



Jurnal Politeknik Caltex Riau

<https://jurnal.pcr.ac.id/index.php/elementer/>

| ISSN : 2460-5263 (Online) | ISSN : 2443-4167 (Print) |

## Computer Aided Diagnosis (CAD) untuk Phonocardiogram (PCG) Berbasis Fast Fourier Transform

Yuli Triyani<sup>1</sup>, Wahyuni Khabzli<sup>2</sup>, Noptin Harpawi<sup>3</sup>, Wiwin Styorini

<sup>1</sup>Politeknik Caltex Riau, Teknik Elektronika D4, email: [yuli@pcr.ac.id](mailto:yuli@pcr.ac.id)

<sup>2</sup>Politeknik Caltex Riau, Teknik Telekomunikasi, email: [ayu@pcr.ac.id](mailto:ayu@pcr.ac.id)

<sup>3</sup>Politeknik Caltex Riau, Teknik Telekomunikasi, email: [noptin@pcr.ac.id](mailto:noptin@pcr.ac.id)

<sup>4</sup>Politeknik Caltex Riau, Teknik Telekomunikasi, email: [wiwin@pcr.ac.id](mailto:wiwin@pcr.ac.id)

### Abstrak

Data WHO tahun 2015 menunjukkan 70% kematian di dunia disebabkan penyakit tidak menular dimana 45% disebabkan penyakit jantung dan pembuluh darah, yaitu 17,7 juta dari 39,5 juta kematian. Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas) melaporkan tahun 2018 terdapat 15 dari 1000 orang, atau 2.784.064 individu di Indonesia menderita penyakit jantung. Gejala abnormalitas jantung seringkali datang secara tiba-tiba, oleh karena itu pengenalan secara dini dapat membantu untuk terhindar dari serangan jantung. Saat ini dokter menggunakan suara jantung/phonocardiogram (PCG) untuk memantau kinerja jantung dengan menggunakan stetoskop. Diagnosi PCG sangat dipengaruhi oleh subjektivitas dokter karena relatif lemah dan adanya keterbatasan fisik. Sehingga kemungkinan terjadi False Positive Result cukup tinggi. Untuk meminimalkan resiko tersebut dikembangkan Computer Aided Diagnosis (CAD) sinyal PCG. Beberapa penelitian mengusulkan metode diagnosis PCG menggunakan metode wavelet atau Welch dan berbasis Neural Network yang jauh lebih kompleks. Pada penelitian ini diusulkan metode diagnosis yang lebih sederhana sehingga komputasinya jauh lebih ringan dan cepat dengan akurasi yang baik. Sinyal PCG dikuatkan dua kali kemudian dilakukan proses Fast Fourier Transform (FFT) untuk mendapatkan ciri berupa frekuensi fundamental dan amplitudo max. Tahap klasifikasi menggunakan Multi Layer Perceptron (MLP). Dari pengujian terhadap 55 data didapatkan hasil akurasi 90%, Sensitiviti 80%, PPV 100% dan NPV 83.33%.

**Kata Kunci:** PCG, CAD, FFT, frekuensi fundamental, klasifikasi

### Abstract

Data from WHO 2015 shows that 70% of deaths in the world are caused by non-infection diseases, 45% are caused by heart and blood vessel disease, namely 17.7 million from 39.5 million deaths. Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas) reported that in 2018, there were 15 of 1000 people, or 2,784,064 individuals in Indonesia suffering from heart disease. Symptoms of heart abnormalities often come suddenly. Therefore, early recognition can help to avoid heart attacks. Doctors currently use a heart sound / phonocardiogram (PCG) to assess the performance of the heart using a stethoscope. The PCG's diagnosis is very influenced by the subjectivity of doctors because of its relatively weak and physical limitations. So that the possibility of a False Positive Result happening is quite high. To minimize this risk, a Computer Aided Diagnosis (CAD) PCG

*signal was developed. Several studies have proposed a PCG diagnostic method using the wavelet or Welch method and based on Neural Network are more complex. In this study, a simple diagnosis method is proposed so that the computation is easier and faster with good accuracy. The PCG signal is amplified twice, then the Fast Fourier Transform (FFT) process is carried out to obtain the characteristics of the fundamental frequency and max amplitude. The classification stage uses the Multi Layer Perceptron (MLP). From testing of 55 data PCG, the results obtained accuracy of 90%, sensitivity of 80%, PPV of 100% and NPV of 83.33%.*

**Keywords:** PCG, CAD, FFT, frekuensi fundamental, classification

---

## 1 Pendahuluan

Data WHO tahun 2015 menunjukkan bahwa 70% kematian di dunia disebabkan oleh Penyakit Tidak Menular (PTM). Dari seluruh kematian akibat PTM tersebut, 45% disebabkan oleh penyakit jantung dan pembuluh darah, yaitu 17,7 juta dari 39,5 juta kematian [1]. Menurut Badan Kesehatan Dunia WHO, kematian akibat PTM diperkirakan akan terus meningkat di seluruh dunia, peningkatan terbesar akan terjadi di negara-negara menengah dan miskin, lebih dari dua pertiga atau 70% dari populasi global akan meninggal akibat penyakit tidak menular seperti kanker, penyakit jantung, stroke dan diabetes. Berdasarkan data Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas) tahun 2018, angka kejadian penyakit jantung dan pembuluh darah semakin meningkat dari tahun ke tahun. Di Indonesia setidaknya, 15 dari 1000 orang, atau sekitar 2.784.064 individu di Indonesia menderita penyakit jantung [2].

Suara jantung normal memiliki rentang frekuensi antara 20 Hz hingga 500 Hz, sedangkan suara jantung abnormal mempunyai rentang frekuensi hingga 1000 Hz [3]. Bising jantung (heart murmur) merupakan suatu kondisi jantung yang berbeda dari jantung normal yang ditandai dengan munculnya suara lain (bising) pada jantung. Bising jantung pada umumnya disebabkan oleh fungsi katup jantung yang tidak sempurna sehingga darah pada jantung dipaksa mengalir melalui lintasan yang sempit (stetonic) atau dapat pula disebabkan kebocoran septum yang menghubungkan jantung bagian kiri dan bagian kanan sehingga darah mengalir dari ventrikel kiri menuju ventrikel kanan dengan tidak terkendali [4]. Phonocardiogram (PCG) adalah teknik dalam penelusuran suara jantung dan pencatatan getaran akustik jantung melalui suatu transduser mikrofon yang akan direkam dan ditampilkan pada osiloskop.

Gejala abnormalitas jantung (murmur) seringkali datang secara tiba-tiba, oleh karena itu pengenalan secara dini terhadap penyakit jantung dapat membantu untuk terhindar dari serangan jantung. Sampai saat ini dokter masih menggunakan isyarat suara jantung untuk memantau kinerja jantung dengan menggunakan stetoskop yang penggunaannya menghasilkan suara yang lemah, oleh sebab itu untuk mendiagnosis diperlukan kepekaan dan pengalaman, selain itu keterbatasan fisik juga sangat mempengaruhi hasil interpretasi hingga hasil diagnosis sangat dipengaruhi oleh subyektivitas dokter [5]. Dari hasil pemeriksaan itu, dokter akan menentukan langkah penanganan yang tepat.

Namun kemungkinan terjadi False Positive Result (kesalahan dalam menginterpretasikan) cukup tinggi. Untuk meminimalkan resiko tersebut dikembangkan *Computer Aided Diagnosis* (CAD) sinyal suara jantung. CAD adalah teknologi multi disiplin yang menggabungkan teknik pengolahan sinyal digital dengan kedokteran. Beberapa penelitian mengusulkan metode diagnosis suara jantung menggunakan *wavelet*, metode Welch maupun berbasis *Neural Network* yang jauh lebih kompleks. Pada penelitian ini diusulkan metode diagnosis yang lebih sederhana yaitu *Fast Fourier Transform* (FFT) dan statistik. Sehingga diharapkan akan jauh lebih ringan komputasinya dan lebih cepat dengan akurasi yang baik.

## 2 Tinjauan Pustaka

Nazeran[6] pada tahun 2007 telah melakukan penelitian dengan judul “*Wavelet-based Segmentation and Feature Extraction of Heart Sounds for Intelligent PDA-based Phonocardiography*”. Penelitian ini mengolah sinyal suara jantung dengan ekstraksi ciri menggunakan analisis *Wavelet Diskrit Daubechies* dengan dekomposisi level 4 (250 – 500 Hz) dan level 6(62.5-125Hz) pada frekuensi cuplik 8012 Hz. Metode tersebut digunakan untuk mendeteksi ciri-ciri antara sinyal jantung normal dan abnormal. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa metode ekstraksi ciri terbukti efektif digunakan untuk mengetahui ciri sinyal suara jantung normal yang memiliki energi terbesar berada diantara 50Hz dan 150-200 Hz serta abnormal yang energi terbesarnya berada pada 250-500 Hz.

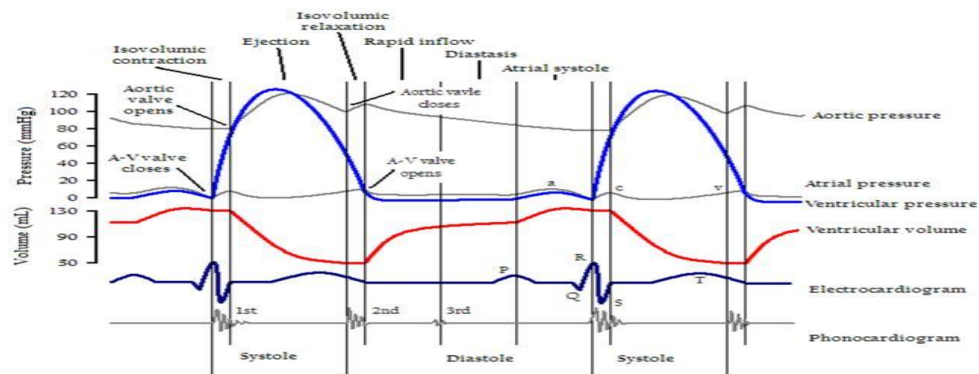
Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Yul Antonisfia dan Romi Wiryadinata [5] pada tahun 2008, dilakukan ekstraksi ciri data EKG untuk jantung murmur dan normal dengan mengklasifikasikan 24 isyarat murmur dan beberapa jantung normal. Perekaman menggunakan stetoskop dengan penguat berlebar bidang 1 kHz direkam suara jantung normal dari beberapa orang sampel dan untuk melengkapi data murmur patalogis maka didownload suara murmur jantung dari situs internet. Isyarat suara jantung kemudian dianalisis spektral dayanya untuk diekstraksi ciri dan dicari beberapa resolusi spectral-nya. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa dengan ekstraksi ciri menggunakan metode spektral dapat membedakan suara jantung normal dan murmur. Keberhasilan isyarat yang bercampur derau dengan SNR 10 dB dapat mencapai 90% dengan resolusi 125 cacah cuplikan frekuensi.

Debbal[7] melakukan penelitian yang berjudul *Computerized Heart Sound Analysis* yang menyimpulkan bahwa teknik *Fast Fourier Transform* pada PCG mampu memberikan informasi yang lebih bagi para dokter untuk memperoleh nilai kualitatif dan kuantitatif dalam mendiagnosis penyakit suara jantung dapat digunakan lebih efisien dengan dokter ketika ditampilkan secara visual. Hal ini dapat mempermudah para dokter untuk menganalisis sinyal suara jantung manusia.

Menurut Nur Hudha Wijaya dkk [8], para ahli memerlukan konsentrasi dalam pengambilan kesimpulan untuk menentukan kelainan suara jantung manusia. Menggali berbagai macam ciri untuk mengklasifikasikan suara jantung menjadi normal dan abnormal merupakan bagian yang sangat penting. Dengan metode *artificial neural network* (ANN) berbasis ciri statistis ini bekerja diarah spasial sehingga tidak perlu melakukan *transformasi* di ranah frekuensi. Suara jantung diklasifikasikan menjadi dua kelas yaitu normal dan abnormal. Penelitian ini terdapat data suara jantung normal sejumlah 8 suara, sedangkan data suara jantung abnormal sejumlah 13 suara. Pendekatan ciri statistis dengan menghitung nilai *mean*, *mode*, *variance*, *deviation*, *skewness*, *kurtosis*, *entropy* klasifikasi dengan *neural backpropagation* memberikan hasil *Accuracy* = 91,72%, *Sensitivity* = 99,50%, *Spesificity* = 79,17%, *Precision* = 90,16%. Berdasarkan hasil klasifikasi dengan metode *artificial neural network backpropagation* menunjukkan accuracy mencapai 91,72%.

### 2.1 Jantung

Jantung adalah organ *muscular* berlubang yang berfungsi sebagai pompa ganda sistem *kardiovaskular*. Jantung mempunyai empat katup utama yang terbuat dari jaringan *endokardium*. Jantung berfungsi sebagai pompa yang mendorong darah melalui seluruh sistem vaskuler. Siklus jantung adalah interval dari akhir satu kontraksi jantung ke akhir kontraksi berikutnya. Siklus jantung terdiri dari dua periode, yaitu kontraksi (sistol) dan relaksasi (diastol). Selama fase sistolik dan diastolik, suara jantung dihasilkan dari pembukaan dan penutupan katup jantung, aliran darah di dalam jantung, dan getaran otot. Empat suara jantung dihasilkan di siklus jantung. Suara jantung pertama (S1) dan kedua (S2) dapat didengar dengan mudah pada jantung normal melalui stetoskop yang ditempatkan di area dada dengan tepat. Keempat suara jantung yang berkorelasi dengan kelistrikan dan kegiatan mekanik dari siklus jantung dapat dilihat pada Gambar 1 [5].



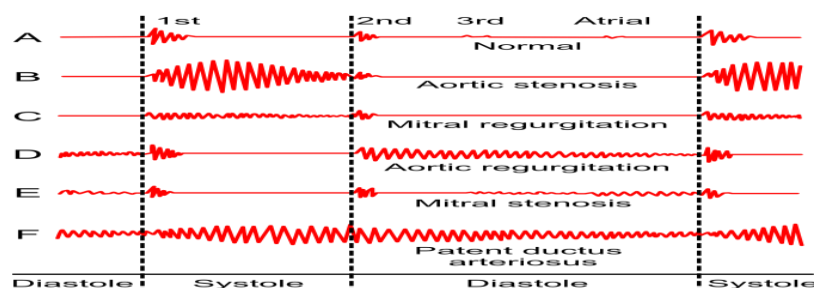
Gambar 1. Gambaran hubungan suara jantung dan siklus jantung

## 2.2 Murmur Jantung

*Murmur* disebabkan oleh pembukaan katup yang tidak sempurna atau memaksa darah melewati bukaan sempit (*stetonic*) atau oleh *regurgitasi* yang disebabkan oleh penutupan katup yang tidak sempurna dan mengakibatkan aliran balik darah, dalam masing-masing kasus suara yang timbul adalah akibat aliran darah dengan kecepatan tinggi yang melewati bukaan sempit. Penyebab lain terjadinya *murmur* adalah adanya kebocoran *septum* yang memisahkan jantung bagian kiri dan kanan sehingga darah mengalir dari *ventrikel* kiri ke *ventrikel* kanan sehingga menyimpangkan sirkulasi sistemik [5]

## 2.3 Phonocardiography

Jantung menghasilkan suara yang biasa direkam secara elektronik menggunakan alat *phonocardiography*. Hasil rekaman alat ini disebut *phonocardiogram* (PCG). Pada pasien yang sedang terkena suatu penyakit jantung, PCG dapat mengindikasikan penyakit tersebut dengan suara detakan yang berbeda dengan suara detakan jantung normal. Suara jantung memiliki pola khusus yang bersesuaian dengan kondisi kesehatan jantung seseorang. Jantung yang tidak normal akan menimbulkan suara tambahan yang disebut dengan *murmur* [4]. *Phonocardiogram* adalah teknik dalam penelusuran suara jantung dan pencatatan getaran akustik jantung melalui suatu transduser mikrofon yang akan direkam dan ditampilkan pada osiloskop.

Gambar 2. *Phonocardiogram* jantung normal dan abnormal

Bagian B sampai F pada Gambar 2 menunjukkan rekaman suara jantung abnormal dan beberapa contoh jenis *murmur*. Suara jantung normal mempunyai rentang frekuensi antar 20-200 Hz, sedangkan suara jantung abnormal mempunyai rentang frekuensi hingga 1000 Hz. Suara jantung S1 terdiri atas energi dalam rentang frekuensi 30-45 Hz, yang sebagian besar berada dibawah ambang dengar. Suara jantung S2 biasanya memiliki nada lebih tinggi dengan energi maksimum berada dalam rentang 50-70 Hz. Suara jantung S3 merupakan vibrasi yang sangat lemah dengan

hampir semua energinya dibawah 30 Hz. Sedangkan *murmur* sering menghasilkan suara dengan nada yang lebih tinggi sebagaimana tercantum pada Tabel 1.

**Tabel 1. Karakteristik Frekuensi Suara Jantung**

	Sinyal Suara Jantung	Rentang Frekuensi (Hz)
Normal	- S1 dan S2	20 – 200
	- S3 dan S4	18 – 70
Murmur	- Mitral stenosis	25 – 80
	- Aortik stenosis dan mitral regurgitasi	120 – 450
	- Aortik regurgitasi dan mitral regurgitasi	150 – 700

## 2.4 Fast Fourier Transform

*Fast Fourier Transform* adalah algoritma untuk menghitung transformasi Fourier Diskrit (*Discrete Fourier Transform*) dengan cepat dan efisien. Prinsip dari FFT adalah mentransformasikan bentuk simetri dari fungsi bilangan kompleks yang bersifat periodik sebesar  $2\pi$  menjadi bentuk spektrum frekuensi. Ada dua macam bentuk simetri dari bilangan kompleks yang digunakan yaitu sifat dari besaran ini mempunyai besar yang sama. Sifat simetri yang kedua didapat dari sifat bilangan kompleks yang mempunyai periode  $2\pi$ . Sehingga perhitungan FFT dapat disederhanakan menjadi perhitungan bagian genap dan perhitungan bagian ganjil [9].

$$\text{Bagian genap : } y(n) = x(2n) \quad (1)$$

$$\text{Bagian genap : } z(n) = x(2n + 1) \quad (2)$$

$$\text{Dimana : } n = 0, 1, 2, 3, \dots, \left(\frac{N}{2} - 1\right)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (1) dan (2) , maka dapat ditulis persamaan baru yaitu :

$$X(k) = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} [y(n)e^{-\frac{j4\pi nk}{N}} + z(n)e^{-\frac{j2\pi(2n+1)k}{N}}] \quad (3)$$

Komponen  $w^k = e^{-\frac{j2\pi k}{N}}$  dapat dikeluarkan karena bukan merupakan fungsi dari  $n$ , sehingga :

$$X(k) = Y(k) + W^k Z(k) \quad (4)$$

$$\text{Dimana } k = 0, 1, 2, 3, \dots, \left(\frac{N}{2} - 1\right)$$

$$y(k) = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} y(n)e^{-\frac{j4\pi nk}{N}}, z(k) = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} y(n)e^{-\frac{j4\pi nk}{N}}$$

Sifat periodik pada fungsi eksponensial juga membuat perhitungan dalam FFT menjadi lebih sederhana sehingga perhitungan yang dilakukan untuk  $k = 0$  sampai dengan  $k = \frac{N}{2} - 1$  sama dengan perhitungan yang dilakukan  $k = \frac{N}{2}$  sampai dengan  $k = N - 1$  , sehingga persamaan (4) dapat diubah menjadi :

$$X(k) = X\left(k + \frac{N}{2}\right)$$

$$X(k) = Y\left(k + \frac{N}{2}\right) + W\left(k + \frac{N}{2}\right) Z\left(k + \frac{N}{2}\right) \quad (5)$$

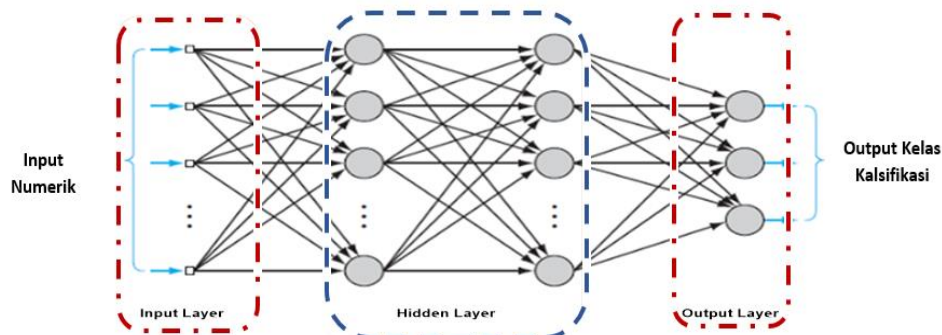
$$X(k) = Y(k) - W Z(k)$$

Persamaan (4) dan (5) dikenal sebagai metode *Fast Fourier Transform Butterfly* yang merupakan bagian FFT yang memperoleh dua buah input menjadi dua buah keluaran. Dua buah masukannya adalah  $Y(k)$  dan  $Z(k)$  yang merupakan hasil perhitungan dari metode DFT dengan menggunakan  $\frac{N}{2}$  titik.  $Y(k)$  dan  $Z(k)$  juga mempunyai sifat simetris bilangan kompleks, karena itu  $Y(k)$  dan  $\frac{N}{2} Z(k)$  dapat dihitung dengan dua metode DFT  $\frac{N}{4}$  titik,  $\frac{N}{8}$  titik, dan demikian seterusnya hingga tersisa menjadi dua buah titik.

Jumlah total pengoperasian perkalian bilangan kompleks yang harus dilakukan dalam FFT secara lengkap adalah  $\frac{N}{2} \log_2 N$ , dimana pengoperasian perkalian ini jauh lebih sedikit untuk nilai  $N$  yang besar dibandingkan dengan operasi perkalian bilangan kompleks yang diperlukan jika menggunakan metode DFT secara langsung.

## 2.5 MultiLayer Perceptron (MLP)

MLP merupakan salah satu metode ANN yang secara umum terdiri atas tiga lapisan, yaitu lapisan masukan (*input layer*), lapisan tersembunyi (*hidden layer*) dan lapisan keluaran. Gambar 3 menunjukkan arsitektur jaringan MLP

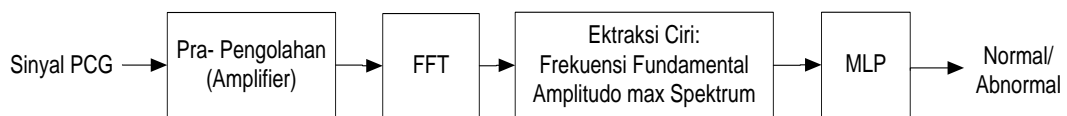


Gambar 3. Arsitektur jaringan MLP

MLP dikategorikan algoritme tipe *supervised*, yang memerlukan proses pelatihan untuk menentukan bobot optimal yang digunakan dalam proses pengujian. Proses pelatihan dilakukan dengan memperbarui bobot balik atau *back propagation*. Bobot yang optimal akan menghasilkan klasifikasi yang akurat. Bobot ini akan terus berubah-ubah selama proses pembelajaran, hingga struktur yang diinginkan telah tercapai. Ketika proses pelatihan selesai dilakukan, tahap selanjutnya adalah melakukan pengujian klasifikasi data seperti proses pelatihan. Akan tetapi pada proses pengujian tidak perlu melakukan pelatihan, karena tinggal menggunakan bobot yang diperoleh dari hasil proses pelatihan.

## 3 Perancangan Sistem dan Hasil

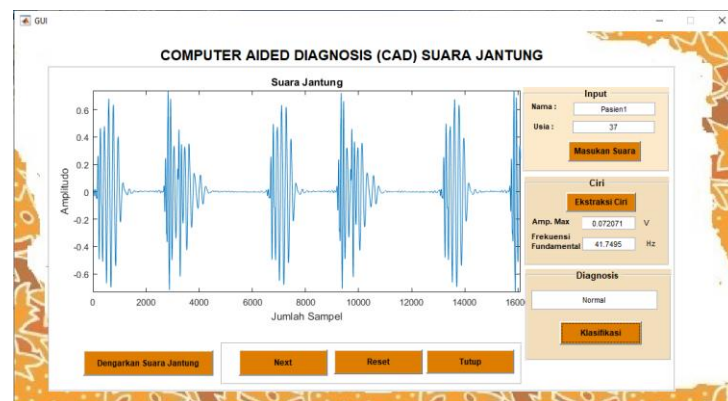
Sistem CAD dirancang sesuai dengan blok diagram pada Gambar 4.



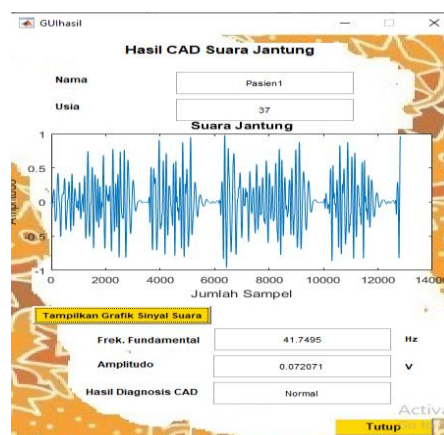
Gambar 4. Blok diagram sistem CAD

Pada tahap Pra-pengolahan sinyal PCG dikuatkan 2 kali, kemudian proses diproses menggunakan metode FFT. Transformasi fourier cepat (*Fast Fourier Transform*) adalah suatu algoritma untuk menghitung transformasi Fourier Diskrit (*Discrete Fourier Transform*) dengan cepat dan efisien. Prinsip dari FFT adalah mentransformasikan bentuk simetri dari fungsi bilangan kompleks yang bersifat periodik sebesar  $2\pi$  menjadi bentuk spektrum frekuensi. Hasil FFT berupa spektrum frekuensi dari sinyal PCG. Ekstraksi ciri dilakukan untuk memperoleh nilai frekuensi fundamental dan amplitudo max dari spektrum frekuensi. Tahap selanjutnya adalah klasifikasi menggunakan metode MLP.

Tahap implementasi CAD dirancang menggunakan GUI matlab. Sehingga user dapat menampilkan, melihat proses dan hasil CAD secara sederhana. Gambar 5 dan Gambar 6 merupakan contoh tampilan dari CAD yang telah dirancang dimana terdiri dari 2 windows yaitu windows proses diagnosis dan windows hasil diagnosis.



Gambar 5. CAD windows proses diagnosis PCG

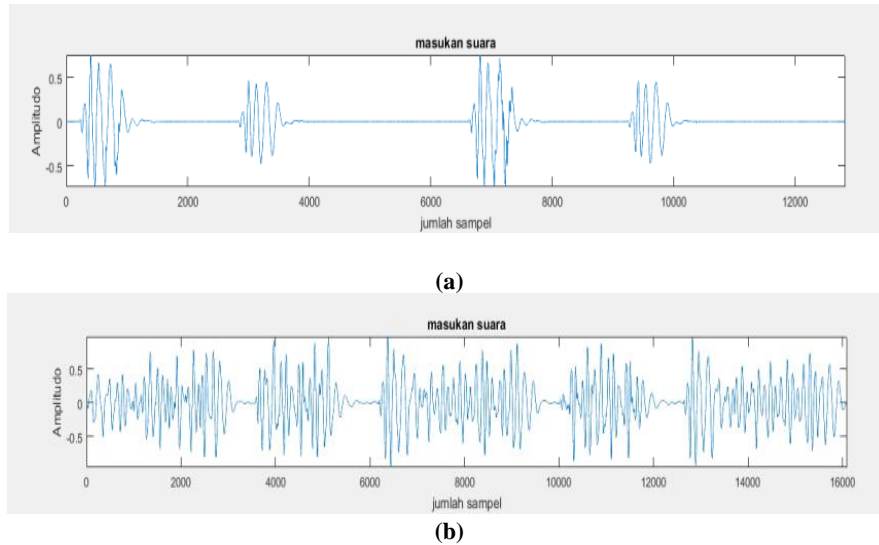


Gambar 6. CAD windows hasil diagnosis PCG

#### 4 Evaluasi

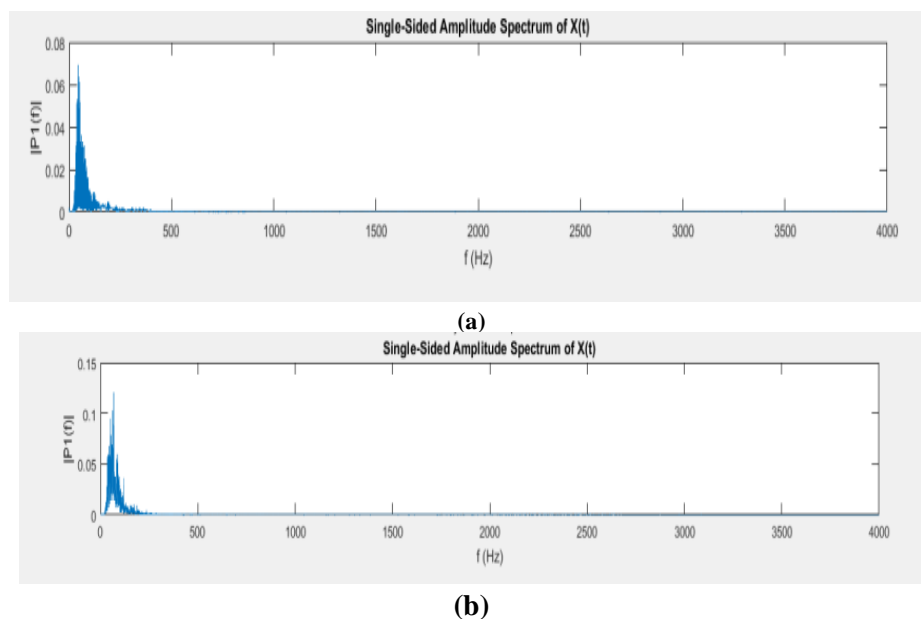
Data PCG pada penelitian ini diperoleh dari MIT-BIH database yang disimpan di [physionet.org](http://physionet.org). Data penelitian terdiri dari 55 sinyal PCG dengan rincian 25 normal dan abnormal, dimana setiap

data memiliki durasi antara 1 sampai 2 detik. Gambar 7 menunjukkan contoh plot sinyal PCG dengan sampling 8 KHz



**Gambar 7. Plot sinyal PCG (a) Normal (b) Abnormal**

Proses FFT menghasilkan spektrum frekuensi dari sinyal PCG. Gambar 8 merupakan contoh dari spektrum untuk PCG dengan kelas normal dan abnormal



**Gambar 8. Spektrum Frekuensi Sinyal PCG (a) Normal (b) Abnormal**

Berdasarkan Gambar 8 dapat dianalisa bahwa kedua kelas PCG ini dapat dibedakan menggunakan spektrum frekuensinya yaitu dari frekuensi fundamental dan amplitudo max. Dari hasil ekstraksi ciri 55 data PCG dapat diperoleh statistik ciri seperti pada



Tabel 2. Statistik Ciri 55 Data PCG

Parameter	Statistik Data	Kriteria	
		Normal	Abnormal
Ampitudo max frekuensi fundamental	Rata-rata	0,0566	0,0718
	Max	0,1023	0,1508
	Min	0,0240	0,0079
Frekuensi fundamental	Rata-rata	37,544	132,89
	Max	73,952	475,33
	Min	0	35,054

Setelah dilakukan klasifikasi terhadap 55 data PCG diperoleh hasil seperti pada

Tabel 3. Hasil Evaluasi

Parameter	Nilai (%)
Akurasi	90.00
Sensitivitas	80.00
Spesifisitas	100.00
PPV	100.00
NPV	83.33

## 5 Kesimpulan

Penelitian ini mengusulkan metode CAD untuk mengklasifikasi sinyal PCG pada kelas normal dan abnormal. Metode dikembangkan dengan menerapkan pra-pengolahan penguatan sinyal, FFT, ekstraksi ciri dengan 2 ciri utama yaitu: frekuensi fundamental dan amplitude max. Tahap klasifikasi menggunakan metode MLP. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan terhadap 55 data PCG menghasilkan akurasi 90%, sensitivitas 80%, spesifisitas 100%, PPV 100% dan NPV 83,33%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa metode sederhana yang diusulkan pada penelitian ini cukup mampu mengklasifikasi PCG.

## Daftar Pustaka

- [1] Direktorat P2PTM, "Hari Jantung Sedunia (HJS) Tahun 2019 \_ Jantung Sehat, SDM Unggul," 2019. .
- [2] Indonesian Heart Association, "Press Release, World Heart Day PERKI 2019 - News & Event." 2019.
- [3] E. F. Nur Hudha Wijaya, Indah Soesanti, "Klasifikasi Suara Jantung Menggunakan Neural Network Backpropagation Berbasis Ciri Statitis," pp. 89–96, 2017.
- [4] B. Y. Setiadi and W. S. Suryanegara, "Pendeteksiaan Bising Jantung ( Heart Murmur ) Menggunakan Audiocardiograph," 2016, no. December 2015.
- [5] Y. Antonisfia and R. Wiryadinata, "Ekstraksi Ciri pada Isyarat Suara Jantung Menggunakan Power Spectral Density Berbasis Metode Welch," *Media Inform.*, vol. 6, no. Juni, pp. 71–84, 2008, doi: 10.20885/informatika.vol6.iss1.art5.
- [6] H. Nazeran, "Wavelet-based segmentation and feature extraction of heart sounds for

- intelligent PDA-based phonocardiography,” *Methods Inf. Med.*, vol. 46, no. 2, pp. 135–141, 2007, doi: 10.1055/s-0038-1625394.
- [7] S. M. Debbal, “Computerized Heart Sounds Analysis,” in *Discrete Wavelet Transforms - Biomedical Applications*, InTech, 2011, p. 32.
- [8] N. Huda, I. Soesanti, and E. Firmasyah, “KLASIFIKASI SUARA JANTUNG MENGGUNAKAN NEURAL NETWORK BACKPROPAGATION BERBASIS CIRI STATISTIS,” in *SNATIF*, 2017, pp. 89–96.
- [9] M. H. Hayes, *Schaum ’ s Outline of Theory and Problems of Digital Signal Processing*. 1999.