Ferreira, D.; Carneiro, S.. Análise acústica vocal - determinação do *Jitter* e *Shimmer* para diagnóstico de patologias da fala. In 6º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia. Maputo, Moçambique, 2011.
- [15] Rathore Sanjay, dkk., "Noise Reduction of Speech Signal using Wavelet Transform with Modified Universal Threshold," International Journal of Computer Applications, 2011.
- [16] Ghanbari, Yasser, dan Rezza, Mohammad, "A New Approach for Speech Enhancement Based on the Adaptive Thresholding of The Wavelet Packets," Faculty of Electrical Engineering, University of Mazandaran Iran, 2005.
- [17] Moran, R. J., Reilly, R. B., Chazal, P., Lacy, P. D., "Telephony-Based Voice Pathology Assessment Using Automated Speech Analysis," IEEE Transaction on Biomedical Engineering, vol. 53, no.3, March 2006.
- [18] Wackerly, Dennis; Scheaffer, William, "Mathematical Statistics with Applications (7 ed.)," Belmont, CA, USA: Thomson Higher Education. ISBN 0-495-38508-5, 2008.
- [19] Hermani, Bambang; Soerjadi Kartosoediro; Syahrial M. Hutauruk. 2007. Bab X Disfonia dalam: Buku Ajar Ilmu Kesehatan Telinga Hidung Tenggorok, Kepala dan Leher. Edisi Keenam. Jakarta: Balai Penerbit FK UI.
- [20] Do MN., "Digital Signal Processing Mini Project. An Automatic recognition System," Audio Visual Communication Laboratory, Swiss Federal Institute of Technology, Switzerland, 1994.