

Pengenalan Pola Sinyal Elektrokardiograf (EKG) dengan Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation untuk Diagnosa Kelainan Jantung Manusia

Ir. Sudjadi, MT

Ir. Agung Warsito, DHET

Erwin Setyo Nugroho

Jurusan Teknik Elektro Undip
Jl. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang (024) 7460057
Email: eeundip@indosat.net.id Fax (024) 7460055

Abstrak

Kondisi atau kelainan jantung manusia dapat diketahui melalui grafik rekaman elektrokardiograf (EKG) berdasarkan kriteria – kriteria tertentu. Pengenalan pola rekaman EKG sangat penting dalam menegakkan keakuratan diagnosa kelainan jantung manusia oleh seorang dokter. Banyaknya pola rekaman EKG merupakan suatu persoalan tersendiri dalam memberikan suatu penafsiran kondisi jantung.

Dalam Tugar Akhir ini dirancang pengenalan pola grafik rekaman EKG menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) Backpropagation yang diharapkan sebagai solusi persoalan penafsiran pola rekaman EKG. JST Backpropagation memiliki karakteristik nonadaptif sehingga sesuai diterapkan dalam penafsiran pola rekaman EKG berdasarkan kriterianya yang tidak dapat diadaptasi pola kemiripannya.

Dari hasil pengujian didapatkan kesimpulan bahwa JST Backpropagation dapat mengenali pola-pola yang telah diajarkan dengan akurat, namun gagal dalam pengenalan pola mirip (generalisasi).

1. Pendahuluan

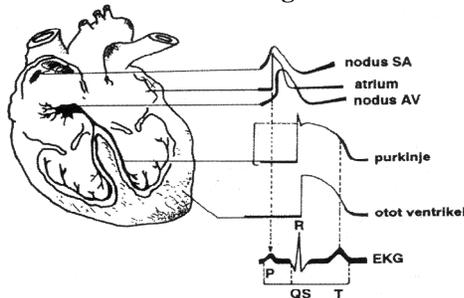
Aktivitas jantung manusia dalam memompa dan mengatur sirkulasi darah dalam tubuh ternyata merupakan efek dari aliran bioelektrik jantung. Pergerakan bioelektrik jantung ini mengakibatkan denyutan jantung dalam memompa darah. Beda potensial bioelektrik jantung mampu dideteksi di permukaan kulit dengan Elektrokardiograf.

Dalam Tugas Akhir ini dirancang sistem pengenalan pola sinyal rekaman EKG dengan menggunakan algoritma pemrograman JST Backpropagation. Tujuan Tugas Akhir ini untuk mencoba penerapan JST Backpropagation dalam pengenalan pola rekaman EKG sebagai langkah awal pengembangan suatu sistem pengenalan kondisi atau kelainan jantung manusia.

2. Dasar Elektrokardiografi

Elektrokardiograf adalah alat medis yang digunakan untuk merekam beda potensial bioelektrik di permukaan kulit yang dibangkitkan jantung dengan memasang elektroda rekam (Ag/AgCl) pada tempat tertentu di permukaan tubuh.

Aktivitas Listrik Jantung



Gambar 2.1 Denyutan jantung menghasilkan grafik EKG^[6]

Otot jantung terbentuk dari serabut – serabut otot yang bermuatan listrik, dikarenakan adanya aliran ion Natrium dari dan ke dalam sel. Akibat aliran ion Natrium ini jantung mengalami siklus depolarisasi – repolarisasi secara kontinyu sehingga membentuk pola denyutan jantung.

Bioelektrik jantung dibangkitkan oleh sinoatrial node (SA node) dan atrioventricular node (AV node) kemudian menjaral melalui sel konduksi yang disebut berkas HIS atau serat purkinje selanjutnya mengalir ke seluruh bagian jantung sehingga membentuk kompleks sinyal EKG di permukaan tubuh seperti terlihat pada gambar 2.1.

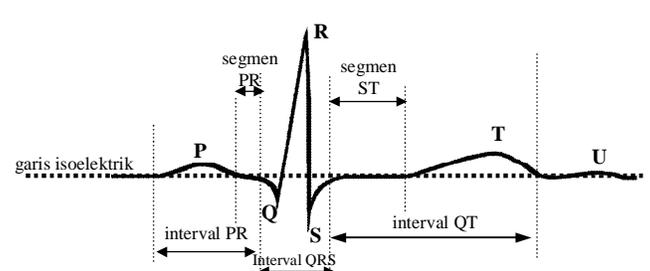
Teknik Sadapan EKG

Dalam Ilmu Kardiologi dikenal 12 sadapan EKG standar, yaitu :

- Tiga (3) sadapan bipolar Einthoven (I, II, III).
- Tiga (3) sadapan unipolar (aVR, aVL, aVF).
- Enam (6) sadapan prekordial (V1 – V6).

Untuk memperoleh tafsiran kondisi jantung maka diperlukan rekaman dari ke-12 sadapan tadi. Karena keterbatasan EKG yang digunakan, dalam Tugas Akhir ini hanya menggunakan sinyal keluaran sadapan II Einthoven.

Arti Klinis Rekaman EKG



Gambar 2.2 Grafik bentuk EKG^[5]

Tidak seluruh bagian rekaman EKG memiliki arti klinis dalam penafsirannya. Hanya bagian – bagian tertentu yang dipakai sebagai dasar penentuan suatu kondisi jantung, seperti terlihat pada gambar 2.2 berikut ini :

Puncak P disebabkan karena depolarisasi *atrium*. Q, R, dan S membentuk bersama – sama kompleks QRS, dan ini adalah hasil dari depolarisasi ventrikel. Setelah kompleks QRS, menyusul puncak T yang merupakan repolarisasi ventrikel. Peranan dari puncak U tidaklah begitu berperanan yang berkaitan dengan konsentrasi Kalsium dan Kalium dalam darah. Terjadinya puncak U ini kemungkinan disebabkan oleh repolarisasi dari serabut *Purkinje*. Repolarisasi *atrium* sering tidak jelas terlihat pada EKG disebabkan karena gelombang repolarisasi ini bersamaan dengan depolarisasi *ventrikel* (QRS) sehingga hilang ke dalamnya.

Terdapat 12 nilai yang memiliki arti klinis dari grafik keluaran EKG untuk menentukan kriteria kelainan, yaitu :

- | | |
|--------------------------|------------------|
| 1. Irama | 7. Interval Q |
| 2. Frekuensi | 8. Amplitudo R |
| 3. Amplitudo gelombang P | 9. Segmen ST |
| 4. Durasi gelombang P | 10. Interval QTc |
| 5. Interval PR | 11. Amplitudo T |
| 6. Interval QRS | 12. Keteraturan |

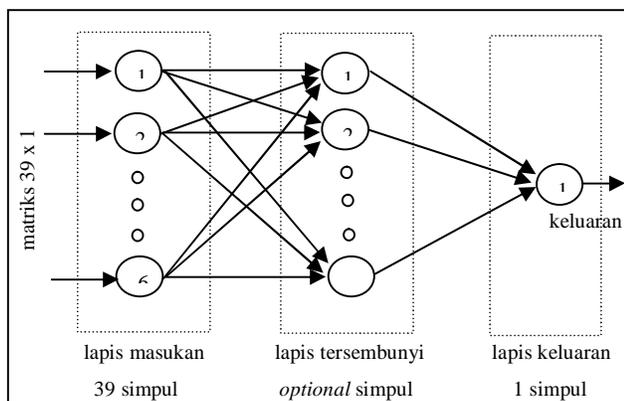
3. Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation

Jaringan syaraf yang luas digunakan adalah *Backpropagation Neural Net*. Dari beberapa perkiraan, hampir 90% aplikasi berbasis JST menerapkan metode *Backpropagation*. Jaringan ini juga dikenal dengan sebutan *Feedforward Neural Network*.^[2]

Pada *Backpropagation* tidak terdapat hubungan dua arah, tetapi selama pelatihan, kesalahan hasil perhitungan digunakan lagi pada proses awal. Kesalahan pada keluaran menentukan perhitungan kesalahan pada lapis tersembunyi, yang digunakan sebagai dasar penyesuaian bobot. Proses iterasi akan berhenti setelah kesalahan mencapai nilai toleransi yang diperbolehkan.

Arsitektur Rancangan Backpropagation

JST *Backpropagation* disimbolkan sebagai jaringan antar simpul seperti gambar 3.1 berikut :



Gambar 3.1 Arsitektur Perancangan JST Backpropagation

Dalam Tugas Akhir ini dirancang jaringan syaraf seperti gambar 3.1, dengan 39 simpul lapis masukan (*input layer*) karena *mapping* masukan berupa matriks 39x1 untuk tiap – tiap klasifikasi. Untuk jumlah simpul lapis tersembunyi (*hidden layer*) dirancang *optional* dengan tujuan dapat dianalisa jumlah simpul yang dapat diterapkan. Kemudian lapis keluaran (*output layer*) berjumlah satu buah simpul.

Dalam simpul *input layer* tidak terdapat proses perhitungan apapun hanya melewati masukan saja, sedangkan pada simpul *hidden layer* dan *output layer* terdapat perhitungan penjumlahan bobot dan aktivasi.

Fungsi Aktivasi

Fungsi aktivasi (*activation function*) diperlukan jaringan untuk membuat ketidaklinieran keluaran simpul sehingga simpul tidak hanya menghasilkan keluaran sebagaimana masukannya. Fungsi lainnya adalah untuk membatasi nilai keluaran pada rentang tertentu.

Suatu fungsi aktivasi untuk *backpropagation* harus mempunyai karakteristik penting sebagai berikut :

- Harus kontinyu dan dapat diturunkan.
- Tidak linier dan *asymptotis*
- Untuk efisiensi perhitungan, turunannya harus mudah dihitung.

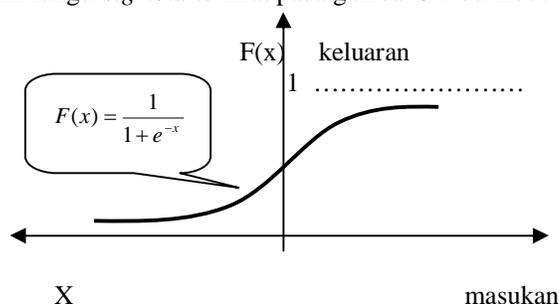
Fungsi yang umum diterapkan dalam JST *backpropagation* adalah fungsi *sigmoid binary*, yaitu :

$$F(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (3.1)$$

dengan turunan,

$$f'(x) = F(x)[1 - F(x)] \quad (3.2)$$

grafik fungsi *sigmoid* terlihat pada gambar 3.2 berikut :



Gambar 3.2 Grafik fungsi *sigmoid*

Terlihat pada grafik diatas dengan adanya fungsi aktivasi *sigmoid* maka keluaran simpul akan tidak linier tetapi dalam tentang antara 0 dan 1.

Metode Belajar

Terdapat 2 macam sistem belajar dalam jaringan syaraf, yaitu :

1. *Supervised* (terbimbing)

Dalam metode ini jaringan syaraf dilatih untuk mengenali pola dengan melakukan penyesuaian bobot, dimana suatu pola diharuskan memenuhi suatu target keluaran. Umumnya *backpropagation* menerapkan metode ini.

2. *Unsupervised* (tak terbimbing)

Dalam metode belajar tak terbimbing, jaringan syaraf tidak memiliki suatu target keluaran tertentu. Jaringan syaraf akan mengelompokkan vektor masukan bersama tanpa menggunakan data latihan untuk mencirikan ke kelompok masukan. Sehingga yang disediakan hanyalah suatu deret vektor-vektor masukan, tanpa adanya vektor-vektor keluaran target.

Dalam perancangan Tugas Akhir ini diterapkan metode belajar terbimbing.

Target Keluaran

Dalam Tugas Akhir ini jaringan syaraf difungsikan sebagai pengklasifikasi kelainan atau suatu kondisi jantung. Kondisi jantung yang mampu diketahui melalui sadapan II Einthoven adalah 27 jenis sehingga akan diadakan *mapping* pada simpul keluaran yang memiliki fungsi aktivasi *sigmoid*. Berikut 27 kondisi jantung beserta target keluaran disajikan pada tabel 3.1 :

Tabel 3.1 Keluaran target klasifikasi

No	Kondisi Jantung	Target keluaran (0,1 + R _n)
1	Normal	0.1000000000000000
2	Pembesaran Atrium	0.1296000000000000
3	Pembesaran Ventrikel	0.1592000000000000
4	Aritmia Sinus	0.1889000000000000
5	Aritmia Koronarius	0.2184000000000000
6	Bradikardia Sinus	0.2480000000000000
7	Takikardia Sinus	0.2777000000000000
8	Takikardia Atrium	0.3073000000000000
9	Flutter Atrium	0.3369000000000000
10	Fibrilasi Atrium	0.3666000000000000
11	Takikardia Atrium Multifokal	0.3962000000000000
12	Indioventrikular	0.4258000000000000
13	Takikardia Supraventrikular	0.4554000000000000
14	Takikardia Ventrikular	0.4851000000000000
15	Irama AV Juntional	0.5147000000000000
16	Blok Nodus Sinus	0.5443000000000000
17	Blok AV Derajat Satu	0.5740000000000000
18	RBBB	0.6036000000000000
19	LBBB	0.6332000000000000
20	WPW	0.6629000000000000
21	LGL	0.6925000000000000
22	Infark Miokard	0.7221000000000000
23	Hiperkalemia	0.7517000000000000
24	Hipokalemia	0.7814000000000000
25	Hiperkalsemia	0.8110000000000000
26	Hipokalsemia	0.8406000000000000
27	Normal Atlet	0.8703000000000000

Algoritma Backpropagation

Algoritma *backpropagation* meliputi tiga tahap prosedur, yaitu :

- Prosedur *feedforward*
- Perhitungan serta perambatan balik kesalahan
- Penyesuaian bobot.

Sebelum proses pelatihan terlebih dahulu ditentukan bobot-bobot awal secara acak dan toleransi kesalahan minimum (ϵ). Bobot-bobot awal ini nantinya diinisialisasi dan digunakan pada proses *feedforward* awal, sedangkan proses *feedforward* selanjutnya menggunakan bobot-bobot yang telah mengalami perbaikan. Toleransi kesalahan minimum (ϵ) berfungsi sebagai pembatas berulangnya proses iterasi dalam suatu pelatihan. Proses pelatihan akan terus berulang hingga diperoleh koreksi kesalahan yang sama dengan/lebih kecil dari toleransi kesalahan minimum.

Algoritma *feedforward* diuraikan dalam langkah-langkah atau alur prosedur sebagai berikut^[11] :

Step 1: Setiap unit masukan (X_n , $n = 1, \dots, n$) menerima sinyal-sinyal masukan x_n dan mengirimkan sinyal-sinyal ini ke unit-unit selanjutnya (unit-unit tersembunyi).

Step 2: Setiap unit tersembunyi (I_h , $h = 1, \dots, h$) menjumlahkan sinyal-sinyal terbobotnya (persamaan 3.3) :

$$i_in_h = \theta_{hn} + \sum_n x_n w_{hn} \quad (3.3)$$

Kemudian menerapkan fungsi aktivasinya untuk menghitung sinyal keluarannya:

$$I_h = f(i_in_h) \quad (3.4)$$

lalu mengirimkannya pada semua unit lapis lapis keluaran.

Step 3: Setiap unit keluaran (O_k , $k = 1, \dots, k$) menjumlahkan sinyal masukan terbobotnya :

$$o_in_k = \theta_{kh} + \sum_h i_h w_{kh} \quad (3.5)$$

Kemudian menerapkan fungsi aktivasi untuk menghitung sinyal keluarannya :

$$o_k = f(o_in_k) \quad (3.6)$$

Setelah sinyal keluaran didapatkan maka akan dimulai tahapan prosedur penghitungan kesalahan dan perambatan balik nilai kesalahan ke lapis tersembunyi lalu ke lapis keluaran sebagaimana dijelaskan dalam langkah berikut :

Step 4: Pada setiap unit keluaran (O_k , $k = 1, \dots, k$) menerima sebuah pola keluaran target yang berhubungan dengan pola masukan pelatihan, untuk menghitung informasi kesalahannya,

$$\delta_k = (t_k - o_k) f'(o_k) \quad (3.7)$$

Lalu menghitung besar koreksi bobotnya (untuk memperbaiki w_{kh}) :

$$\Delta w_{kh} = \eta \delta_k I_h \quad (3.8)$$

Selanjutnya menghitung besar koreksi biasnya

$$\Delta \theta_{kh} = \eta \delta_k \quad (3.9)$$

dan mengirimkan δ_k ke unit-unit lapis tersembunyi.

Step 5: Pada setiap unit tersembunyi (I_h , $h = 1, \dots, h$) jumlahkan masukan deltanya (dari unit-unit lapis keluaran):

$$\delta_in_h = \sum_k \delta_k w_{kh} \quad (3.10)$$

Kemudian hasil ini akan digunakan untuk menghitung besar informasi informasi kesalahannya,

$$\delta_h = \delta_in_h f'(i_h) \quad (3.11)$$

Lalu menghitung besar koreksi bobotnya (untuk memperbaiki w_{hn}),

$$\Delta w_{hn} = \eta \delta_h x_n \quad (3.12)$$

Dan menghitung koreksi biasnya (untuk memperbaiki θ_{hn}),

$$\Delta \theta_{hn} = \eta \delta_h \quad (3.13)$$

Prosedur selanjutnya adalah proses perbaikan bobot dan bias dari unit input dan unit tersembunyi, diuraikan dalam langkah – langkah berikut :

Step 6: Masing-masing unit keluaran ($O_k, k = 1, \dots, k$) diperbaiki bobot dan biasnya

$$w_{kh}(\text{baru}) = w_{kh}(\text{lama}) + \Delta w_{kh} \quad (3.14)$$

$$\theta_{kh}(\text{baru}) = \theta_{kh}(\text{lama}) + \Delta \theta_{kh} \quad (3.15)$$

Step 7: Masing-masing unit tersembunyi ($I_h, h = 1, \dots, h$) diperbaiki bobot dan biasnya

$$w_{hn}(\text{baru}) = w_{hn}(\text{lama}) + \Delta w_{hn} \quad (3.16)$$

$$\theta_{hn}(\text{baru}) = \theta_{hn}(\text{lama}) + \Delta \theta_{hn} \quad (3.17)$$

Step 8: Proses berhenti pada saat koreksi kesalahan mencapai minimum.

Epoch (jangka waktu) adalah satu set putaran vektor-vektor pelatihan sebuah JST *Backpropagation*. Dalam algoritma ini dilakukan perbaikan bobot setelah masing-masing pola pelatihan disajikan. Setelah pelatihan selesai bobot-bobot yang telah mengalami perbaikan tersebut disimpan dalam suatu file.

Ada metode untuk mempercepat pencapaian nilai *konvergen* hasil pelatihan, yaitu algoritma belajar *backpropagation* dengan *momentum*. Dalam metode ini perbaikan bobot merupakan kombinasi antara kemiringan sekarang (*current gradient*) dengan kemiringan sebelumnya (*previous gradient*). Dalam metode *momentum*, perbaikan bobot sebelumnya harus disimpan karena perubahan bobot baru didasari oleh bobot sebelumnya. Perumusan bobot unit keluaran *backpropagation* dengan *momentum* terlihat dalam persamaan berikut^[11]:

$$w_{jk}(t+1) = w_{jk}(t) + \eta \delta_k i_h + \alpha [w_{jk}(t) - w_{jk}(t-1)] \quad (3.18)$$

atau,

$$\Delta w_{jk}(t+1) = \eta \delta_k i_h + \alpha \Delta w_{jk}(t)$$

dan perbaikan pada unit tersembunyi :

$$w_{hn}(t+1) = w_{hn}(t) + \eta \delta_h x_n + \alpha [w_{hn}(t) - w_{hn}(t-1)] \quad (3.19)$$

atau,

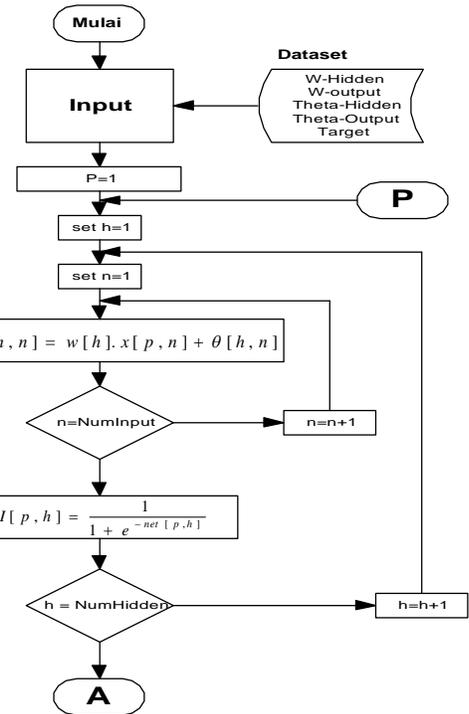
$$\Delta w_{hn}(t+1) = \eta \delta_h x_n + \alpha \Delta w_{hn}(t)$$

Step 6 dan 7 sebelumnya diubah dengan persamaan (3.18) dan (3.19) sehingga prosedur standar perbaikan bobot *backpropagation*, menjadi *backpropagation* dengan *momentum* yang hasil iterasi pelatihannya akan lebih cepat.

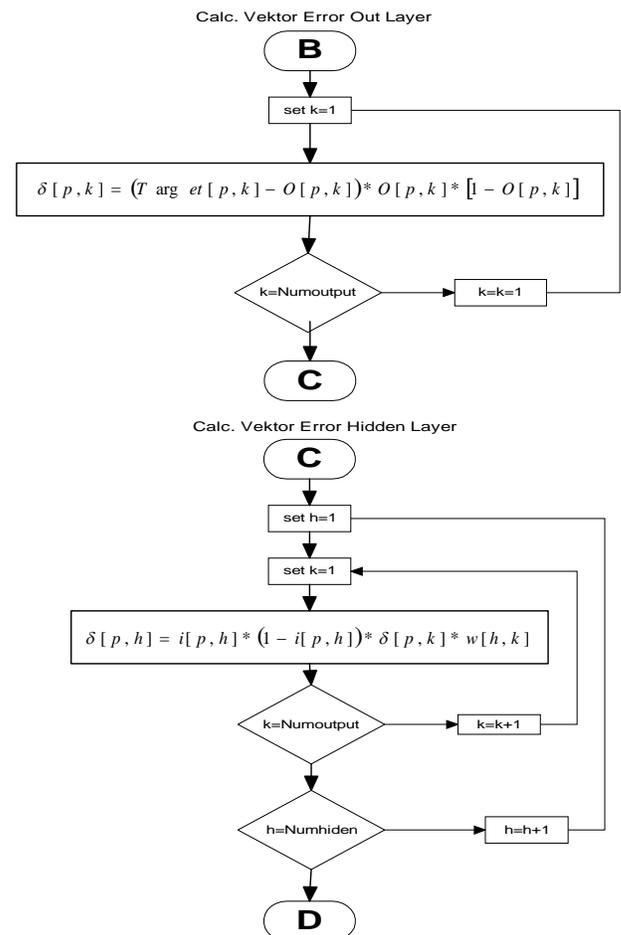
Implementasi Program

Algoritma *backpropagation* diatas selanjutnya diimplementasikan dalam bahasa pemrograman Delphi versi 5 dengan diagram alir utama pada gambar 3.3, gambar 3.4 dan gambar 3.5.

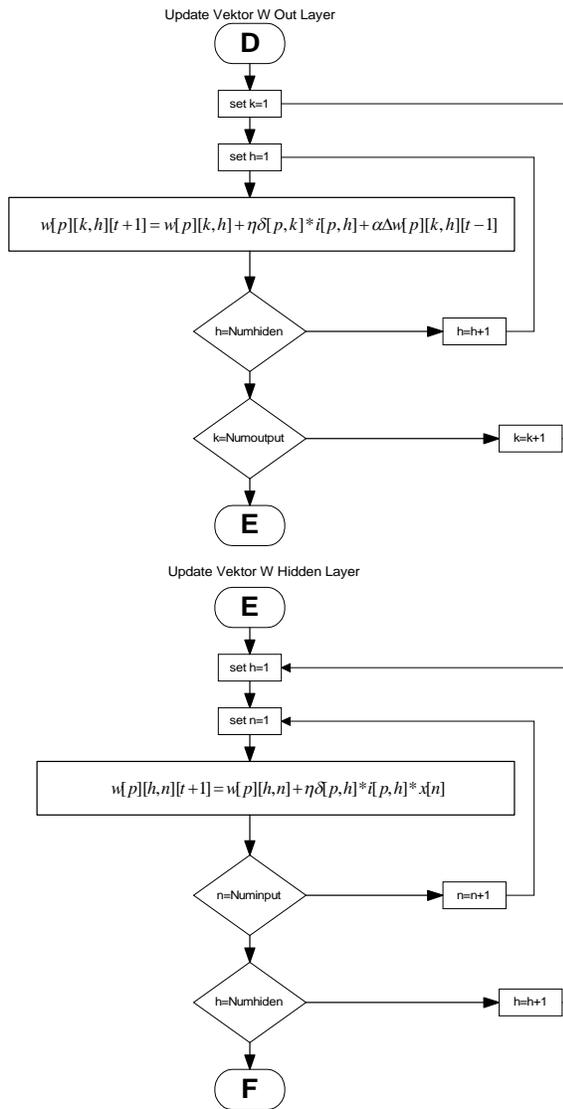
Gambar 3.3 merupakan proses *feedforward* dari lapis masukan ke lapis tersembunyi, yang meliputi proses penjumlahan hasil kali masukan dengan bobot-bobotnya kemudian dimasukkan dalam fungsi aktivasi untuk memperoleh keluaran simpul lapis tersembunyi. Proses yang sama juga terjadi pada lapis tersembunyi sampai lapis keluaran.



Gambar 3.3 Diagram Alir *feedforward* input layer to hidden layer



Gambar 3-4 Diagram Alir Perhitungan Kesalahan



Gambar 3-5 Diagram Alir Perbaikan Bobot Jaringan

Pada gambar 3.4 merupakan alur program perhitungan kesalahan pada lapis keluaran maupun lapis tersembunyi, apabila nilai kesalahan telah memenuhi toleransinya maka proses akan berhenti untuk selanjutnya menuju proses perbaikan bobot – bobot jaringan syaraf.

Pada gambar 3.5 berikut disajikan diagram alir perbaikan bobot jaringan setelah proses iterasi mencapai keluaran target. Bobot – bobot jaringan hasil perbaikan selanjutnya disimpan untuk dapat dipanggil kembali pada proses aplikasi jaringan syaraf.

Proses diatas sudah menggunakan metode perbaikan bobot dengan *momentum* sehingga program akan cepat konvergen menuju nilai yang telah ditargetkan.

4. Analisa Dan Pengujian Sistem

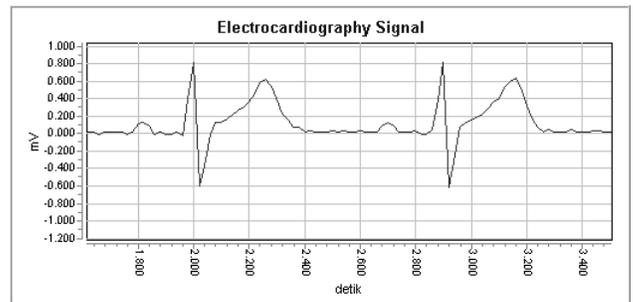
Tujuan Pengujian untuk mengetahui sejauh mana keakuratan sistem hasil perancangan. Pengujian dilakukan dengan masukan simulasi kriteria normal yang telah diajarkan. Pengujian pola mirip dengan masukan-masukan yang sedikit diubah kombinasi masukannya.

Keakuratan *JST Backpropagation* berdasar 2 hal utama, yaitu keakuratan sistem yang dituntut mampu mengenali pola yang telah diajarkan maupun pola mirip dan keakuratan data saat pembelajaran awal pola yang dikenalkan. Sehingga *JST Backpropagation* merupakan kolaborasi seorang programmer yang bertanggung jawab atas keakuratan sistem pemroses dan seorang dokter yang bertanggung jawab atas keakuratan pelatihan.

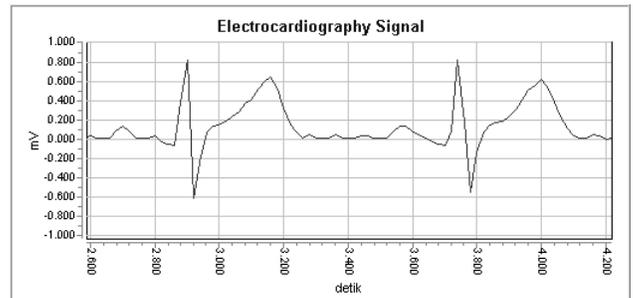
Dari 142 pola normal yang telah diajarkan terdapat 3 kesalahan pengenalan, sehingga :

$$\text{Prosentasi_Keakuratan} = \frac{142 - 3}{142} \times 100\% = 97,88\%$$

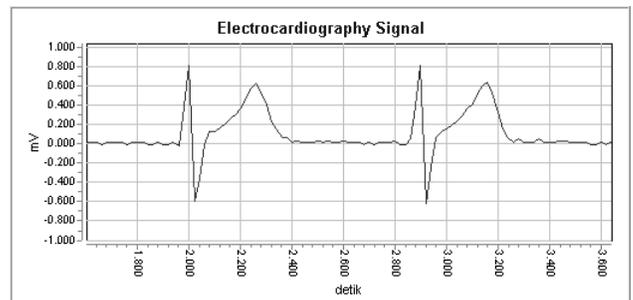
Kemudian diadakan pengujian masukan sinyal EKG berikut :



Gambar 4.1 Rekaman EKG Normal



Gambar 4.2 Rekaman EKG Normal dengan perubahan nilai interval Q



Gambar 4.3 Rekaman EKG tidak memiliki gelombang P

Menurut pembacaan dokter gambar 4.1 dan gambar 4.2 ditafsirkan normal, hasil dari *JST Backpropagation* adalah normal. Perbedaan kedua gambar tersebut pada nilai interval PR dan interval Q-nya, kedua kriteria tersebut bukan kriteria utama sehingga perubahan nilai keduanya tidak

mempengaruhi hasil program. Gambar 4.3 merupakan pola belum dikenali karena belum diajarkan pada jaringan syaraf.

Dari hasil pengujian didapatkan kesimpulan bahwa JST *Backpropagation* hasil perancangan ini mampu mengenali pola yang telah diajarkan dengan tingkat keakuratan 97,88% namun gagal untuk pengenalan pola mirip yang belum diajarkan pada jaringan syaraf.

JST *Backpropagation* dalam tugas akhir ini dibuat *online learning* sehingga dapat langsung meminta pembelajaran tambahan manakala dijumpai pola belum dikenali.

5. Penutup

Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian dan analisa hasil, dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Dari analisa perancangan JST *Backpropagation* didapatkan ukuran jaringan yang akurat diterapkan dalam pengenalan pola sinyal rekaman EKG dengan 10 simpul pada lapis tersembunyi, nilai parameter belajar 0,15 dan nilai parameter momentum 0,9.
2. JST *Backpropagation* hasil perancangan dapat mengenali pola-pola yang telah diajarkan dengan baik namun gagal dalam pengenalan pola kemiripan yang belum diajarkan (generalisasi).
3. JST *Backpropagation* hasil perancangan ini tidak cocok diterapkan dalam pengenalan pola rekaman EKG karena ketidakteraturan dan kerumitan kriteria kelainan jantung sehingga sulit mendapatkan jaringan syaraf yang mampu menggeneralisasi pola-pola mirip yang mengakibatkan proses pencarian bobot jaringan menjadi lama.

Saran Dan Tidak Lanjut

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dan disarankan untuk pengembangan selanjutnya adalah :

1. Untuk mendapatkan keakuratan JST *Backpropagation* perlu diadakan dicoba penggunaan jumlah lapis tersembunyi (*hidden layer*) lebih dari satu buah dan penggunaan fungsi-fungsi aktivasi lainnya sehingga sifat generalisasi pola mirip jaringan syaraf dapat tercapai.
2. Perlu dicoba penggunaan jaringan syaraf tipe lain yang sesuai dengan karakteristik pengklasifikasian kelainan jantung berdasarkan rekaman EKG.
3. Seiring kemampuan *builder* dan *compiler* program saat ini, pengenalan pola rekaman EKG dapat dikembangkan dengan masukan *pixel* gambar rekaman EKG sehingga lebih memudahkan pengambilan keputusan saat pembelajaran jaringan.
4. Untuk memenuhi standar Ilmu Kardiologi (Ilmu Jantung) dalam penafsiran rekaman EKG, perlu dikembangkan masukan dengan 12 sadapan EKG standar sehingga hasil program dapat diterapkan dalam dunia kedokteran.
5. Untuk keefektifan program sebaiknya menggunakan bahasa-bahasa pemrograman tingkat rendah semisal pemrograman bahasa C sehingga proses pencarian bobot-bobot jaringan dapat lebih cepat.

Referensi

1. RD Lele. *Computer In Medicine*. McGraw-Hill Publishing New Delhi, 1993.
2. Stephan T Welstead. *Neural Network and Fuzzy Logic Applications in C/C++*. John Wiley & Sons Inc, 1994
3. Burnside and Mc Gyinn. *Diagnosis Fisik*. EGC, 1990.
4. Lily Ismudiarti. *Buku Ajar Kardiologi*. FKUI, 1998.
5. Meurs - Arntzenius. *Elektrokardiografi Praktis*. Penerbit Hipokrates, 1990.
6. Sjukri Karim dan Peter Kabo. *EKG dan Penunjang Beberapa Penyakit Jantung untuk Dokter Umum*. FKUI, 1996.
7. Von Der Mosel. *Principles of Biomedical Engineering for Nursing Staff*. Blackwell Scienctetic Publications, 1993.
8. Agung Warsito. *Jaringan Syaraf Buatan*. Transmisi volume 2 nomer 1, Desember 1999.
9. Maman Sumantri. *Pengenalan Pola Dengan Jaringan Syaraf Tiruan*. Transmisi volume 1 nomer 1 Juni 1999.
10. Wardani H. *Jaringan Staraf Tiruan Backprobagation Untuk Diagnosa Kelainan dan Penyakit Pada Fungsi Hati*. Tugas Akhir, Teknik Elektro Undip, 2000.
11. Laurence Fausett. *Fundamental of Neural Networks*. Prentice Hall Englewood, 1994.
12. Limin Fu. *Neural Netwoks in Computer Intelligence*. McGraw-Hill Inc, 1994.
13. John Hampton. *EKG Dalam Praktek Sehari-Hari*. Binarupa Aksara, 1989.
14. Malcolm S. Thaler. *The Only EKG Book You'll Ever Need. 2/d*. Lippincoll Co, 1995.
15. Tompkins-Webster. *Design of Microcomputer-Based Medical Instrumentation*. Prentice-Hall Inc, 1981.
16. Guyton-Hall. *Buku Ajar Fisiologi Kedokteran ed. 9*. EGC, 1997.
17. Soehardo Kertohoesodo. *Pengantar Kardiologi*. UI Press, 1987.
18. Ibnu Mas'ud. *Dasar – Dasar Fisiologi Kardiovaskuler*. EGC, 1996.
19. [Http://www.ecglibrary.com](http://www.ecglibrary.com)
20. [Ftp://ftp.sas.com/pub/neural/FAQ.html](ftp://ftp.sas.com/pub/neural/FAQ.html) maintener by Warren S. Sarle (saswss@unx.sas.com) copyright 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, Cary, USA
21. <http://www.emsl.pnl.gov:2080/proj/neuron/homepage.html> Last revised on Wednesday 24 January 2001
22. <http://www.dontveter.com/bpr/bpr.html>

Acknowledgment

The Authors would like to appreciate the advisements and insight by Mr. Ir. Sudjadi, MT and Mr. Ir. Agung Warsito, DHET (Diponegoro University), Leepy DM, ST (GECCO Electric), Mr. Dr. Donald R Tveter, Ph.D (University of Central England – UCE), Intelligent Systems and Information Strategy Rearch)

Biographies

Erwin S. Nugroho was born on December 06, 1976 in Yogyakarta. He is a student in Electrical Engineering, Diponegoro University majoring in Control and Instrumentation Engineering. His currently research on implementation of Artificial Intellegence, specifically on Artificial Neural Network.