

Aplikasi Pengolahan Sinyal Digital pada Analisis dan Pengenalan Suara Jantung dan Paru untuk Diagnosis Penyakit Jantung dan Paru Secara Otomatis

Achmad Rizal¹⁾, Vera Suryani²⁾

1) Jurusan Teknik Elektro, STT Telkom Bandung,

2) Jurusan Teknik Informatika, STT Telkom Bandung

email: arz@stt Telkom.ac.id

Abstrak : Stetoskop merupakan peralatan medis yang cukup sederhana untuk menentukan kondisi pasien. Obyek pengamatan menggunakan stetoskop biasanya suara jantung atau suara paru. Teknik ini biasa disebut dengan auskultasi. Masalah yang timbul pada auskultasi paru atau jantung menggunakan stetoskop adalah noise lingkungan, kepekaan telinga, frekuensi dan amplitudo yang rendah, dan pola suara yang relatif sama. Suara jantung dan paru memberikan gambaran tentang kondisi jantung dan paru seseorang. Pola suara yang terjadi biasanya dibandingkan dengan pola suara pada kondisi normal. Apabila terdapat perbedaan atau terdapat suara tambahan maka biasanya terjadi kelainan pada jantung atau paru. Pola suara abnormal ini bermacam-macam dan kadang kala mempunyai pola yang sulit dibedakan secara manual. Untuk itu diperlukan suatu teknik pengolahan sinyal untuk membedakan suara yang satu dengan yang lain. Berbagai teknik pengolahan sinyal digital (PSD) telah diterapkan orang untuk mengenali tiap pola suara ini. Beberapa bekerja dalam domain waktu dan sebagian bekerja dalam domain frekuensi. Pada makalah ini dibahas aplikasi teknik pengolahan sinyal digital untuk analisis dan pengenalan suara jantung dan paru dalam rangka diagnosis penyakit jantung dan paru. Teknik-teknik yang bermacam-macam akan dibandingkan untuk melihat seberapa tingkat keberhasilannya dalam mengenali suara jantung dan paru secara otomatis.

Kata Kunci: auskultasi, pengolahan sinyal digital, suara jantung, suara paru

1. PENDAHULUAN

Penggunaan stetoskop sebagai alat bantu diagnosis cenderung sangat subyektif. Hasil diagnosis dokter sangat tergantung dari kepekaan telinga dan pengalaman yang bersangkutan. Salah satu kelemahan lain yang terjadi, data suara yang menjadi pedoman itu tidak pernah tersimpan sehingga tidak bisa didengarkan bersama-sama dengan dokter lain sebagai bahan diskusi.

Stetoskop elektronik dapat menjadi solusi dari masalah di atas. Suara jantung atau paru yang diperiksa dapat

direkam, didengarkan kembali, atau bila perlu diolah untuk didengarkan bagian frekuensi tertentu dari data tersebut. Selain itu pengolahan sinyal yang dilakukan dapat digunakan untuk menghilangkan noise-noise yang terjadi sehingga data suara yang didapat akan menjadi lebih jelas. Diperlukan teknik tambahan untuk mengenali suara hasil auskultasi. Teknik ini terdiri proses akuisisi suara jantung atau paru, *preprocessing*, ekstraksi ciri, dan *classifier*. Dengan menggunakan teknik pengolahan sinyal digital untuk mengenali suara jantung dan paru maka subjektifitas yang terjadi dapat dikurangi. Akan tetapi pada prinsipnya perangkat lunak yang dibuat tidak dapat menghilangkan peran dokter dalam menegakkan diagnosis.

2. DASAR TEORI

Berikut akan dijelaskan teori tentang suara jantung dan suara paru-paru.

2.1 Teori suara paru-paru

Sistem respirasi dapat dipisahkan menjadi 2 saluran (saluran atas dan bawah)[1]. Saluran pernafasan atas terdiri dari hidung, paranasal sinus, pharinx, dan larinx. Fungsi dari saluran ini adalah untuk menyaring, menghangatkan, dan melembabkan udara sebelum mencapai unit pertukaran gas. Saluran bawah pernafasan dimulai dari trachea, bronchus utama kanan yang terbagi menjadi 3 lobar atau bagian paru (atas, tengah dan bawah), bronchus kiri yang terbagi menjadi 2 lobar, bronchioli, dan berakhir di alveoli, dimana terjadi pertukaran gas.

Suara paru-paru terjadi karena adanya turbulensi udara saat udara memasuki saluran pernafasan selama proses pernafasan[2]. Turbulensi ini terjadi karena udara mengalir dari saluran udara yang lebih lebar ke saluran udara yang lebih sempit atau sebaliknya. Pada saat inspirasi, udara mengalir dari saluran udara yang lebih luas ke saluran udara yang lebih sempit sehingga turbulensi yang terjadi lebih kuat sedangkan pada saat ekspirasi terjadi sebaliknya. Ini menyebabkan pada saat inspirasi suara yang terdengar lebih keras. Secara umum suara paru-paru dibagi menjadi 3, suara normal, suara abnormal dan suara tambahan. Suara-

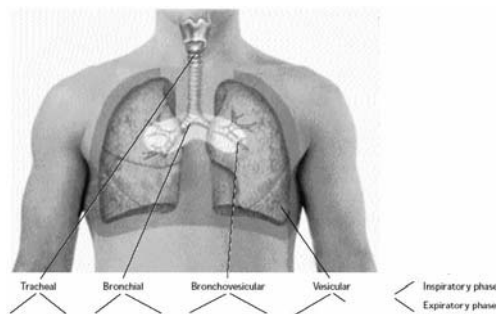
suara tersebut dibagi dalam beberapa kategori berdasar *pitch*, intensitas, lokasi dan rasio inspirasi dan ekspirasi [2].

Suara paru-paru normal terbagi atas 4 kelompok, tracheal, bronchial, bronchovesikular dan vesikular. Suara pernafasan *tracheal* sangat nyaring dan *pitch*-nya relatif tinggi. Inspirasi dan ekspirasi relatif sama panjang. Suara ini dapat didengar di atas trakea yang agak jarang dilakukan pada pemeriksaan rutin.

Suara pernafasan vesikular merupakan suara pernafasan normal yang paling umum dan terdengar hampir di semua permukaan paru-paru. Suaranya lembut dan *pitch* rendah. Suara inspirasi lebih panjang dibanding suara ekspirasi. Suara vesikular bisa terdengar lebih kasar dan sebagian terdengar lebih panjang apabila ada ventilasi yang cepat dan dalam (misalnya setelah berolah raga) atau pada anak-anak yang memiliki dinding dada yang lebih tipis. Suara vesikular juga bisa lebih lembut jika pasien lemah, tua, gemuk atau sangat berotot.

Suara bronchial sangat nyaring, *pitch* tinggi, dan suara terdengar dekat dengan stetoskop. Terdapat gap antara fasa inspirasi dan ekspirasi pada pernafasan, dan suara ekspirasi terdengar lebih lama dibanding suara inspirasi. Jika suara ini terdengar dimana-mana kecuali di manubrium, hal tersebut biasanya mengindikasikan terdapat daerah konsolidasi yang biasanya berisi udara tetapi berisi air. Terdapat suara pernafasan yang tingkat intensitas dan *pitch*-nya sedang. Inspirasi dan ekspirasinya sama panjang. Suara ini terdengar sangat baik di ICS ke-1 dan ke-2 dan di antara skapula. Dengan suara bronchi, jika terdengar di mana-mana selain di batang utama bronchus, biasanya mengindikasikan daerah konsolidasi [2].

Selain itu masih terdapat suara paru-paru tambahan yang muncul karena adanya kelainan pada paru-paru yang disebabkan oleh penyakit. Misalnya pleural rub, crackle, wheezing, grunting, dan ronchi[8]. Suara tersebut masih harus dianalisis dengan hasil



Gambar 1. Lokasi suara paru-paru normal [1]

pemeriksaan lain misalnya palpasi, untuk memutuskan diagnosis penyakit paru-paru.

2.2 Teori suara jantung

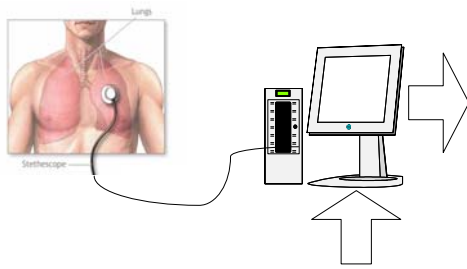
Suara jantung yang didengar oleh dokter dengan menggunakan stetoskop sebenarnya terjadi pada saat penutupan katup jantung. Kejadian ini dapat menimbulkan anggapan yang keliru bahwa suara jantung tersebut disebabkan oleh penutupan daun katup tersebut, tetapi sebenarnya disebabkan oleh efek arus pusar di dalam darah akibat penutupan katup tersebut.

Detak jantung menghasilkan dua suara yang berbeda yang dapat didengarkan pada stetoskop, yang sering dinyatakan dengan *lub-dub*. Suara *lub* disebabkan oleh penutupan katup *tricuspid* dan *mitral* (*atrioventrikular*) yang memungkinkan aliran darah dari *atria* (serambi jantung) ke *ventricle* (bilik jantung) dan mencegah aliran balik. Umumnya hal ini disebut suara jantung pertama (S1), yang terjadi hampir bersamaan dengan timbulnya kompleks QRS dari elektrokardiogram dan terjadi sebelum *systole* (periode jantung berkontraksi). Suara *dub* disebut suara jantung kedua (S2) dan disebabkan oleh penutupan katup *semilunar* (*aortic* dan *pulmonary*) yang membebaskan darah ke sistem sirkulasi paru-paru dan sistemik. Katup ini tertutup pada akhir *systole* dan sebelum katup atrioventrikular membuka kembali. Suara S2 ini terjadi hampir bersamaan dengan akhir gelombang T dari elektrokardiogram. Suara jantung ketiga (S3) sesuai dengan berhentinya pengisian atrioventrikular, sedangkan suara jantung keempat (S4) memiliki korelasi dengan kontraksi atrial. Suara S4 ini memiliki amplitude yang sangat rendah dan komponen frekuensi rendah. [3]

Jantung abnormal memperdengarkan suara tambahan yang disebut murmur. Murmur disebabkan oleh pembukaan katup yang tidak sempurna atau *stenotic* (yang memaksa darah melewati bukaan sempit), atau oleh *regurgitasi* yang disebabkan oleh penutupan katup yang tidak sempurna dan mengakibatkan aliran balik darah. Dalam masing-masing kasus suara yang timbul adalah akibat aliran darah dengan kecepatan tinggi yang melewati bukaan sempit. Penyebab lain terjadinya *murmur* adalah adanya kebocoran *septum* yang memisahkan jantung bagian kiri dan bagian kanan sehingga darah mengalir dari ventrikel kiri ke ventrikel kanan sehingga menyimpangkan sirkulasi sistemik.

3. SISTEM DAN TEKNIK

Secara sederhana sistem pengenalan suara jantung dan paru dapat dilihat pada gambar 2. Perangkat terdiri dari bagian perangkat keras berupa stetoskop elektronik dan perangkat lunak yang ter-*install* di PC. Berikut akan dijelaskan tiap-tiap teknik yang dapat diaplikasikan.



Gambar 2. Gambar sistem

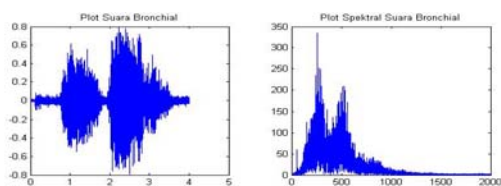
3.1. Akuisisi Data

Akuisisi data secara langsung menggunakan stetoskop elektronik. Stetoskop elektronik dapat dibuat sendiri yang terdiri dari bagian membran atau biasa disebut *chest piece*, selang/tubing, mic kondensor, dan jack penghubung ke *soundcard*[13]. Stetoskop biasa dipotong pada *ear piece*-nya kemudian dipasang mic kondensor sebagai transducer untuk mengubah suara menjadi getaran listrik. Selanjutnya dipasang jack yang sesuai dengan *soundcard*. Bagian perangkat keras ini tidak menggunakan penguat audio karena penguatan akan dilakukan di dalam perangkat lunak.

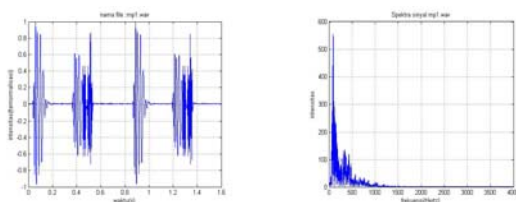


Gambar 3. Gambar perangkat

Karena tidak semua data dapat diambil secara riil, beberapa penelitian menggunakan suara dari data base



Gambar 4. Plot sinyal spektral suara bronchial



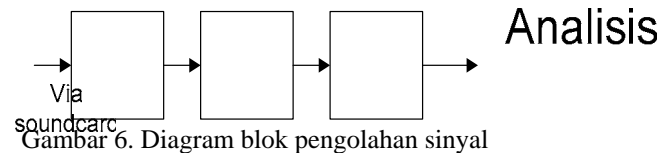
Gambar 5. Plot sinyal dan spektral suara jantung abnormal (*mitral regurgitation*)

sebagai sumber pengamatan. Database yang sudah

tersedia diantaranya data base suara paru yang dibuat oleh Marsburg University, Jerman dan database lain yang telah ada [2][7][8]. Pada gambar 4 dan 5 ditampilkan contoh suara paru dan jantung.

3.2 Pengolahan Sinyal

Secara umum teknik pengolahan sinyal yang dilakukan dapat dilihat pada gambar 6. Proses yang dilakukan biasanya terdiri dari proses normalisasi, ekstraksi ciri dan proses klasifikasi. Bagian-bagian dari proses ini akan dijelaskan pada subbab-subbab berikut.



Gambar 6. Diagram blok pengolahan sinyal

3.3 Preprocessing

Preprocessing yang dilakukan biasanya berupa penyeragaman pada data agar parameter-parameter data menjadi sama. Beberapa parameter ini misalnya frekuensi sampling, resolusi rekaman, lama rekaman, format data. Proses normalisasi juga dapat berupa normalisasi amplitudo dan penghilangan komponen DC dari data. Penghilangan komponen DC dapat dilakukan oleh persamaan (1).

$$S(i) = S(i) - \frac{\sum_{i=1}^N S(i)}{N} \quad (1)$$

Sedangkan normalisasi amplitudo dilakukan dengan persamaan berikut :

$$S(i) = \frac{S(i)}{S_{max}} \quad (2)$$

3.4 Visualisasi Data

Visualisasi suara jantung dan paru dapat dilakukan dengan berbagai teknik. Visualisasi ini selain untuk menampilkan suara jantung atau paru juga untuk melihat secara kasar kandungan informasinya. Sinyal ini dapat divisualisasikan dalam domain waktu (plot sinyal), domain frekuensi (FFT) atau domain waktu dan frekuensi sekaligus (STFT/spektrogram).

Spektral suara rekaman dihitung menggunakan FFT dengan persamaan berikut[4]:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-j(2\pi/N)kn} \quad k=0,1,\dots,N-1 \quad (3)$$

Dengan $x(n)$ adalah deretan sinyal input, dan N adalah panjang sinyal input. Kelemahan dari FFT adalah tidak dapat dibedakan antara sinyal stasioner dengan nonstasioner, sedangkan suara jantung dan paru merupakan sinyal stasioner.

Sedangkan spektrogram dihitung dengan persamaan berikut[5]:

$$STFT(t_n, f_k) = \sum_{l=t_n D - \frac{T}{2}}^{t_n D + \frac{T}{2} - 1} w(t_n D - l) x(l) e^{-j2\pi f_k l / T} \quad (4)$$

dengan $x(l)$ merupakan sampel sinyal, $w(t_n D - l)$ merupakan *time domain window* dimana lokasinya merupakan perkalian dari sejumlah D sampel. Kelebihan dari STFT adalah dapat diketahui komponen frekuensi dari sinyal setiap saat. Resolusi dari STFT tergantung dari *window* yang digunakan dan berapa persen *overlap* antar *window*.

3.5 Ekstraksi Ciri

Ekstraksi ciri dapat dilakukan pada domain frekuensi atau domain waktu. Tiap pemilihan ini tergantung dari asumsi yang digunakan. Berikut akan dijelaskan beberapa teknik dalam domain waktu dan domain frekuensi.

1. Analisis dalam domain waktu.

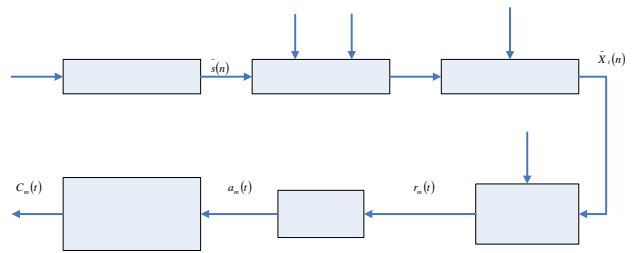
Pada analisis domain waktu, operasi dilakukan pada tiap sampel data. Sebagai contoh dengan menggunakan teknik RMS (*root mean square*), dimana data suara dipotong-potong menjadi frame-frame yang kemudian dihitung energinya seperti pada persamaan 5.



Gambar 7. Proses pembentukan frame dalam proses RMS [9]

$$X_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \int_{n_0}^{n_0 + N - 1} x(n)^2 dn} \quad (5)$$

Teknik berikutnya yang dapat digunakan mengadopsi teknik pada *speech processing* yaitu LPC (*Linear Prediction Code*). Sampel data dilakukan *framing* dan *windowing*, selanjutnya dibuat suatu filter model untuk mewakili tiap frame yang diwakili dengan sebelumnya dilakukan analisis autokorelasi. Koefisien ini selanjutnya dikonversi menjadi koefisien cepstral.



Gambar 8. Diagram Alir Proses LPC[12]

Kelemahan pengolahan dalam domain waktu adalah masalah panjang data yang tidak seragam. Dengan dilakukan *frame blocking*, maka jumlah sampel data harus sama, padahal rate pernafasan atau *heart rate* sumber belum tentu sama. Sekalipun hal ini dapat diatasi dengan *resampling*, tetapi dikhawatirkan proses ini dapat menghilangkan komponen informasi yang terkandung dalam data.

2. Analisis dalam domain frekuensi

Pengamatan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa suara paru atau suara jantung untuk tiap kasus terdapat perbedaan spektral. Suara jantung atau paru normal biasanya mempunyai frekuensi di bawah 600Hz. Tetapi pada suara *gurgling* pada suara paru atau murmur pada suara jantung kadang muncul komponen frekuensi sampai 1200Hz. Salah satu metode paling mudah untuk membagi suara jantung atau suara paru menjadi subband-subband yang diinginkan adalah menggunakan metode wavelet. Sebagai contoh, dengan frekuensi sampling 8000Hz, dengan skenario seperti pada gambar 8, pita frekuensi suara dipecah menjadi masing-masing 125 Hz untuk wilayah di bawah 1000 Hz, 250 Hz untuk wilayah 1000-2000 Hz, 500 Hz untuk wilayah 2000-3000 Hz. Sedangkan untuk daerah 3000-4000 Hz tidak dibagi karena biasanya suara jantung dan paru tidak menempati frekuensi sampai 4000Hz[10][11]. Tiap subband ini dihitung energinya untuk mendapatkan fitur dari sinyal. Penghitungan energi bisa menggunakan periodogram biasa, energi Shanon, Blackman-Tukey dan lain lain[6].

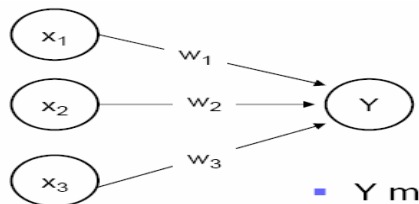
Sinyal Asli											
A1						D1					
AA2				DA2		AD2				DD2	
AA3		DA3		AD3		DD3		AA3		DA3	
AAAA	DAAA	ADAA	DDAA	AAAD	DAAD	ADAD	DDAD	AAAA	DAAD	ADAD	DDAD
AAAAS	DAAS	ADAS	DDAS	AAAS	DAAS	ADAS	DDAS	AAAAS	DAAS	ADAS	DDAS
0	250	500	750	1000 Hz	1500 Hz	2000 Hz	2500 Hz	3000 Hz	4000 Hz		

Gambar 8. Skenario dekomposisi [10][11]

Pembagian subband ini sebenarnya dapat dilakukan dengan filter digital biasa, IIR ataupun FIR, tetapi hal ini membutuhkan perancangan filter yang relatif rumit karena harus memperhatikan orde filter, frekuensi cut-off, dan *overlap* antar subband. Selain itu subband yang digunakan bisa berbeda, tetapi yang paling penting adalah tiap subband yang diambil dapat membedakan pola suara yang satu dengan yang lain.

3.6 Classifier

Setelah ekstraksi ciri dilakukan, langkah berikutnya adalah mengenali ciri yang diambil dari tiap data. Beberapa *classifier* dapat digunakan, baik yang bersifat linear maupun non linear. Yang bersifat linear misalnya menggunakan *crosscorelation* terhadap data referensi atau menggunakan perhitungan statistic biasa. Beberapa metode non linear yang biasa digunakan misalnya dengan jaringan syaraf tiruan, *fuzzy logic*, algoritma genetik dan lain-lain. Untuk fitur yang benar-benar terpisah antara kelas data yang satu dengan yang lain maka *classifier* yang linear mungkin sudah cukup memadai. Untuk kasus dimana fitur yang didapat antara kelas data yang satu dengan lain tidak terlalu mencolok perbedaannya maka *classifier* seperti jaringan syaraf tiruan akan lebih tepat untuk diterapkan. Struktur sederhana dari JST dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Struktur dasar JST

Pada gambar 9, Y menerima input neuron X1, X2 dan X3 dengan bobot penghubung w_1, w_2 dan w_3 . Apabila impuls neuron dijumlahkan maka akan didapat persamaan :

$$net = w_1x_1 + w_2x_2 + w_3x_3 \quad (6)$$

Sedangkan fungsi aktivasi diterima Y sebesar :

$$\text{Fungsi aktivasi } Y = f(\text{net}) \quad (7)$$

Banyak struktur dan teknik pembelajaran pada JST, masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan. Aplikasi JST pada pengenalan suara hasil auskultasi tentunya akan menjadi peluang penelitian tersendiri.

4. BEBERAPA HASIL PENELITIAN

Beberapa penelitian tentang pengenalan suara jantung atau suara paru telah dilakukan. Karena keterbatasan data, maka data semua diambil dari internet dan diasumsikan bahwa data tersebut dapat dipercaya. Perbandingan dari beberapa penelitian yang telah dilaksanakan dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan beberapa hasil penelitian yang telah dilakukan [7][9][10][11][12]

Data	Kelas	Teknik	Classifier	Akurasi
Jantung	4	LPC	JST BP	80%
Jantung	15	RMS	ART2	95%
Jantung	4	DPW	ART2	90,97%
Jantung	6	Shannon	JST BP	60%
Paru	4	DPW	Xkorelasi	60%
Paru	4	LPC	JST BP	100%
Paru	28	DPW	ART2	86%

Data yang dimaksud pada tabel 1. adalah data suara jantung atau data suara paru. Kelas yaitu kelas data masukan masing-masing. Teknik yang dimaksud adalah teknik ekstraksi fitur yang digunakan, yaitu LPC, RMS (*root mean square*), DPW (dekomposisi paket wavelet) dan perhitungan energi Shanon. Classifier yang digunakan antara lain : JST BP (*backpropagation*), ART2 (*Adaptive Resonance Theory2*) dan kroskorelasi.

Teknik ekstraksi fitur yang diterapkan bekerja pada domain waktu maupun domain frekuensi. Dari tabel 1. didapat bahwa suara jantung maupun suara paru dapat dibedakan baik dalam domain waktu maupun domain frekuensi. Dari tabel tersebut tidak dapat ditentukan secara jelas metode terbaik yang digunakan karena data uji antara penelitian yang satu dengan lain tidak sama. Namun dari data terlihat bahwa teknik RMS untuk suara jantung mampu memberikan tingkat akurasi sampai 95% untuk 15 kelas data. Sedangkan metode dekomposisi paket wavelet untuk suara paru memberikan tingkat akurasi sampai 86% untuk 28 kelas data. Dengan perbaikan sistem tentunya tingkat akurasi yang didapat dapat lebih ditingkatkan.

Pada prinsipnya masih terbuka peluang lain untuk melakukan penelitian dalam bidang ini. Peluang terbuka dalam hal metode yang digunakan, atau data yang digunakan. Suara yang dihasilkan oleh tubuh tidak hanya disebabkan oleh jantung dan paru saja, tetapi beberapa kasus yang lain dapat menjadi peluang untuk penelitian di masa datang.

5. KESIMPULAN

Pengenalan suara jantung dan suara paru dengan menggunakan teknik pengolahan sinyal digital memberikan hasil yang menjanjikan untuk membantu tenaga medis dalam melaksanakan tugasnya. Dengan

perbaikan sistem diharapkan akurasi yang didapat bias ditingkatkan. Pengolahan sinyal digital untuk sinyal-sinyal hasil auskultasi masih menyisakan ruang yang cukup besar untuk penelitian. Selain masalah teknik yang masih banyak yang belum diteliti dalam pengolahan sinyal hasil auskultasi, juga masih terdapat auskultasi lain yang belum diteliti. Dalam pemaparan ini baru auskultasi paru dan jantung yang telah diteliti. Auskultasi lambung untuk *gastroenterology* masih terbuka lebar untuk diteliti. Tentunya penelitian tentang sinyal biomedika ini memerlukan kerjasama dengan pihak yang terkait misalnya dokter atau rumah sakit.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Kaelin, Mark, "Auscultation: Listening to Determine Dysfunction". *Professionalization of Exercise Physiology online, An international electronic journal for exercise physiologists*. ISSN 1099-5862, Vol 4 No 8 August, 2001
- [2] <http://sprojects.mmi.mcgill.ca/mvs/mvsteth.htm>
- [3] Widodo, Th. Sri. "Analisis Spektral Isyarat Suara Jantung". Seminar On Electrical Engineering (SEE2004). hal 109-114, Agustus 2004, Universitas Achmad Dahlan, Yogyakarta, Indonesia
- [4] Ludeman, L C, " *Fundamental of Digital Signal Processing*", John Wiley and Sons, 1987
- [5] Pourazd, M T, Z.K Mousavi, Thomas, "Heart Sound Cancellation from Lung Sound Recording Using Adaptive Threshold and 2D Interpolation in Time-Frequency Domain", *Proc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. (EMBS)*, pp 2586-89, Sept. 2003
- [6] Salivahanan, S., Vallavaraj, A., Gnanapriya, C., " *Digital Signal Processing*", McGraw-Hill, Singapore, 2001
- [7] Rizal, A., " *Simulator Pengolahan Sinyal Biomedika*" Laporan Internship, Teknik Biomedika ITB, 2006
- [8] www.rale.ca
- [9] Saptaji, Jun, J Haryatno, A Rizal, " *Deteksi Kelainan Jantung Melalui Phonocardiogram (PCG) Menggunakan Metode Jaringan Saraf Tiruan Adaptive Resonance Theory 2*", Proceeding Tekno Insentif 2006, Juli 2006, Kopwil IV, Bandung
- [10] Rizal, A., T R Mengko, AB Suksmono, " *Lung Sound Recognition Using Wavelet Packet Decomposition and ART2 (Adaptive Resonance Theory2) Neural Network*", BME Day 2006, International Conference on Biomedical Engineering, ITB, November 2006, ITB Bandung.
- [11] Rizal, A., Vera Suryani " *Pengenalan Suara Jantung Menggunakan Dekomposisi Paket Wavelet dan Jaringan Syaraf Tiruan ART2 (Adaptive Resonance Theory2)*", Proceeding EECCIS2006, Mei 2006, Universitas Brawijaya, Malang
- [12] Rizal, A., Lisa Anggraeni, Vera Suryani " *Pengenalan Suara Paru-Paru Normal Menggunakan LPC dan Jaringan Syaraf Tiruan Back-Propagation*", Proceeding EECCIS2006, Mei 2006, Universitas Brawijaya, Malang
- [13] Rizal, A., S Soegijoko, " *Stetoskop Elektronik Sederhana Berbasis PC dengan Fasilitas Pengolahan Sinyal Digital untuk Auskultasi Jantung dan Paru*", Seminar Instrumentasi Berbasis Fisika 2006, Agustus 2006, ITB, Bandung.