



Rancang Bangun Instrumentasi Elektrokardiograf (EKG) dan Klasifikasi Kenormalan Jantung Pada Pola Sinyal EKG Menggunakan Learning Vector Quantization (LVQ)

Maulana¹, Hendrick², Ratna Aisuwarya³

^{1,3} Sistem Komputer Fakultas Teknologi Informasi Universitas Andalas, Kampus Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

² Teknik Elektro Politeknik Negeri Padang, Kampus Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

ARTICLE INFORMATION

Received: November 11, 2017

Revised: February 20, 2018

Available online: March 29, 2018

KEYWORDS

EKG, LVQ, kelas, training, identifikasi

CORRESPONDENCE

E-mail: ratna.aisuwarya@fti.unand.ac.id

ABSTRACT

Electrocardiograph (ECG) is a recorder of human heart signals with signal output on a monitor or graph paper. The ECG records the measurement of the electrical activity of the heart from the surface of the body by a set of electrodes that are installed in such a way that reflects the tapping point activity. The pattern of ECG output signals in one heartbeat produces a pattern with a peak point P, Q, R, S and T or QRS complex. ECG signal waveform results were analyzed using Learning Vector Quantization (LVQ) Artificial Neural Networks, and grouped into two classes, namely normal and abnormal heart patterns. The normal heart condition that is trained is a medically normal heart categorized as healthy as 10 data, while an abnormal heart (Heart, Coronary Heart, and Aortic Regurgitation) is 20 data. The LVQ method recognizes the input pattern based on the proximity of the two vectors, namely the vector of the input unit or neuron with the weight vector produced by each class. Online LVQ identification (using ECG) recorded from 25 direct trials resulted in 80% accuracy.

LVQ adalah suatu metode klasifikasi pola yang masing-masing unit output mewakili kategori atau kelompok tertentu. LVQ dikembangkan oleh Teuvo Kohonen dan merupakan algoritma terawasi (supervised) yang merupakan penurunan dari algoritma kohonen yang sifatnya tak terawasi (Unsupervised). Model jaringan ini banyak digunakan untuk diaplikasikan pada penyelesaian suatu masalah berkaitan dengan identifikasi, prediksi, pengenalan pola dan sebagainya.

1. PENDAHULUAN

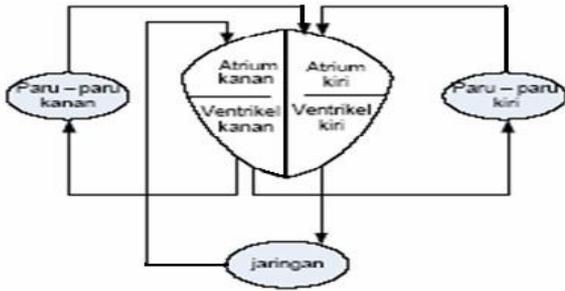
Pada dasarnya sebuah EKG yang digunakan tenaga medis terdiri atas seperangkat sensor elektroda yang dipasang pada bagian tubuh. Elektroda tersebut kemudian dihubungkan pada penguat sinyal kecil yang kemudian diperkuat sampai beberapa kali bahkan ratusan kali. Ada beberapa hal yang menjadi kelemahan dari EKG ini yaitu pengalaman dan kemampuan para ahli untuk menganalisa kenormalan hasil rekaman jantung yang berbeda-beda. Oleh sebab itu perlu dipikirkan bagaimana jika EKG bisa menganalisis sendiri terkait normal atau tidaknya jantung. Hal ini akan memberikan beberapa keuntungan diantaranya membantu mempercepat mengetahui normal atau tidaknya jantung seseorang.

Untuk bisa menghasilkan *software* yang dapat mengklasifikasikan kenormalan jantung, maka dirancanglah sebuah sistem kecerdasan buatan. Kecerdasan buatan yang dimanfaatkan adalah Jaringan syaraf tiruan (JST). JST yang dilihat dari fungsi atau struktur rancangan merupakan penyederhanaan dari model otak manusia dan merupakan suatu metode kecerdasan buatan komputasional berbasis pada model saraf biologis manusia sehingga komputer dapat menduplikasikan kecerdasan manusia. Jaringan Saraf Tiruan yang sering digunakan yaitu *Learning Vector Quantization (LVQ)*.

2. LANDASAN TEORI

2.1. Detak Jantung

Pertama kali darah dari pembuluh darah vena masuk ke *Atrium Kanan*, kemudian menuju ke Ventrikel Kanan, kemudian menuju ke Paru-Paru, dimana dalam paru-paru ini terjadi pertukaran udara dari CO₂ ke O₂. Dari paru-paru darah menuju ke Atrium Kiri, kemudian menuju ke Ventrikel Kiri. Setelah itu darah dipompa menuju ke seluruh tubuh dan kepaladimana melalui pembuluh darah Aorta. Pembuluh darah Aorta sendiri terdiri dari berbagai cabang dimana urutan pembuluh yang terbesar sampai terkecil adalah: Arteri, Arteriol, dan Kapiler. Gambar dari alur tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur peredaran darah.

2.2. Elektrokardiograf (EKG)

EKG adalah pengukuran aktivitas listrik jantung yang dicatat dari permukaan tubuh oleh sekumpulan elektroda yang dipasang sedemikian rupa sehingga merefleksikan aktivitas dari berbagai titik sadapan. Sadapan biasanya dilakukan pada permukaan kulit, permukaan dada, kaki, dan tangan untuk mewakili sinyal jantung. Perbedaan antara peletakan sadapan EKG di dada dan di tangan dan kaki adalah hanya pada besar dan kecilnya amplitude sinyal, sedangkan bentuk sinyalnya tetap sama. Oleh karena itu bila pasien sinyal jantungnya lemah (amplitudonya kecil) maka perlu dilakukan pembesaran penguatan sinyal saja.

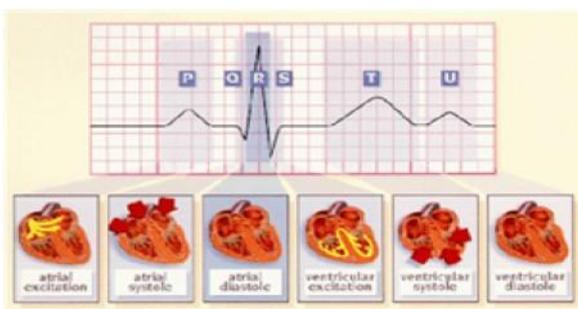
Elektrokardiograf merupakan peralatan. Pada umumnya yang dipakai adalah 12 sadapan yang dapat dikelompokkan menjadi 3, yaitu :

- a. Sadapan baku (*standart lead*) atau dikenal dengan sadapan Einthoven, yaitu *lead I*, *lead II* dan *lead III*.
- b. Sadapan ditingkatkan (*augment lead*) atau sadapan Goldberger, yaitu sadapan aVR, aVL dan aVF.
- c. Sadapan dada (*precordial lead*) atau sadapan Wilson, yaitu V1, V2, V3, V4, V5 dan V6.

2.3. Pola Sinyal EKG

A. Pola Sinyal EKG Normal

Bentuk gambaran umum pola sinyal normal jantung manusia :



Gambar 2. Gambar EKG Normal.

- **Gelombang P**

Gelombang ini berukuran kecil dan merupakan hasil dari depolarisasi dari atrium kanan dan kiri . nilai normal interval P adalah kurang dari 0,12 detik.

- **Segmen PR**

Segmen ini merupakan garis iso-elektrik yang menghubungkan gelombang P pada QRS. Lama interval PR : 0,12 – 0,20 detik.

- **Gelombang kompleks QRS**

Merupakan hasil depolarisasi dari ventrikel kanan dan kiri .lama interval QRS adalah 0,07-0,10 detik.

- **Segmen ST**

Segmen ini merupakan garis iso-elektrik yang menghubungkan gelombang QRS pada T.

- **Gelombang T**

Merupakan potensial repolarisasi dari ventrikel kanan dan kiri.

- **Gelombang U**

Gelombang ini berukuran kecil dan sering tidak ada, asal dari gelombang ini merupakan hasil repolarisasi dari atria yang sering tidak dikenali karena ukurannya kecil dan terbenam pada gelombang QRS

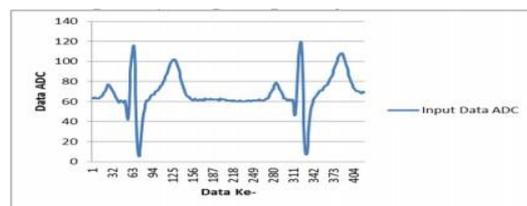
B. Pola Irama EKG Tidak Normal

Berikut ini adalah beberapa pola irama EKG yang tidak normal :

- **Regurgitasi Aorta**

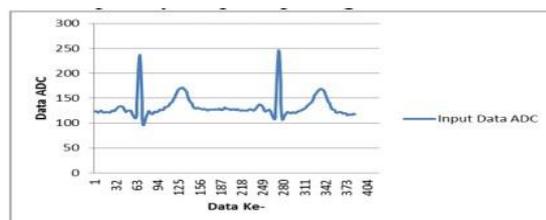
Regurgitasi katup aorta adalah kembalinyadarah ke ventrikel kiri dari aorta selama diastol atau kebocoran pada katup aorta yang terjadi tiap kali ventrikel mengalami relaksasi, bentuk polanya seperti pada gambar 3.

Gambar 3. Pola Irama EKG Regurgitasi Aorta



- **Jantung Koroner**

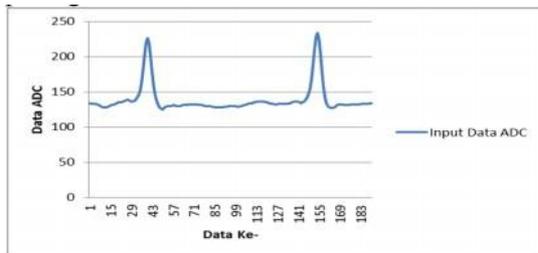
Penyakit Jantung Koroner adalah penyempitan pembuluh darah kecil yang memasok darah dan oksigen ke jantung. Ini disebabkan oleh pembentukan plak di dinding arteri, dikenal pula sebagai pengerasan arteri, bentuk polanya seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Pola Irama EKG Jantung Koroner

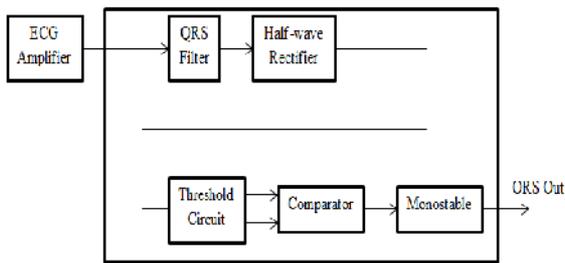
- *Congestive Heart Failure (CHF)*

Congestive Heart Failure (CHF) atau gagal jantung adalah keadaan patofisiologis berupa kelainan fungsi jantung, sehingga jantung tidak mampu memompa darah untuk memenuhi kebutuhan metabolisme jaringan atau kemampuannya hanya ada kalau disertai peninggian volume diastolik secara abnormal. Penamaan gagal jantung kongestif yang sering digunakan kalau terjadi gagal jantung sisi kiri dan sisi kanan, bentuk polanya dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Pola Irama EKG CHF

2.4. Block Diagram QRS Detector



Gambar 6. Block Diagram of a QRS detector.

Gambar 6. menunjukkan dari sebuah blokdiagram dan *schematic* kompleks dari sebuah pendeteksi QRS. Pendeteksi QRS terdiri dari 5 unit

:

- 1) *ECG Amplifier*, biasanya berada pada rentang 1 mV dan memiliki frekuensi sekitar 0,05-100 Hz. Untuk memproses sinyal, dibutuhkan penguat. Penguatan sinyal untuk EKG bekisar 1000 kali dengan respon frekuensi sekitar 0,05-100 Hz.
- 2) *QRS filter*, kekuatan spectrum sinyal EKG memiliki *noise* sekitar 17 Hz. Maka untuk mendeteksi kompleks QRS, EKG harus melewati *bandpass filter* dengan pusat frekuensi sebesar 17 Hz dan *bandwidth* 6 Hz.
- 3) *Half-wave Rectified*, QRS yang telah disaring (*filtered*) merupakan setengah gelombang telah diralat. Untuk selanjutnya dibandingkan dengan tegangan ambang yang dihasilkan oleh sirkuit detector.
- 4) *Threshold Circuit*. Puncak tegangan EKG yang telah diralat dan difilter disimpan pada kapasitor. Sebagian kecil dari tegangan (tegangan yang diralat) dibandingkan dengan keluaran EKG yang telah disaring dan diralat.
- 5) *Comprarator*. Pulsa QRS terdeteksi ketika

tegangan ralat terlampaui. Kapasitor diisi lagi oleh tegangan ralat yang baru untuk setiap terbentuknya pulsa.

- 6) *Monostable*. Sebuah pulsa 200 ms dihasilkan untuk setiap kompleks QRS yang terdeteksi.

2.5. Digital Small Volume Patient Monitor OEM 07 ECG Module



Gambar 7. Modul EKG

Digital Small Volume Patient Monitor OEM 07 ECG Module diproduksi oleh perusahaan dari Cina yang bernama Shanghai Berry Electronic Tech Co., Ltd. Modul instrumentasi EKG ini dirancang untuk mendapatkan sinyal-sinyal elektrik tiap jantung berdetak. Modul ini mempunyai *lead* sebanyak 5 yaitu I, II, III, AVL dan AVR.

2.6. Learning Vector Quantization (LVQ)

Learning Vector Quantization (LVQ) adalah suatu metoda klasifikasi pola yang masing-masing unit output mewakili kategori atau kelompok tertentu. Learning vector quantization dikembangkan oleh Kohonen dan menyimpulkan bahwa terdapat 3 jenis algoritma di dalam Learning vector quantization. LVQ ini termasuk kedalam *supervised learning* seperti yang tercantum didalam algoritma LVQ1. LVQ1 adalah versi pertama LVQ yang diciptakan oleh Kohenen.

Proses training LVQ1 dilakukan dengan menggunakan input sebagai bobot awal yang dipilih secara random. LVQ1 juga sedikit mirip dengan Kohonen SOM, yang membedakan adalah LVQ1 menggunakan *supervised learning* sedangkan Kohonen SOM menggunakan *unsupervised learning*.

Vektor input pada LVQ1 disimbolkan sebagai x_i dan *output neuron* dianggap sebagai pemenang berdasarkan aturan yang sama seperti yang diterapkan dalam Kohonen SOM. Tapi hal yang mendasar menjadi perbedaan antara Kohonen SOM dan LVQ1 adalah cara melakukan *weight update*.

Proses update w_j pada LVQ1 adalah sebagai berikut ini :

1. Jika kelompok yang diwakili oleh *weight vector* sama dengan kelompok input maka, $Cw_j = Cx_i$, maka $w_{j(k+1)} = w_j(k) + \mu(k)[x_i - w_j(k)]$
Dimana $0 < \mu(k) < 1$ (*learning rate parameter*)
2. Jika $Cw_j \neq Cx_i$ maka $w_{j(k+1)} = w_j(k) + \mu(k)[x_i - w_j(k)]$

Jadi jika kelompok bernilai benar, maka update weight dilakukan terpisah dengan update weight yang salah. Berikut algoritma LVQ1 (M,Ham, 2001)

1. Inisialisasi nilai awal vektor bobot $w_j(0)$, learning rate parameter $\mu(0)$ dan $k = 0$.
2. Periksa kondisi berhenti, jika bernilai salah lanjutkan dan jika benar, keluar dari prosedur berikut.
3. Untuk setiap vektor training x_i , lakukan instruksi nomer 4 dan 5
4. Tentukan indek vektor bobot input ($j = q$) dengan menggunakan rumus

$$\min = \|x_i - w_j(k)\|_2^2$$

dengan menggunakan akar dari rumus jarak Euclidean.

5. Update bobot vektor $w_q(k)$ dengan cara sebagai berikut :

Jika $C_{wq} = C_{xi}$ maka

$$w_{q(k+1)} = w_q(k) + \mu(k)[x_i - w_q(k)]$$

Jika $C_{wq} \neq C_{xi}$ maka

$$w_{q(k+1)} = w_q(k) - \mu(k)[x_i - w_q(k)]$$

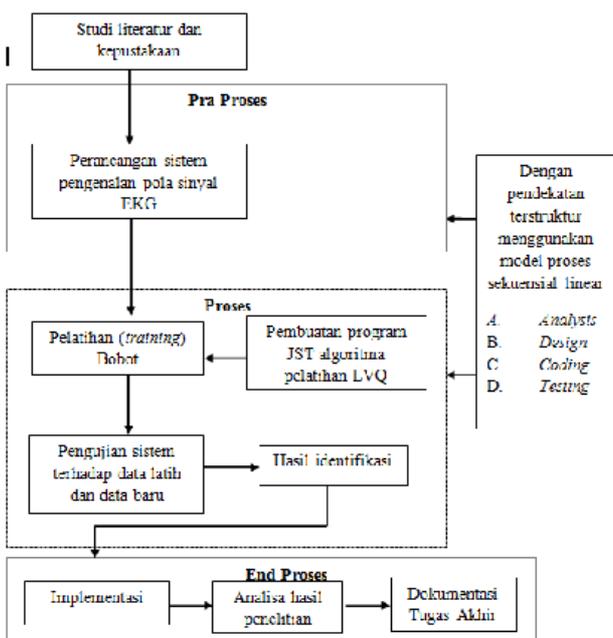
6. Update $k \leftarrow k + 1$, kurangi learning rate parameter dan kembali ke langkah 2. Pengurangan learning rate μ bisa dilakukan berdasarkan nilai k dengan menggunakan persamaan :

$$\mu(k) = \frac{\mu(k-1)}{(k+1)} \quad k > 0$$

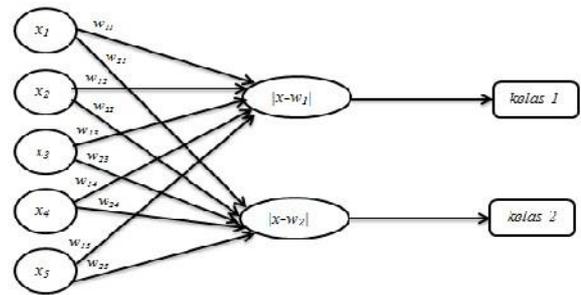
3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang akan dilakukan dapat digambarkan pada blok diagram berikut ini :



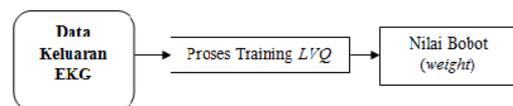
Gambar 8. Prosedur penelitian.



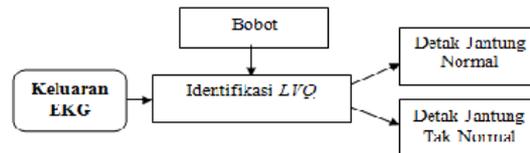
Jaringan Syaraf Tiruan LVQ

- Rancangan arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan *Learning Vector Quantization (LVQ)* seperti pada gambar di bawah ini.

- Rancangan Pembelajaran JST *LVQ (Training LVQ)*



- Rancangan Identifikasi JST *LVQ*



4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian Modul EKG

Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah program dan perancangan dapat berjalan sebagaimana yang diharapkan. Selain itu akan dilakukan analisa terhadap data-data yang diperoleh dari sistem saat dijalankan. Alat ini bisa digunakan untuk mendeteksi pola irama jantung sebagaimana digunakan untuk kebutuhan medis.

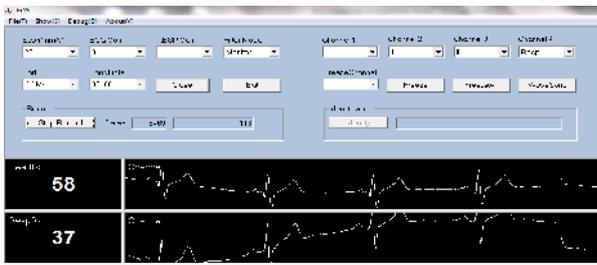
Untuk proses pengambilan data pola irama jantung, dilakukan pemasangan EKG pada tubuh manusia dengan menggunakan 5 titik penempelan Elektroda yaitu tangan kanan dan kiri, kaki kanan dan kiri, dan dada. Proses tersebut dapat dilihat pada gambar berikut:



$$x' = \frac{0.8(x - S)}{R - S} + 0.1$$

Gambar 9. Pemasangan EKG

Proses di atas bertujuan untuk mendapatkan rekaman data pola jantung berupa data ADC. Sedangkan hasilnya dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 10. Hasil Rekaman EKG

Untuk keterangan singkat terkait *interface* dari gambar di atas :

- Scan (mm/s) merupakan pilihan kecepatan pola EKG yang direkam.
- EKG Gain merupakan besar kecilnya bentuk gelombang, semakin besar angka yang dipilih maka akan semakin besar bentuk gelombangnya.
- Filter Mode dalam hal ini ada beberapa pilihan yaitu *operation, monitor, diagnose*.
- Channel merupakan pilihan lead yang akan digunakan.
- Port merupakan komunikasi serial dari modul EKG yang terbaca pada saat dihubungkan dengan PC.
- Baudrate merupakan jumlah data per detik yang dapat ditransfer melalui sebuah interface serial. Baudrate yang digunakan adalah 38400.
- Record digunakan untuk melakukan perekaman data.
- Identification merupakan hasil untuk menampilkan informasi jantung normal dan jantung tidak normal.

4.2. Analisa Jaringan Syaraf Tiruan

1) Normalisasi Data

Fungsi normalisasi berdasarkan referensi dari buku Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemrogramannya Menggunakan

<https://doi.org/10.25077/jitce.2.01.19-26.2018>

Matlab. Fungsi aktivasi yang digunakan pada JST ini adalah fungsi sigmoid biner. Maka data harus dinormalisasikan karena *range* keluaran fungsi aktivasi sigmoid adalah [0,1] sehingga data bisa ditransformasikan ke interval [0,1]. Namun, data akan ditransformasikan ke interval yang lebih kecil, misalnya [0.1,0.9] karena fungsi sigmoid merupakan fungsi asimtotik yang nilainya tidak pernah mencapai 0 ataupun 1.

Jika S pada kompleks QRS sebagai data tertinggi dan R adalah data maksimum, transformasi linear yang dipakai untuk mentransformasikan data ke interval [0.1,0.9] adalah

Keterangan : x = data ADC

R = data maksimum

S = data minimum

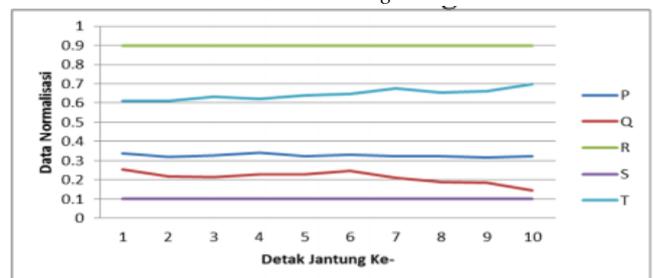
Contoh : Didapatkan nilai P = 130, Q = 114, R

= 247, S = 80, T = 157, normalisasinya sebagai berikut

- P : $x' = (0.8(130-80)/(247-80)) + 0.1$
 $= (40/167)+0.1 = 0.3395$
- Q : $x' = (0.8(114-80)/(247-80)) + 0.1$
 $= (27.2/167)+0.1 = 0.2629$
- R : $x' = (0.8(247-80)/(247-80)) + 0.1$
 $= 0.8+0.1 = 0.9$
- S : $x' = (0.8(80-80)/(247-80)) + 0.1$
 $= 0+0.1 = 0.3395$
- T : $x' = (0.8(157-80)/(247-80)) + 0.1$
 $= (61.6/167)+0.1 = 0.4687$

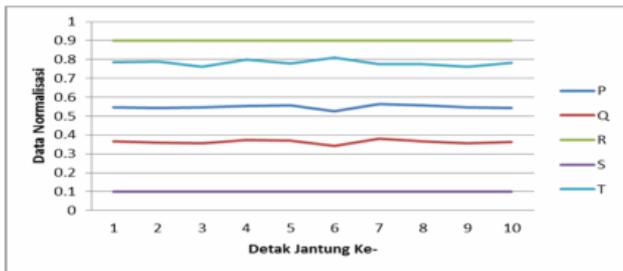
Hasil normalisasi data untuk masing-masing jantung dapat dilihat sebagai berikut,

1. Normalisasi Data Jantung Normal

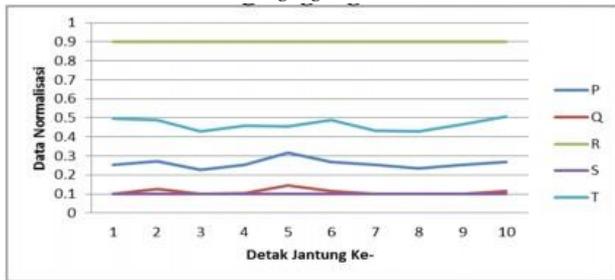


Gambar 4.12. Grafik Normalisasi Data Jantung Normal

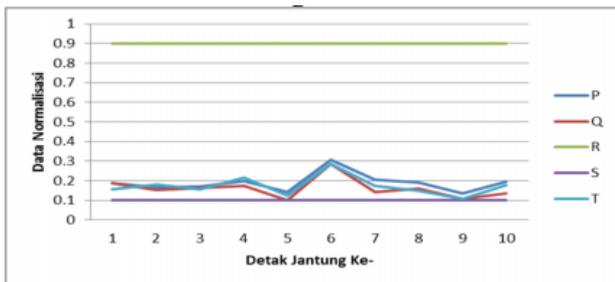
2. Normalisasi Data Jantung Tidak Normal



Gambar 4.13. Grafik Normalisasi Data Jantung Regurgitasi Aorta



Gambar 4.14. Grafik Normalisasi Data Jantung Koroner



4.15. Grafik Normalisasi Data Jantung CHF

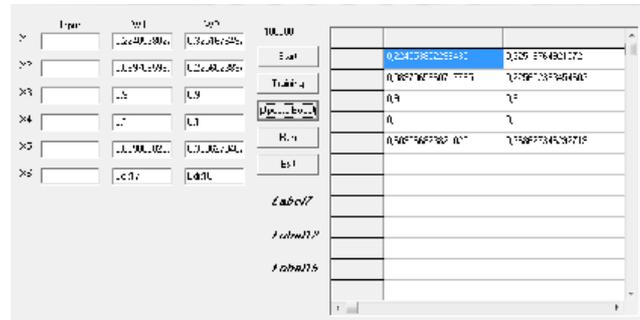
2) Training atau Pelatihan Jaringan Saraf Tiruan

Training atau pelatihan dilakukan untuk mendapatkan nilai bobot yang akan digunakan pada proses indentifikasi JST. Data yang dilatih berjumlah 20 data untuk kondisi jantung tidak normal dan 10 data untuk data jantung normal. Training dibagi ke dalam 2 kelas yaitu normal dan tidak normal serta untuk target data yang diinginkan berdasarkan kelas sesuai dengan tabel 4.1.

Tabel 4.1. Target Kelas

Output	Target Kelas
Normal	1
Tidak Normal	2

Dari data yang diperoleh tersebut dilakukanlah training dengan metode LVQ (*Learning Vector Quantization*) untuk mendapatkan nilai bobot akhir dari masing-masing kelas normal dan tidak normal berdasarkan QRS EKG-nya. Training dilakukan secara terpisah dengan program yang sudah dirancang berdasarkan algoritma LVQ untuk mendapatkan W atau bobot pada gambar 4.16.



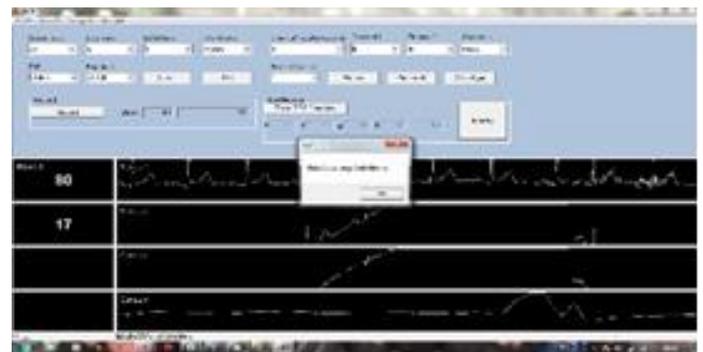
Gambar 4.16. Program Training LVQ

Tabel 4.7. Nilai Bobot Akhir Training Data

Output	Traget kelas	Bobot Akhir Training				
		P	Q	R	S	T
Normal	1	0,2241	0,0887	0,9900	0,1000	0,6091
Tidak Normal	2	0,3252	0,2256	0,9901	0,1000	0,3686

3) Identifikasi Hasil EKG secara Online

Identifikasi yang outputnya dihasilkan dari pembacaan langsung saat modul EKG-nya dioperasikan. Untuk mendapatkan hasil indentifikasi, terlebih dahulu direkam 2 komplek QRS-nya, seperti pada gambar berikut.



Gambar 4.17. Hasil Identifikasi EKG secara online

Berikut ini hasil pengujian secara langsung pada orang yang jantungnya normal dan tidak normal :

Tabel 2. Pengujian Online :

No	Input Data Uji					Kelas	Target
	P	Q	R	S	T	Uji	Kelas
1	113	110	210	121	158	1	1
2	129	124	224	123	161	1	1
3	143	119	221	128	183	1	1
4	131	119	202	109	163	1	1
5	120	109	204	93	147	1	1
6	112	89	172	90	144	1	1
7	126	117	199	111	152	2	1
8	119	104	180	93	146	1	1
9	138	123	203	134	169	1	1
10	122	110	209	109	158	1	1
11	134	121	186	124	157	1	1
12	128	114	186	117	139	2	1
13	137	123	193	124	162	1	1
14	127	114	191	115	154	1	1
15	126	106	182	114	152	1	1
16	114	97	173	104	123	2	1
17	131	109	250	73	155	2	2
18	130	114	247	80	157	2	2
19	137	122	250	81	156	2	2
20	130	67	250	73	152	2	2
21	136	73	250	78	141	2	2
22	128	72	245	71	128	2	2
23	140	78	250	84	156	2	2
24	111	89	214	41	114	2	2
25	117	87	168	51	147	2	2
Presentasi Akurasi Data							88%

modul EKG sudah sesuai dengan hasil yang diharapkan, yaitu bisa mengelompokkan jantung normal dan jantung tidak normal.

5.2 Saran

Setelah mengadakan penelitian tentang “Rancang Bangun Instrumentasi Elektrokardiograf (Ekg) Dan Klasifikasi Kenormalan Jantung Pada Pola Sinyal Elektrokardiograf (Ekg) Dengan Menggunakan *Learning Vector Quantization (Lvg)*” ini penulis melihat bahwa banyak hal yang harus di perbaiki dan lengkapi untuk kelanjutan penelitian berikutnya, untuk itu penulis mempertimbangkan beberapa saran yang diperlukan dalam proses perbaikan pada tugas akhir ini yaitu sebagai berikut :

1. Untuk mendapatkan akurasi data yang lebih bagus dan lebih sempurna, dilakukanlah pengambilan data dari sampel yang lebih banyak, terutama pada orang sakit jantung, karena akan semakin banyak variasi data yang akan dikelompokkan.
2. Untuk memudahkan pembacaan pola yang lebih akurat dari sebuah data ditambahkan metode FFT (*Fast Fourier Transform*), karena metode FFT dapat memunculkan pola sebenarnya sehingga pola yang data yang diperoleh lebih akurat dan *noise* dapat dikurangi.
3. Pengambilan data secara *online* dalam identifikasi EKG sedikit rumit karena harus mendapatkan dua nilai kompleks QRS, sehingga dalam pengambilan data sebaiknya dilakukan dalam jangka iterasi tertentu yang dipertihungkan agar operator EKG tidak direpotkan dalam pengambilan data.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian dan Analisa pada penelitian ini, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Pengujian data dilakukan dengan 3 cara yaitu pengujian data *training*, pengujian data acak *non-training*, dan pengujian secara *online*. Pengujian data *training* LVQ memiliki keakuratan 83,3% dan pengujian data *non-training* memiliki keakuratan 91,43%. Untuk pengujian data EKG secara *online* yang direkam dari 25 kali percobaan langsung menghasilkan keakuratan 80%. Dari hasil tersebut LVQ mampu mengidentifikasi kenormalan jantung dengan baik.
2. Klasifikasi kenormalan pola sinyal EKG menggunakan

DAFTAR PUSTAKA

1. Basaruddin, T, dkk. 2011. Klasifikasi *Beat* Aritmia Pada Siyal EKG Menggunakan *Fuzzy Wavelet Learning Vector Quantization*. Universitas Negeri Surabaya, Surabaya.
2. Darmawansyah, dkk. 2006. Pembuatan Elektrokardiograf (EKG) Teknologi Hibrid Menggunakan Komponen *Surface Mounting Device (SMD)*. *Jurnal*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
3. Fitriani, Nur. 2007. Bab II. *Skripsi*, Universitas Sumatera Utara, Medan.

4. Hidayati, Nurul, Budi Warsito. Prediksi Terjangkitnya Penyakit Jantung Dengan Metode Learning Vector Quantization.2010. Universitas Diponegoro, Semarang.
5. <http://www.forumsains.com/artikel/94/?print>
diakses tanggal 10 September 2013.
6. Purnamasari, Rita, dkk. Perhitungan Denyut Jantung Berdasarkan Sinyal EKG Berbasis FPGA. *Jurnal*. Institut Teknologi Telkom. Bandung.
7. Rahmat. 2009. Perancangan dan Realisasi Elektrokardiograf Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Untuk Identifikasi Kelainan Jantung. *Jurnal*. Politeknik Negeri Padang. Padang.