

Analisis Non-Stasioner pada Deteksi *Non-Invasive* Sinyal Suara Jantung Koroner

Ira Puspasari

Abstract—Feature extraction has become a very important factor in electronic heart sound diagnosis system development. Therefore, it is necessary to conduct a research to find an effective feature extraction method. This research has learned more about feature extraction method, using non-stationary signal processing, Short Time Fourier Transform (STFT) to extract three coronary heart disease signals. The results show that the first signal has an average frequency of $505,56 \pm 8,82$ Hz. This signal is detected on an average window of $21,44 \pm 2,92$, and has an average time of $0,05 \pm 0,02$ s. The second signal has an average frequency of $376,11 \pm 2,20$ Hz, with average window of $141,67 \pm 2,5$, and average time of $0,35 \pm 0,02$ s. The results of feature extraction on the third signal shows an average frequency of $217,14 \pm 12,78$ Hz, average window of $74,29 \pm 4,16$, and the average time is $0,17 \pm 0,02$ s. This results indicates that the entire frequency has an average value of more than 200 Hz.

Intisari—Saat ini, ekstraksi ciri menjadi bagian yang sangat penting dalam pengembangan suatu sistem diagnosis suara jantung elektronik. Oleh karena itu, diperlukan penelitian tentang metode ekstraksi ciri yang efektif untuk mengeksplorasi dinamika data yang terdapat dalam bunyi jantung. Penelitian ini mempelajari lebih lanjut metode ekstraksi ciri menggunakan pengolahan sinyal non-stasioner, *Short Time Fourier Transform*. Hasil ekstraksi sinyal penyakit jantung koroner (PJK) menunjukkan bahwa sinyal pertama memiliki frekuensi rata-rata $505,56 \pm 8,82$ Hz. Sinyal ini terdeteksi pada *window* rata-rata $21,44 \pm 2,92$, dan waktu rata-rata $0,05 \pm 0,02$ s. Pada ekstraksi ciri sinyal kedua, diperoleh hasil bahwa frekuensi rata-rata sinyal adalah $376,11 \pm 2,20$ Hz, *window* rata-rata $141,67 \pm 2,5$, dan waktu rata-rata $0,35 \pm 0,02$ s. Hasil ekstraksi ciri sinyal ketiga menunjukkan frekuensi rata-rata $217,14 \pm 12,78$ Hz, *window* rata-rata $74,29 \pm 4,16$, dan waktu rata-rata $0,17 \pm 0,02$ s. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa rata-rata frekuensi masing-masing sampel sinyal PJK lebih dari 200 Hz.

Kata Kunci—ekstraksi ciri, pengolahan sinyal, suara jantung, koroner, *time-frequency analysis*

I. PENDAHULUAN

Saat ini penyakit jantung koroner menjadi salah satu penyakit yang banyak diderita tidak hanya pada usia lanjut, tetapi juga pada usia produktif. Tanpa disadari pola hidup yang kurang sehat seperti makan makanan berlemak, kurang istirahat dan kurang berolahraga menjadi beberapa faktor pemicu jantung koroner. Oleh karena itu dibutuhkan sebuah alat yang mampu mendeteksi dini adanya kelainan fungsi

jantung koroner. Untuk membuat sebuah alat deteksi dini jantung koroner diperlukan pengenalan ekstraksi ciri sinyal suara jantung koroner. Tujuan dibuatnya alat ini tidak untuk menggantikan dokter, tetapi membantu kinerja dokter, sehingga hasil analisis alat harus tetap dikonsultasikan kepada dokter ahli jantung.

Sampai saat ini dokter masih menggunakan stetoskop untuk memantau kinerja jantung. Stetoskop menghasilkan suara yang lemah, sehingga untuk keperluan diagnosis diperlukan kepekaan dan pengalaman. Selain itu, adanya noise lingkungan, frekuensi dan amplitude sinyal yang rendah, pola suara yang relatif sama, serta *time split* antar suara jantung yang sangat pendek menyebabkan hasil diagnosis sangat dipengaruhi oleh subjektivitas dokter. Suara jantung abnormal memperdengarkan murmur yang disebabkan oleh pembukaan katup yang tidak sempurna atau stenosis, yang memaksa darah melewati bukaan sempit, atau regurgitasi yang disebabkan oleh penutupan katup yang tidak sempurna dan mengakibatkan aliran balik darah. Detak jantung menghasilkan dua suara yang berbeda pada stetoskop yang sering dinyatakan dengan lub-dub. Suara lub merupakan suara jantung pertama (S1) yang disebabkan oleh penutupan katup trikuspid dan mitral (anrioventrikular), yang memungkinkan aliran darah dari atria (serambi jantung) ke ventrikel (bilik jantung) dan mencegah aliran balik. Suara jantung pertama memiliki empat komponen. Biasanya hanya komponen dua dan tiga yang terdengar, yang disebut M1 dan T1. Suara dub merupakan suara jantung kedua (S2) dan disebabkan oleh penutupan katup semilunar (*aortic* dan *pulmonary*), yang membebaskan darah ke sistem sirkulasi paru-paru dan sistemik [1].

Pengenalan secara detail terhadap suara jantung memerlukan hasil perekaman yang kemudian diolah dan dianalisis dengan melakukan transformasi energi suara jantung yang terekam, yang merupakan tahap ekstraksi fitur. Dalam proses transformasi sinyal dapat digunakan analisis domain frekuensi dan domain waktu. Selain itu pengolahan sinyal dapat digunakan untuk menghilangkan *noise* yang terjadi sehingga data suara yang diperoleh menjadi lebih jelas. Diperlukan teknik tambahan untuk menganalisis hasil auskultasi, diantaranya proses akuisisi jantung, *preprocessing*, ekstraksi ciri, dan *classifier*.

Sebuah penelitian mempelajari sedikit jenis murmur menggunakan model *autoregressive* suara jantung diastolik [2]. Hasil penelitian mengindikasikan bahwa rata-rata spektrum *autoregressive* dan filter polinomial terhadap nol dapat digunakan untuk membedakan pasien normal dan pasien dengan penyakit koroner. Penelitian sebelumnya mengindikasikan bahwa analisis tradisional *fast fourier transform* (FFT) kurang cocok untuk membedakan antara

Dosen, Jurusan Sistem Komputer, Fakultas Teknologi dan Informatika, Institut Bisnis dan Informatika Stikom Surabaya, Jl. Raya Kedung Baruk 98 Surabaya 60298 INDONESIA (telp: 031-8721731; fax: 031-8710218; email: ira@stikom.edu)

pasien normal dan penderita penyakit jantung jika ditinjau dari segi resolusinya [3]. Analisis ini juga tidak akurat untuk memproduksi spektrum frekuensi, karena suara jantung yang lemah terkontaminasi noise.

Pada penelitian ini dipelajari secara lebih spesifik metode ekstraksi ciri terhadap patologi sinyal penyakit jantung koroner khususnya metode berdasarkan domain waktu dan frekuensi yaitu *Short Time Fourier Transform* (STFT).

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Suara Jantung

Siklus jantung adalah interval akhir satu kontraksi jantung ke akhir kontraksi berikutnya. Siklus jantung terdiri atas dua periode, yaitu periode kontraksi (sistol) dan relaksasi (diastol). Selama periode sistol, ruang jantung memompa darah ke luar, sedangkan selama diastol, ruang jantung terisi dengan darah dari luar. Hal ini diperlihatkan sebagai grafik tekanan pada Gbr. 1. Selama fase sistol dan diastol, suara jantung dihasilkan dari pembukaan dan penutupan katup jantung, aliran darah di dalam jantung, dan getaran otot jantung. Suara jantung pertama memiliki empat komponen. Pada suara jantung pertama (S1), hanya komponen dua dan tiga yang terdengar, disebut sebagai M1 dan T1. Suara jantung kedua (S2), yang disebabkan oleh penutupan katup semilunar (*aortic* dan *pulmonary*), terjadi pada akhir periode sistol ventrikular. S2 memiliki dua komponen, yaitu *aortic* (A2) dan *pulmonary* (P2). Suara jantung ketiga (S3) disebabkan oleh osilasi darah antara dinding aorta dan ventrikel. Suara jantung keempat (S4) disebabkan oleh turbulensi ejeksi darah. Suara jantung ketiga dan keempat disebabkan oleh terminasi fase pengisian ventrikular, setelah fase isovolumetrik dan kontraksi atrial [4].

Jantung yang tidak normal memperdengarkan suara tambahan yang disebut murmur [5]. Murmur disebabkan oleh pembukaan katup yang tidak sempurna atau stenosis, yang memaksa darah melewati bukaan sempit, atau oleh regurgitasi yang disebabkan oleh penutupan katup yang tidak sempurna dan mengakibatkan aliran balik darah.

Murmur diklasifikasikan menjadi murmur sistolik dan diastolik, tergantung pada fase terjadinya. Murmur sistolik adalah bunyi yang terdengar terus menerus di antara S1 dan S2. Murmur diastolik adalah bunyi yang terdengar terus menerus antara S2 dan S1 berikutnya. Penyebab yang umum adalah regurgitasi aorta dan pulmonal. Gbr. 2 menunjukkan beberapa contoh sinyal murmur.

B. Transformasi Fourier

Transformasi Fourier $X(\omega)$ sebuah sinyal $x(t)$ didefinisikan sebagai (1)

$$X(\omega) = \int x(t)e^{-j\omega t} dt \tag{1}$$

dengan t dan ω adalah parameter waktu dan frekuensi.

Spektrum $x(t)$ terdiri atas komponen frekuensi yang bukan nol. Analisis Fourier sangat penting untuk melihat frekuensi yang terkandung di dalamnya. Tetapi analisis Fourier memiliki kelemahan, yaitu pada saat transformasi domain frekuensi, informasi waktu akan hilang. Metode ini banyak

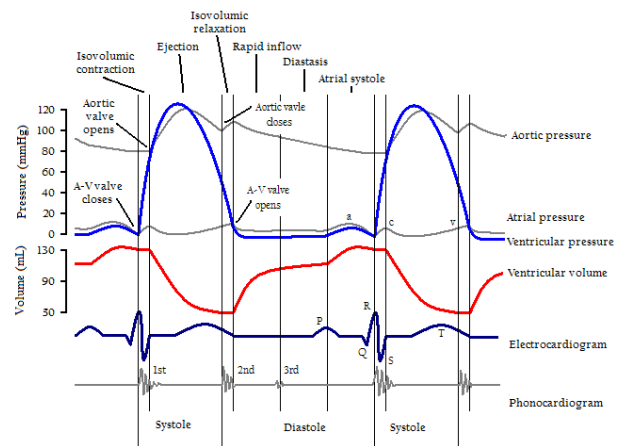
digunakan untuk memonitor kondisi parameter fisik secara kontinyu, seperti respiratori, denyut jantung, kecepatan aliran darah, tekanan darah, tekanan *intracranial* dan aktivitas kelistrikan otak. Kelemahan Transformasi Fourier adalah tidak dapat digunakan pada sinyal yang tidak stasioner [6].

Dennis Gabor menggunakan Transformasi Fourier untuk menganalisis sebagian kecil sinyal pada waktu tertentu, yang dinamakan *Short Time Fourier Transform* (STFT) [7]. STFT merupakan hasil Transformasi Fourier sinyal $x(t)$ dengan pendekatan waktu *window* $w(t)$. Adanya *window* menambah dimensi waktu, sehingga dapat diperoleh analisis frekuensi-waktu. Transformasi Fourier dengan ekspansi frekuensi-waktu didefinisikan sebagai (2)

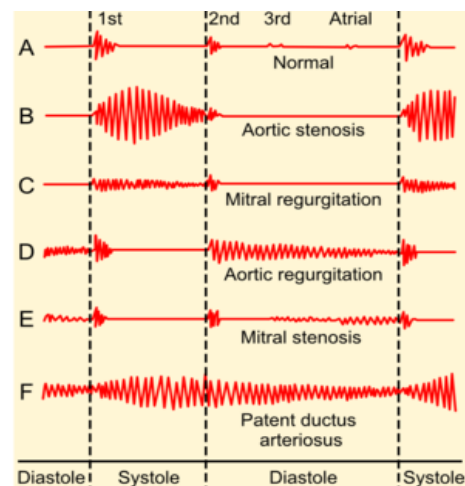
$$X(t, \omega) = \int x(\tau)w(\tau - t)e^{-j\omega\tau} d\tau \tag{2}$$

dengan $w(t)$ adalah *window* yang diaplikasikan pada sinyal.

Berberapa jenis *window* yang biasa digunakan adalah *window* Hamming, *window* Von Hann, *window* Black man, dan *window* Rectangular. Pada penelitian ini digunakan *window* Hamming dengan lebar 20.



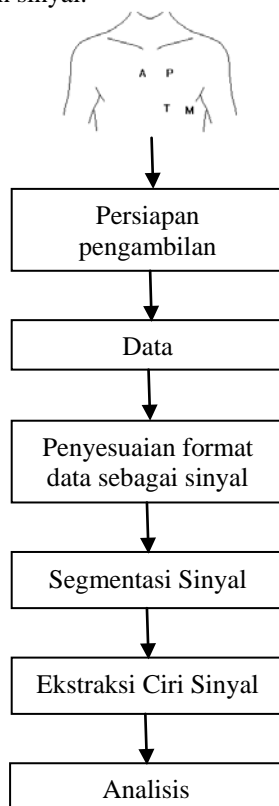
Gbr. 1 Hubungan suara jantung dan siklus jantung [8]



Gbr. 2 Suara jantung normal dan abnormal [8]

III. METODOLOGI

Secara garis besar, sistem dibagi menjadi dua buah sub-sistem, yaitu persiapan data dan ekstraksi ciri (*feature extraction*) menggunakan analisis STFT. Gbr. 3 menunjukkan diagram blok penelitian secara keseluruhan. Pada persiapan data, data sinyal suara jantung diambil dari tiga subjek menggunakan stetoskop digital. Metode pengambilan suara yang digunakan seperti yang biasa dilakukan oleh dokter ahli jantung, yaitu dengan penempatan stetoskop pada sisi aortik, pulmonari, mitral dan trikuspid, yang merupakan daerah jantung manusia. Persiapan pengambilan data dilakukan dengan mengambil data pasien terlebih dahulu menggunakan ECG untuk membuktikan bahwa pasien dinyatakan memiliki penyakit jantung koroner dengan spesifikasi tertentu, sehingga dapat digunakan sebagai data acuan. Data yang diambil dari stetoskop digital masih belum bisa diolah secara langsung karena masih dalam format .e4k, sehingga harus diubah menjadi .wav. Setelah itu file .wav diubah menjadi .dat untuk proses pengolahan sinyal.



Gbr. 3 Diagram blok penelitian secara keseluruhan

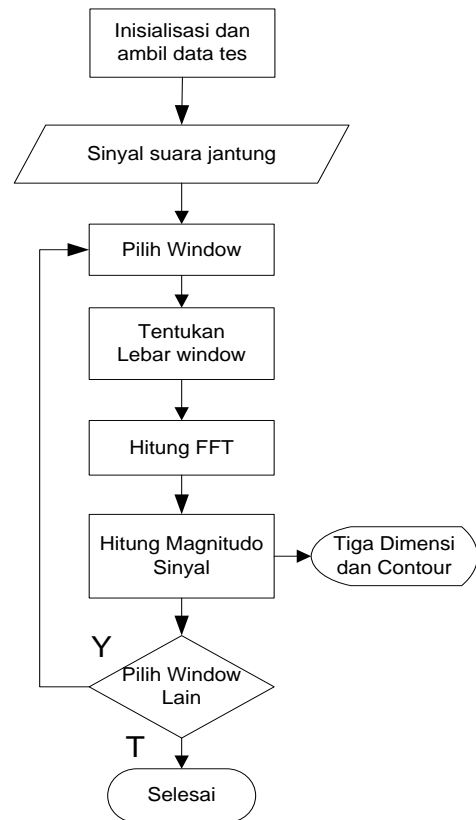
Proses berikutnya adalah *filtering* untuk mengurangi *noise* yang terekam pada saat perekaman suara jantung, sehingga hasil pengolahan sinyal lebih optimal. Hasil dari proses *filtering* selanjutnya diolah dengan metode STFT. Selanjutnya dilakukan ekstraksi ciri pada sinyal suara jantung koroner baik pada fase sistolik maupun diastolik.

Data diperoleh dari penderita penyakit koroner dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Data pertama sebagai sinyal pertama, adalah sinyal jantung koroner dengan spesifikasi *hypertrophy*

ventricular kiri dengan repolarisasi abnormal, dengan kesimpulan *abnormal ECG* (deteksi dengan Elektrokardiograf).

2. Data kedua sebagai sinyal kedua, yaitu sinyal jantung koroner dengan spesifikasi *lateral infarct* dan *ishemic inferior*.
3. Data ketiga sebagai sinyal ketiga, yaitu sinyal jantung koroner dengan spesifikasi *inferior infarct*, *ishemic* dan *sinus rhythm* dengan kompleks ventrikular frekuensi awal. Pengambilan data (perekaman suara jantung) dilakukan oleh dokter ahli jantung menggunakan stetoskop elektronik.



Gbr. 4 Alur proses STFT

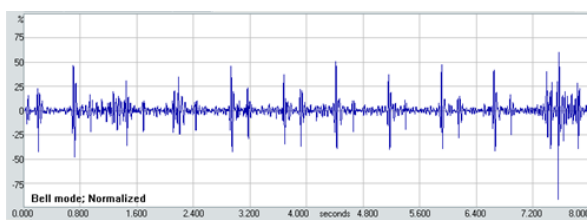
Sinyal masukan yang diperoleh selanjutnya diolah menggunakan STFT dari suatu sinyal $x(t)$. Program ekstraksi ciri ini dirancang dengan alur proses yang ditunjukkan pada Gbr. 4. Langkah awal metode STFT adalah memilih *window*, yang pada penelitian ini adalah *window* Hamming dengan lebar 20. Kemudian sinyal diolah dengan FFT, lalu magnitudenya dihitung. Dari hasil akhir, diperoleh magnitude sinyal, terhadap frekuensi dan *window*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

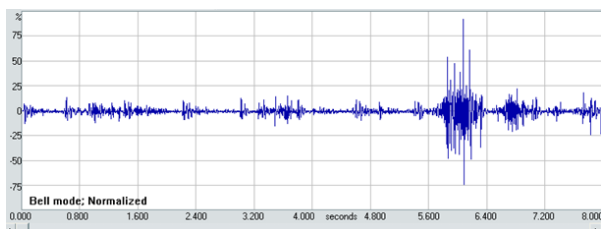
Pada penelitian ini sebuah metode ekstraksi ciri, yaitu STFT, telah diuji coba pada data pasien jantung koroner, dengan tiga spesifikasi jantung koroner. Data pertama adalah jantung koroner dengan spesifikasi *hypertrophy ventricular* kiri dengan repolarisasi abnormal dan kesimpulan *abnormal ECG*. Data kedua adalah jantung koroner dengan spesifikasi *lateral infarct* dan *ishemic inferior*. Data ketiga adalah jantung

koroner dengan spesifikasi *inferior infarct, ischemic* dan *sinus rhythm* dengan ventrikular kompleks frekuensi awal. Masing-masing sinyal ditunjukkan pada Gbr. 5 untuk data pertama, Gbr. 6 untuk data kedua, dan Gbr. 7 untuk data ketiga. Masing-masing data memiliki waktu perekaman 8 s, dan diambil beberapa siklus menggunakan segmentasi sinyal untuk dianalisis menggunakan STFT. Dengan transformasi tersebut diketahui masing-masing frekuensi, *window* (fungsi waktu) dan waktu. Hasil perekaman dengan stetoskop digital menghasilkan data dengan format .Trk.e4k, yang harus diubah terlebih dahulu kedalam bentuk .wav. Selanjutnya diambil titik-titik sinyal dan dilakukan langkah *preprocessing*. Dari data pertama diambil sembilan segmen yang hasilnya ditunjukkan pada Tabel I. Hasil ekstraksi sinyal PJK menunjukkan bahwa sinyal memiliki rata-rata frekuensi sebesar $505,56 \pm 8,82$ Hz, dan terdeteksi pada rata-rata *window* ke-21,44±2,92, dengan waktu rata-rata $0,05 \pm 0,02$ s. Dari ekstraksi ciri sinyal kedua, diperoleh rata-rata frekuensi sebesar $376,11 \pm 2,20$ Hz, rata-rata *window* ke-141,67±2,5, dan rata-rata waktu $0,35 \pm 0,02$ s, ditunjukkan pada Tabel II. Hasil ekstraksi ciri sinyal ketiga ditunjukkan pada Tabel III, dengan rata-rata frekuensi sebesar $217,14 \pm 12,78$ Hz, rata-rata *window* ke-74,29±4,16, dan waktu $0,17 \pm 0,02$ s.

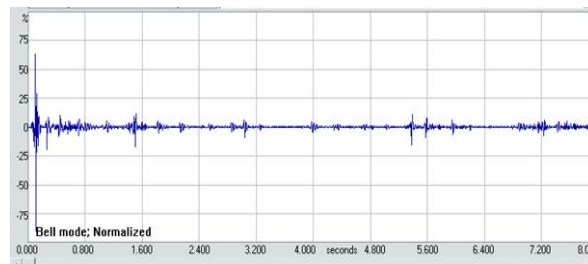
Hasil keseluruhan menunjukkan bahwa dari proses ekstraksi ciri diketahui seluruh frekuensi memiliki rata-rata nilai lebih dari 200 Hz [9]. Sedangkan suara jantung normal memiliki frekuensi antara 20-200 Hz, dan abnormal memiliki rentang frekuensi hingga 1000 Hz. Hasil data pertama dan kedua menunjukkan bahwa frekuensi bernilai di atas 200 Hz dan di atas nilai normal pada umumnya, sedangkan pada data ketiga, frekuensi mendekati 200 Hz, karena adanya kelainan frekuensi awal pada ventrikular, berdasarkan hasil ECG pasien. Hal ini menyebabkan munculnya range frekuensi yang beririsan antara normal dan abnormal, dan diperlukan penelitian lebih lanjut untuk membedakannya, sehingga dapat diklasifikasikan berdasarkan nilai-nilai yang lebih detail.



Gbr. 5 Sinyal suara penyakit jantung koroner (data pertama)



Gbr. 6 Sinyal suara penyakit jantung koroner (data kedua)



Gbr. 7 Sinyal suara penyakit jantung koroner (data ketiga)

TABEL I
HASIL STFT SINYAL PERTAMA

No	Nama sampel	Window ke-	Frekuensi (Hz)	Waktu (s)
1	Sinyal 1_1	18	520	0.0408
2	Sinyal 1_2	20	500	0.0445
3	Sinyal 1_3	25	500	0.0564
4	Sinyal 1_4	20	500	0.0511
5	Sinyal 1_5	22	510	0.0509
6	Sinyal 1_6	25	520	0.0985
7	Sinyal 1_7	20	500	0.0456
8	Sinyal 1_8	25	500	0.0574
9	Sinyal 1_9	18	500	0.0408
	rata - rata	21.44	505.56	0.05
	StDev	2.92	8.82	0.02

TABEL II
HASIL STFT SINYAL PERTAMA

No.	Nama Sampel	Window ke-	Frekuensi (Hz)	Waktu (s)
1	Sinyal 2_1	140	375	0.3316
2	Sinyal 2_2	140	375	0.3266
3	Sinyal 2_3	145	380	0.3404
4	Sinyal 2_4	140	380	0.3818
5	Sinyal 2_5	140	375	0.3791
6	Sinyal 2_6	140	375	0.3295
7	Sinyal 2_7	140	375	0.3399
8	Sinyal 2_8	145	375	0.3456
9	Sinyal 2_9	145	375	0.3435
	rata - rata	141.67	376.11	0.35
	StDev	2.50	2.20	0.02

TABEL 3
HASIL STFT SINYAL KETIGA

No.	Nama Sampel	Window ke-	Frekuensi (Hz)	Waktu (s)
1	Sinyal 3_1	80	240	0.1884
2	Sinyal 3_2	70	220	0.1495
3	Sinyal 3_3	75	220	0.2061
4	Sinyal 3_4	75	220	0.176
5	Sinyal 3_5	70	200	0.1322
6	Sinyal 3_6	70	200	0.1621
7	Sinyal 3_7	80	220	0.1661
	rata - rata	74.29	217.14	0.17
	StDev	4.16	12.78	0.02

V. KESIMPULAN

Hasil ekstraksi ciri menggunakan STFT pada sinyal PJK dengan spesifikasi tertentu memberikan hasil bahwa frekuensi yang terdeteksi lebih dari 200 Hz, yaitu pada jantung koroner dengan spesifikasi *hypertrophy ventricular* kiri dengan repolarisasi abnormal. Diperoleh frekuensi karakteristik $505,56 \pm 8,82$ Hz, yang terdeteksi pada rata-rata *window* ke $21,44 \pm 2,92$, dengan rata-rata waktu $0,05 \pm 0,02$ s. Jantung koroner dengan spesifikasi *lateral infarct* dan *ishemic inferior* memiliki nilai karakteristik rata-rata frekuensi sebesar $376,11 \pm 2,20$ Hz, rata-rata *window* ke- $141,67 \pm 2,5$, dan rata-rata waktu $0,35 \pm 0,02$ s. Sedangkan jantung koroner dengan spesifikasi *inferior infarct*, *ishemic* dan *sinus rhythm* dengan ventrikular kompleks frekuensi awal memiliki nilai karakteristik rata-rata frekuensi sebesar $217,14 \pm 12,78$ Hz, pada rata-rata *window* ke- $74,29 \pm 4,16$, dengan waktu $0,17 \pm 0,02$ s.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada dr. H. Hadi Hartono, Sp.JP yang telah membantu dalam pengambilan data penelitian, serta Institut Bisnis dan Informatika Stikom

Surabaya atas kesempatan dan dukungan terhadap penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Lande,R dan Pelupessy, *Bunyi jantung Cermin Dunia Kedokteran*, Universitas Hasanudin, 1989.
- [2] Akay, M., *Noninvasive detection of coronary stenoses before and after angioplasty using eigenvector methods.*, IEEE, 1990, trans. vol. 37.
- [3] Popov, B., *Automated Extraction of Aortic and Pulmonary Components of the Second Heart Sound for the Estimations of Pulmonary Artery Pressure*, IEEE EMBS, 2004.
- [4] Lehrer, M.D. Lehrer, Steven., *Memahami Bunyi dan Bising Jantung Anak*.Alih Bahasa Dr. Damayanti, DSA, Jakarta Barat: Binarupa Aksara, 1994.
- [5] Barkat, M., *Signal detection and estimation*, Canton Street Norwood: Artech House, Inc, 2005.
- [6] Emanuel S dan D. abner J, *Rapid Interpretation of heart sound and murmurs (Interpretasi Akurat Bunyi Jantung)*, Second Edition, Alih bahasa: Soenarno, dr, Penerbit buku kedokteran., 1994.
- [7] Obaidat, MS, *Phonocardiogram Signal Analysis: techniques and performance comparison*, Journal of medical engineering and technology, 1993.
- [8] Abbas, K dan Bassam, Rasha, *Phonocardiography Signal Processing*, Morgan & Claypool Publisher, 2009.
- [9] Schmidt, Samuel E. John Hansen, Henrik Zimmermann, Dorte Hammershøi, Egon Toft., *Coronary Artery Disease and Low Frequency Heart Sound Signatures*, Denmark: Department of Electronic Systems, Aalborg University.