

REKAYASA STETOSKOP ELEKTRONIK DENGAN KEMAMPUAN ANALISIS BUNYI JANTUNG

F Dalu Setiaji¹, Daniel Santoso², Deddy Susilo³

^{1,2,3} Prodi Teknik Elektro, UKSW, Jl. Diponegoro 52 Salatiga 50711, telp/fax 0298-311884
E-mail: fdsetiaji@yahoo.com, danvicz@yahoo.com, deddy.susilo@gmail.com

ABSTRAK

Stetoskop akustik lazim dipakai untuk mendeteksi bunyi jantung dan paru-paru agar kondisi kesehatan organ penting tersebut diketahui. Namun karena intensitas bunyi yang dideteksi relatif lemah, dan adanya gangguan suara lingkungan, penggunaan stetoskop ini menjadi sulit, khususnya untuk mendeteksi adanya kelainan bunyi jantung seperti misalnya murmur. Maka pada makalah ini dirancang suatu stetoskop elektronik dengan memodifikasi sebuah stetoskop akustik, sehingga dapat memperjelas bunyi jantung dan paru-paru, serta merekamnya. Stetoskop elektronik dibuat dengan menempatkan sebuah mikropon kondenser di dalam pipa berongga stetoskop akustik untuk mengkonversi bunyi yang ditangkap oleh chestpiece menjadi sinyal listrik. Selanjutnya sinyal tersebut akan diperkuat, lalu dilewatkan pada filter jantung atau filter paru-paru untuk memperjelas bunyi yang lebih ingin didengar di headphone. Dilakukan pula segmentasi dengan terlebih dulu mengubah sinyal jantung, S_1 dan S_2 , menjadi pulsa-pulsa digital, sehingga durasi waktu fase sistolik dan diastolik dapat diukur oleh mikrokontroler. Mikrokontroler juga menghitung nilai BPM (Beat Per Minute) berdasarkan hasil segmentasi, dan menyimpulkan apakah nilai BPM tersebut normal atau tidak. Hasil yang dicapai adalah stetoskop elektronik mandiri (stand alone) yang mampu memperdengarkan dan memperjelas bunyi jantung dan paru-paru. Pada saat pengukuran, chestpiece ditempelkan pada dada atau leher subyek, dan dipertahankan tidak berubah posisi sekitar 15 detik. Stetoskop elektronik ini juga dapat menampilkan nilai BPM dan menunjukkan apakah nilainya normal, atau mengindikasikan kelainan bradycardia atau tachycardia. Jika dibandingkan dengan alat ukur buatan pabrik, yaitu OMRON tipe SEM-1, maka pengukuran BPM dapat dilakukan dua kali lebih cepat dengan ketelitian yang setara. Sinyal listrik yang menunjukkan bentuk bunyi jantung dan paru juga dapat dilihat di layar komputer dengan mempergunakan perangkat lunak Oscilloscope serta dapat direkam dalam bentuk berkas wav.

Kata kunci: Stetoskop, Elektronik, Segmentasi, BPM

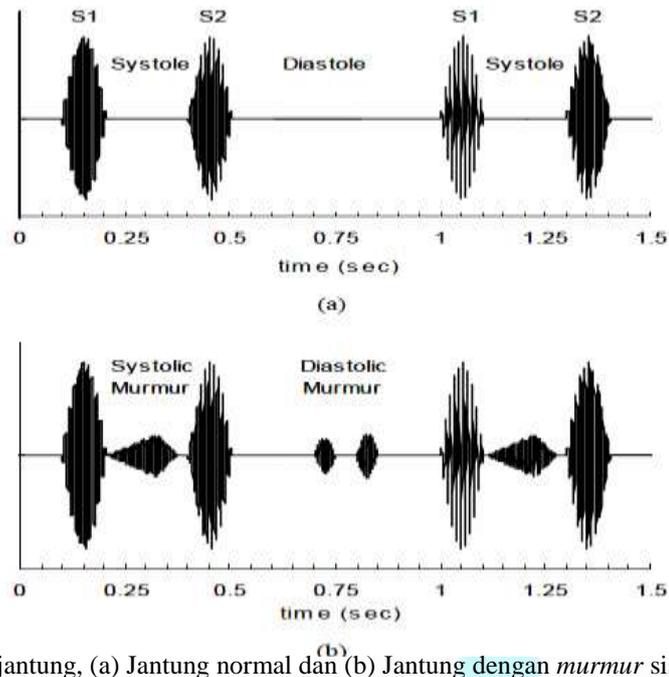
1. PENDAHULUAN

1.1 Bunyi Jantung dan Paru-Paru

Jantung adalah salah satu organ tubuh manusia terpenting. Jantung terbagi atas empat ruangan, bagian atas disebut serambi (*atria*) sedangkan bagian bawah disebut bilik (*ventricle*). Otot-otot jantung memompa darah dari satu ruangan ke ruangan lainnya. Setiap kali terjadi proses pemompaan, katup jantung membuka sehingga darah dapat mengalir ke ruangan yang dituju. Selanjutnya katup menutup untuk mencegah aliran balik darah.

Dalam kondisi normal, pada dasarnya terdapat dua macam bunyi jantung, yaitu S_1 dan S_2 seperti ditunjukkan Gambar 1.a. Bunyi S_1 terjadi hampir bersamaan dengan menutupnya katup *mitral* dan *tricuspid* setelah darah kembali setelah beredar ke tubuh dan paru-paru. Ini adalah permulaan sistolik. Sedangkan bunyi S_2 yang terjadi pada akhir sistolik dan merupakan permulaan diastolik, dibangkitkan oleh menutupnya katup *aortic* dan *pulmonic*, yaitu ketika darah meninggalkan jantung menuju ke tubuh dan paru-paru.

Penyakit akibat kelainan katup jantung terjadi ketika sebuah katup tidak dapat bekerja sebagaimana mestinya. Jika katup tidak mampu membuka lebar maka hanya sedikit darah yang dapat melaluinya. Sebaliknya jika katup tidak mampu menutup secara sempurna, maka darah dapat mengalir balik. Dalam auskultasi kondisi tersebut dinamakan *murmur* dan dapat terjadi pada sistolik mau pun diastolik, seperti ditunjukkan pada Gambar 1b. [1].



Gambar 1: Bunyi jantung, (a) Jantung normal dan (b) Jantung dengan *murmur* sistolik dan diastolik

Penyakit jantung, stenosis, terjadi ketika katup tidak bisa membuka secara sempurna. Hal ini bisa terjadi jika katup mengeras atau menjadi kaku akibat endapan kalsium. Akibatnya hanya sedikit darah yang bisa mengalir antar ruang jantung. Sebaliknya regurgitation terjadi jika katup tidak dapat menutup dengan sempurna, sehingga darah bisa mengalir ke ruang yang salah. Penyakit-penyakit tersebut berbahaya karena dapat menyebabkan kematian akibat gagal jantung.

Selain jantung, sistem respirasi juga menghasilkan bunyi yang dapat dideteksi dengan stetoskop. Bunyi paru-paru normal terbagi atas empat kelompok, yaitu: tracheal, bronchial, bronchovesikular dan vesikular. Selain itu masih terdapat bunyi paru-paru tambahan yang muncul karena adanya kelainan pada paru-paru yang disebabkan oleh penyakit. Bunyi tersebut harus dianalisis dengan hasil pemeriksaan lain misalnya palpasi, untuk memutuskan diagnosis penyakit paru-paru. [2].

1.2 Stetoskop

Suara jantung dan paru-paru pada umumnya dideteksi paramedis menggunakan stetoskop biasa (stetoskop akustik). Secara umum, teknik mendengarkan suara tubuh untuk mendeteksi kondisi kesehatan pasien disebut *auskultasi*. Auskultasi dengan stetoskop akustik tidak mudah dilakukan karena bisa terganggu oleh adanya bunyi sekitar, sedangkan intensitas bunyi jantung dan paru-paru sendiri relatif rendah. Selain itu telinga pengguna harus peka agar hasil deteksi akurat.

Terdapat sejumlah laporan bahwa lulusan sekolah kedokteran tidak dapat menggunakan stetoskop dengan benar untuk mendiagnosis kondisi kesehatan. Jika dokter mengandalkan ahli ECG (*Electro Cardio Graph*) untuk mengartikan sinyal jantung maka biaya pengobatan akan menjadi tinggi. [3].

Analisis sinyal bunyi jantung berbasis komputer untuk mendeteksi adanya kelainan atau penyakit jantung telah banyak dilakukan. Diantaranya dengan menggunakan *digital filter*, *frequency spectrum and time period analysis*, dan *time-frequency techniques*. [1],[2],[4]. Pada ketiga makalah tersebut sinyal bunyi jantung dan paru direkam lalu dianalisis menggunakan teknik pengolahan sinyal digital, yang cukup kompleks, sehingga memerlukan sebuah komputer dan keahlian khusus untuk melakukannya. Dengan demikian solusi yang ditawarkan tidak cocok untuk menggantikan stetoskop yang sifatnya portabel.

Upaya untuk membuat stetoskop elektronik portabel (berbasis mikrokontroler) juga telah dilakukan, yaitu dengan menguatkan sinyal bunyi jantung dan paru-paru, dalam jangkauan 20-8000 Hz, dengan bati sampai 40 kali. Perhitungan nilai *BPM* juga dilakukan namun dengan menggunakan pencacahan (*counting*). [5].

Namun dengan mencacah pulsa bunyi jantung selama selang waktu tertentu untuk menghitung *BPM*-nya akan membuat durasi waktu fase sistolik secara individual tidak teramati. Padahal ketidakteraturan durasi denyut jantung (sekali pun nilai *BPM*-nya masuk kategori normal) dapat mengindikasikan adanya penyakit, misalnya *sinus arrhythmia*. [6].

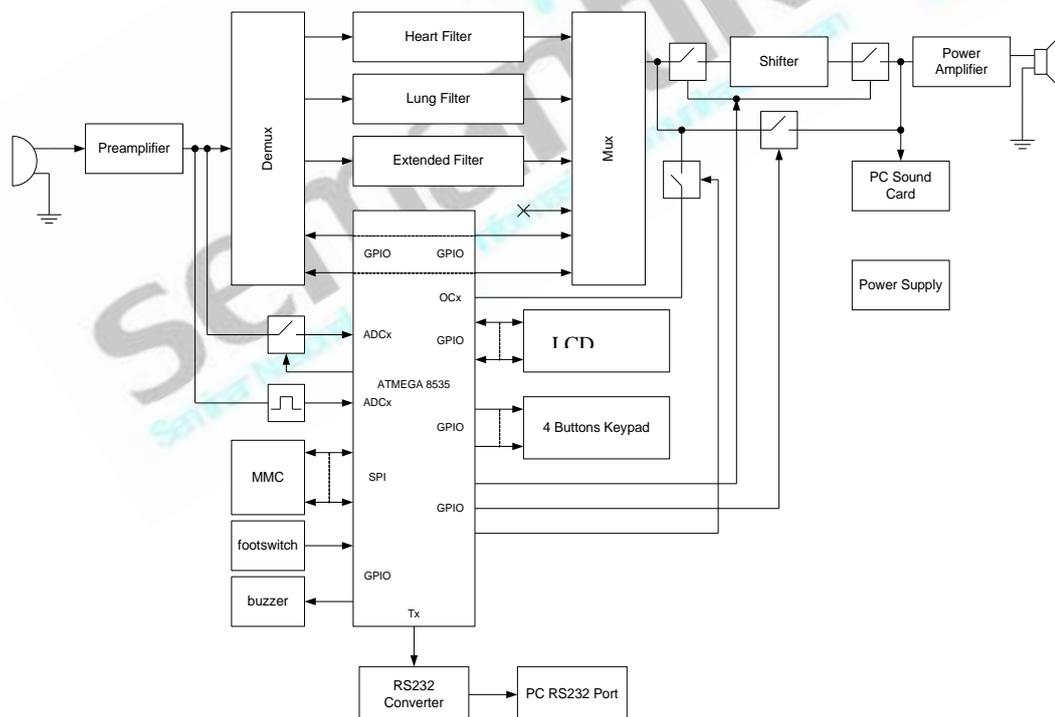
Dengan dasar tersebut maka pada makalah ini dibuat sebuah stetoskop elektronik yang dapat dapat memperjelas bunyi jantung dan paru-paru, serta merekamnya. Stetoskop yang dibuat juga dapat menganalisis sinyal bunyi jantung dengan terlebih dulu melakukan proses segmentasi, yaitu mencari durasi waktu sistolik dan diastolik. Nilai-nilai durasi tersebut akan dipakai untuk mencari nilai *BPM*, dan menentukan apakah nilainya normal (60~150), terlalu rendah (*bradycardia*) atau terlalu tinggi (*tachycardia*). [7].

2. PERANCANGAN ALAT

Berdasarkan latar-belakang di atas, ditetapkan spesifikasi stetoskop elektronik berbasis mikrokontroler yang dirancang sebagai berikut ini.

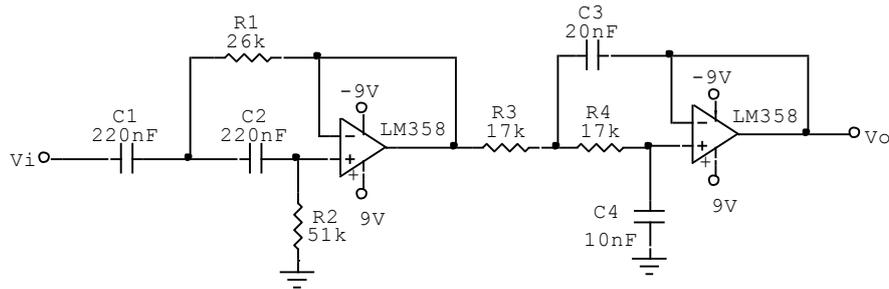
- mempunyai penguat depan audio dengan penguatan 40 dB dan tiga jenis tapis aktif yaitu tapis bunyi jantung (20 ~ 660 Hz), tapis bunyi paru (150 ~ 1600 Hz), dan tapis diperluas/*extended* (20 ~ 8000 Hz),
- mempunyai sarana interaksi dengan pengguna berupa empat buah tombol, sebuah penampil LCD (liquid crystal display) ukuran 16x4 karakter, sebuah buzzer, dan saklar kaki, serta sebuah LED yang akan menyala seiring denyut jantung.
- mempunyai fasilitas perekaman dan putar-ulang menggunakan media MMC (*multi – media card*),
- mempunyai sarana koneksi dengan PC menggunakan port dengan standar komunikasi serial UART dan level RS232,
- mempunyai keluaran sinyal audio melalui headphone atau dapat disambungkan ke *line-in* amplifier eksternal,
- menggunakan segmentasi sebagai dasar perhitungan BPM dan menentukan apakah nilainya normal atau tidak.
- menggunakan catu daya DC ± 9 V yang terintegrasi

Gambar 2 menunjukkan diagram blok stetoskop elektronik yang dibuat. Selain mikrokontroler masih diperlukan blok – blok fungsi lain yang dibangun baik dengan rangkaian analog maupun digital. Perangkat lunak dibangun dengan menggunakan Bahasa C untuk mikrokontroler AVR dengan menggunakan AVR Studio sebagai perangkat lunak lingkungan pengembangannya.



Gambar 2: Diagram blok keseluruhan alat

Bagian pertama yang akan dibahas dari diagram blok tersebut adalah sensor bunyi tubuh yang terdiri dari *chestpiece*, mikrofon kondenser, dan pipa berongga. *Chestpiece* dan pipa berongga diambil dari stetoskop akustik. Desain penempatan mikrofon kondenser pada *chestpiece* dapat dilihat pada Gambar 3. Mikrofon kondenser ditempatkan sejauh 21,79 cm dari *chestpiece* berdasarkan kecepatan rambat bunyi di udara dan frekuensi resonansi bunyi tubuh. [5].



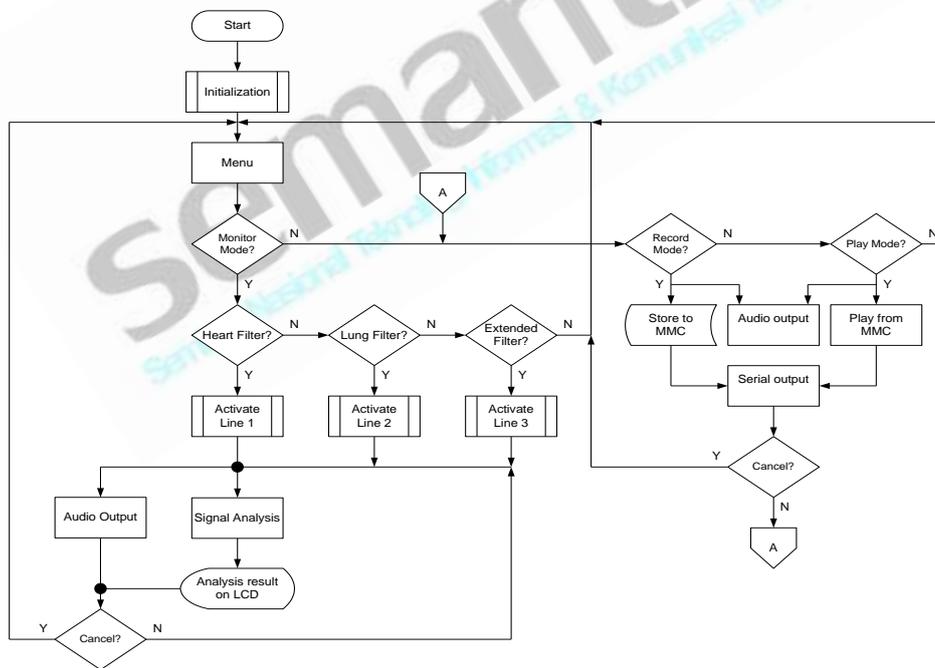
Gambar 6: Rangkaian tapis jantung berupa *band pass filter* 20~660 Hz

Sinyal keluaran dari tapis ini diumpangkan ke penguat daya dan masukan audio kartu suara PC. Penguat daya menggunakan IC TDA 2822 yang berfungsi menggerakkan *headphone*.

Sebagai pengendali operasi sistem digunakan mikrokontroler ATMEGA8535 karena memiliki ADC terintegrasi, antarmuka SPI, keluaran PWM, dan kecepatan komputasi mencapai 16 MIPS. ADC terintegrasi diperlukan untuk melakukan perubahan sinyal analog ke digital untuk kepentingan analisis dan perekaman. Antarmuka SPI diperlukan untuk koneksi mikrokontroler dengan MMC. Keluaran PWM diperlukan untuk melakukan putar-ulang data digital yang tersimpan di MMC. Kecepatan komputasi mikrokontroler ini juga dipandang cukup untuk melakukan analisis bunyi tubuh secara *real-time*. Sinyal bunyi jantung yang telah diubah menjadi data digital dapat juga ditransmisikan ke PC melalui *port serial* setelah diubah level tegangannya oleh IC MAX232.

Sarana interaksi sistem dengan pengguna terdiri dari LCD karakter 16x4, empat buah tombol tekan, saklar kaki, dan *buzzer*. LCD menggunakan Hitachi H1604B dengan konfigurasi empat jalur data. Tombol tekan berfungsi untuk memilih menu sistem, terdiri dari tombol *up*, *down*, *enter*, dan *cancel*. Saklar kaki berfungsi untuk memutus jalur audio ke penguat daya yang memungkinkan melakukan fungsi *mute* dengan praktis.

Perangkat lunak yang ditulis dalam memori mikrokontroler berfungsi untuk mengatur operasi sistem stetoskop elektronik. Di dalam perangkat lunak itu pula terkandung algoritma untuk analisis bunyi jantung. Secara umum operasi sistem stetoskop elektronik dapat diilustrasikan melalui diagram alir pada Gambar 7.



Gambar 7: Diagram alir perangkat lunak pengatur operasi stetoskop elektronik

Pada dasarnya operasi sistem dipisah menjadi dua yaitu *monitoring mode* dan *playback/record mode*. Dalam *monitoring mode* dapat dipilih satu dari ketiga tapis yang telah disebutkan sebelumnya untuk kemudian dikeluarkan lewat *line out* atau disuarakan ke *headphone* setelah melewati penguat daya. Selain itu, dilakukan pula analisis oleh mikrokontroler untuk menghitung *BPM* berdasarkan pengukuran durasi waktu sistolik (T_s) dan diastolik (T_D), berdasarkan rumus:

$$BPM = \frac{60}{T_S + T_D}$$

Idealnya, pengukuran BPM dapat dilakukan dalam waktu $T_S + T_D$. Namun hal tersebut tidak selalu berhasil karena pada saat pengukuran berlangsung, dimungkinkan ‘hilangnya’ pulsa S_1 atau S_2 , khususnya karena *chestpiece* bergeser atau terlepas dari permukaan kulit. Jika itu terjadi, maka akan terjadi kesalahan yaitu $T_S + T_D$ akan terukur sebagai T_S saja atau T_D saja. Terlebih lagi, jika pada saat pengukuran responden menarik napas dalam, maka suara jantung dan paru-paru akan tercampur, sehingga muncul pulsa-pulsa berdurasi pendek akibat suara paru-paru tersebut. Untuk mengatasinya, maka dilakukan pengukuran pada sejumlah pulsa S_1 dan S_2 , dengan membuang nilai durasi waktu sistolik dan diastolik yang menyimpang jauh dari rata-rata pengukuran. Namun bila penyimpangan terjadi terus menerus maka akan ada indikasi pada layar LCD yang mengindikasikan kemungkinan adanya *murmur*.

Sedangkan dalam *playback / record mode* dapat dipilih apakah bunyi jantung / paru – paru akan direkam pada MMC atau data bunyi jantung / paru – paru dari MMC akan diputar ulang. Data digital juga akan dikeluarkan melalui port serial yang memungkinkan pengolahan data lanjutan menggunakan PC.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

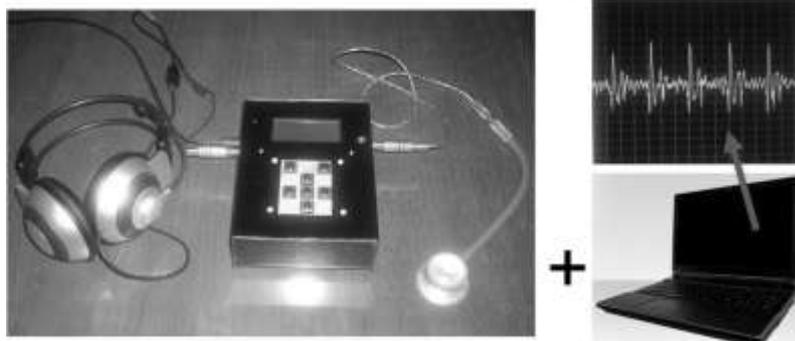
Proses segmentasi, merupakan salah satu bagian terpenting dari alat yang dibuat. Tahap pertama segmentasi adalah mengubah sinyal S_1 dan S_2 menjadi pulsa-pulsa digital, yang dilakukan oleh rangkaian pengubah denyut ke pulsa. Pengujian rangkaian ini dilakukan dengan menempelkan *chestpiece* ke dada kiri atau leher, lalu mengamati keluarannya menggunakan osiloskop, dengan hasil seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8: Keluaran rangkaian pengubah denyut ke pulsa, (a) saat responden bernafas halus, (b) saat responden menarik nafas dalam-dalam

Gambar 8(a) menunjukkan bahwa rangkaian pengubah denyut ke pulsa dapat bekerja dengan baik, karena mampu mengubah sinyal S_1 dan S_2 menjadi pulsa digital sehingga mikrokontroler akan mudah menghitung durasi waktu sistolik dan diastolik. Namun ketika terdapat suara nafas atau paru-paru yang tercampur bunyi jantung, maka pulsa S_1 dan S_2 tidak bisa diukur secara langsung dengan hanya mengukur jeda antar dua pulsa berturutan.

Sistem stetoskop elektronik yang telah dibuat, terdiri dari tiga bagian utama yaitu: modul utama yang berukuran 16cmx12cmx6cm, sensor yang berupa stetoskop akustik yang telah dimodifikasi, dan headphone untuk mendengarkan bunyi jantung atau paru-paru, seperti ditunjukkan Gambar 9. Dengan tambahan komputer dan perangkat lunak Oscilloscope, maka bentuk sinyal yang diamati dapat ditampilkan.



Gambar 9: Sistem Elektronik Stetoskop Lengkap

Modul utama memiliki layar LCD yang dapat menampilkan empat menu yaitu: analisis (perhitungan BPM dengan segmentasi), mendengarkan suara jantung atau paru-paru melalui *headphone*, perekaman suara dan memainkan ulang suara yang direkam. Contoh tampilan modul utama saat mengukur BPM seorang responden ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10: Modul utama dan contoh tampilan hasil pengukuran BPM di LCD

Pengujian klinis sudah dilakukan pada tiga orang responden. Pengujian ini dilakukan dengan cara meletakkan sensor di bagian dada atau leher untuk mendengarkan bunyi jantung dan paru – paru melalui stetoskop elektronik. Untuk mendengarkan bunyi jantung, bagian *bell* yang ditempelkan di bagian dada/leher dan tapis bunyi jantung dipilih. Selama pengukuran berlangsung, responden diminta bernafas dengan halus, agar suara jantung yang sedang dideteksi tidak terganggu suara paru-paru. Pada kondisi ini lampu LED pada stetoskop berkedip seirama dengan denyut responden. Untuk mendengarkan bunyi paru – paru, bagian diaphragma yang ditempelkan di dada dan tapis bunyi paru – paru dipilih dan responden diminta untuk mengambil dan membuang nafas. Pengujian ini dilakukan secara subyektif. Bunyi jantung dan paru – paru terdengar lebih jelas daripada menggunakan stetoskop akustik.

Pengujian selanjutnya adalah mengukur jumlah denyut jantung per menit atau BPM. Sebagai pembanding, responden yang sama juga diuji dengan menggunakan alat OMRON tipe SEM-1. Masing-masing responden diukur sebanyak 10 kali berturut-turut oleh masing-masing alat, hasilnya ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran BPM dibandingkan dengan alat OMRON SEM-1

	Dengan alat yang dibuat		Dengan OMRON SEM-1	
	Rerata BPM	Standar Deviasi	Rerata BPM	Standar Deviasi
Responden I	80	1,63	78,8	1,75
Responden II	69,8	4,24	72,8	3,77
Responden III	79,5	0,8	76,6	3,2

Hasil-hasil di atas menunjukkan bahwa alat yang dibuat dapat menghasilkan pengukuran yang cukup konsisten, terlihat dari hasil pengukuran dan standar deviasi hasil pengukuran yang tidak terpaut jauh dengan alat buatan pabrik. Waktu sekali pengukuran BPM stetoskop elektronik yang dibuat juga lebih singkat yaitu 15 detik berbanding 35 detik yang dibutuhkan oleh OMRON SEM-1. Karena BPM ketiga responden berada dalam jangkauan normal (60~150) maka pada layar LCD tertampil kondisi NORMAL.

Bentuk sinyal jantung juga dapat diamati menggunakan komputer dengan bantuan perangkat lunak Oscilloscope, yaitu dengan menyambungkan keluaran *line out* yang ada di modul utama ke *line in* komputer. Contoh sinyal jantung yang diamati ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11: Tampilan sinyal bunyi jantung di layar komputer

4. SIMPULAN DAN REKOMENDASI

4.1 Simpulan

Pada makalah ini telah dibuat sebuah stetoskop elektronik yang memiliki tiga buah tapis yang dapat dipilih untuk memperjelas bunyi jantung, bunyi paru-paru, atau bunyi tubuh lain, serta merekamnya. Pada stetoskop elektronik ini juga terdapat lampu LED yang berkedip seiring denyut jantung.

Kecepatan denyut jantung (BPM) responden dapat diukur dengan cukup baik, dengan menggunakan proses segmentasi, asalkan pada saat pengukuran suara napas pengguna tidak terlalu kuat. Nilai BPM yang terukur juga diindikasikan apakah masuk dalam jangkauan normal atau tidak. Pengukuran BPM dengan alat ini bisa dilakukan dengan menempelkan *chestpiece* pada leher atau dada pengguna. Pada saat pengukuran dilakukan posisi *chestpiece* diusahakan tetap selama waktu pengukuran, yaitu kira-kira 15 detik.

4.2 Rekomendasi

Alat bisa dikembangkan dengan membuat algoritma yang dapat melakukan proses segmentasi dengan baik, sekali pun terdapat gangguan berupa suara paru-paru responden. Selanjutnya hasil segmentasi dapat diolah lebih lanjut untuk mendeteksi gangguan bunyi jantung misalnya *murmur*.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dinas Pendidikan Provinsi Jawa Tengah yang telah mendanai penelitian ini melalui Program Fasilitasi Perguruan Tinggi tahun 2010 untuk kategori Penelitian Terapan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wah W Mynt, Bill Dillard, 2001, *An Electronic Stethoscope with Diagnosis Capability*, Ohio, The 33rd Southeastern Symposium on System Theory.
- [2] Rizal, A, Soegijoko S, 2006, *Stetoskop Elektronik Sederhana Berbasis PC dengan Fasilitas Pengolahan Sinyal Digital untuk Auskultasi Jantung dan Paru*, Bandung, Seminar Instrumentasi Berbasis Fisika 2006.
- [3] Manginone S, L Nieman, 1997, *Cardiac Auscultatory Skills of Internal Medicine dan Family Practice Trainees*, Journal of the American Medicine Association, vol. 278.
- [4] A. Mahabuba, J. Vijay Ramnath and G. Anil, 2009, *Analysis of Heart Sounds and Cardiac Murmurs for Detecting Cardiac Disorders Using Phonocardiography*, Journal of Instrumentation Soc. of India.
- [5] Nurhayati, Desy, Soegijardjo Soegijoko, 2009, *Design and Realization Microcontroller Based Electronic Stethoscope for Heart and Sound Analysis to Support Telemedicine System*, Bandung, Master Theses - ITB.
- [6] Constant, J, 1993, *Bedside Cardiology*, Boston, MA, pp.143
- [7] Potterfield LM, 1997, *ECG Fundamentals*, Springhouse Corporation, Springhouse, PA, pp 65