



Deteksi Puncak Amplitudo dan Durasi Gelombang QRS Elektrokardiogram Menggunakan Discrete Data

Sabar Setiawidayat¹, Aviv Yuniar Rahman², Ratna Hidayati³

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Widyagama Malang

²Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Widyagama Malang

³Jurusan Ilmu Keperawatan, Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Karya Husada, Pare, Kediri

¹sabarset@widyagama.ac.id

Abstract

In each cycle of the Heart on the Electrocardiogram there are generally P waves as a presentation of Atrial Muscle Depolarization, QRS waves as a presentation of Ventricular Muscle Depolarization and T waves as a presentation of Ventricular Muscle Repolarization. Some types of electrocardiographs only represent wave morphology and some other types of electrocardiographs are equipped with duration and amplitude information but are limited. This limitation of information is calculated manually using small boxes on ecg paper measuring 40 ms for duration and 1 mV for amplitude. The consequences of this manual calculation will require time and accuracy of the calculation results. This study aims to obtain the QRS wave duration along with the amplitude value in each cycle of cardiac examination results. Discrete data from the sampling results of the ECG continuous signal in the maximum filter amplitude to get peak R values. The position of integer peak R with the next peak R is the duration of the cycle. PQRST algorithm is used to obtain peak Q and peak S, so the duration of QS can be obtained by subtracting the position of integer peak S with integer position Q. 10 samples of discrete ecg Sinus Rhythm data from Physionet and 5 samples from ECG-UWG were used in this study. The results showed that all sample data in 3 cycles had a value of QRS duration and peak amplitude values Q, R and S. Peak amplitude R max values and R min physionet sample records were obtained in record 16273 which was 3,485 mV and record 16795 was 0.805 mV. The QRS duration for Bradicardia and Tachicardia is shown in record 16483 which is 40 ms and record 17052 which is 144 ms.

Keywords: QRS duration, peak amplitude, ecg-uwg, physionet, discrete data

Abstrak

Dalam setiap siklus Jantung pada Elektrokardiogram umumnya terdapat gelombang P sebagai presentasi dari Depolarisasi otot Atrium, gelombang QRS sebagai presentasi dari Depolarisasi otot Ventrikel dan gelombang T sebagai presentasi dari Repolarisasi otot Ventrikel. Beberapa tipe Elektrokardiograf hanya merepresentasikan morfologi gelombang saja dan beberapa tipe Elektrokardiograf yang lain dilengkapi dengan informasi durasi dan amplitudo namun terbatas. Keterbatasan informasi ini dihitung secara manual menggunakan kotak-kotak kecil pada ecg paper yang berukuran 40 ms untuk durasi dan 1 mV untuk amplitudo. Konsekwensi dari perhitungan manual ini akan membutuhkan waktu serta akurasi hasil perhitungan. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan durasi gelombang QRS berikut nilai amplitudo pada tiap siklus hasil pemeriksaan Jantung. Data *discrete* hasil *sampling* dari sinyal kontinu ecg di filter maksimum amplitudonya untuk mendapatkan nilai-nilai peak R. Posisi integer *peak R* dengan *peak R* berikutnya merupakan durasi siklus. Algoritma PQRST digunakan untuk memperoleh *peak Q* dan *peak S*, sehingga durasi QS dapat diperoleh dengan cara mengurangkan posisi integer *peak S* dengan posisi integer *Q*. 10 sampel data *discrete ecg Sinus Rhythm* dari *Physionet* dan 5 sampel dari *ECG-UWG* digunakan dalam penelitian ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua *sample data* dalam 3 siklus memiliki nilai durasi QRS dan nilai *peak amplitude* Q, R dan S. Nilai *peak amplitude R max* dan *R min record sample physionet* didapatkan pada *record 16273* yaitu 3.485 mV dan *record 16795* yaitu 0.805 mV. Durasi QRS untuk Bradikardia dan Takhikardia ditunjukkan pada *record 16483* yaitu 40 ms dan *record 17052* yaitu 144 ms.

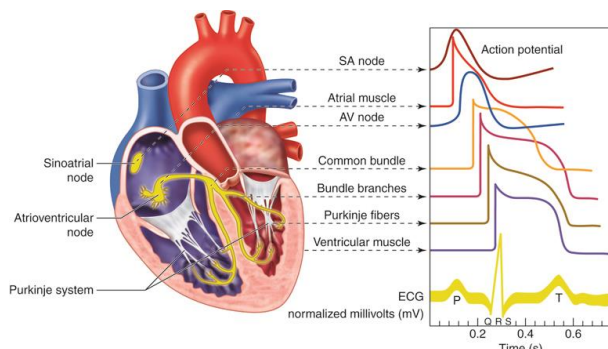
Kata kunci : durasi QRS, puncak amplitudo, ecg-uwg, physionet, discrete data

1. Pendahuluan

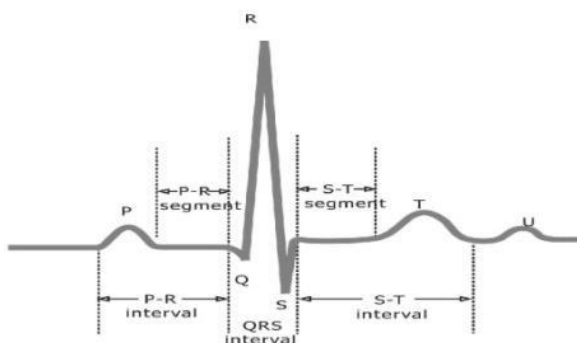
Jantung dapat berdenyut karena adanya kontraksi dan relaksasi dari otot Atrium (serambi) dan otot ventrikel (bilik) secara bergantian, sehingga berfungsi sebagai pompa darah [1]. Kontraksi disebabkan oleh berdepolarisasinya otot karena sel-sel otot dilewati oleh impuls yang dipancarkan secara periodik oleh *Pacemaker* (*SA node*, *AV node* dan *Purkinje fibre*). Periodisasi penjaran impuls pada otot Jantung ini menghasilkan siklus Jantung. Salah satu alat pemeriksaan Jantung *non invasive* yang dipakai hingga saat ini adalah Elektrokardiograf yang menghasilkan Elektrokardiogram. Elektrokardiogram adalah gambaran gelombang beda potensial (mV) sebagai fungsi waktu (ms), yang dipresentasikan pada layar monitor ataupun ecg paper.

Dalam setiap siklus Jantung pada Elektrokardiogram umumnya terdapat gelombang P sebagai presentasi dari Depolarisasi otot Atrium, gelombang QRS sebagai presentasi dari Depolarisasi otot Ventrikel dan gelombang T sebagai presentasi dari Repolarisasi otot Ventrikel [2]. Inisial PQRST adalah sebutan yang diberikan oleh Einthoven sebagai penemu gelombang Jantung [3].

Gambar 1 memperlihatkan terbentuknya gelombang beda potensial akibat perjalanan impuls sedangkan Gambar 2 menunjukkan parameter Elektrokardiogram dalam 1 siklus.



Gambar 1. Beda potensial sebagai korelasi Penjaran Impuls [4]



Gambar 2. Nama Parameter ECG [5]

Jika parameter gelombang atau amplitudo dinyatakan dengan inisial PQRST maka parameter durasi

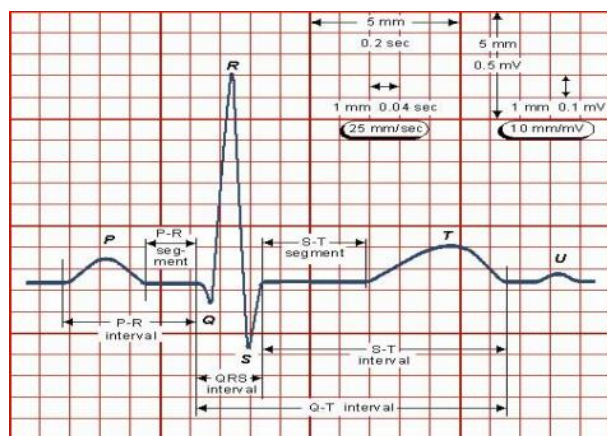
dinyatakan dengan interval (P-R, QRS, S-T) dan segment (P-R, S-T) [6].

Dalam kaitan interpretasi, pada tiap gelombang diamati nilai durasi (Interval, segment), nilai amplitudo (peak P, Q, R, S dan T) serta bentuk gelombang (morfologi) minimal untuk 3 siklus atau 3 detik [7]. Informasi ini penting digunakan untuk mengetahui apakah pasien dalam batas-batas kondisi normal ataukah abnormal. Batas kondisi normal ditunjukkan pada Gambar 3.

ECG Component	Normal Parameters	Abnormal Parameters	Causes of Abnormal Parameters
P Wave	Upright in most leads including lead II. Duration:<0.11 seconds Amplitude:0.5-2.5 mV.	Inverted Notched or tall	Junctional Rhythm Atrial rhythm, atrial hypertrophy
PR Interval	Duration:0.12-0.20 sec.	Duration:shorter or longer than normal	Junctional rhythm, Wolff-Parkinson-White syndrome
Q Wave	Duration:<0.04 seconds Amplitude:<25% the amplitude of the R wave	Duration:0.04 sec or longer Amplitude:at least 25% the amplitude of the R wave	Myocardial infarction
QRS Complex	Upright, inverted or biphasic waveform Duration:<0.11 seconds Amplitude: 1mm or more	Duration:0.11 seconds or more	Bundle branch block, ventricular ectopic i.e. PVC
QT Interval	Duration:less than ½ the width of the R-R interval	Duration:at least ½ the R-R interval	Long QT syndrome, cardiac drugs, hypothermia, subarachnoid hemorrhage Short QT associated with hypercalcemia
ST Segment	In line with PR or TP segment (baseline) Duration:shortens with increase heart rate	Deviation of 0.5 mm or more from baseline	Cardiac ischemia or infarction, early repolarization, ventricular hypertrophy, digoxin dip, pericarditis, subarachnoid hemorrhage
T Wave	Upright, asymmetrical and bluntly rounded in most leads Duration:0.10-0.25 sec. Amplitude:less than 5 mm	Peaked, inverted, biphasic, notched, flat or wide waveforms	Cardiac ischemia or infarction, subarachnoid hemorrhage, left-sided tension pneumothorax, left bundle branch block, hyperkalemia, hypokalemia
U Wave	Upright Amplitude:<2 mm	Peaked or Inverted Amplitude:>2 mm	Hypokalemia, cardiomyopathy, ventricular hypertrophy, diabetes, digoxin, quinidine

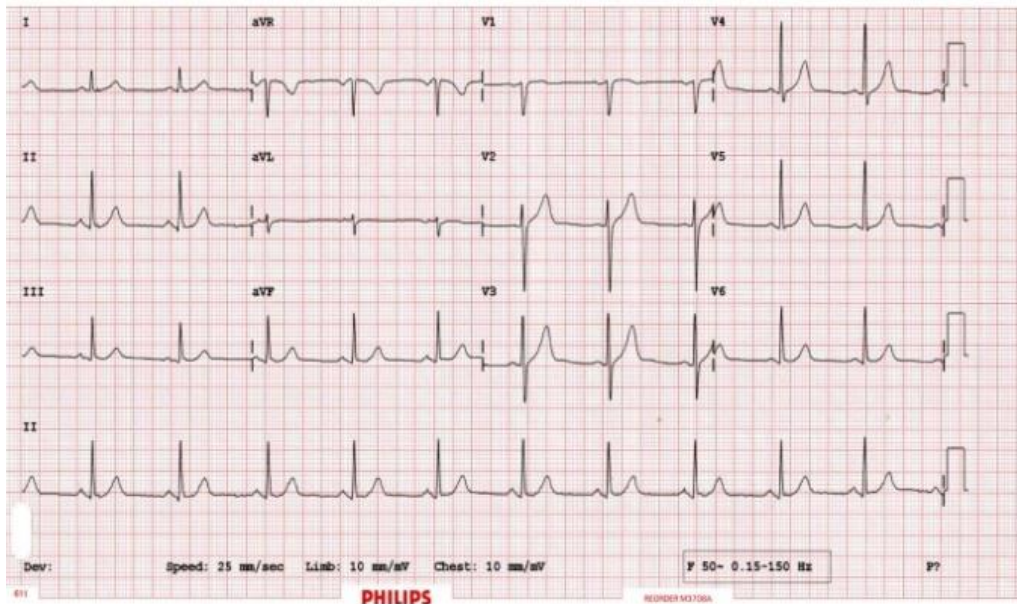
Gambar 3. Penafsiran kondisi normal dan abnormal [8]

Hasil pemeriksaan dipresentasikan pada layar monitor ataupun pada ecg paper. Gambar 2 memperlihatkan ukuran kotak-kotak pada ecg paper [9].

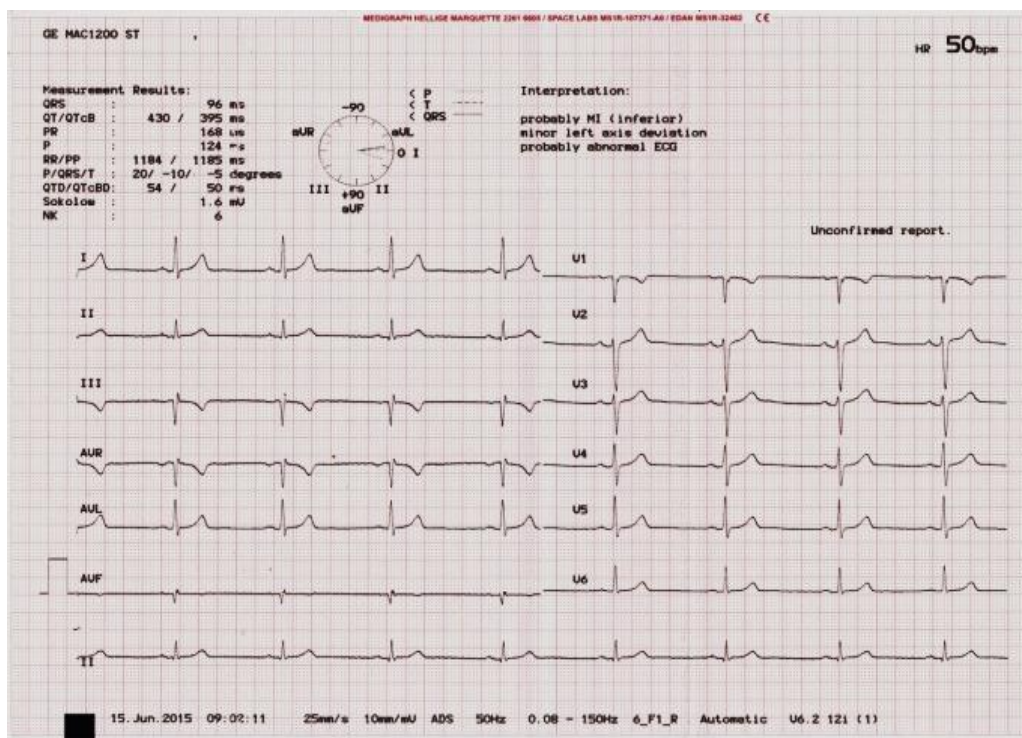


Gambar 2. Ukuran kotak-kotak pada ecg paper [9]

Banyaknya bahasan terkait gelombang QRS karena ventrikel mengandung lebih banyak massa otot daripada Atrium, sehingga kompleks QRS lebih besar daripada gelombang P. Durasi, Amplitudo, dan Morfologi kompleks QRS berguna untuk mendiagnosis Aritmia Jantung, abnormalitas konduksi, hipertrofi ventricle, infarct otot Jantung, gangguan elektrolit, dan keadaan sakit lainnya [3]. Gelombang Q dapat normal (fisiologis) atau patologis. Bila ada, gelombang Q yang normal menggambarkan depolarisasi Septum interventricular, dan dapat dinilai di sadapan lateral I,



Gambar 3. Morfologi ecg Hasil pemeriksaan



Gambar 4. Morfologi dan informasi ecg hasil pemeriksaan

Kebutuhan waktu untuk mendapatkan informasi dari Gambar 4 akan lebih cepat dibandingkan dari Gambar 3. Hal ini cukup beralasan karena durasi dan amplitudo pada gambar 3 harus dihitung semua, sedangkan pada Gambar 4 sudah sebagian diinformasikan.

Keterbatasan informasi ini dapat dihitung secara manual menggunakan kotak-kotak kecil pada ecg paper yang berukuran 40 ms untuk durasi dan 1 mV untuk amplitudo seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Sebagai konsekwensi dari perhitungan manual ini maka akan membutuhkan waktu untuk perhitungan dan akurasi hasil.

Penyakit Jantung merupakan penyakit *progressive* (berpacu dengan waktu), dimana jika tidak segera ditangani maka akan dapat meningkatkan stadium, bahkan terengutnya nyawa pasien. Ketidakakuratan perhitungan dapat berakibat kesalahan diagnosis sehingga bisa mengakibatkan kesalahan penegakan diagnosis. Berdasarkan hal itu maka hasil pemeriksaan harus dapat memberikan informasi yang cepat dan akurat.

Beberapa peneliti yang telah melakukan riset gelombang QRS diantaranya adalah [10] menganalisis struktur signal untuk mendeteksi cepat QRS dan kompresi ECG. [11] menyusun algoritma untuk mendeteksi dan pengukuran QRS complex pada multichannel ECG. [12] yang mendeteksi QRS *real-time* berdasarkan *diferensiator low-pass* dan *Hilbert Transform*. [13] yang merancang *algorithm* pembagian beban komputasi untuk memproses dan mendeteksi QRS. [7] yang membandingkan tiga *algorithm* terbaik untuk mendeteksi QRS. [14] yang mendeteksi QRS complex dalam ECG berdasarkan teknik kemiringan ganda. [15] mengusulkan kompresi dan deteksi QRS untuk aplikasi E-health dengan metode Lossy. [16] yang mendeteksi peak R dan QRS complex memakai metode gabungan K-Nearest Neighbor (KNN) dan *Particle swarm optimization* (PSO). [17] yang mendeteksi *real time* QRS complex dan durasi R-R memakai *Deterministic Finite Automaton* (DFA). [18] mendeteksi Fiducial Point Efisien dari Kompleks EKG QRS Berdasarkan Pendekatan Polygonal. [19] yang mengklasifikasikan sinyal EKG dan estimasi parameter yang menggunakan transformasi multiwavelet. [20] yang mendeteksi QRS complex dalam ECG memakai algoritma Deteksi dan algoritma penyaringan. [21] yang mendeteksi otomatis pola P, QRS, dan T dalam 12 sinyal EKG berdasarkan CWT Maxime. [22] yang merancang *algorithm* berbasis transformasi Wavelet Discrete untuk penentuan QRS complex. [23] yang mendeteksi QRS complex aritmia MIT-BIH menggunakan *Discrete Wavelet Transformed*. [24] yang mendeteksi Kompleks QRS *Real-Time* Berdasarkan Transformasi Wavelet Diskrit dan Ambang Adaptif Sebagai Aplikasi Mandiri Pada Mikrokontroler ARM. [25] yang membuat algoritma deteksi QRS Robust baru dalam signal ECG Arrhythmic. Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut maka

penentuan durasi QRS dan *peak amplitude* dengan menggunakan data *discrete* hasil pemeriksaan belum pernah dilakukan. Data discrete dimaksud adalah data hasil sampling sinyal kontinyu ecg pada frekuensi sampling tertentu [26].

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan durasi gelombang QRS berikut nilai amplitudo pada tiap siklus secara *real time* dan akurat. Diperolehnya informasi secara *real time* maka waktu diagnosis akan lebih cepat dibandingkan manual, sedangkan informasi yang akurat akan menghindarkan dari kesalahan dalam diagnosis maupun penegakan diagnosis. Data *discrete* hasil pemeriksaan ecg Sinus Rhythm yang diperoleh dari Physionet [27] dan dari ECG-UWG [28] digunakan sebagai sampel dalam penelitian ini. Diperolehnya durasi QRS maka akan diketahui apakah pasien dalam kondisi normal, Bradikardia atau Takhikardia [9]. Diketuinya nilai peak R maka akan didiagnosis apakah pasien dalam kondisi normal, hipotrofi atau hipertrofi, nilai peak Q akan didiagnosis sebagai kondisi normal atau Q patologis dan nilai peak S akan didiagnosis apakah pasien dalam kondisi normal, *Ischemia*, *Injury* ataukah *infarct myocard* [29].

2. Metode Penelitian

2.1. Pengumpulan data

Data yang dikumpulkan adalah data *discrete*, yaitu amplitudo (mV) sebagai fungsi bilangan integer. Bilangan integer adalah bilangan bulat, yang dalam penelitian ini berurutan mulai dari angka satu untuk record satu, angka dua untuk *record* dua, dan seterusnya.

2.1.1. Data Discrete Sinus Rhythm Physionet

Data Sinus rhythm yang diperoleh terdiri dari 2 lead, yaitu ecg1 (lead II) dan ecg2 (lead V2) selama 10 detik, seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Pengubahan urutan waktu ke dalam bilangan integer diperoleh jumlah data sebanyak 1280.

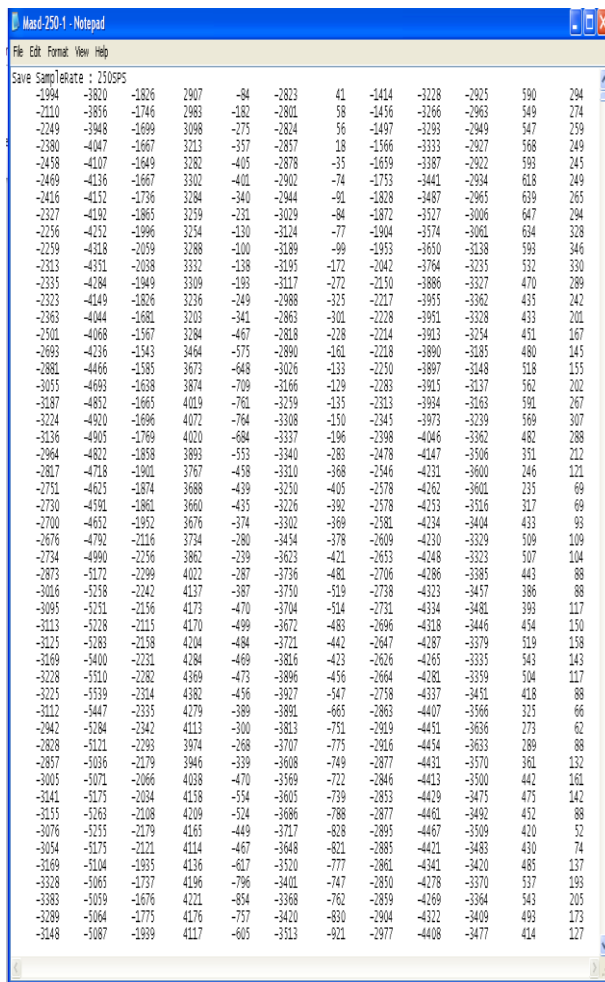
Time (hh:mm:ss.mmm)	ECG1 (mV)	ECG2 (mV)
[08:04:00.000]	-0.165	-0.325
[08:04:00.008]	-0.155	-0.325
[08:04:00.016]	-0.195	-0.305
[08:04:00.023]	-0.205	-0.305
[08:04:00.031]	-0.185	-0.295
[08:04:00.039]	-0.155	-0.265
[08:04:00.047]	-0.135	-0.235
[08:04:00.055]	-0.095	-0.185
[08:04:00.063]	-0.075	-0.135
[08:04:00.070]	-0.065	-0.095
[08:04:00.078]	-0.065	-0.055
[08:04:00.086]	-0.125	-0.015
[08:04:00.094]	-0.125	0.005
[08:04:00.102]	-0.125	-0.045
[08:04:00.109]	-0.115	-0.015
[08:04:00.117]	-0.125	-0.005
[08:04:00.125]	-0.165	-0.015
[08:04:00.133]	-0.115	-0.025
[08:04:00.141]	-0.145	-0.025

Gambar 5. Data Physionet Sinus Rhythm record 16265

2.1.2. Data Discrete ECG-UWG

Data ECG-UWG yang diperoleh terdiri dari 12 kolom yang mewakili lead, yaitu lead I, II, III, aVR, aVF, aVL,

V1, V2, V3, V4, V5 dan V6, selama 10 detik, seperti ditunjukkan pada gambar 6 [30].

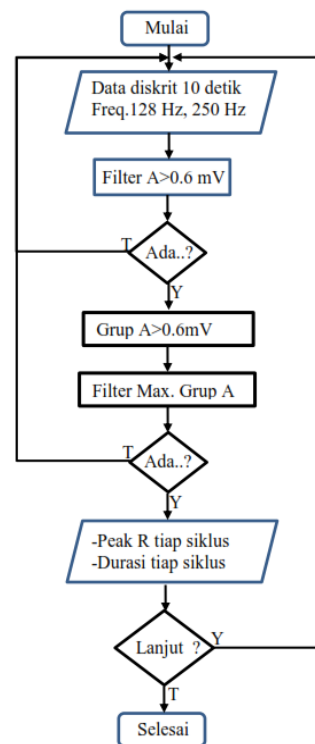


Gambar 6. Data masd-250-1 ECG-UWG[31]

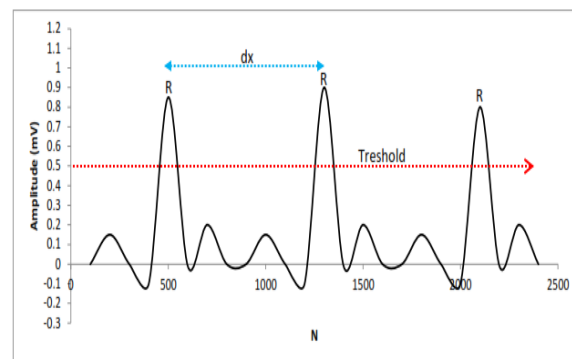
Data pada Gambar 6 merupakan hasil sampling sinyal analog kontinyu hasil pemeriksaan yang telah di sampling pada frekuensi 250 Hz. Bilangan integer selama pemeriksaan 10 detik menghasilkan urutan integer 1 hingga integer 2500.

2.2. Penentuan peak R dan durasi tiap siklus

Dalam setiap gelombang ECG lead I atau lead II akan terdapat amplitudo tertinggi (peak amplitude) yang merupakan gambaran depolarisasi jumlah otot ventricle pada setiap cycle. Batasan nilai amplitudo untuk kondisi normal adalah 1.6 mV hingga 3.0 mV. Dalam riset ini dilakukan dua kali *filtering amplitude maximum*, yang pertama adalah menentukan *threshold* beda potensial dengan nilai 1.6 mV dan yang kedua memfilter amplitudo maximum untuk nilai amplitudo yang terjaring dari filter pertama. Diagram alir penentuan peak R dan durasi tiap siklus ditunjukkan pada Gambar 7 sedangkan ilustrasinya ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 7. Diagram alir proses *peak R* dan Durasi tiap siklus [32]

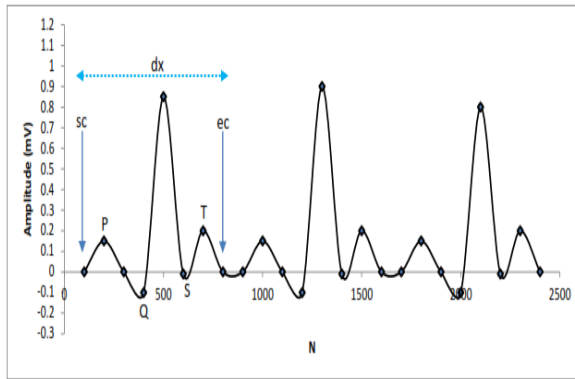


Gambar 8. Ilustrasi penentuan *peak R* dan siklus [31]

Durasi antara integer posisi *peak R* dengan integer posisi *peak R* berikutnya merupakan durasi satu cycle, yang disebut juga interval R-R [GA stoufer]. Dalam riset ini posisi integer *peak R* (R_n) dan posisi integer *peak R* berikutnya (R_{n+1}) maka durasi *cycle* (dx) adalah $((R_{n+1}) - (R_n))$. Cycle ke n dapat diperoleh dengan menggeser mundur nilai dx seperti ditunjukkan pada Gambar 9. Awal dan akhir cycle ke n ditunjukkan dengan notasi sc (*start cycle*) dan ec (*end cycle*).

2.3. Penentuan peak Q dan peak S

Dalam setiap siklus Elektrokardiogram umumnya terdapat *peak P*, *peak Q*, *peak R*, *peak S* dan *peak T*. *Peak Q* dan *peak S* terletak sebelum dan sesudah *peak R* seperti ditunjukkan pada Gambar 9.



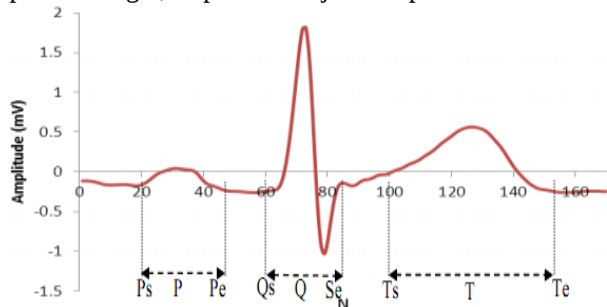
Gambar 9. Penentuan nilai *peak Q* dan *peak S*

Nilai *peak Q* dapat diperoleh dengan cara mencari nilai amplitudo minimum diantara posisi integer *sc* (start cycle) hingga posisi integer *peak R* sedangkan nilai *peak S* diperoleh dengan cara mencari nilai amplitudo minimum antara posisi integer *peak R* hingga posisi integer *ec* (end cycle) [33].

2.4. Penentuan durasi QRS

Dalam riset ini, durasi QRS yang dimaksud adalah durasi antara posisi letak integer *peak Q* (*nQ*) hingga posisi letak integer *peak S* (*nS*). durasi QRS diperoleh dengan cara mengurangkan *nS-nQ*, dimana *n* adalah

posisi integer, seperti ditunjukkan pada Gambar 10.



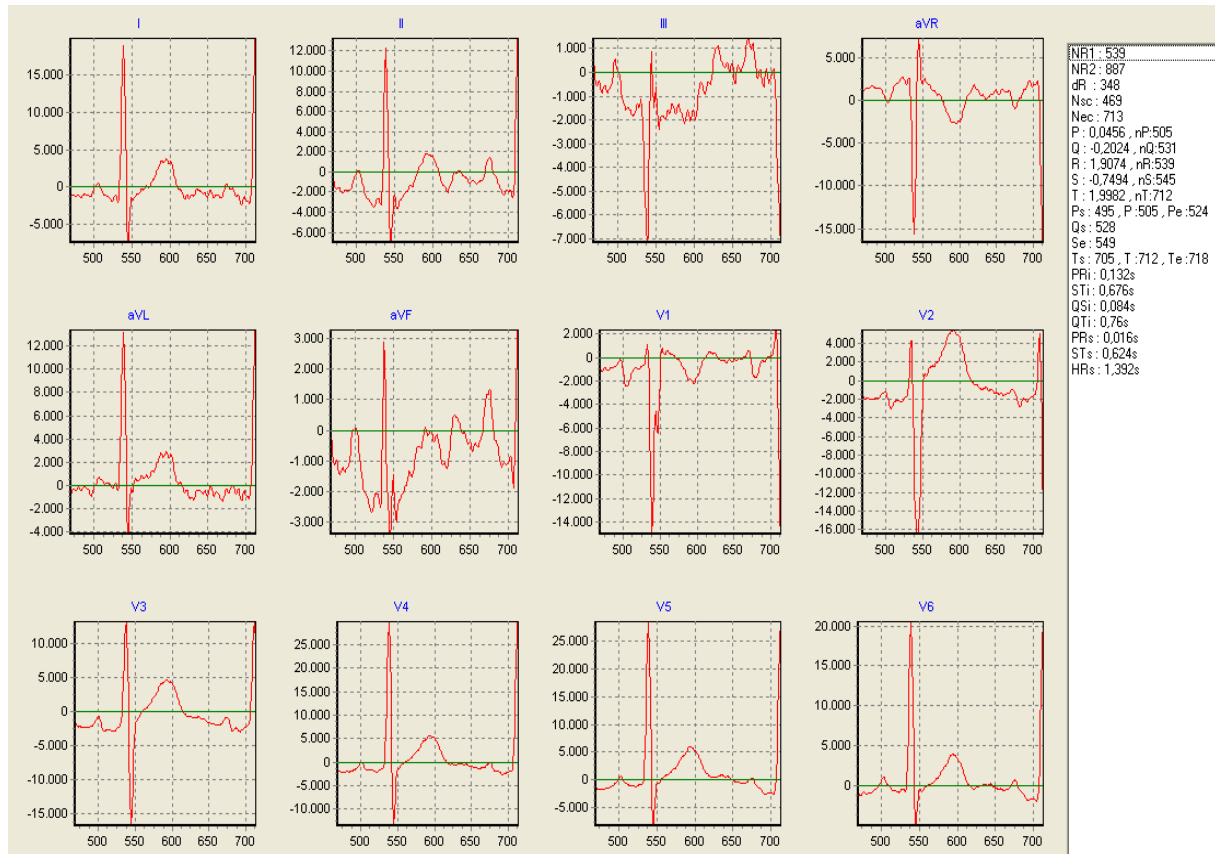
Gambar 10. Penentuan durasi QRS

3. Hasil dan Pembahasan

Jumlah record data rata-rata dari Physionet Sinus Rhythm memiliki jumlah data sebanyak 1250 selama 10 detik dengan step 8 ms, sehingga dapat diprediksi bahwa record tersebut merupakan hasil sampling *signal continues* pada frekuensi 125 Hz. Record ECG-UWG di sampling pada frekuensi 250 Hz sehingga memiliki step 4 ms. Hasil proses penentuan *peak R* dan durasi ditunjukkan pada Gambar 11 sedangkan Elektrokardiogram dalam 1 siklus diperlihatkan pada Gambar 12.



Gambar 11. Proses penentuan *peak R* dan durasi



Gambar 12. Elektrokardiogram 12-lead dalam 1 siklus

Record data *Physionet* dan record ECG-UWG untuk nilai-nilai *peak amplitude* dan nilai *QRS duration* untuk 3 cycle ditunjukkan pada Tabel 1.

Mengacu pada batasan *peak* amplitudo R kondisi normal berkisar 1.6 mV hingga 3.0 mV maka data pada Tabel 1 yang *record* di atas normal (>3 mV) adalah *Sinus rhythm* 16273 sedangkan yang di bawah normal (<1.6 mV) adalah *Sinus rhythm* 16272, 16483, 16795, 17052, *masd-250-01*, *masd-250-02*, *masd-250-04*. *Peak* amplitudo di atas normal diindikasikan sebagai *Hipertrofi* sedangkan untuk yang di bawah normal diindikasikan sebagai *Hipotrofi*.

Tabel 1. Nilai *peak* dan durasi QRS

Record	Siklus	Peak Amplitudo (mV)			Durasi (ms)
		Q	R	S	
Sinus	1	-0.645	2.635	-0.395	64
rhythm	2	-0.645	2.675	-0.365	64
16265	3	-0.885	2.755	-0.325	56
Sinus	1	-0.075	2.635	-0.595	80
rhythm	2	-0.075	2.675	-0.555	80
16272	3	-0.125	2.755	-0.625	88
Sinus	1	-0.855	3.195	-0.455	56
rhythm	2	-0.845	3.485	-0.215	64
16273	3	-0.695	3.345	-0.695	64
Sinus	1	-0.855	1.895	-1.055	72
rhythm	2	-0.845	1.825	-0.725	80
16420	3	-0.695	1.695	-0.985	96
Sinus	1	-0.575	1.195	-0.625	40
rhythm	2	-0.605	1.515	-0.635	40
16483	3	-0.625	1.505	-0.685	48
Sinus	1	-0.335	1.745	-0.555	48
rhythm	2	-0.315	1.685	-0.525	48
16539	3	-0.375	1.555	-0.505	48
Sinus	1	-0.595	2.945	-0.825	64
rhythm	2	-0.715	2.715	-1.015	64
16773	3	-0.375	3.065	-0.715	64
Sinus	1	-0.695	2.945	-0.245	96
rhythm	2	-0.775	2.935	-0.215	72
16786	3	-0.595	2.525	-0.175	80
Sinus	1	-0.025	0.885	-0.965	96
rhythm	2	-0.185	0.985	-1.085	96
16795	3	-0.235	0.805	-1.275	56
Sinus	1	-0.065	1.385	-0.565	144
rhythm	2	-0.085	1.285	-0.145	144
17052	3	-0.105	1.325	-0.425	144
Masd	1	-0.065	0.989	0.547	116
-250-1	2	-0.085	0.925	-0.518	120
	3	-0.105	1.021	-0.497	108
Masd	1	-0.139	1.064	-0.212	112
-250-2	2	-0.081	1.174	-0.142	116
	3	-0.105	1.082	-0.207	116
Masd	1	-0.205	1.358	-0.476	108
-250-3	2	0.188	1.710	-0.149	100
	3	0.275	1.817	-0.070	100
Masd	1	-0.153	1.318	-0.726	112
-250-4	2	-0.159	1.280	-0.745	100
	3	-0.141	1.257	-0.694	116
Masd	1	-0.245	1.816	-0.828	104
-250-5	2	-0.213	1.960	-0.835	72
	3	-0.117	1.907	-0.747	116

Berpedoman pada batasan durasi Kompleks QRS yang normal adalah 0,06-0,12 s (60-120 ms) maka *record* yang berdurasi di atas normal (>120 ms) adalah *record Sinus rhythm* 17052, sedangkan yang di bawah durasi normal (<60 ms) adalah *record Sinus rhythm* 16483 dan 16539. Durasi di atas normal diindikasikan sebagai Takhikardia dan di bawah normal diindikasikan sebagai Bradikardia.

4. Kesimpulan

Metode yang diusulkan telah dapat menghasilkan nilai parameter ECG. Parameter yang dimaksud adalah nilai *amplitude* (*peak Q*, *peak R* dan *peak S*) serta nilai durasi gelombang QRS. Hasil riset menunjukkan bahwa semua sampel data memiliki nilai durasi QRS dan nilai *peak amplitude* Q, R dan S. Nilai *peak amplitude* R max dan R min *data sample physionet* didapatkan pada *record* 16273 yaitu 3.485 mV dan *record* 16795 yaitu 0.805 mV. Durasi QRS tercepat dan terlama ditunjukkan pada *record* 16483 yaitu 40 ms dan *record* 17052 yaitu 144 ms. Kompleks QRS yang normal berdurasi 0,06-0,12 s (60-120 ms) yang ditunjukkan dengan 3 kotak kecil atau kurang, namun setiap ketidaknormalan konduksi bisa lebih panjang, dan menyebabkan perluasan kompleks QRS. Tak setiap kompleks QRS memuat gelombang Q, gelombang R, dan gelombang S. Menurut aturan, setiap kombinasi gelombang-gelombang itu dapat disebut sebagai kompleks QRS.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kemenristekdikti atas kepercayaan yang telah diberikan kepada peneliti atas hibah pendanaan dalam pelaksanaan Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi (PTUPT) tahun 2019.

Daftar Rujukan

- [1] A. C. Guyton and J. E. Hall, *Textbook of medical physiology*, 11th ed. Philadelphia: Elsevier Saunders, 2006.
- [2] J. R. Cameron and J. G. Skofronick, *Medical physics*. Wiley, 1978.
- [3] B. Chia, *Clinical Electrocardiography*, Third Edition. New Jersey: World Scientific, 2000.
- [4] J. T. Hansen and B. M. Koeppe, *Netter's Atlas of Human Physiology*, 4th ed. San Antonio: Elsevier, 2018.
- [5] P. A. Iaizzo, *Handbook of Cardiac Anatomy, Physiology, and Devices*, ANSI Z39.48-1984 (American National Standards Institute) Permanence of Paper for Printed Library Materials. Totowa, New Jersey 07512: © 2005 Humana Press Inc., 2005.
- [6] D. B. Foster, *Twelve-Lead Electrocardiography*, Second. London: Springer-Verlag London, 2007.
- [7] R. A. Álvarez, A. J. M. Penín, and X. A. V. Sobrino, "A Comparison of Three QRS Detection Algorithms Over a Public Database," *Procedia Technol.*, vol. 9, pp. 1159–1165, 2013, doi: 10.1016/j.protcy.2013.12.129.
- [8] B. de Luna, *Basic Electrocardiography, Normal and Abnormal ECG Patterns*, First. Massachusetts: Blackwell Futura, 2007.
- [9] A. C. Guyton and J. E. Hall, *Textbook of Medical Physiology*, 11th ed. Mississippi: Elsevier Saunders, 2006.
- [10] A. Burguera, "Fast QRS Detection and ECG Compression Based on Signal Structural Analysis," *IEEE J. Biomed. Health Inform.*, vol. 23, no. 1, pp. 123–131, Jan. 2019, doi: 10.1109/JBHI.2018.2792404.
- [11] A. E. Curtin, K. V. Burns, A. J. Bank, and T. I. Netoff, "QRS Complex Detection and Measurement Algorithms for Multichannel ECGs in Cardiac Resynchronization Therapy Patients," *IEEE J. Transl. Eng. Health Med.*, vol. 6, pp. 1–11, 2018, doi: 10.1109/JTEHM.2018.2844195.
- [12] D. Yang and Y. Zhang, "A Real-time QRS Detector Based on Low-pass Differentiator and Hilbert Transform," *MATEC Web Conf.*, vol. 175, p. 02008, 2018, doi: 10.1051/mateconf/201817502008.
- [13] C. J. Deepu and Y. Lian, "A Joint QRS Detection and Data Compression Scheme for Wearable Sensors," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 62, no. 1, pp. 165–175, Jan. 2015, doi: 10.1109/TBME.2014.2342879.
- [14] M. R. Arefin, K. Tavakolian, and R. Fazel-Rezai, "QRS complex detection in ECG signal for wearable devices," in *2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, Milan, 2015, pp. 5940–5943, doi: 10.1109/EMBC.2015.7319744.
- [15] M. Elgendi, A. Mohamed, and R. Ward, "Efficient ECG Compression and QRS Detection for E-Health Applications," *Sci. Rep.*, vol. 7, no. 1, Dec. 2017, doi: 10.1038/s41598-017-00540-x.
- [16] R. He et al., "A novel method for the detection of R-peaks in ECG based on K-Nearest Neighbors and Particle Swarm Optimization," *EURASIP J. Adv. Signal Process.*, vol. 2017, no. 1, Dec. 2017, doi: 10.1186/s13634-017-0519-3.
- [17] S. Hamdi, A. Ben Abdallah, and M. H. Bedoui, "Real time QRS complex detection using DFA and regular grammar," *Biomed. Eng. OnLine*, vol. 16, no. 1, Dec. 2017, doi: 10.1186/s12938-017-0322-2.
- [18] S. Lee, Y. Jeong, D. Park, B.-J. Yun, and K. Park, "Efficient Fiducial Point Detection of ECG QRS Complex Based on Polygonal Approximation," *Sensors*, vol. 18, no. 12, p. 4502, Dec. 2018, doi: 10.3390/s18124502.
- [19] B. Subramanian, "ECG signal classification and parameter estimation using multiwavelet transform," *Biomed Res*, vol. 28, no. 7, p. 7, 2017.
- [20] N. Vuong, T. Nguyen, L. D. Tran, and T. Van Huynh, "Detect QRS complex in ECG," in *2017 12th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, Siem Reap, 2017, pp. 2022–2027, doi: 10.1109/ICIEA.2017.8283170.
- [21] M. Yochum, C. Renaud, and S. Jacquir, "Automatic detection of P, QRS and T patterns in 12 leads ECG signal based on CWT," *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 25, pp. 46–52, Mar. 2016, doi: 10.1016/j.bspc.2015.10.011.
- [22] R. Haddadi, E. Abdelmounim, M. El Hanine, and A. Belaguid, "Discrete Wavelet Transform based algorithm for recognition of QRS complexes," in *2014 International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS)*, Marrakech, Morocco, 2014, pp. 375–379, doi: 10.1109/ICMCS.2014.6911261.
- [23] C. M. Khamhoo, J. Rahul, and M. Sora, "Algorithm for QRS Complex Detection using Discrete Wavelet Transformed," vol. 10, no. 2, p. 7, 2018.
- [24] V. H. Rodriguez, C. Medrano, and I. Plaza, "A Real-Time QRS Complex Detector Based on Discrete Wavelet Transform and Adaptive Threshold as Standalone Application on ARM Microcontrollers," in *2018 International Conference on Biomedical Engineering and Applications (ICBEA)*, Funchal, 2018, pp. 1–6, doi: 10.1109/ICBEA.2018.8471741.
- [25] S. Bilgin and Z. E. Akin, "Aritmik EKG Sinyallerinde Dayanikli Yeni Bir QRS Yakalama Algoritması," *Mühendis. Bilim. Ve Tasar. Derg.*, pp. 64–73, Mar. 2018, doi: 10.21923/jesd.391625.
- [26] S. setiawidayat, D. Sargowo, and S. Sakti, "Using Discrete Data of ECG in the Numerical and Spectral forms," *Int. J. Electr. Comput. Sci. IJECS-IJENS*, vol. Vol.15 No.03, Jun. 2015.
- [27] P. Sharma, "ANN Based GUI for ECG Classification and Normality Detection," *World Acad. Res. Sci. Eng.*, vol. vol.3 no.6, pp. 383–385, Jun. 2014.

- [28] S. Setiawidayat, D. Sargowo, S. P. Sakti, and S. Andarini, "The Peak of the PQRS and the Trajectory Path of Each Cycle of the ECG 12-Lead Wave," *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 4, no. 1, pp. 169–175, Oct. 2016.
- [29] A. L. Goldberger, *Clinical Electrocardiography*, 7th ed. Mosby, Elsevier, 2006.
- [30] S. Setiawidayat and R. Joegijantoro, "Algorithm for the Representation of Parameter Values of Electrocardiogram," *TELKOMNIKA Telecommun. Comput. Electron. Control*, vol. 16, no. 3, p. 1295, Jun. 2018, doi: 10.12928/telkomnika.v16i3.6934.
- [31] S. Setiawidayat and R. Joegijantoro, "Algorithm for the Representation of Parameter Values of Electrocardiogram," *Telkomnika*, vol. Vol.16, no.3, no. Medical Engineering, p. 8, Jun. 2018, doi: DOI: 10.12928/TELKOMNIKA.v16i3.6934.
- [32] S. Setiawidayat and A. Y. Rahman, "New method for obtaining Peak Value R and the duration of each cycle of Electrocardiogram," in *2018 International Conference on Sustainable Information Engineering and Technology (SIET)*, Malang, Indonesia, 2018, pp. 77–81, doi: 10.1109/SIET.2018.8693151.
- [33] S. Setiawidayat, M. R. Indra, D. Sargowo, and S. Sakti, "Determining The ECG 1 Cycle Wave using Discrete data," *Vol.*, p. 8, 2005.