PEMODELAN DAN SIMULASI ALGORITMA PAN-TOMPKINS UNTUK DETEKSI PUNCAK R PADA SINYAL EKG MENGGUNAKAN MATLAB

SKRIPSI

Program Studi Sarjana Teknik Elektro

Jurusan Teknik Elektro

Oleh:

IBRAHIM TSABIT HANIF RABBIRADLIYA

NIM. D1021221074

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS TANJUNGPURA

PONTIANAK

2026

PEMODELAN DAN SIMULASI ALGORITMA PAN-TOMPKINS UNTUK DETEKSI PUNCAK R PADA SINYAL EKG MENGGUNAKAN MATLAB

SKRIPSI

Program Studi Sarjana Teknik Elektro
Jurusan Teknik Elektro

Skripsi Diajukan Sebagai Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Dalam Bidang Teknik Elektro

Oleh:
IBRAHIM TSABIT HANIF RABBIRADLIYA
NIM. D1021221074

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2026

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ibrahim Tsabit Hanif Rabbiradliya

NIM : D1021221074

Menyatakan bahwa dalam SKRIPSI ini yang berjudul "**PEMODELAN DAN SIMULASI ALGORITMA PAN-TOMPKINS UNTUK DETEKSI PUNCAK R PADA SINYAL EKG MENGGUNAKAN MATLAB**" tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar sarjana di suatu perguruan tinggi manapun. Sepanjang pengetahuan saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atas diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam Daftar Pustaka.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya. Saya sanggup menerima konsekuensi akademis dan hukum di kemudian hari apabila pernyataan yang dibuat ini tidak benar.

Pontianak, 22 September 2026

Ibrahim Tsabit Hanif Rabbiradliya
NIM D1021221074

KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS,
DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
FAKULTAS TEKNIK
Jalan Prof. Dr. H. Hadari Nawawi Pontianak 78124
Telepon (0561) 740186, WA: +6282152280907
Email: ft@untan.ac.id Website: http://teknik.untan.ac.id

SURAT KETERANGAN SELESAI PENULISAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping pada penulisan skripsi yang berjudul **"Pemodelan dan Simulasi Algoritma Pan-Tompkins Untuk Deteksi Puncak R Pada Sinyal EKG Menggunakan MATLAB"** yang ditulis oleh mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

Nama : Ibrahim Tsabit Hanif Rabbiradliya

NIM : D1021221074

Jurusan : Teknik

Prodi : Teknik Elektro

Konsentrasi : Teknik Kendali

Demikian ini menerangkan bahwa mahasiswa tersebut telah menyelesaikan penulisan skripsinya.

Pontianak, 22 September 2026

Pembimbing Utama

Prof. Dr. Eng. Ir. Ferry Hadary, S.T., M.Eng., IPM., ASEAN Eng
NIP. 197102281995121001

Pembimbing Pendamping

Dr. Redi Ratiandi Yacoub, S.T., M.T.
NIP. 197101031997021002

KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS,
DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
FAKULTAS TEKNIK
Jalan Prof. Dr. H. Hadari Nawawi Pontianak 78124
Telepon (0561) 740186, WA: +6282152280907
Email: ft@untan.ac.id Website: http://teknik.untan.ac.id

HALAMAN PENGESAHAN

PEMODELAN DAN SIMULASI ALGORITMA PAN-TOMPKINS UNTUK DETEKSI PUNCAK R PADA SINYAL EKG MENGGUNAKAN MATLAB

Jurusan Teknik Elektro
Program Studi Sarjana Teknik Elektro

Oleh:

Ibrahim Tsabit Hanif Rabbiradliya
NIM D1021221074

Telah dipertahankan di depan Penguji Skripsi pada tanggal 22 September 2026 dan diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana.

Susunan Penguji Skripsi

Dosen Pembimbing Utama	:	Prof. Dr. Eng. Ir. Ferry Hadary, S.T., M.Eng., IPM., ASEAN Eng. NIP. 197102281995121001
Dosen Pembimbing Kedua	:	Dr. Redi Ratiandi Yacoub, S.T., M.T. NIP. 197101031997021002
Dosen Penguji Utama	:	Dr. Ir. Bomo Wibowo Sanjaya, S.T., M.T., IPM. NIP. 197404011999031003
Dosen Penguji Kedua	:	Steven Pragestu, S.T., M.T. NIP. 199401122024061001

Pontianak, 22 September 2026

Dekan,

Dr.-Ing. Ir. Slamet Widodo, M.T., IPM
NIP. 196712231992031002

Pembimbing Utama

Prof. Dr. Eng. Ir. Ferry Hadary, S.T., M.Eng., IPM., ASEAN Eng.
NIP. 197102281995121001

HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan kepada seluruh mahasiswa Teknik Elektro Universitas Tanjungpura sebagai bentuk apresiasi dan harapan agar karya ini dapat memberikan manfaat serta inspirasi bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Ucapan terima kasih saya ucapkan kepada orang tua saya tercinta, Ummi dan Abi yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, dukungan, pengorbanan, serta motivasi tanpa henti dalam setiap langkah kehidupan penulis. Terima kasih atas kepercayaan, kesabaran, dan cinta yang selalu menguatkan penulis hingga mampu menyelesaikan pendidikan ini.

Terima kasih kepada kedua dosen pembimbing skripsi saya, yang telah dengan sabar memberikan bimbingan, arahan, ilmu, masukan, serta motivasi selama proses penyusunan dan penyelesaian skripsi ini. Terima kasih atas waktu, perhatian, dan kesediaan dalam membimbing penulis hingga dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik.

Terima kasih kepada keluarga besar di Pontianak, yang selalu memberikan semangat, doa, dan dukungan moral sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dengan penuh keyakinan dan tanggung jawab.

Terima kasih kepada teman-teman Teknik Elektro khususnya kepada rekan-rekan Aslab DCC kemudian juga rekan konsentrasi Kendali karena telah meluangkan waktu bersama serta memberikan masukan, saran, dan saling bertukar pikiran.

“Ketika kamu memiliki kesempatan untuk membuat pilihan, buatlah pilihan yang kamu tahu tidak akan kamu sesali.”

Kafka

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa karena berkat Rahmat dan Karunia-Nya, sehingga penulisan dan penyusunan Tugas Akhir berjudul "PEMODELAN DAN SIMULASI ALGORITMA PAN-TOMPKINS UNTUK DETEKSI PUNCAK R PADA SINYAL EKG MENGGUNAKAN MATLAB" dapat selesai dengan baik. Tugas akhir ini ditulis guna memenuhi salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak.

Penulis menyampaikan terima kasih kepada kedua orang tua, keluarga dan teman-teman yang telah banyak memberikan dukungan, semangat, motivasi, bantuan serta doanya sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan. Dan selesainya penulisan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan dan kerjasama dari berbagai pihak, maka dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua dan keluarga besar tercinta, khususnya dan keluarga besar mama yang telah memberikan doa, motivasi, bimbingan dan kepercayaan yang telah diberikan.
2. Bapak Dr.-Ing. Ir. Slamet Widodo, M.T., IPM selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak.
3. Bapak Prof. Dr.-Ing. Seno Darmawan Panjaitan., S.T., M.T., IPM. selaku Koordinator Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
4. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Ferry Hadary, S.T., M.Eng., IPM., ASEAN Eng. Selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah memberikan bimbingan serta dukungan dalam menyelesaikan tugas akhir / skripsi ini.
5. Bapak Dr. Redi Ratiandi Yacoub, S.T., M.T. Selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang telah memberikan bimbingan serta dukungan dalam menyelesaikan tugas akhir / skripsi ini.
6. Bapak Jannus Marpaung, S.T., M.T., IPM. Selaku Koordinator Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura

7. Bapak Dr. Ir. Bomo Wibowo Sanjaya, S.T., M.T., IPM. elaku Dosen Penguji Utama yang telah memberikan banyak masukan, kritik dan saran dalam menyelesaikan tugas akhir / skripsi ini
8. Bapak Steven Pragestu, S.T., M.T. Selaku Dosen Penguji Pendamping yang telah memberikan banyak masukan, kritik dan saran dalam menyelesaikan tugas akhir / skripsi ini.
9. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura yang telah membagikan ilmu pengetahuan selama perkuliahan dan masukan dalam pembuatan tugas akhir / skripsi ini.
10. Rekan-rekan Aslab di Lab. Kendali Digital dan Komputasi, juga teman mahasiswa konsentrasi kendali yang selama ini banyak memberikan diskusi dan masukan kepada penulis selama penyusunan tugas akhir.
11. Kepada rekan-rekan Fakultas Teknik angkatan 2022 dan junior, khususnya Teknik Elektro atas kebersamaannya bersama penulis selama menjalani perkuliahan dari awal hingga akhir dan telah memberikan bantuan selama melakukan penelitian Tugas Akhir ini selama 4 tahun terakhir.
12. Semua pihak yang telah memberikan bantuan selama penyelesaian skripsi ini.
13. Akhir kata, penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat sebagai bahan literatur untuk menambah ilmu pengetahuan dan masukan bagi semua pihak khususnya pada bidang teknik kendali.

Pontianak, 22 September 2026

Penulis,

Ibrahim Tsabit Hanif Rabbiradliya
NIM D1021221074

ABSTRAK

Deteksi puncak R pada sinyal elektrokardiogram (EKG) merupakan salah satu tahapan penting dalam analisis aktivitas listrik jantung. Perubahan morfologi kompleks QRS dan gangguan pada sinyal EKG dapat memengaruhi kemampuan sistem dalam mendeteksi puncak R secara akurat. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan dan mensimulasikan algoritma Pan-Tompkins untuk deteksi puncak R pada sinyal EKG menggunakan MATLAB serta mengevaluasi kinerjanya pada berbagai kondisi sinyal. Data penelitian menggunakan MIT-BIH Arrhythmia Database dengan lima *record*, yaitu *record* 100 kondisi Normal, 109 kondisi Left *Bundle Branch Block* (LBBB), 118 kondisi *Right Bundle Branch Block* (RBBB), 119 kondisi *Premature Ventricular Contraction* (PVC), dan 222 kondisi *Baseline Drift.* Algoritma Pan-Tompkins diimplementasikan melalui tahapan low-pass filter, high-pass filter, *derivative* filter, *squaring*, *moving window integration*, dan adaptive *thresholding* dengan frekuensi *sampling* 360 Hz. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan hasil deteksi terhadap anotasi ground truth menggunakan toleransi ±150 ms berdasarkan parameter sensitivitas, *positive predictivity*, akurasi, dan F1-Score. Hasil penelitian menunjukkan bahwa performa terbaik diperoleh pada kondisi Normal dengan sensitivitas 99,96%, *positive predictivity* 100,00%, akurasi 99,96%, dan F1-Score 99,98%. Sementara itu, performa terendah diperoleh pada kondisi PVC dengan sensitivitas 79,87%, *positive predictivity* 79,83%, akurasi 66,46%, dan F1-Score 79,85%. Secara keseluruhan, rata-rata sensitivitas, *positive predictivity*, akurasi, dan F1-Score berturut-turut sebesar 93,73%, 93,79%, 89,25%, dan 93,76%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa algoritma Pan-Tompkins memiliki kinerja yang baik dalam mendeteksi puncak R, namun performanya dipengaruhi oleh perubahan morfologi QRS dan gangguan baseline pada sinyal EKG.

Kata kunci: Elektrokardiogram, Pan-Tompkins, puncak R, deteksi QRS, MATLAB, MIT-BIH.

ABSTRACT

R-peak detection in electrocardiogram (ECG) signals is an important stage in the analysis of cardiac electrical activity. Changes in QRS complex morphology and disturbances in ECG signals may affect the accuracy of R-peak detection. This study aims to model and simulate the Pan-Tompkins algorithm for R-peak detection in ECG signals using MATLAB and to evaluate its performance under various signal conditions. The data used in this study were obtained from the MIT-BIH Arrhythmia Database, consisting of five records representing Normal, Left Bundle Branch Block (LBBB), Right Bundle Branch Block (RBBB), Premature Ventricular Contraction (PVC), and Baseline Drift conditions. The Pan-Tompkins algorithm was implemented through six main stages, namely low-pass filtering, high-pass filtering, derivative filtering, squaring, moving window integration, and adaptive thresholding, with a sampling frequency of 360 Hz. The evaluation was performed by comparing the detected R-peaks with ground-truth annotations using a tolerance of ±150 ms based on sensitivity, positive predictivity, accuracy, and F1-Score. The results showed that the best performance was obtained under the Normal condition, with a sensitivity of 99.96%, positive predictivity of 100.00%, accuracy of 99.96%, and F1-Score of 99.98%. Meanwhile, the lowest performance was obtained under the PVC condition, with a sensitivity of 79.87%, positive predictivity of 79.83%, accuracy of 66.46%, and F1-Score of 79.85%. Overall, the average sensitivity, positive predictivity, accuracy, and F1-Score across the five records were 93.73%, 93.79%, 89.25%, and 93.76%, respectively. These results indicate that the Pan-Tompkins algorithm provides good performance in R-peak detection; however, its performance is affected by variations in QRS morphology and baseline disturbances in ECG signals.

Keywords: *Electrocardiogram, Pan-Tompkins, R-peak, QRS detection, MATLAB, MIT-BIH.*

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSEMBAHAN i
PRAKATA v
ABSTRAK vii
DAFTAR ISI ix
DAFTAR GAMBAR xiii
DAFTAR TABEL xiv
GLOSARIUM xv
BAB I I-1
PENDAHULUAN I-1
1.1 Latar Belakang I-1
1.2 Rumusan Masalah I-2
1.3 Tujuan Penelitian I-3
1.4 Pembatasan Masalah I-3
1.5 Sistematika Penelitian I-4
BAB II II-1
TINJAUAN PUSTAKA II-1
2.1 Penelitian Terdahulu II-1
2.2 Sistem Kardiovaskular II-4
2.3 Elektrokardiogram (EKG) II-4
2.3.1 Pengertian dan Prinsip Dasar EKG II-4
2.3.2 Sinyal Dasar EKG II-5
2.3.3 Rentang Frekuensi Sinyal EKG II-6
2.4 Aritmia Jantung II-6
2.4.1 Pengertian Aritmia II-6

2.4.2 Jenis-Jenis Aritmia pada *Dataset* MIT-BIH II-6
2.5 *Noise* pada Sinyal EKG II-8
2.5.1 *Power Line Interference* (PLI) II-8
2.5.2 *Baseline Wander* II-8
2.5.3 *Muscle Artifact* (EMG *Noise*) II-8
2.6 Algoritma Pan-Tompkins II-8
2.6.1 Sejarah dan Latar Belakang II-8
2.6.2 Tahapan Algoritma Pan-Tompkins II-9
2.6.3 Keterbatasan Algoritma Pan-Tompkins II-13
2.7 Parameter Evaluasi Deteksi QRS II-13
2.7.1 *Ground Truth* dalam Evaluasi Deteksi QRS II-13
2.7.2 *Confusion Matrix* II-15
2.7.3 Sensitivitas (Se) II-16
2.7.4 *Positive Predictivity* (+P) II-16
2.7.5 Akurasi (*Acc*) II-16
2.7.6 F1-Score II-17
2.7.7 Toleransi Deteksi II-17
2.8 MIT-BIH Arrhythmia Database II-18
BAB III III-1
METODOLOGI PENELITIAN III-1
3.1 Jenis Penelitian III-1
3.2 Diagram Alur Penelitian III-1
3.3 *Dataset* yang digunakan III-3
3.3.1 MIT-BIH Arrhythmia Database III-3
3.3.2 Pemilihan *Record* Pengujian III-3
3.3.3 Cara Mengakses *Dataset* di MATLAB R2023 ..... III-5

3.4 Perangkat yang digunakan III-6
3.5 Implementasi Algoritma Pan-Tompkins III-6
3.5.1 *Pre-processing* III-7
3.5.2 *Low-Pass Filter* III-8
3.5.3 *High-Pass Filter* III-8
3.5.4 *Derivative Filter* III-9
3.5.5 *Squaring* III-9
3.5.6 *Moving Window Integration* III-9
3.5.7 *Adaptive Thresholding* & Deteksi Puncak R III-10
3.5.8 Fungsi Evaluasi Performa III-12
3.5.9 Fungsi Utama-Main Script III-13
3.6 Skenario Pengujian III-15
3.7 Parameter Evaluasi III-17
3.8 Validasi Hasil III-18
BAB IV IV-1
HASIL DAN PEMBAHASAN IV-1
4.1 Hasil *Pre-Processing* Sinyal EKG IV-1
4.1.1 *Record* 100 Sinyal Normal IV-2
4.1.2 *Record* 109 Sinyal LBBB (*Left Bundle Branch Block*) IV-3
4.1.3 *Record* 118 Sinyal RBBB (*Right Bundle Branch Block*) IV-4
4.1.4 *Record* 119 Sinyal PVC (*Premature Ventricular Contraction*) IV-5
4.1.5 *Record* 222 Sinyal *Baseline Drift* IV-6
4.2 Hasil Tahapan Algoritma Pan-Tompkins IV-7
4.3 Hasil Deteksi Puncak R IV-11
4.4 Hasil Perhitungan Confusion Matrix IV-15
4.5 Hasil Evaluasi Performa (Se, +P, Acc, F1) IV-20

4.6 Analisis dan Pembahasan IV-24
4.6.1 Analisis Komparatif Antar Kondisi IV-24
4.6.2 Kesesuaian Hasil dengan Tujuan Penelitian IV-28
4.6.3 Keterbatasan Implementasi Algoritma IV-30
BAB V V-1
PENUTUP V-1
5.1 Kesimpulan V-1
5.2 Saran V-2
DAFTAR PUSTAKA VI-1
LAMPIRAN A VII-1
LAMPIRAN B VIII-1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Gelombang PQRST II-4
Gambar 2. 2 Gelombang *Normal Sinus Rhythm*, LBBB (*Left Bundle Branch Block*), PVC (*Premature Ventricular Contraction*), RBBB (*Right Bundle Branch Block*), dan *Baseline Drift* II-7
Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian..... III-1
Gambar 3. 2 Alur Implementasi Algoritma III-7
Gambar 4. 1 Sinyal EKG Asli *record* 100 ..... IV-3
Gambar 4. 2 Sinyal EKG Asli *record* 109 (LBBB) IV-4
Gambar 4. 3 Sinyal EKG Asli *record* 118 (RBBB)..... IV-5
Gambar 4. 4 Sinyal EKG Asli *record* 119 (PVC)..... IV-6
Gambar 4. 5 Sinyal EKG Asli *record* 222 (*Baseline Drift*)..... IV-7
Gambar 4. 6 Plot tahapan algoritma Pan-Tompkins *record* 100 ..... IV-8
Gambar 4. 7 Denyut EKG dengan label PQRST *record* 100 ..... IV-9
Gambar 4. 8 Hasil deteksi puncak R dan *Ground Truth record* 100 ..... IV-11
Gambar 4. 9 Hasil deteksi puncak R dan *Ground Truth record* 109 ..... IV-12
Gambar 4. 10 Hasil deteksi puncak R dan *Ground Truth record* 118 ..... IV-13
Gambar 4. 11 Hasil deteksi puncak R dan *Ground Truth record* 119 ..... IV-14
Gambar 4. 12 Hasil deteksi puncak R dan *Ground Truth record* 222 ..... IV-15
Gambar 4. 13 Hasil deteksi keseluruhan *record* 100 ..... IV-16
Gambar 4. 14 Hasil deteksi keseluruhan *record* 109 ..... IV-17
Gambar 4. 15 Hasil deteksi keseluruhan *record* 118 ..... IV-18
Gambar 4. 16 Hasil deteksi keseluruhan *record* 119 ..... IV-19
Gambar 4. 17 Hasil deteksi keseluruhan *record* 222 ..... IV-20
Gambar 4. 18 Residual waktu deteksi terhadap *Ground Truth* kelima *record* IV-25
Gambar 4. 19 Distribusi residual antar *record*..... IV-26
Gambar 4. 20 Scatter plot hubungan FP dan FN antar *record*..... IV-27

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tabel Penelitian terdahulu II-1
Tabel 2. 2 Jenis-jenis Aritmia pada *Dataset* MIT-BIH..... II-6
Tabel 2. 3 Confusion Matrix II-15
Tabel 3. 1 Spesifikasi Database MIT-BIH Arrhythmia Database..... III-3
Tabel 3. 2 Daftar *Record*..... III-4
Tabel 3. 3 Spesifikasi Perangkat III-6
Tabel 3. 4 Kondisi dan Karakteristik *Record*..... III-16
Tabel 3. 5 Rumus Parameter Evaluasi III-17
Tabel 4. 1 Hasil ekstraksi data MIT-BIH..... IV 2
Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Confusion Matrix per *Record*..... IV 16
Tabel 4. 3 Hasil Evaluasi Performa Algoritma Pan-Tompkins per *Record*.....IV-21

GLOSARIUM

A

Adaptive Thresholding	Penentuan ambang yang berubah mengikuti karakteristik sinyal; digunakan untuk menentukan kandidat QRS secara adaptif.
ADC	Analog-to-Digital Converter; pengubah sinyal analog menjadi data digital. Resolusi ADC database dijelaskan dalam metodologi.
Akurasi (Acc)	Gambaran performa keseluruhan deteksi, dihitung dari TP, FP, dan FN sesuai rumus penelitian.
Amplitudo	Besaran atau kekuatan sinyal pada waktu tertentu; puncak R umumnya memiliki amplitudo besar.
Analisis Residual	Analisis terhadap selisih/error posisi deteksi terhadap referensi, digunakan untuk melihat bias dan pola kesalahan deteksi.
Anotasi	Penandaan lokasi/label detak atau kejadian pada sinyal oleh anotator; digunakan sebagai referensi evaluasi.
Aritmia	Gangguan irama jantung yang tidak normal; digunakan untuk mengelompokkan kondisi sinyal yang diuji.
Atrium	Dua ruang atas jantung yang menerima darah; gelombang P berkaitan dengan aktivitas atrium.

B

Bandpass Filter	Filter yang hanya meloloskan pita frekuensi tertentu; terbentuk secara efektif dari LPF dan HPF.
Baseline Wander / Baseline Drift	Pergeseran garis dasar sinyal EKG secara perlahan; *record* 222 digunakan untuk menguji kondisi ini.
bpm	*Beats Per Minute*; satuan jumlah detak jantung per menit, digunakan sebagai satuan heart rate.

C

Confusion Matrix	Tabel yang merangkum hasil deteksi menjadi TP, TN, FP, dan FN; menjadi dasar perhitungan parameter evaluasi.

D

Depolarisasi	Perubahan aktivitas listrik sel jantung menuju keadaan yang memicu kontraksi; direpresentasikan gelombang P dan kompleks QRS.
Derivative Filter	Filter turunan untuk menonjolkan kemiringan atau perubahan tajam sinyal; membantu memperkuat karakteristik QRS.

E

EKG / ECG	Elektrokardiogram / *Electrocardiogram*, rekaman aktivitas listrik jantung; merupakan data utama penelitian.
EMG Artifact / Muscle Artifact	Gangguan akibat aktivitas otot di sekitar elektroda; dapat menyerupai komponen sinyal yang ingin dideteksi.

F

F1-Score	Rata-rata harmonik antara *sensitivitas* dan *positive predictivity*; digunakan untuk melihat keseimbangan performa.
File.atr	File anotasi MIT-BIH yang berisi posisi dan label detak yang telah ditandai; digunakan sebagai sumber *ground truth*.
Filter	Metode yang meloloskan frekuensi tertentu dan melemahkan frekuensi lainnya; digunakan untuk mengurangi *noise*.
FIR	*Finite Impulse Response*; jenis filter *non-rekursif*, digunakan sebagai pembanding konsep dengan IIR.

FN (*False Negative*)	QRS yang ada tetapi tidak berhasil dideteksi; kesalahan berupa QRS yang terlewat.
FP (*False Positive)*	Deteksi yang dianggap QRS padahal bukan QRS; kesalahan deteksi positif.
Frekuensi Sampling (Fs)	Jumlah sampel yang direkam setiap detik, dalam Hz. MIT-BIH menggunakan Fs = 360 Hz.

G

Gelombang P	Gelombang yang merepresentasikan depolarisasi atrium; salah satu komponen dasar sinyal EKG.
Gelombang T	Gelombang setelah QRS yang merepresentasikan repolarisasi ventrikel; berpotensi terdeteksi keliru sebagai QRS.
Ground Truth	Data referensi yang dianggap benar sebagai standar pembanding; anotasi QRS pada file .atr MIT-BIH.

H

Heart Rate (HR)	Laju detak jantung dalam beats per minute (bpm); dapat dihitung dari interval RR.
HPF	*High-Pass Filter*; meloloskan frekuensi tinggi dan meredam frekuensi sangat rendah, membantu mengurangi *baseline wander*.
Hz	Hertz; satuan frekuensi atau jumlah siklus/sampel per detik sesuai konteks. Fs penelitian adalah 360 Hz.

I

IIR	*Infinite Impulse Response*; jenis filter yang bersifat rekursif. LPF dan HPF diimplementasikan sebagai IIR.

Interval RR	Jarak waktu antara dua puncak R berurutan; digunakan untuk menghitung heart rate dan melihat keteraturan denyut.

K

Kardiolog	Dokter spesialis jantung; anotasi MIT-BIH dibuat oleh dua kardiolog berpengalaman.
Kardiovaskular	Berkaitan dengan jantung dan pembuluh darah; menjadi dasar pembahasan medis.
Kompleks QRS	Gabungan gelombang Q, R, dan S yang merepresentasikan depolarisasi ventrikel; target utama deteksi algoritma Pan-Tompkins.

L

LBBB	*Left Bundle Branch Block*; gangguan konduksi pada cabang kiri berkas His. *Record* 109 digunakan sebagai kondisi LBBB.
Lead / Sadapan	Posisi atau sudut pandang elektroda terhadap aktivitas listrik jantung; penelitian menggunakan *Lead II*.
Learning Phase	Fase awal untuk mempelajari karakteristik sinyal dan menetapkan nilai awal parameter, dilakukan pada awal proses deteksi.
LPF	*Low-Pass Filter*; meloloskan frekuensi rendah dan meredam frekuensi tinggi. Tahap awal pemrosesan Pan-Tompkins.

M

MATLAB	Perangkat lunak komputasi numerik dan pemrograman yang digunakan untuk simulasi; implementasi dilakukan pada MATLAB R2023.
MIT-BIH Arrhythmia Database	Database standar berisi rekaman EKG yang dianotasi untuk penelitian aritmia dan deteksi QRS; sumber utama lima *record* pengujian.
ms	*Millisecond*; satuan waktu seperseribu detik. Toleransi deteksi yang digunakan adalah ±150 ms.
MWI	*Moving Window Integration*; integrasi/rata-rata bergerak pada jendela waktu tertentu, membantu menghaluskan dan memperlebar representasi QRS.

N

Noise	Gangguan atau sinyal tidak diinginkan yang tercampur pada sinyal EKG; dapat menyulitkan deteksi puncak R.
NPKI	*Noise Peak estimate*; estimasi running average amplitudo puncak yang dianggap noise, digunakan dalam pembaruan *threshold*.
NSR	*Normal Sinus Rhythm*; irama jantung normal yang berasal dari simpul sinoatrial. *Record* 100 digunakan sebagai kondisi normal.

P

Pan-Tompkins	Algoritma pemrosesan sinyal untuk mendeteksi kompleks QRS/puncak R; objek utama pemodelan dan simulasi penelitian.
PhysioNet	Platform yang menyediakan *database* fisiologis untuk penelitian; sumber akses MIT-BIH Arrhythmia Database.

PLI	*Power Line Interference*; interferensi jaringan listrik, umumnya 50 Hz di Indonesia.
Positive Predictivity (+P)	Proporsi deteksi yang benar-benar merupakan QRS. +P = TP/(TP+FP) × 100%.
Pre-processing	Tahap pra-pemrosesan sebelum sinyal masuk ke rangkaian utama algoritma; meliputi penghapusan offset DC dan normalisasi.
Puncak R	Puncak positif utama pada kompleks QRS; fitur yang dideteksi dalam penelitian.
Purposive Sampling	Pemilihan sampel berdasarkan pertimbangan dan tujuan tertentu; lima *record* dipilih untuk mewakili kondisi sinyal berbeda.
PVC	*Premature Ventricular Contraction*; detak yang berasal dari ventrikel dan muncul lebih awal. *Record* 119 digunakan sebagai kondisi PVC.
Python	Bahasa pemrograman yang digunakan dalam proses ekstraksi/penyiapan data; WFDB digunakan melalui Python sebelum data dimuat ke MATLAB.

R

RBBB	*Right Bundle Branch Block*; gangguan konduksi pada cabang kanan berkas His. *Record* 118 digunakan sebagai kondisi RBBB.
Real-Time	Kemampuan memproses sinyal saat data diterima dengan penundaan kecil; algoritma Pan-Tompkins awal dirancang untuk pemrosesan *real-time*.
Record	Satu rekaman data EKG dalam database. Penelitian menggunakan *record* 100, 109, 118, 119, dan 222.

Refractory Period	Periode jeda setelah satu QRS terdeteksi ketika deteksi baru diabaikan; mencegah satu denyut terdeteksi berulang.
Rekursif	Metode komputasi yang menggunakan keluaran sebelumnya dalam perhitungan saat ini; LPF dan HPF Pan-Tompkins menggunakan bentuk rekursif.
Repolarisasi	Pemulihan aktivitas listrik sel jantung menuju kondisi istirahat; gelombang T merepresentasikan repolarisasi ventrikel.

S

Sample Index	Indeks yang menunjukkan posisi sampel pada sinyal digital; lokasi anotasi dan hasil deteksi dibandingkan pada domain sampel.
Search Back	Pencarian ulang untuk menemukan QRS yang terlewat ketika *threshold* utama terlalu tinggi, menggunakan *threshold* yang lebih rendah.
Sensitivitas (Se)	Kemampuan mendeteksi QRS yang benar-benar ada. Se = TP/(TP+FN) × 100%.
Signal Processing Toolbox	Paket tambahan MATLAB untuk fungsi pemrosesan sinyal, seperti findpeaks.
SPKI	*Signal Peak estimate*; estimasi *running average* amplitudo puncak QRS yang terkonfirmasi, digunakan dalam pembaruan *threshold*.
Squaring	Operasi mengkuadratkan setiap sampel sinyal; membuat nilai positif dan memperkuat perubahan amplitudo besar.

T

Threshold	Ambang batas yang digunakan untuk membedakan kandidat QRS dari noise. Pan-Tompkins menggunakan THR1 dan THR2.
Toleransi Deteksi	Batas selisih lokasi deteksi terhadap *ground truth* yang masih dianggap benar; penelitian menggunakan ±150 ms.
TP (*True Positive*)	Deteksi QRS yang benar sesuai anotasi dalam toleransi; menunjukkan deteksi yang berhasil.
T-Wave Rejection	Mekanisme untuk mencegah gelombang T terdeteksi sebagai QRS, dengan membandingkan slope kandidat terhadap QRS sebelumnya.

V

Ventrikel	Dua ruang bawah jantung yang memompa darah; kompleks QRS berkaitan dengan depolarisasi ventrikel.

W

WFDB	*Waveform DataBase*; *library/toolbox* untuk membaca dan mengolah data database fisiologis, digunakan untuk membaca sinyal dan anotasi.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penyakit kardiovaskular merupakan salah satu penyebab kematian tertinggi di dunia maupun di Indonesia. Berdasarkan data Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, penyakit jantung koroner dan gangguan irama jantung (aritmia) menjadi penyumbang angka kematian yang signifikan setiap tahunnya. Deteksi dini terhadap kondisi aritmia menjadi salah satu kunci utama dalam penanganan penyakit jantung secara efektif.

Elektrokardiogram (EKG) adalah alat diagnostik utama yang digunakan untuk merekam aktivitas listrik jantung. Sinyal EKG mengandung informasi penting berupa gelombang P, kompleks QRS, dan gelombang T yang mencerminkan kondisi fisiologis jantung. Di antara komponen tersebut, kompleks QRS khususnya puncak R merupakan fitur yang paling dominan dan menjadi acuan utama dalam analisis sinyal EKG, karena interval antar puncak R (interval RR) digunakan untuk menghitung laju detak jantung (*heart rate*) dan mendeteksi berbagai jenis aritmia.

Namun, sinyal EKG yang direkam dalam kondisi nyata seringkali mengandung berbagai gangguan (*noise*) seperti interferensi jaringan listrik (*Power Line Interference*) pada frekuensi 50 Hz, pergeseran garis dasar (*baseline wander*), serta artefak akibat pergerakan otot (*muscle artifact*). Keberadaan *noise* tersebut menyulitkan proses deteksi R secara manual maupun otomatis, sehingga diperlukan algoritma yang handal dan akurat.[1,2]

Algoritma Pan-Tompkins yang dikembangkan oleh Jiapu Pan dan Willis J. Tompkins pada tahun 1985 merupakan salah satu algoritma deteksi QRS yang paling banyak digunakan dan diakui sebagai standar dalam pemrosesan sinyal EKG. Algoritma ini bekerja melalui serangkaian tahapan pemrosesan sinyal digital meliputi *low-pass filter*, *high-pass filter*, *derivative filter*, *squaring*, *moving window*

integration, dan *adaptive thresholding* untuk mendeteksi puncak R secara otomatis dan akurat meskipun terdapat *noise* pada sinyal.[1]

Penelitian mengenai implementasi dan evaluasi algoritma Pan-Tompkins terus berkembang seiring meningkatnya kebutuhan sistem monitoring jantung yang dapat diandalkan. Beberapa penelitian sebelumnya telah mengimplementasikan algoritma ini, namun masih terdapat keterbatasan dalam hal pengujian pada berbagai kondisi aritmia secara komprehensif serta analisis performa algoritma pada berbagai tingkat *noise*. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan dan mengevaluasi algoritma Pan-Tompkins secara menyeluruh menggunakan *dataset* standar MIT-BIH *Arrhythmia Database* melalui simulasi berbasis MATLAB. [3,4,5,6]

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengimplementasikan dan mengevaluasi algoritma Pan-Tompkins secara menyeluruh menggunakan *dataset* standar MIT-BIH Arrhythmia Database melalui simulasi berbasis MATLAB. Luaran yang diharapkan dari penelitian ini adalah nilai performa algoritma secara kuantitatif berupa Sensitivitas, *Positive* Predictivity, Akurasi dan F1-Score pada kondisi sinyal yang berbeda, yaitu, Normal, LBBB, PVC, RBBB dan *Baseline Drift*. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menguji apakah algoritma bekerja, tetapi juga mengidentifikasi pada kondisi sinyal mana algoritma bekerja paling baik dan pada kondisi mana performanya menurun, sehingga hasilnya dapat menjadi data pembanding yang berguna bagi penelitian selanjutnya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mengimplementasikan algoritma Pan-Tompkins untuk deteksi puncak R pada sinyal EKG menggunakan MATLAB?
2. Bagaimana tingkat akurasi deteksi puncak R yang dihasilkan oleh algoritma Pan-Tompkins berdasarkan nilai sensitivitas dan *positive predictivity*?
3. Bagaimana performa algoritma Pan-Tompkins dalam mendeteksi puncak R pada sinyal EKG dengan berbagai kondisi aritmia yang berbeda?

4. Bagaimana distribusi kesalahan deteksi berupa *false positive* dan *false negative* pada setiap kondisi sinyal, dan kondisi aritmia mana yang paling mempengaruhi penurunan performa algoritma Pan-Tompkins?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengimplementasikan dan mensimulasikan algoritma Pan-Tompkins untuk deteksi puncak R pada sinyal EKG menggunakan perangkat lunak MATLAB.
2. Mengevaluasi akurasi deteksi puncak R menggunakan parameter sensitivitas (Se) dan *positive predictivity* (+P) pada *dataset* MIT-BIH *Arrhythmia Database*.
3. Menganalisis performa algoritma Pan-Tompkins pada sinyal EKG dengan berbagai kondisi aritmia.
4. Menganalisis distribusi kesalahan deteksi berupa *false positive* dan *false negative* per kondisi sinyal untuk mengidentifikasi kondisi aritmia yang paling mempengaruhi performa algoritma Pan-Tompkins.

1.4 Pembatasan Masalah

Agar penelitian ini terfokus dan terarah, ditetapkan Batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan dalam bentuk simulasi perangkat lunak menggunakan MATLAB, tanpa implementasi pada perangkat keras.
2. *Dataset* sinyal EKG yang digunakan berasal dari MIT-BIH *Arrhythmia Database* yang tersedia secara publik melalui PhysioNet (physionet.org).
3. Algoritma yang diimplementasikan adalah algoritma Pan-Tompkins sesuai dengan paper asli Pan dan Tompkins (1985).
4. Parameter evaluasi yang digunakan adalah sensitivitas (Se) dan *positive predictivity* (+P).
5. Pengujian dilakukan minimal lima *record* sinyal EKG yang mencakup kondisi normal dan berbagai jenis aritmia.

6. Hasil yang diperoleh merupakan angka-angka evaluasi yang menunjukkan seberapa baik algoritma ini bekerja pada setiap kondisi sinyal yang diuji. Bukan pengembangan sistem medis dengan tujuan diagnosis medis.

1.5 Sistematika Penelitian

Penulisan laporan skripsi ini disusun untuk memberikan gambaran isi dari setiap bab yang dibahas, sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Berisi latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi landasan teori yang mencakup sistem kardiovaskular, sinyal EKG, jenis-jenis aritmia, *noise* pada sinyal EKG, algoritma Pan-Tompkins, parameter evaluasi, serta penelitian terdahulu yang relevan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisi diagram alir penelitian, data yang digunakan, tahapan implementasi algoritma, skenario pengujian, dan parameter evaluasi yang digunakan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi hasil simulasi pada setiap tahapan algoritma, hasil deteksi puncak R, evaluasi akurasi, serta analisis dan pembahasan

BAB V PENUTUP

Berisi Kesimpulan hasil penelitian dan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.