

PENGENALAN SIGNAL EKG MENGGUNAKAN EMPIRICAL MODE DECOMPOSITION (EMD), DEKOMPOSISI PAKET WAVELET DAN K-MEANS-CLUSTERING

Achmad Rizal, Jondri, dan Sugondo H
Biomedical Signal Processing & Instrumentation Research Group (BioSPIN)
Fakultas Elektro & Komunikasi, Institut Teknologi Telkom, Bandung
Computational Science Research Group (CSRG)
Fakultas Sain, Institut Teknologi Telkom, Bandung
 arl@ittelkom.ac.id, jdn@ittelkom.ac.id, dan sugondo.hadiyoso@gmail.com

ABSTRACT

ECG (electrocardiogram) is a signal obtained from human body which is used to detect human's heart condition. ECG is a human's heart electricity activity record. If there is any anomaly from the normal heart electricity pattern, the person can be diagnosed as having heart problem. In this research, heart problem detection is conducted using the combination of the Empirical Mode Decomposition (EMD) and Wavelet package decomposition to recognize ECG signal automatically. ECG signal is decomposed using EMD up until level 3, and continued using the Wavelet Daubechies 2 up until level 5. Periodogram of the energy resulted from each subband is calculated. The k-means clustering method is used as classifier. The distance of each data is calculated using a number of different methods. From the three class data being tested: Normal Sinus Rhythm (NSR), Congestive Heart Failure (CHF), and Atrial Fibrillation (AF), an accuracy of 90% is obtained for the cityblock distance space. This shows that the method is good enough in recognizing the ECG signal tested.

Keywords: *Electrocardiogram (EG), Wireless LAN, Single-Channel Electrocardiograph.*

1. Pendahuluan

Sinyal EKG adalah sinyal listrik yang dihasilkan oleh aktifitas kelistrikan jantung. Kelainan dari fungsi jantung seseorang dapat dilihat dari rekaman sinyal EKG ini. Seorang ahli jantung menilai rekaman sinyal EKG dari bentuk gelombang, durasi, orientasi sinyal, dan irama sinyal. Penilaian ini relatif subyektif, tergantung dari keahlian dokter dan kondisi pasien. Seiring dengan kemajuan teknologi elektronika dan berkembangnya teknik-teknik pengolahan sinyal digital, banyak cara dikembangkan untuk mengenali kelainan jantung secara otomatis melalui pengenalan sinyal EKG^{[1][2][6]}. Pengolahan sinyal EKG yang dilakukan bisa pada domain waktu, domain frekuensi atau domain *wavelet*. Pada penelitian ini diujicobakan kombinasi metode EMD dan metode *wavelet* untuk pengenalan kelainan jantung melalui sinyal EKG.

2. Teori EKG

Berikut akan dijelaskan teori tentang sinyal EKG dan akuisisinya.

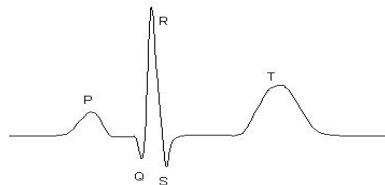
2.1 Elektrokardiogram

Elektrokardiogram (EKG) adalah suatu gambaran dari potensial listrik yang dihasilkan oleh aktifitas listrik otot jantung. EKG ini merupakan rekaman informasi kondisi jantung diambil dengan elektrokardiograf yang ditampilkan melalui monitor atau dicetak pada kertas^[7]. Rekaman EKG ini digunakan oleh dokter ahli untuk menentukan kondisi jantung dari pasien.

2.2 Gelombang EKG Normal

Sebuah sinyal yang didapat dari EKG normal adalah seperti pada Gambar 1. Gelombang EKG normal memiliki ciri-ciri sebagai berikut^[7]:

1. Gelombang P mempunyai amplituda kurang dari 0,3 mV dan perioda kurang dari 0,11 detik.
2. Gelombang Q mempunyai amplituda sebesar minus 25% dari amplituda gelombang R.



Gambar 1. Gelombang EKG Normal

3. Gelombang R mempunyai amplituda maksimum 3 mV.
4. Gelombang S merupakan defleksi negatif sesudah gelombang R.
5. Kompleks QRS terdiri dari gelombang Q, R dan S yang memiliki perioda 0,06-0,10 detik dengan perioda rata-rata 0,08 detik.
6. Gelombang T mempunyai amplituda minimum 0,1 mV.

2.3 Teknik-Teknik Elektrokardiografi

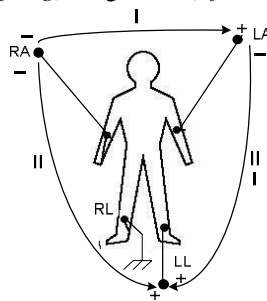
Pada dasarnya ada tiga teknik yang digunakan dalam elektrokardiografi, yaitu^[9]:

1. *Standard clinical ECG.*
Teknik ini menggunakan 10 elektroda (12 *lead*) yang ditempatkan pada titik-titik tubuh tertentu. Teknik ini dipakai untuk menganalisa pasien.
2. *Vectorcardiogram.*
Teknik ini menggunakan 3 elektroda yang ditempatkan pada titik-titik tubuh tertentu. Teknik ini menggunakan pemodelan potensial tubuh sebagai vektor tiga dimensi dengan menggunakan sandapan baku bipolar (Einthoven). Dari sini akan dihasilkan gambar grafis dari eksistensi jantung.
3. *Monitoring ECG.*
Teknik ini menggunakan 1 atau 2 elektroda yang ditempatkan pada titik-titik tubuh tertentu. Teknik ini digunakan untuk memonitor pasien dalam jangka panjang.

2.4 Sistem Lead Monitoring ECG

Sinyal EKG yang dianalisis adalah sinyal yang diambil menggunakan 3 *lead* sesuai dengan segitiga Einthoven^[9]. Pada sistem ini sinyal EKG tiap *lead* merupakan beda potensial antar anggota tubuh antara lain:

- *Lead I*: beda potensial antara LA (*left arm*) dengan RA (*right arm*)
- *Lead II*: beda potensial antara LL (*left leg*) dengan RA (*right arm*)
- *Lead III*: beda potensial antara LL (*left leg*) dengan LA (*left arm*)



Gambar 2. Segitiga Einthoven

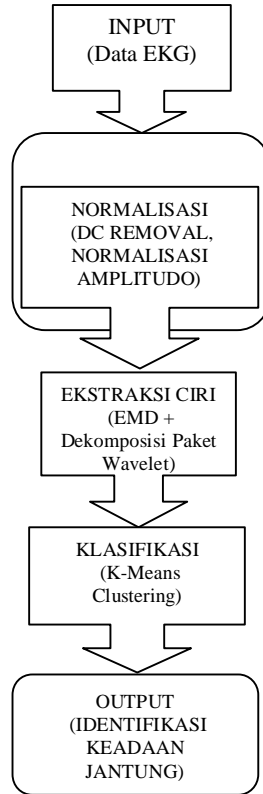
3. Perancangan Sistem

3.1 Diagram Blok Sistem

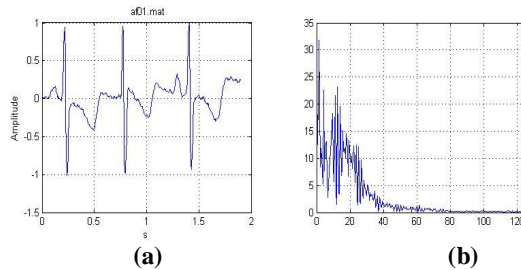
Sistem pengenalan EKG yang dirancang dapat dilihat pada Gambar 3. Sinyal EKG hasil rekaman dinormalisasi kemudian dilakukan EMD sampai nilai IMF = 3. Sinyal hasil EMD tersebut kemudian disusun untuk selanjutnya didekomposisi dengan menggunakan dekomposisi paket *wavelet* sampai level 5 dengan menggunakan *Daubechies 2* sebagai *mother wavelet*. Sinyal-sinyal *subband* hasil dekomposisi tersebut kemudian dihitung energinya untuk menjadi ciri yang akan dikenali. Sebagai alat untuk membedakan kelas data yang satu dengan yang lain digunakan *K-means clustering*.

3.2 Data ECG

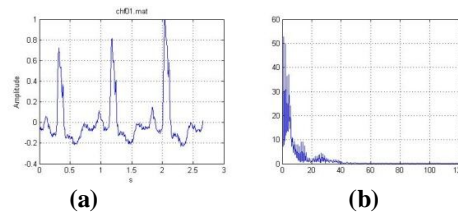
Data diambil dari MIT-BIH *data base* terdiri dari 3 kelas data yaitu *Normal Sinus Rhythm (NSR)*, *Atrial Fibrillation (AF)*, dan *Congestive Heart Failure (CHF)*. Data ini diambil dari *lead 2* dengan frekwensi sampling 250 Hz, panjang rekaman 2-3 detik atau tiap data terdiri dari 3 gelombang QRS^[4].



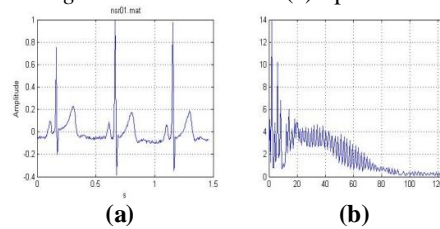
Gambar 3. Skema Sistem Pengenalan ECG



Gambar 4. (a) Sinyal EKG Kasus *Atrial Brilliation* (b) Spektrum Frekuensi *Atrial Fibrillation*



Gambar 5. (a) Sinyal EKG Kasus *Congestive Heart Failure* (b) Spektrum Frekuensi *Congestive Heart Failure*



Gambar 6. (a) Sinyal EKG Kasus *Normal Sinus Rhythm* (b) Spektrum Frekuensi *Normal Sinus Rhythm*

3.3 Preprocessing

Preprocessing yang dilakukan berupa penyeragaman data agar parameter data menjadi sama. Proses yang dilakukan adalah normalisasi berupa normalisasi amplitudo dan DC removal dari data yang didapat. DC removal dapat dilakukan dengan persamaan:

$$S(i) = S(i) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S(i) \quad (2)$$

Sedangkan normalisasi amplitudo dilakukan dengan persamaan berikut:

$$S(i) = \frac{S(i)}{S_{\max}} \quad (3)$$

3.4 EMD

Proses yang digunakan pada EMD disebut *shifting process*^[10]. Konsep dasar dari EMD adalah untuk mengidentifikasi skala waktu yang tepat yang dapat menunjukkan karakteristik fisik sinyal, dan kemudian mengubah sinyal ke mode intrinsik dengan fungsi, yang disebut sebagai Fungsi Mode intrinsik (IMF)^[10]. Deteksi sinyal menggunakan EMD dapat dicari dari langkah-langkah sebagai berikut^[10]:

1. Mengidentifikasi nilai ekstrim dari sinyal $x(t)$. Meliputi *upper envelope* dan *lower envelope*.
2. Menghitung data di antara *upper envelope* dan *lower envelope* yang didefinisikan sebagai m_1 (mean dari data yang berada di antara *upper envelope* dan *lower envelope*). Perbedaan antara data (sinyal awal) dan m_1 adalah komponen h_1 yang disebut juga sebagai IMF pertama.

$$x(t) - m_1 = h_1 \quad (4)$$

IMF pertama dari data juga dapat dinyatakan sebagai

$$c_1 = h_1 \quad (5)$$

3. Memisahkan c_1 dari residu data dengan persamaan

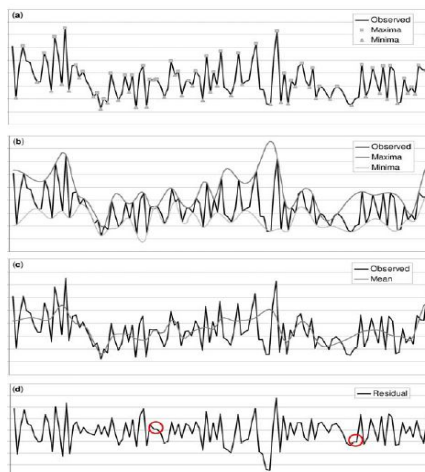
$$x(t) - c_1 = r_1 \quad (6)$$

Hingga diperoleh persamaan

$$x(t) = \sum_{i=1}^n c_i + r_n \quad (7)$$

dimana sinyal didekomposisikan menjadi *n-empirical modes* dan residu (r_n) yang bila digabungkan lagi akan membentuk sinyal awal

4. Melakukan langkah-langkah tersebut berkali-kali hingga menghasilkan beberapa IMF yang nilainya stabil dan akhirnya menghasilkan suatu residu yang konstan atau monoton. Berikut merupakan contoh proses pengolahan sinyal dengan EMD:

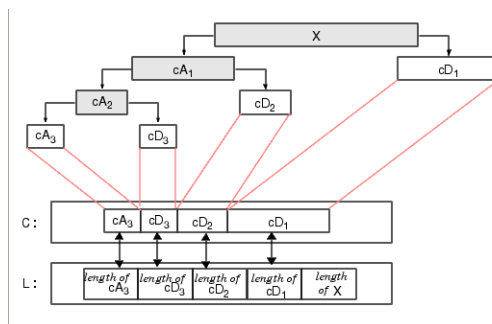


Gambar 5. Langkah-Langkah Mengidentifikasi IMF Yang Pertama

3.5 Dekomposisi Paket Wavelet

Metode paket *wavelet* merupakan generalisasi dari dekomposisi *wavelet* yang memberikan jangkauan yang lebih luas untuk analisis sinyal. Pada dekomposisi *wavelet* sinyal dibagi menjadi komponen aproksimasi dan *detail*. Komponen

aproksimasi kemudian dibagi lagi menjadi komponen aproksimasi dan *detail*, begitu seterusnya sampai level yang diinginkan^[1].

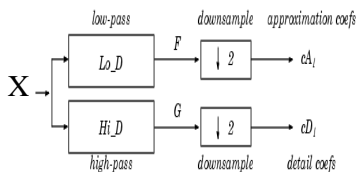


Gambar 6. Dekomposisi Wavelet

Secara matematis dekomposisi *wavelet* 3 tingkat dapat dituliskan^[5]:

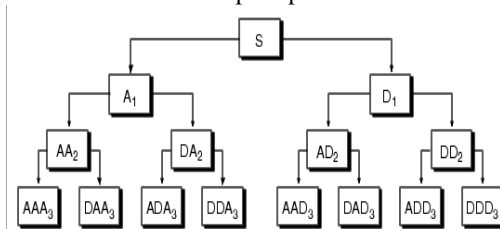
$$\begin{aligned}
 X &= cA_1 + cD_1 \\
 &= cA_2 + cD_2 + cD_1 \\
 &= cA_3 + cD_3 + cD_2 + cD_1
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

Komponen cA1 dan cD1 didapat lewat operasi seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Proses Dekomposisi Wavelet^[1]

Pada paket *wavelet*, dekomposisi dilakukan pada komponen aproksimasi dan *detail* sekaligus. Komponen *detail* juga dibagi menjadi komponen *detail* aproksimasi dan *detail* seperti pada Gambar di bawah ini:



Gambar 8. Dekomposisi Paket Wavelet^[1]

Dekomposisi yang dilakukan pada sinyal EKG dilakukan sampai level 5 dengan menggunakan *Daubechies 2* (db2) sebagai *mother wavelet*-nya. Proses ini akan menghasilkan 32 *subband* sinyal dengan lebar sekitar 7.8 Hz. Langkah selanjutnya adalah menghitung periodogram dari tiap *subband* hasil dekomposisi. Periodogram dari deretan data $[x_1, x_2, \dots, x_n]$ dapat dihitung dengan rumus berikut^[8]:

$$S(e^{j\omega}) = \frac{1}{n} \left| \sum_{l=1}^n x_l e^{-j\omega l} \right|^2
 \tag{9}$$

Dari hasil perhitungan tersebut dihitung energi yang kemudian akan menjadi fitur dari sinyal EKG yang diamati. Hasilnya berupa matrik dengan ukuran 32x1.

3.6 K-Mean Clustering

Setelah ekstraksi ciri dilakukan, langkah berikutnya adalah mengenali ciri yang diambil dari tiap data. Sebagai *classifier* digunakan metode *K-means clustering*^[3]. Metode ini membagi data masukan menjadi kluster-kluster dengan *centroid* masing-masing. Karena terdapat 3 kelas data yang diujikan maka jumlah kluster yang dibentuk adalah 3 dan diharapkan antar kelas data terpisah pada masing-masing kluster. Untuk mengukur jarak antar data dengan *centroid* tiap kluster, digunakan beberapa metode. Misal diberikan $m \times n$ data matriks X, dengan vector baris x_1, x_2, \dots, x_m , berbagai jarak antara *vector* x_r dan x_s didefinisikan sebagai berikut:

a. *Euclidean distance*

$$d_{rs}^2 = (x_r - x_s)(x_r - x_s)' \quad (10)$$

b. *City Block Metric/Manhattan distance*

$$d_{rs} = \sum_{j=1}^n |x_{rj} - x_{sj}| \quad (11)$$

c. *Cosine distance*

$$d_{rs} = \left(1 - x_r x_s' / (x_r' x_r)^{1/2} (x_s' x_s)^{1/2}\right) \quad (12)$$

d. *Correlation distance*

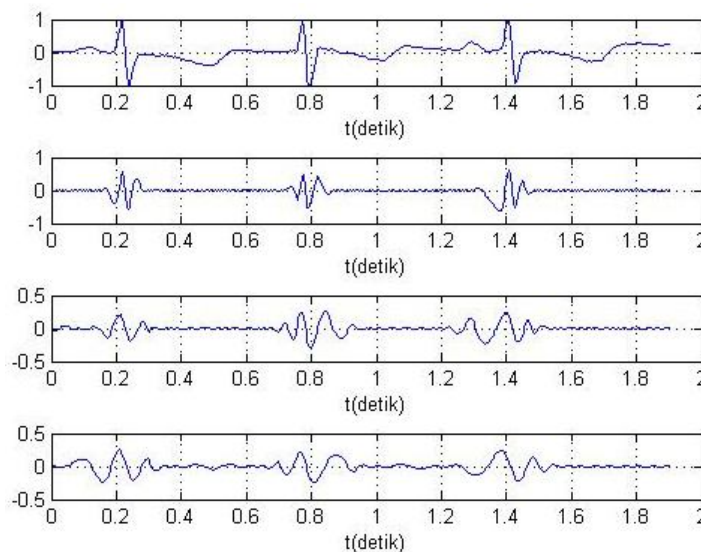
$$d_{rs} = 1 - \frac{(x_r - \bar{x}_r)(x_s - \bar{x}_s)'}{[(x_r - \bar{x}_r)(x_r - \bar{x}_r)']^{1/2} [(x_s - \bar{x}_s)(x_s - \bar{x}_s)']^{1/2}} \quad (13)$$

dimana:

$$\bar{x}_r = \frac{1}{n} \sum_j x_{rj} \quad \text{dan} \quad \bar{x}_s = \frac{1}{n} \sum_j x_{sj}$$

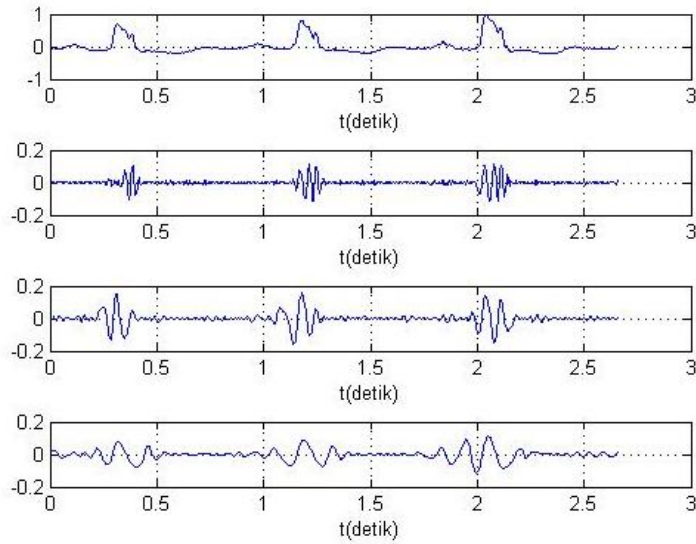
4 Hasil dan Diskusi

Sinyal masukan terdiri dari 3 kelas, *Normal Sinus Rythm (NSR)*, *Congestive Heart Failure (CHF)* dan *Atrial Fibrillation (AF)* masing-masing terdiri dari 10 data. *Plot* sinyal dapat dilihat pada Gambar 4, 5, dan 6. Proses EMD dilakukan hanya pada sampai level 3. Hal ini dilakukan karena apabila EMD dilakukan pada level yang lebih tinggi maka sinyal EKG yang dihasilkan menjadi datar, sehingga tidak terlihat perbedaan antara kelas data yang satu dengan yang lain. Gambar 9, 10, dan 11 menampilkan hasil EMD sampai IMF yang ke 3, Gambar paling atas menunjukkan sinyal asli, Gambar di bawahnya menunjukkan sinyal hasil EMD untuk IMF 1 sampai 3. Terlihat bahwa semakin tinggi IMF-nya maka sinyal akan semakin rata.

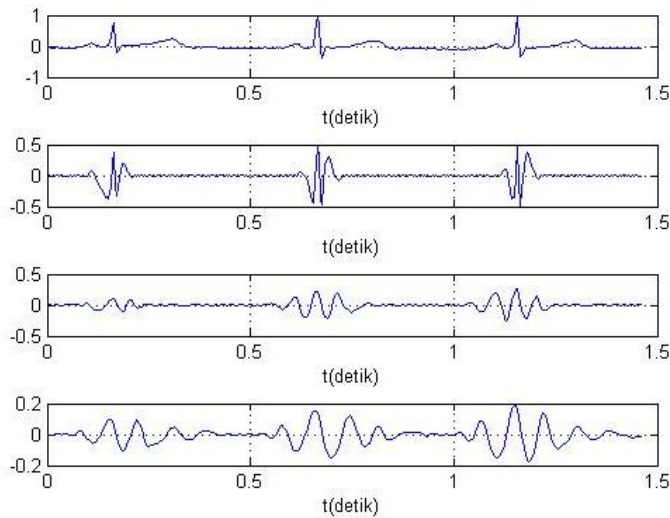


Gambar 9. Sinyal Atrial Fibrillation dan EMD dengan IMF Sampai Dengan 3

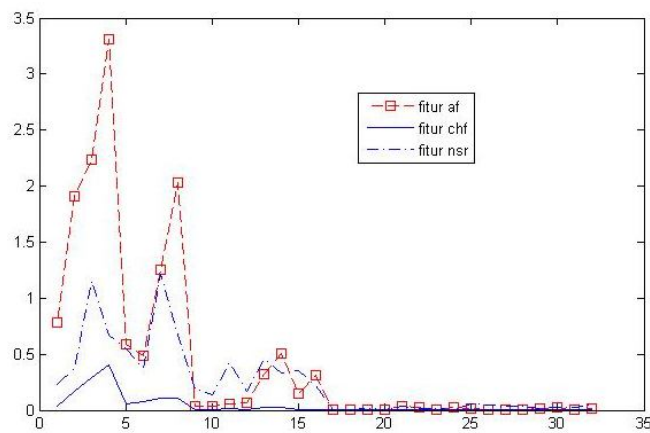
Tahap selanjutnya dari ekstraksi ciri yaitu dengan menyusun sinyal hasil EMD untuk selanjutnya dilakukan dekomposisi menggunakan dekomposisi paket wavelet sampai orde 5. Nilai energi dari tiap *subband* dijadikan sebagai fitur dari tiap data. Fitur dari tiap jenis data dapat dilihat pada Gambar 12. Terlihat bahwa ciri ke 16 sampai 32 tidak terlalu berbeda untuk tiap data, hal ini membuat *classifier* tidak bisa membedakan dengan baik. Hal ini bisa dilihat pada hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 1, 2, 3, dan 4. Akurasi maksimum dicapai untuk pengukuran jarak menggunakan *city block*, dimana akurasi mencapai 90%. Hasil terburuk adalah akurasi 80% untuk pengukuran jarak menggunakan *correlation* dan *cosine*.



Gambar 10. Sinyal Congestive Heart Failure dan EMD dengan IMF Sampai Dengan 3



Gambar 11. Sinyal Normal Sinus Rythm dan EMD Dengan IMF Sampai Dengan 3



Gambar 12. Fitur Yang Dihasilkan Dari Tiap Jenis Data

Tabel 1. Hasil Pengenalan Dengan Jarak *City Block* dan *Cosine*

Jarak	City Block			Cosine		
	Dikenali			Dikenali		
Data	NSR	CHF	AF	NSR	CHF	AF
NSR	9	1	0	7	0	3
CHF	0	10	0	0	9	1
AF	1	1	8	2	0	8
Akurasi = $27/30 \times 100\% = 90\%$			Akurasi = $24/30 \times 100\% = 80\%$			

Tabel 2. Hasil Pengenalan Dengan Jarak *Correlation* dan *Euclidean*

Jarak	Correlation			Euclidean		
	Dikenali			Dikenali		
Data	NSR	CHF	AF	NSR	CHF	AF
NSR	7	0	3	9	0	1
CHF	0	9	1	0	10	0
AF	2	0	8	4	0	6
Akurasi = $24/30 \times 100\% = 80\%$			Akurasi = $25/30 \times 100\% = 83,33\%$			

Dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya^{[1][6]}, akurasi yang dihasilkan lebih rendah. Hal ini disebabkan oleh fitur yang dihasilkan untuk ciri ke-16 sampai 32 relatif sama. Sifat EMD yang mendekomposisi sinyal sampai mendekati rata akan membuat sinyal yang satu dengan yang lain menjadi tidak terlalu berbeda. Masalah lain yang dihadapi oleh metode ini adalah skema dekomposisi paket *wavelet* yang mungkin tidak sesuai dengan karakteristik EMD. Hasil yang lebih bagus dicapai pada kondisi EKG tidak melalui proses EMD.

5. Kesimpulan

Metode yang diusulkan mampu mengenali sinyal EKG dengan akurasi maksimum 90% dengan pengukuran jarak menggunakan metode *cityblock*. Sedangkan hasil terburuk didapat apabila menggunakan metode *cosine* dan *correlation* untuk pengukuran jarak. Perlu penelitian lebih lanjut untuk skema dekomposisi yang tepat, sehingga akurasi dari metode yang diusulkan menjadi meningkat.

Daftar Pustaka

- [1] Rizal, A., Suryani, V. (2008). *Pengenalan ECG Menggunakan Dekomposisi Paket Wavelet K-Means Clustering*, Proceeding SNATI 2008, Universitas Indonesia, Yogyakarta.
- [2] Gomez Herrero, Gotchev, A., I. Christov, K. Egiazarian. (2005). *Feature Extacion For Heartbeat Classification Using Independent Component Analysis And Matching Pursuits*, Preceeding on ICCASP2005, Yogyakarta.
- [3] K-Means Cluatering, <http://www.cs.uregina.ca/~hamilton/courses/831/notes/clustering/clustering.html>. Dikases terakhir pada 15 Mei 2010.
- [4] Physio Bank, <http://www.physionet.org>, diakses terakhir pada September 2010.
- [5] Walker, J., S. (1999). *Wavelet and Their Scientific Applications*, CRC Press, Boston University, Boston.
- [6] M. B. Tayell, M. E. Bouridy. (2006). *ECG Images Classification Using Feature Based On Wavelet Transformation And Neural Network*, AIML 06 International Confrence, Sharm El Shekh, Egypt, Alexandria University, Mesir.
- [7] Wijaya, S. (1990). *EKG Praktis*, Binarupa Aksara, Jakarta.
- [8] Salivahanan, S., Vallavaraj, A, Gnanapriya. (2001). *Digital Signal Processing*, McGraw-Hill, Singapore.
- [9] Tompkins, W., J. (1993). *Biomedical Signal Processing*, Prentice Hall, New Jersey.
- [10] McMahon, T., A., Chiew., A. (2009). *Issues with the Application of Empirical Mode Decomposition Analysis*. The University of Melbourne, Australia.