

Rancang Bangun *Smart Digital Mobile Stethoscope* Berbasis Pada Sistem *Mobile Device*

Muhammad Priyono Tri Sulistyanto¹

Abstrak—Auskultasi merupakan metode yang dilakukan oleh dokter untuk mendiagnosa penyakit jantung dengan cara mendengarkan suara jantung melalui alat yang disebut dengan stetoskop. Beberapa pola dalam suara jantung dapat mengindikasikan penyakit diderita oleh pasien. Namun permasalahan dapat terjadi disebabkan suara jantung memiliki frekuensi yang cukup rendah berkisar 20 sampai dengan 400 siklus per detik, tingkat kekerasan bunyi yang rendah, faktor kebisingan dari lingkungan sekitar saat diagnosa, kemiripan pola dari beberapa suara jantung dan tingkat kepekaan telinga. Berdasarkan beberapa faktor tersebut, diagnosa yang tidak tepat dapat terjadi akibat auskultasi tidak dilakukan secara baik dan benar. Penelitian yang dilakukan diwujudkan untuk mengatasi permasalahan di atas dengan cara merancang bangun smart digital stethoscope berbasis mobile device. Data yang diambil berupa pola rekaman suara jantung yang didapatkan dari beberapa sumber dan dilakukan pengenalan pola dengan metode jaringan syaraf tiruan (JST) *backpropagation*.

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa pengenalan pola dapat dilakukan melalui metode *backpropagation* dengan tingkat kesalahan kurang dari $1e-6$ dengan masukan 15 pola suara jantung yang terbagi menjadi 3 tipe status jantung. Tingkat kebenaran dari pengujian JST mencapai 97.5% dari masukan suara ke dalam sistem

Kata kunci : suara jantung, JST (jaringan syaraf tiruan), FFT (fast fourier transform), *backpropagation*

I. PENDAHULUAN

Heart Rate

Heart rate (laju detak jantung) adalah salah satu parameter yang paling sering diukur dari tubuh manusia dan memainkan peran yang penting dalam menentukan kesehatan seseorang. Pengukuran laju detak jantung menjadi salah satu bagian tipikal *lifestyle* dan banyak perangkat elektronik sebagai contoh iPod, peralatan olahraga dan telepon seluler dapat digunakan mengukur *heart rate* secara akurat. [1]

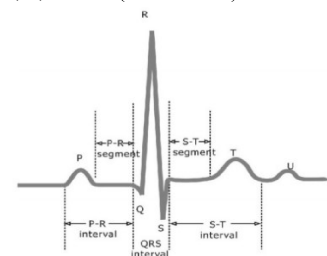
Fungsionalitas ini tidak hadir tanpa tambahan biaya. Dengan penggunaan perangkat multi fungsi, pengembang dapat menurunkan biaya dengan mengenalkan fitur baru ini pada perangkat bergerak tadi. Berbagai metode digunakan untuk mengukur laju detak jantung yaitu melalui *Electrocardiography*,

Photoplethysmography, *Oscillometry* (metode pemantauan tekanan darah) dan *Photocardiography*.

Electrocardiography

Kontraksi dan relaksasi dari otot jantung mengakibatkan darah mengalir masuk dan keluar dari jantung. Selama periode perputaran darah ini, beberapa grup dari organ dalam jantung yang dinamakan sino atrial node (yang dikenal sebagai pacemaker of heart) membangkitkan sinyal elektril ayng menyebar keseluruh jantung dan mengakibatkan ritme kontraksi dan relaksasi dari otot jantung. Impuls elektrik ini dapat dideteksi dengan menempatkan elektroda pada titik tertentu pada bagian tubuh [2]

Sebuah *electrocardiogram* (ECG) menangkap impuls elektril ini sehingga memperlihatkan ritme dari jantung. Metode ini membutuhkan penempatan dua atau lebih elektroda pada titik yang spesifik pada tubuh. Sinyal ECG dikarakteristikan dengan enam puncak sinyal dan lembah sinyal yang dilabelkan secara berurutan dengan alfabe P,Q,R,S,T,dan U (Gambar 1).



Gambar 1 Waveform dari ECG

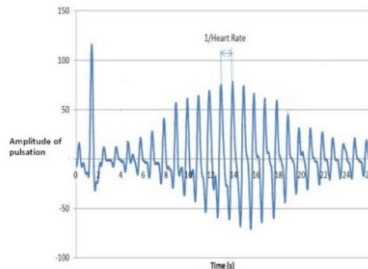
Photoplethysmography

Selama periode *cardiac*, pembuluh darah mengalirkan darah dari atau menuju bagian-bagian organ tubuh. Ketika radiasi cahaya seperti infra merah menembus pembuluh darah sensor dapat menerima sinyal cahaya ini berubah sesuai dengan ritme aliran darah. Variasi optik ini digunakan untuk membuat Photoplethysmographs. Metode ini adalah dua tipe dari transmisi dan refleksi dimana cahaya tadi dideteksi. Implementasi ini menggunakan IR (*Infra red*) LED yang dibangkitkan dengan sinyal modulasi untuk menghindari interferensi frekuensi rendah dan penerima cahaya dari photodiode yang mana difilter menggunakan *band pass filter* dan dimodulasi menggunakan modulator. Laju detak jantung ditentukan dengan perangkat lunak *peak detector*

Pressure sensing method

¹ Muhammad Priyono Tri Sulistyanto adalah pengajar program studi Teknik Informatika Universitas Kanjuruhan Malang. Email: m.priyono.ts@unikama.ac.id

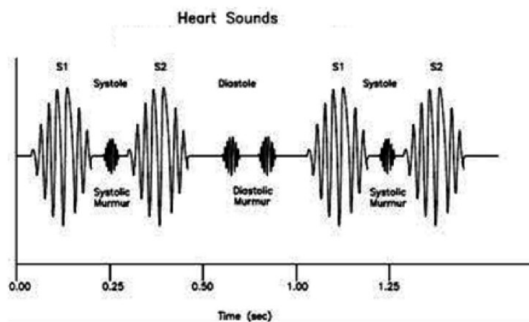
Ritme kontraksi dan relaksasi dari jantung mengakibatkan perubahan tekanan jantung sepanjang dinding dari pembuluh darah. Sebagai akibatnya, pembuluh darah membangkitkan impuls detak jantung. Impuls detak jantung ini dapat dideteksi dengan menggunakan sensor tekanan atau sensor piezo yang ditempatkan pada tempat yang spesifik seperti pergelangan tangan. Variasi tekanan ini digunakan dalam alat monitor tekanan jantung untuk mengukur laju detak jantung. Gambar 2 menunjukkan impuls dari pembuluh darah di tangan menggunakan sensor tekanan dengan pemfilteran dan amplifikasi



Gambar 2. Impuls Tekanan Darah

Phonocardiograph

Buka dan tutup dari katup jantung memproduksi bunyi selama kontraksi dan relaksasi yang mana secara normal terdengar melalui stetoskop. Bunyi ini adalah ritme pada detak jantung dan dapat dideteksi menggunakan mikrofon. Bagian dari detak jantung normal (S1, S2-Lub dan Dub) dan bunyi abnormal dikenal sebagai murmur juga dapat direkam. Bunyi detak jantung normal ini digunakan untuk menentukan *heart rate*. Bunyi detak normal dan perbedaan murmur memiliki karakteristik yang berbeda sehingga dengan pemfilteran yang sesuai dan jantung abnormal dapat divisualisasikan. Gambar 3 memperlihatkan bunyi detak jantung normal dan abnormal.



Gambar 3. Bunyi detak jantung

Sistem Operasi Android

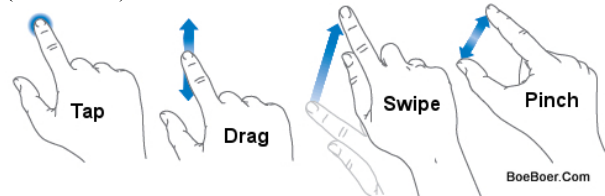
Android adalah sistem operasi berbasis Linux yang dirancang untuk perangkat seluler dengan layar sentuh seperti telepon pintar, komputer tablet, jam pintar [3]. Pada awalnya dikembangkan oleh perusahaan Android, Inc., yang kemudian diakuisisi oleh Google pada tahun 2005. Pada tahun 2007 Google merilis Android secara resmi bersama didirikan Open Handset Alliance (sebuah konsorsium perusahaan-perusahaan perangkat keras, perangkat lunak dan telekomunikasi yang mempunyai tujuan untuk memajukan standar terbuka perangkat keras).

Android adalah sistem operasi dengan sumber terbuka yang dirilis oleh Google dengan lisensi Apache

yang memungkinkan perangkat lunak untuk dimodifikasi secara bebas dan didistribusikan oleh pembuat perangkat, pengembang aplikasi dan operator nirkabel. Sejumlah besar komunitas pengembang aplikasi (*apps*) memperluas fungsionalitas perangkat yang umumnya ditulis dengan kostumasi bahasa pemrograman Java. Menurut survei Mei 2013, Android merupakan platform yang paling populer bagi pengembang yang digunakan 71% pengembang aplikasi seluler

Pada awalnya Android dirancang hanya untuk telepon pintar dan tablet, namun pada perkembangannya sistem operasi ini juga dikembangkan menjadi aplikasi tambahan di televisi, konsol permainan, kamera digital, otomotif dan perangkat elektronik lainnya.

Antarmuka pengguna dalam sistem operasi Android didasarkan pada manipulasi langsung, menggunakan masukan sentuh seperti dalam tindakan dunia nyata seperti menggesek (*swiping*), mengetuk (*tapping*) dan mencubit (*pinching*) untuk memanipulasi obyek (Gambar 4).



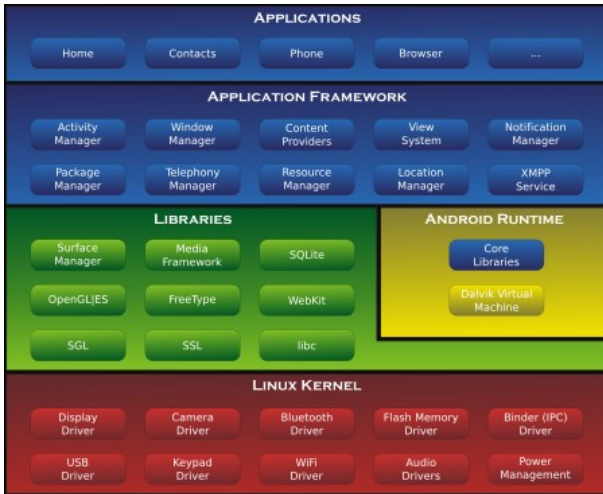
Gambar 4. Manipulasi obyek di layar sentuh (sumber: Boeboer.com)

Sistem operasi ini menggunakan kernel yang berbasis kernel Linux. Peranti tengah (*middleware*), perpustakaan perangkat lunak (*Libraries*) dan API (*Application Programmable Interface*) ditulis dalam bahasa C, sedangkan perangkat lunak aplikasi berjalan pada kerangka kerja aplikasi (*Application Framework*). Android menggunakan mesin virtual Dalvik (*Dalvik virtual machine*) untuk menjalankan dex-code Dalvik (Gambar 5)

Jaringan Syaraf Tiruan

JST (Jaringan syaraf tiruan) [4] merupakan teknik pemrosesan informasi yang mekanismenya berdasarkan pada sistem syaraf, yaitu seperti jaringan syaraf otak manusia. Konsep dasar JST merupakan struktur dari sistem pemrosesan informasi di mana bekerja seperti manusia yaitu *learning by example*, (belajar dari contoh) dalam memecahkan persoalan. JST ini dikomposisikan dengan serangkaian elemen-elemen yang terhubung (*neuron*) yang memproses informasi sebagai respon stimuli eksternal. [5] Aplikasi menggunakan JST dikonfigurasi menggunakan klasifikasi data, pola pengenalan dan melalui proses pelatihan (*training*). Pada proses *training* jaringan memperkirakan output dari masing-masing contoh, selama proses ini jaringan juga memodifikasi dirinya sampai tingkat yang stabil sehingga diperoleh output yang sesuai harapan.

Metode pengenalan untuk mendeteksi jenis kelainan jantung yang diderita pasien yaitu dengan teori jaringan syaraf tiruan (*Artificial Neural Network*). Pada diagnosa kelainan jantung digunakan metode *supervised learning* (pembelajaran terarah).



Gambar 5. Diagram Arsitektur Android (sumber: id.wikipedia.org)

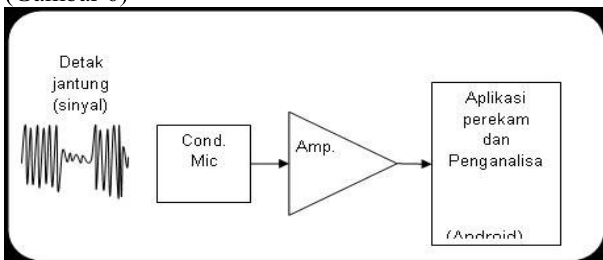
II.METODE PENELITIAN

Langkah-langkah dalam menyelesaikan penelitian ini diperlihatkan pada gambar dibawah ini. Prinsip pengerjaannya menggunakan metode waterfall yaitu pengerjaan dilakukan dari atas ke bawah secara berurutan. Adapun langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini, yaitu sebagai berikut :

- 1) Studi Pustaka adalah teori-teori yang perlu dipahami untuk mendukung kelancaran penelitian ini. Berikut adalah teori-teori pendukung yang dimaksud :
 - a. Teori mengenai *Phonocardiogram* (PCG)
 - b. Teori mengenai detak jantung normal dan abnormal(aritmia)
 - c. Teori mengenai perancangan aplikasi dalam Android
 - d. Teori mengenai analisa aritmia jantung menggunakan teori Jaringan Syaraf Buatan
- 2) Desain dan penerapan smart digital mobile stethoscope berbasis pada mobile device.
- 3) Uji coba dan konsultasi kepada pakar yang ahli mengenai laju detak jantung (heart beat) untuk mendapatkan masukan .
- 4) Evaluasi sistem. Hal ini dilakukan untuk melihat sejauh mana akurasi alat yang telah dibuat.

Desain dan Perancangan Sistem

Perancangan sistem yang dibuat dalam penelitian ini menitikberatkan tentang bagaimana smart mobile digital stethoscop dapat berfungsi dan bekerja sebagai instrumen untuk merekam dan menganalisa laju detak jantung (Gambar 6)



Gambar 6 Sistem dalam Smart Digital Mobile Stethoscope

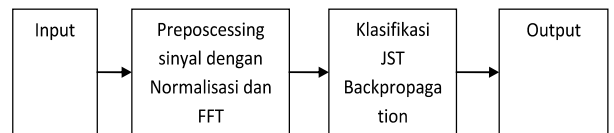
Pada Gambar 6 memperlihatkan skema sistem dalam *Smart Digital Mobile Stethoscope*. Laju detak jantung

dari pasien sebagai masukan pada sensor Condenser Microphone. Condenser Microphone ini bekerja dengan prinsip kerja seperti kapasitor, dan sensor ini sangat sensitif dengan adanya sinyal audio. Keluaran dari sensor ini masih relatif lemah sehingga dibutuhkan amplifikasi atau penguatan sinyal menggunakan rangkaian elektronik amplifikasi. Dengan melalui proses tuning dan pengkondisian sinyal maka sinyal dapat terbaca dan direkam ke dalam perangkat bergerak Android (menggunakan konektor standar 3.5mm). Aplikasi tersebut yang terpasang pada sistem Android dapat menganalisa visualisasi keluaran ritme laju detak jantung dengan menggunakan teori *Jaringan Syaraf Buatan*. Analisa mengenai laju detak jantung normal dan abnormal dibantu dengan pakar dalam hal ini dokter spesialis jantung untuk mengumpulkan data dan masukan

Desain Sistem Digital Stetoskop

Desain dari perangkat lunak yang digunakan dalam Smart Mobile Digital Stethoscope dijelaskan dalam Gambar 7. Input dari sistem adalah data rekaman jantung dari beberapa sumber dari [6] dan [7] yang merupakan data rekaman dari pasien jantung, selanjutnya dilakukan normalisasi data.

Setelah dilakukan normalisasi data kemudian dilakukan pencarian profil dari data dengan melakukan perhitungan FFT (Fast Fourier Transform). Perangkat lunak di dalam sistem dibuat dengan bahasa pemrograman Java yang merupakan bahasa utama dalam membangun aplikasi di dalam sistem operasi Android.



Gambar7. Sistem dengan JST Backpropagation

Data Masukan

Data yang dipergunakan sebagai masukan dalam sistem perangkat lunak merupakan data suara jantung dalam format wav, mode mono, frekuensi sampling 512Hz, dan berdurasi 1 detik yang cukup mewakili 1 siklus gelombang suara jantung. Total data yang diujikan adalah 15 data yang terbagi menjadi 3 kelompok kelainan jantung. Selanjutnya data ini dimasukkan sebagai data training dalam jaringan syaraf buatan

Tabel 1. Jenis Suara yang Diujikan

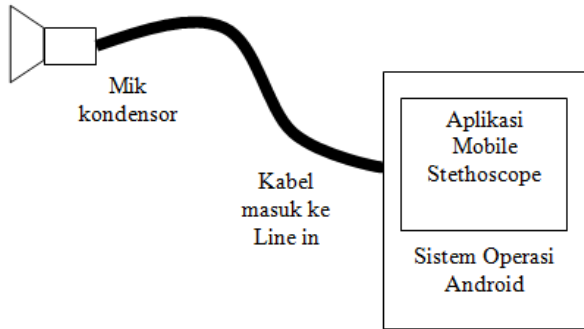
No	Kelainan Jantung	Jumlah data
1	Normal	5
2	Regurgitasi Trikurpid	5
3	Stenosis Katup Aorta	5

Desain Perangkat Lunak

Rancang bangun perangkat lunak yang dibangun pada penelitian ini seperti digambarkan pada gambar berikut. Sensor berupa mik kondensor akan menerima sinyal suara jantung dan diubah menjadi sinyal listrik berupa gelombang periodik Kemudian sinyal ini dilakukan pengkondisian sinyal dengan cara normalisasi dari nilai maksimum/minimum sebesar 32768/-32768 menjadi nilai ternormalisasi sebesar

maksimum/minimum sebesar 1/-1. Setelah proses normalisasi kemudian dilakukan ekstraksi sinyal jantung dari masing-masing data training dengan menggunakan komputasi FFT (Fast Fourier Transform) yang menghasilkan sinyal dengan domain frekuensi dan dilakukan lagi normalisasi data.

Proses selanjutnya adalah proses training jaringan syaraf buatan dengan metode backpropagation yang hasilnya berupa pembobotan tiap neuron dan penyimpanan informasi jaringan syaraf buatan dalam bentuk file. File konfigurasi ini kemudian diinputkan ke dalam aplikasi Android untuk proses pengujian.

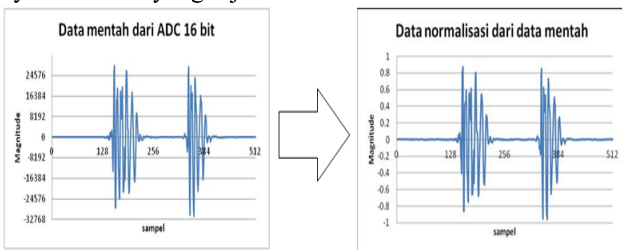


Gambar 8. Skema Disain Perangkat Keras Smart Digital Stethoscope

III. HASIL DAN PEMBAHASAAN

Analisis Normalisasi Data Suara Jantung

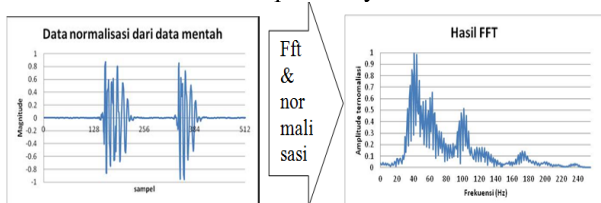
Normalisasi data [8] perlu dilakukan untuk melakukan penyamaan data menjadi skala maksimum dan minimum masing-masing 1 dan -1, serta untuk memudahkan dalam proses training di dalam jaringan syaraf buatan yang dijelaskan dalam Gambar 9



Gambar 9. Proses Normalisasi Data

Profil Gelombang dengan FFT

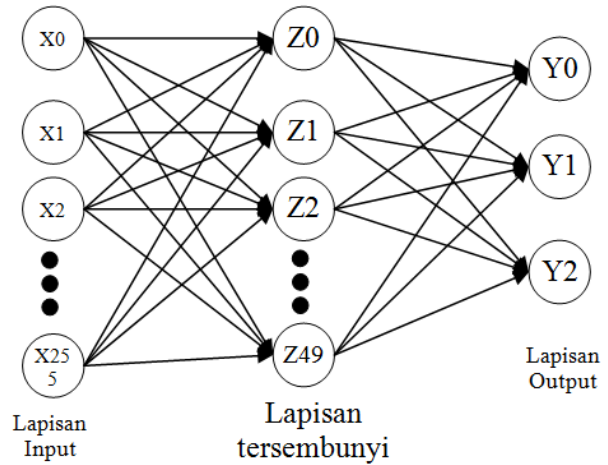
Fast Fourier Transform merupakan salah satu metode yang bertujuan untuk mengekstraksi sinyal dari domain waktu menjadi domain frekuensi, karena kemungkinan masing-masing sinyal masukan memiliki perbedaan amplitudo pada waktu yang sama. Hasil dari komputasi didapatkan profil dari sinyal jantung yang yang berisi data frekuensi beserta amplitudonya



Gambar 10. Proses Komputasi FFT dengan Normalisasi

Analisis Jaringan Syaraf Tiruan

Dalam penelitian ini dipergunakan jaringan syaraf buatan dengan pembelajaran sistem dengan metode Backpropagation. Desain jaringan syaraf buatan digunakan lapisan input 256 neuron, lapisan tersembunyi 50 neuron, dan 3 lapisan output dijelaskan pada Gambar 11.



Gambar 11. Disain JST Backpropagation

Lapisan input berjumlah 256 neuron berisi 256 sampel dari indeks 0 sampai dengan indeks 255 yang merupakan hasil perhitungan FFT yang telah ternormalisasi. Dari masing-masing neuron input ini berhubungan dengan neuron lapisan tersembunyi sehingga akan terdapat kombinasi $256 * 50 = 12800$ kombinasi yang berisi bobot dari input ke lapisan tersembunyi. Sedangkan hubungan lapisan tersembunyi dengan output memiliki jumlah $50 * 3 = 150$, sehingga total jumlah bobot $12800 + 150 = 12950$ macam bobot.

Berikut potongan program untuk melakukan training data menggunakan metode backpropagation dalam bahasa pemrograman Java :

```
import org.encog.Encog;
import org.encog.engine.network.activation.ActivationSigmoid;
import org.encog.ml.data.MLData;
import org.encog.ml.data.MLDataPair;
import org.encog.ml.data.MLDataSet;
import org.encog.ml.data.basic.BasicMLDataSet;
import org.encog.neural.networks.BasicNetwork;
import org.encog.neural.networks.layers.BasicLayer;
import org.encog.neural.networks.training.propagation.resilient.ResilientPropagation;
import org.encog.persist.EncogDirectoryPersistence;

public class NNTraining {

    private static final String FILENAME = "network.eg";

    /**
     * @param args
     */

    public static int hidden_layer = 50 ;

    public static double TRAIN_INPUT[][] = {.....} // input train

    // output bin: { normal , regurgitasi_trikuspid, stenosis_katup_aorta }
    public static double INPUT IDEAL[][] = { { 1.0,
```

```

0.0, 0.0 },
    { 1.0, 0.0, 0.0 }, { 1.0, 0.0, 0.0 }, { 1.0,
0.0, 0.0 },
    { 1.0, 0.0, 0.0 }, { 0.0, 1.0, 0.0 }, { 0.0,
1.0, 0.0 },
    { 0.0, 1.0, 0.0 }, { 0.0, 1.0, 0.0 }, { 0.0,
1.0, 0.0 },
    { 0.0, 0.0, 1.0 }, { 0.0, 0.0, 1.0 }, { 0.0,
0.0, 1.0 },
    { 0.0, 0.0, 1.0 }, { 0.0, 0.0, 1.0 } };

public static void main(String[] args) {
    // TODO Auto-generated method stub
    BasicNetwork nn = new BasicNetwork();
    nn.addLayer(new BasicLayer(null, true,
TRAIN_INPUT[0].length));

    nn.addLayer(new BasicLayer(new
ActivationSigmoid(), true, hidden_layer));
    nn.addLayer(new BasicLayer(new
ActivationSigmoid(), false,
INPUT_IDEAL[0].length));
    nn.getStructure().finalizeStructure();
    nn.reset();

    MLDataSet set = new BasicMLDataSet(TRAIN_INPUT,
INPUT_IDEAL);

    final ResilientPropagation train = new
ResilientPropagation(nn, set);
    int epoch = 1;
    System.out
        .println(TRAIN_INPUT[0].length + " " +
INPUT_IDEAL[0].length);
    do {
        train.iteration();
        System.out
            .println("Epoch #" + epoch + " Error:"
+ train.getError());
        epoch++;
    } while (train.getError() > 0.001);
    train.finishTraining();

    double e = nn.calculateError(set);
    System.out.println("Network trained to error
="+e);
    System.out.println("Saving network");

    EncogDirectoryPersistence.saveObject(new
File(FILENAME), nn);

    System.out.println("Neural Network Result:");
    for (MLDataPair pair : set) {
        final MLData output =
nn.compute(pair.getInput());
        System.out.println(pair.getInput().getData(0)
+ ", "
+ pair.getInput().getData(1) + "... ,
actual="
+ output.getData(0) + ", " +
output.getData(1) + ", "
+ output.getData(2) + " ideal="
+ pair.getIdeal().getData(0) + ", "
+ pair.getIdeal().getData(1) + ", "
+ pair.getIdeal().getData(2));
    }

    Encog.getInstance().shutdown();
}

```

IV. HASIL PENELITIAN

Dalam proses pelatihan pada Jaringan Syaraf Tiruan diberikan target error dengan MSE (mean square error) sebesar 1e-6. Iterasi pelatihan atau epoch akan berhenti

pada saat besar kesalahan lebih kecil dengan MSE target . Berikut tabel yang didapatkan dari proses training: Tabel 2 memperlihatkan proses pelatihan berhenti pada epoch ke-22 saat besar kesalahan yang didapatkan sebesar 3.25E-07 yang lebih kecil dari target MSE (1e-6)

Tabel 2. Iterasi Pelatihan (Epoch) dan Error yang didapatkan

Epoch	Error (MSE)
1	0.666666667
2	0.666666667
3	0.666666667
4	0.666666664
5	0.666648256
6	0.300277443
7	0.666246288
8	0.545266834
9	0.305742109
10	0.442666243
11	0.143978252
12	0.184890899
13	0.042615932
14	0.041844091
15	0.015726658
16	6.73E-03
17	8.21E-04
18	6.18E-05
19	1.50E-05
20	3.57E-06
21	1.95E-05
22	3.25E-07

Dalam proses training dibandingkan antara input ideal dengan input dari proses training yang dijelaskan dalam Tabel 3

Tabel 3. Perbandingan Data Aktual dengan Data Ideal dari Proses Training

Output Aktual			Output Ideal		
Normal	Regurtasi Trikurpid	Stenonsi Katup Aorta	Normal	Regurtasi Trikurpid	Stenonsi Katup Aorta
0.999998	7.24E-06	7.60E-09	1	0	0
0.999999	1.23E-06	1.53E-09	1	0	0
0.999988	2.75E-05	3.64E-06	1	0	0
0.999999	2.65E-06	2.45E-09	1	0	0
0.999999	2.13E-06	2.10E-09	1	0	0
5.21E-08	0.999447	2.08E-04	0	1	0
2.28E-07	0.999457	2.89E-04	0	1	0
2.07E-07	0.999525	2.85E-04	0	1	0
8.76E-08	0.99954	2.31E-04	0	1	0
1.82E-07	0.99953	2.51E-04	0	1	0
5.52E-14	1.30E-05	0.9997737	0	0	1
1.15E-14	2.33E-06	0.999904	0	0	1
1.82E-14	3.02E-06	0.9998587	0	0	1
2.01E-14	2.70E-06	0.999897	0	0	1
9.37E-15	2.42E-06	0.99992	0	0	1

Hasil dari komputasi training ini, struktur JST yang terdiri 256 neuron input, 50 neuron tersembunyi, 3 neuron output dan semua besaran bobot di dalam JST disimpan dalam file network.eg yang kemudian dimuat ulang pada aplikasi untuk pengujian jaringan syaraf buatan.

Pengujian Aplikasi JST

Hasil pengujian hasil dilakukan test terhadap 40 suara jantung dengan 3 tipe suara jantung dengan menggunakan digital stetoskop dengan didapatkan kebenaran 39 suara jantung. Sehingga tingkat kesalahan $1/40 = 2.5\%$ atau tingkat kebenaran 97.5%. Berikut tampilan perangkat lunak Android dalam melakukan pengujian perangkat lunak di dalam sistem operasi Android:



Gambar 12 Tampilan Hasil Pengujian di Dalam Perangkat Android

VI. PENUTUP

Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Komputasi fast fourier transform (FFT) yang digunakan untuk mendapatkan profil dari suara jantung cukup baik diterapkan dalam preprocessing data
2. Metode backpropagation dalam jaringan syaraf buatan digunakan untuk melakukan pelatihan pengenalan pola suara jantung dengan beberapa parameter: 256 neuron input, 50 neuron tersembunyi, 3 neuron output,
3. Tingkat kesalahan dari pelatihan JST kurang dari 1e-6

4. Tingkat kesalahan dari pengujian JST mencapai 97% dari masukan suara ke dalam sistem

Saran

Beberapa hal yang perlu dilakukan untuk penelitian selanjutnya:

1. Dapat digunakan metode pelatihan yang lain sebagai contoh ART (adaptive resonance theory) type 1 & 2 untuk membandingkan hasil pelatihan dengan backpropagation
2. Metode ekstraksi sinyal dengan PCA (Performance Component Analysis) dan wavelet dapat diterapkan sebagai benchmark terhadap komputasi FFT

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y.-H. e. a. Chen, "Robot Heart Rate Measurement with Phonocardiogram by On-line Template Extraction and Matching," NTUT, Taiwan, 2011.
- [2] Singhhealth, "Arrhythmia Abnormal Heart Rhythm," 20 11 2014. [Online]. Available: www.singhealth.com.sg/PatientCare/Overseas-Referral/bh/Conditions/Pages/Arrhythmia-Abnormal-Heart-Rhythm.aspx.
- [3] Wikipedia, "Ardroid," 20 11 2014. [Online]. Available: [id.wikipedia.org/wiki/Android_\(sistem_operasi\)](http://id.wikipedia.org/wiki/Android_(sistem_operasi)).
- [4] S. Kusumadewi, Artificial Intelligence (Teknik dan Aplikasinya), Yogyakarta: Penerbit Graha Ilmu, 2003.
- [5] H. Sitinjak, "Simulasi pengenalan Kelainan Jantung dengan Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan," *Fakultas Teknik Univesitas Indonesia*, 2008.
- [6] B. Erickson, Bunyi Jantung & Murmur: dari Bayi Hingga Dewasa (Terjemahan), Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC, 2008.
- [7] Tilkian, Ara G. ; Conover, Mary Boudreau, Memahami Bunyi dan Bising Jantung: dalam Praktik Sehari-hari (Terjemahan), Tangerang: Binarupa Aksara Publisher, 2005.
- [8] M. J. Saptadi and dkk, "Deteksi Kelainan Jantung Melalui Phonocardiogram (PCG) Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan Adaptive Resonance Theory 2," *STTEKOM Bandung*, 2009.