

**DELINEASI SINYAL ELEKTROKARDIOGRAM UNTUK
DETEKSI *T WAVE ALTERNANS* MENGGUNAKAN
DENOISING AUTO ENCODER DAN *CONVOLUTIONAL
NEURAL NETWORK 1-DIMENSI* DENGAN *BIDIRECTIONAL
LONG SHORT TERM MEMORY***

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer**



OLEH :

**SAMUEL BENEDICT PUTRA TEGUH
09011281823076**

**JURUSAN SISTEM KOMPUTER
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2022

HALAMAN PENGESAHAN

*Delineasi Sinyal Elektrokardiogram untuk Deteksi T Wave Alternans
Menggunakan Denoising Auto Encoder dan Convolutional Neural Networks
1-Dimensi dengan Bidirectional Long Short Term Memory*

TUGAS AKHIR

Program Studi Sistem Komputer
Jenjang S1

Oleh

Samuel Benedict Putra Teguh
09011281823076

Indralaya, September 2022

Mengetahui,

Ketua Jurusan Sistem Komputer



Dr. Ir. H. Sukemi, M.T.

NIP. 196612032006041000

Pembimbing Tugas Akhir

Prof. Dr. Ir. Siti Nurmaini, M.T.

NIP. 196908021994012001

HALAMAN PERSETUJUAN

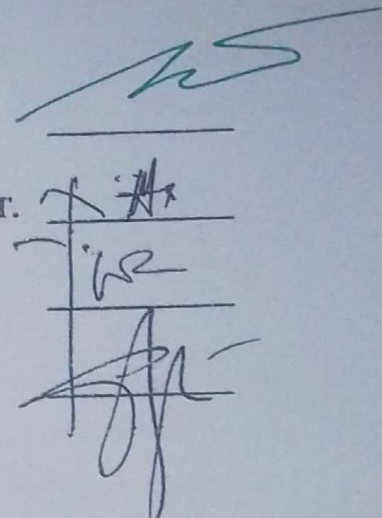
Telah diuji dan lulus pada:

Hari : Jumaf

Tanggal : 26 Agustus 2022

Tim Penguji :

1. Ketua : Rossi Passarella, S.T., M.Eng
2. Sekretaris : Muhammad Ali Buchari, S.Kom., M.T.
3. Penguji : Dr. Firdaus, M.Kom.
4. Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Siti Nurmaini, M.T.



Handwritten signatures of the examiners: Rossi Passarella, Muhammad Ali Buchari, Dr. Firdaus, and Prof. Dr. Ir. Siti Nurmaini.

Mengetahui,

Ketua Jurusan Sistem Komputer



Dr. Ir. H. Sukemi, M.T.

NIP. 196612032006041000

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Samuel Benedict Putra Teguh

NIM : 09011281823076

Judul : Delineasi Sinyal Elektrokardiogram untuk Deteksi *T Wave Alternans* Menggunakan *Denoising Auto Encoder dan Convolutional Neural Networks 1-Dimensi* dengan *Bidirectional Long Short Term Memory*

Hasil Pengecekan Software iThenticate/Turnitin : 10%

Menyatakan bahwa laporan tugas akhir saya merupakan hasil karya sendiri dan bukan hasil penjiplakan atau plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan atau plagiat dalam laporan tugas akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan dari siapapun.



Indralaya, September 2022



Samuel Benedict Putra Teguh

NIM.09011281823076

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas segala karunia dan rahmat-Nya yang penulis terima selama mengerjakan Tugas Akhir, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini dengan judul **“Delineasi Sinyal Elektrokardiogram untuk Deteksi *T Wave Alternans* Menggunakan *Denoising Autoencoder* dan *Convolutional Neural Network 1-Dimensi* dengan *Bidirectional Long Short Term Memory*.”**

Isi dalam laporan ini penulis menjelaskan mengenai proses delineasi gelombang PQRST pada sinyal elektrokardiogram dengan menggunakan dataset QTDB lalu dilanjutkan mendeteksi sinyal *T Wave Alternans*. Dalam penulisan ini diharapkan dapat bermanfaat bagi orang banyak dan menjadi bahan bacaan bagi yang berminat untuk meneliti dibidang medis untuk mendiagnosa penyakit jantung.

Pada kesempatan ini saya mengucapkan terima kasih kepada pihak - pihak yang telah terlibat serta memberikan bantuan, dorongan, motivasi dan bimbingan sehingga saya menjadi lebih semangat dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini:

1. Kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan saya berkat dan rahmat-Nya dalam proses pembuatan Proposal Tugas Akhir.
2. Keluarga saya tercinta, yang selalu memberikan semangat.
3. Bapak Jaidan Jauhari, M.T. selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Dr. Ir. H. Sukemi, M.T. selaku Ketua Jurusan Sistem Komputer Universitas Sriwijaya.
5. Bapak Sutarno, S.T., M.T.. selaku Dosen Pembimbing Akademik.
6. Ibu Prof. Dr. Ir. Siti Nurmaini, M. T. Selaku Pembimbing Tugas Akhir yang telah berkenan memberikan saran, motivasi, dan bimbingan terbaik selama penyelesaian tugas akhir ini.
7. Mbak Annisa, Mba Ade, dan Kak Naufal yang selalu memberikan perhatian, arahan, dan saran.
8. Kak Jannes, kak Xosya, dan kak Ryan yang telah membantu baik dalam program,

pembelajaran, maupun saran-saran selama ini.

9. Dimas yang selalu membantu dalam menyelesaikan program.
10. Teman-teman SKB 2018 Indralaya yang selalu memberikan dukungan dan semangat.
11. Teman-teman seperjuangan dalam Intelligent System Research Group.
12. Teman-teman seperjuangan dari jurusan Sistem Komputer yang tidak bisa saya sebutkan satu-persatu.
13. Dan semua pihak yang telah mendukung dan membantu.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini saya menyadari sepenuhnya bahwa laporan ini masih memiliki banyak kekurangan, oleh karena itu saya mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak yang berkenan agar menjadi bahan evaluasi dan menjadi lebih baik lagi.

Akhir kata penulis berharap semoga laporan ini menghasilkan sesuatu yang bermanfaat bagi kita semua khususnya bagi mahasiswa Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya secara langsung ataupun tidak langsung sebagai sumbangan pikiran dalam peningkatan mutu pembelajaran.

Indralaya, Agustus 2022

Penulis,



Samuel Benedict Putra Teguh
NIM. 09011281823076

**ELECTROCARDIOGRAM SIGNAL DELINEATION FOR T WAVE
ALTERNANS DETECTION USING DENOISING AUTO ENCODER AND 1-
DIMENSIONAL CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK WITH
BIDIRECTIONAL LONG SHORT TERM MEMORY**

SAMUEL BENEDICT PUTRA TEGUH (09011281823076)

Computer Engineering Department, Computer Science Faculty, Sriwijaya University

Email : samuelbenedictx@gmail.com

ABSTRACT

Electrocardiogram (ECG) is a biological signal that results from the electrical activity of the heart that is tapped through electrodes that are attached to the body. T Wave Alternans (TWA) is associated with several diseases and their accurate detection can contribute to the early diagnosis of complications that occur in the heart. The ECG signal is a very weak bioelectric signal. The method that will be used in this research is a deep learning method using a denoising autoencoder to reduce noise from the ECG signal. The methods that will be used are Denosing Autoencoder (DAE) and Convolutional Neural Network (CNN) and Bidirectional Long Short-Term Memory (Bi-LSTM). In this research, the datasets used are QT Database (QTDB) and T Wave Alternans Database (TWADB). QTDB will be used in the training process for model testing while TWADB as a testing process uses several DAE parameters. The model that produces the best model is DAE with SNR 36.94 with CNN model with 4 layers CNN hidden layer and 1 layer BiLSTM. This model is tested by parameter batch size 8, learning rate 0.0001, and 300 epochs. This model produces the best evaluation results with recall, precision, specificity, accuracy and FQ values of 98.55%, 98.26%, 99.89%, 99.81%, and 98.40%. The results of this delineation detected 20 of 30 data on patients who experienced TWA.

Keywords: *Denoising Auto-encoder, ECG Delineationo, T-wave Alternans, ConvBiLSTM, Deep Learning, Long Short-Term Memory.*

**DELINEASI SINYAL ELEKTROKARDIOGRAM UNTUK DETEKSI *T WAVE*
ALTERNANS MENGGUNAKAN *DENOISING AUTO ENCODER* DAN
CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK 1 DIMENSI DENGAN
*BIDIRECTIONAL LONG SHORT TERM MEMORY***

SAMUEL BENEDICT PUTRA TEGUH (09011281823076)

Jurusan Sistem Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Sriwijaya

Email: samuelbenedictx@gmail.com

ABSTRAK

Elektrokardiogram (EKG) merupakan sinyal biologi yang dihasilkan dari aktifitas elektrik jantung yang tersadap melalui elektroda-elektroda yang dipasangkan pada tubuh. T Wave Alternans (TWA) dikaitkan dengan beberapa penyakit dan deteksi akuratnya serta dapat berkontribusi pada diagnosis secara dini tentang komplikasi yang terjadi di jantung. Sinyal EKG merupakan sinyal bioelektrik sangat lemah. Metode yang akan digunakan pada penelitian ini adalah metode *deep learning* dengan menggunakan *denoising autoencoder* untuk mengurangi kebisingan dari sinyal EKG. Metode yang akan digunakan adalah *Denosing Autoencoder* (DAE) dan *Convolutional Neural Network* (CNN) dan *Bidirectional Long Short-Term Memory* (Bi-LSTM). Pada penelitian ini dataset yang digunakan adalah *QT Database* (QTDB) dan *T Wave Alternans Database* (TWADB). QTDB akan digunakan pada proses training untuk pengujian model sedangkan TWADB sebagai proses pengujian dengan menggunakan beberapa parameter DAE. Model yang menghasilkan model terbaik merupakan DAE dengan SNR 36.94 dB dengan model CNN dengan hidden layer CNN sebanyak 4layer dan BiLSTM sebanyak 1 layer. Adapun model ini diuji dengan parameter batch size 8, learning rate 0,0001, dan 300 epoch. Model ini menghasilkan hasil evaluasi terbaik dengan nilai recall, presisi, spesifitas, akurasi dan FQ sebesar sebesar 98.55%, 98.26%, 99.89%, 99.81%, dan 98.40%. Hasil delineasi ini mendeteksi 20 dari 30 data pasien yang mengalami TWA.

Kata Kunci : *Denosing Auto-encoder*, EKG Delineasi, T-wave Alternans, *ConvBiLSTM*, *Deep Learning*, *Long Short-Term Memory*.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	II
HALAMAN PERSETUJUAN.....	III
HALAMAN PERNYATAAN.....	IV
KATA PENGANTAR.....	V
ABSTRACT	VII
ABSTRAK	VIII
DAFTAR ISI.....	IX
DAFTAR TABEL.....	XIII
PENDAHULUAN.....	1
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. PERUMUSAN MASALAH.....	2
1.3. BATASAN MASALAH	3
1.4. TUJUAN	3
1.5. SISTEMATIKA PENULISAN.....	3
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. ELEKTRODIOGRAM (EKG)	5
2.2. T-WAVE ALTERNANS	5
2.3. DEEP LEARNING	6
2.4. DISCRETE WAVELET TRANSFORM (DWT)	6
2.5. DENOISING AUTOENCODER (DAE)	6
2.6. CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK.....	7
2.7. LONG SHORT-TERM MEMORY	8
2.8. CONFUSION MATRIX.....	10
2.8.1. <i>Akurasi</i>	11
2.8.2. <i>Recall</i>.....	12
2.8.3. <i>Spesifisitas</i>.....	12
2.8.4. <i>Presisi</i>.....	12

2.8.5.	<i>F1 Score</i>	12
METODOLOGI PENELITIAN		13
3.1	PENDAHULUAN.....	13
3.2	KERANGKA KERJA.....	13
3.3	PERSIAPAN DATA	14
3.3.1.	<i>QT Database</i>	15
3.3.2.	<i>T Wave Alternans</i>	16
3.4	PRE-PROCESSING.....	17
3.4.1.	<i>Segmentasi</i>	17
3.4.2.	<i>Membuat Sinyal Target</i>	18
3.4.3.	<i>Normalisasi</i>	19
3.4.4.	<i>Denoising Autoencoder</i>	21
3.5	PEMBAGIAN DATA UJI DAN LATIH	22
3.6	EKTRASI FITUR.....	22
3.7	DELINEASI SINYAL	22
3.8	VALIDASI PERFORMA	23
3.9	MENDETEKSI <i>T WAVE ALTERNANS</i> (TWA)	23
3.9.1.	<i>Deteksi Puncak R dan Gelombang T</i>	24
3.9.2.	<i>Gelombang T Ganjil dan Genap</i>	24
3.9.3.	<i>Melakukan Proses Pendeteksi TWA</i>	25
HASIL DAN ANALISIS SEMENTARA		26
4.1.	PENDAHULUAN.....	26
4.2.	DENOISING AUTOENCODER.....	26
4.2.1.	<i>Hasil Denoising Autoencoder dengan Model 1</i>	26
4.2.2.	<i>Hasil Denoising Autoencoder dengan Model 2</i>	28
4.2.3.	<i>Perbandingan Hasil Denoising Autoencoder</i>	30
4.3.	DELINEASI SINYAL DENGAN CNN-BiLSTM	31
4.3.1.	<i>Delineasi Sinyal Model Pertama</i>	31
4.3.2.	<i>Delineasi Sinyal Model Kedua</i>	32
4.3.3.	<i>Perbandingan Hasil Delineasi Sinyal</i>	34
4.3.4.	<i>Perbandingan Hasil Delineasi Terhadap Penelitian Sebelumnya</i>	35

4.4. MENDETEKSI <i>T-WAVE ALTERNANS</i> (TWA).....	35
KESIMPULAN DAN SARAN	60
5.1. KESIMPULAN	60
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN.....	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Jejak EKG dengan gelombang P, gelombang Q, R dan S dan Gelombang T	5
Gambar 2. 2 Autoencoder secara sederhana [21]	7
Gambar 2. 3 <i>forward pass</i> dan <i>backward pass</i> pada <i>unidirectional</i> dan <i>bidirectional</i> [26]	10
Gambar 3. 1 Bagan Kerja	14
Gambar 3. 2 Flowchart <i>Pre-Processing</i>	17
Gambar 3. 3 Sample Hasil Segmentasi Sinyal EKG	18
Gambar 3. 4 Perbandingan Sinyal Awal dengan Sinyal Hasil Normalisasi	20
Gambar 4. 1 Grafik <i>Loss Model</i> Pertama	27
Gambar 4. 2 Sinyal ke-3000 yang Mengandung Derau	27
Gambar 4. 3 Perbandingan Sinyal Target ke-3000 dan Sinyal ke-300 Hasil DAE	28
Gambar 4. 4 Grafik <i>Loss Model</i> Kedua	29
Gambar 4. 5 Sinyal ke-3000 yang Mengandung Derau	29
Gambar 4. 6 Perbandingan Sinyal Target ke-3000 dan Sinyal ke-3000 Hasil DAE	30
Gambar 4. 7 Grafik Akurasi dan <i>Loss Model</i> pertama	31
Gambar 4. 8 Hasil Confussion Matrix Model Pertama	31
Gambar 4. 9 Grafik Akurasi dan <i>Loss Model</i> Kedua	33
Gambar 4. 10 Hasil Confussion Matrix Model Kedua	33
Gambar 4. 11 Penggambaran Beat Ganjil dan Genap Data QTDB Normal	37
Gambar 4. 12 Perbedaan Amplitudo Terhadap Beat Ganjil dan Gelombang Genap Pada Data QTDB	43
Gambar 4. 13 Gelombang Genap dan Gelombang Ganjil Data koleksi <i>TWA Challenge</i>	47

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Matriks Konfusi.....	11
Tabel 3. 1 Distribusi Rekaman QT Database	15
Tabel 3. 2 Nilai SNR Fungsi Wavelet.....	19
Tabel 3. 3 Model Denoising Autoencoder yang Diusulkan	21
Tabel 3. 4 Jumlah Pembagian Data Uji dan Data Latih	22
Tabel 3. 5 Arsitektur Ekstraksi Fitur CNN 1-Dimensi.....	22
Tabel 3. 6 Parameter Umum LSTM.....	23
Tabel 4. 1 Hasil DAE Model Pertama.....	26
Tabel 4. 2 Hasil DAE Model Kedua	28
Tabel 4. 3 Perbandingan Nilai SNR Kedua Model	30
Tabel 4. 4 Evaluasi Performa dengan DAE Model Pertama	32
Tabel 4. 5 Evaluasi Performa dengan DAE Model Kedua.....	34
Tabel 4. 6 Perbandingan Hasil Model Delineasi	34
Tabel 4. 7 Perbandingan Hasil Model Delineasi Terhadap Penelitian Sebelumnya	35
Tabel 4.8 Rekap Hasil Deteksi <i>T Wave Alternans</i> pada Data QTDB Normal	38
Tabel 4.9 Rekap Hasil Deteksi TWA pada Data QTDB	44
Tabel 4.10 Rekap Hasil Deteksi TWA pada koleksi Data <i>TWA Challenge</i>	48
Tabel 4.11 Rekap Hasil Deteksi TWA pada Data TWA Challenge.....	55

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Elektrokardiogram (EKG) merupakan sinyal biologi yang dihasilkan dari aktivitas elektrik jantung yang tersadap melalui elektroda-elektroda yang dipasangkan pada tubuh. Tingkat dari kesehatan seseorang dapat direpresentasikan dalam irama, bentuk, dan orientasi sinyal EKG [1]. Sinyal utama EKG mencakup tiga karakteristik yang berbeda yaitu gelombang P, Kompleks QRS, dan gelombang T. Tenaga medis mendiagnosa pasien berdasarkan perubahan bentuk gelombang pada karakteristik gelombang P, Kompleks QRS dan gelombang T [2].

T Wave Alternans (TWA) adalah bentuk gelombang T yang mewakili repolarisasi ventrikel jantung [3]. Oleh karena itu, teknik deteksi yang mengandalkan pengenalan fitur EKG, seperti TWA, dapat membantu dalam mendiagnosa penyakit jantung. TWA dikaitkan dengan beberapa penyakit dan deteksi akuratnya serta ujungnya dapat berkontribusi pada diagnosis secara dini tentang komplikasi yang terjadi di jantung [4].

Sinyal EKG adalah sinyal bioelektrik yang sangat lemah mudah terkontaminasi dari berbagai jenis kebisingan seperti, *electrode motion* (EM), *muscle artifact* (MA), and *baseline wander* (BW). Jenis kebisingan ini dapat mempengaruhi karakteristik bentuk sinyal EKG, seperti amplitudo dan *baseline* yang meningkatkan kesulitan penggambaran sinyal EKG [2], [5]. Untuk menjaga sinyal tetap terdeteksi, kebisingan atau derau harus dihilangkan dari sinyal aslinya untuk memberikan diagnosis yang akurat. Saat ini, satu teknik *machine learning* (ML), bernama *denoising autoencoder* (DAE), dapat diterapkan untuk merekonstruksi data bersih dari versi yang memiliki kebisingan [6].

Proses delineasi sinyal EKG bertujuan untuk menemukan *onset*, dan *offset* dari gelombang P, kompleks QRS, dan gelombang T [2], [7], [8]. Melalui delineasi, gambaran klinis yang signifikan dapat diturunkan dan diekstraksi dari morfologi gelombang karakteristik EKG, seperti interval, amplitudo, dan bentuk gelombang. Fitur-fitur ini digunakan untuk mengakses berbagai kinerja jantung struktural dan

fungsional dan berguna untuk tenaga medis dalam membuat keputusan yang baik tentang kelainan irama jantung [7].

Metode *deep learning* dengan mempelajari fitur yang sangat abstrak dari sinyal tanpa memerlukan pengetahuan dan keahlian dibidang medis sebelumnya [9]. Di antara arsitektur *deep learning*, *Recurrent Neural Network* (RNN) merupakan salah satu jenis arsitektur yang dapat memodelkan urutan data dalam pemrosesan sinyal EKG. RNN dapat diimplementasikan untuk prediksi secara sekuensial untuk memodelkan aliran waktu secara langsung [8]. Serta arsitektur *Convolutional Neural Network* (CNN) merupakan salah satu arsitektur yang dapat melakukan fitur ekstraksi dan mengurangi dimensi di waktu yang bersamaan [10].

Berdasarkan uraian yang sudah disampaikan, penulis akan digunakan ialah gabungan model arsitektur CNN dan RNN dengan penghilang derau menggunakan pendekatan *deep learning* menggunakan *Denoising Autoencoder* (DAE). *Denoising Autoencoder* dengan pembuatan fitur secara mandiri untuk target denoising menggunakan Discrete Wavelet Transform (DWT). Hal ini diajukan karena *penggunaan denoising autocencoder* diharapkan memiliki data acuan, sehingga data tidak mengalami kendala dalam proses pembelajaran. Pengujian model ini akan diuji dengan menggunakan dataset QTDB dan *TWA Challenge Database*. Model nantinya akan melakukan delineasi sinyal EKG lalu dilanjutkan dengan pendeteksian sinyal TWA.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah diuraikan, maka perumusan masalah yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana membuat model DAE yang akan digunakan?
2. Bagaimana membuat model Delineasi sinyal EKG yang optimal terhadap *dataset* QTDB?
3. Bagaimana mendeteksi TWA dengan menggunakan *dataset* QTDB ?

1.3. Batasan Masalah

Untuk mendalami penelitian ini maka, berikut merupakan batasan masalah pada Tugas Akhir ini, yaitu:

1. TWA dan QT *Database* merupakan dataset yang digunakan dalam penelitian kali ini.
2. Melakukan delineasi sinyal EKG yang memiliki gelombang sinyal lengkap (gelombang P, gelombang QRS Kompleks dan gelombang T)
3. Dikarenakan ini penelitian yang cukup serius, penelitian ini merupakan simulasi program dengan menggunakan bahasa pemrograman dari *Python*.

1.4. Tujuan

Dengan dilaksanakannya penelitian ini diharapkan tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghilangkan derau yang optimal dengan *denoising autoencoder* dengan menggunakan *dataset QTDB*
2. Mendelineasi sinyal EKG yang terdapat pada QTDB dengan menggunakan model CNN Bi-LSTM
3. Sinyal TWA dapat terdeteksi pada sinyal EKG

1.5. Sistematika Penulisan

Pada Sistematika yang akan usungkan dalam penulisan tugas akhir yang diperuntukan mempermudah dalam penyusunan laporan Tugas Akhir, Berikut merupakan Sistematika Penulisan:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini akan berisi tentang pemaparan latar belakang masalah, tujuan, perumusan masalah serta batasan masalah dari penelitian yang akan dilakukan serta metode sistematika penulisan tugas akhir

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab kedua akan menjelaskan terori dasar yang akan menjadi dasar landasan dari penelitian yang dilakukan dalam pembuatan penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini membuat metodologi yang digunakan dalam tugas akhir ini dan perancangan sistem yang meliputi rancangan perangkat lunak, rancangan program, dataset, serta rancangan masukan dan keluaran.

BAB IV HASIL DAN ANALISIS

Pada bab ini membuat hasil-hasil yang diperoleh dari penelitian dan pembahasan terhadap hasil yang telah dicapai, serta masalah-masalah yang ditemui selama penelitian, training, testing serta kelebihan dan kekurangan sistem yang telah dibuat.

BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini merupakan kumpulan kesimpulan dari penelitian yang sudah dilakukan serta memberikan saran agar penelitian selanjutnya dapat ditingkatkan kembali.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Estananto, “Klasifikasi Sinyal Elektrokardiogram Menggunakan Renyi Entropy,” *J. Elektro dan Mesin Terap.*, vol. 4, no. 2, pp. 11–18, 2018, doi: 10.35143/elementer.v4i2.2139.
- [2] J. Wang, R. Li, R. Li, and B. Fu, “A knowledge-based deep learning method for ECG signal delineation,” *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 109, pp. 56–66, 2020, doi: 10.1016/j.future.2020.02.068.
- [3] J. Rahul and M. Sora, “A novel adaptive window based technique for T wave detection and delineation in the ECG,” *Bio-Algorithms and Med-Systems*, pp. 1–10, 2020, doi: 10.1515/bams-2019-0064.
- [4] N. Widatalla, A. Khandoker, Y. Kasahara, and Y. Kimura, “Detection of End of T-wave in Fetal ECG Using Recurrence Plots,” *Proc. Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. EMBS*, pp. 2618–2621, 2019, doi: 10.1109/EMBC.2019.8856737.
- [5] H. T. Chiang, Y. Y. Hsieh, S. W. Fu, K. H. Hung, Y. Tsao, and S. Y. Chien, “Noise Reduction in ECG Signals Using Fully Convolutional Denoising Autoencoders,” *IEEE Access*, vol. 7, no. c, pp. 60806–60813, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2912036.
- [6] S. Nurmaini, A. Darmawahyuni, A. N. S. Mukti, M. N. Rachmatullah, F. Firdaus, and B. Tutuko, “Deep learning-based stacked denoising and autoencoder for ECG heartbeat classification,” *Electron.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–17, 2020, doi: 10.3390/electronics9010135.
- [7] T. Ming Chieng, Y. Wen Hau, Z. Omar, and C. Wen Lim, “An Efficient Instantaneous ECG Delineation Algorithm,” *2019 Comput. Cardiol. Conf.*, vol. 45, pp. 4–7, 2019, doi: 10.22489/cinc.2019.227.
- [8] S. Nurmaini *et al.*, “Electrocardiogram signal classification for automated delineation using bidirectional long short-term memory,” *Informatics Med. Unlocked*, vol. 22, p. 100507, 2021, doi: 10.1016/j.imu.2020.100507.
- [9] A. Peimankar and S. Puthusserypady, “DENS-ECG: A deep learning

- approach for ECG signal delineation,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 165, p. 113911, Mar. 2021, doi: 10.1016/J.ESWA.2020.113911.
- [10] R. R. Lopes *et al.*, “Improving electrocardiogram-based detection of rare genetic heart disease using transfer learning: An application to phospholamban p.Arg14del mutation carriers,” *Comput. Biol. Med.*, vol. 131, p. 104262, Apr. 2021, doi: 10.1016/J.COMPBIOMED.2021.104262.
- [11] X. Ye and Q. Lu, “Automatic Classification of 12-lead ECG Based on Model Fusion,” *Proc. - 2020 13th Int. Congr. Image Signal Process. Biomed. Eng. Informatics, CISP-BMEI 2020*, pp. 733–738, 2020, doi: 10.1109/CISP-BMEI51763.2020.9263559.
- [12] G. Sannino and G. De Pietro, “A deep learning approach for ECG-based heartbeat classification for arrhythmia detection,” *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 86, pp. 446–455, Sep. 2018, doi: 10.1016/J.FUTURE.2018.03.057.
- [13] L. D. Sharma and R. K. Sunkaria, “Novel T-wave Detection Technique with Minimal Processing and RR-Interval Based Enhanced Efficiency,” *Cardiovasc. Eng. Technol.*, vol. 10, no. 2, pp. 367–379, 2019, doi: 10.1007/s13239-019-00415-4.
- [14] S. Ma, J. Liang, and X. Tian, “An Automatic Detection Algorithm for Small Craters Based on Morphology,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1624, no. 4, pp. 1–6, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1624/4/042014.
- [15] B. Ghoraani, A. M. Suszko, R. J. Selvaraj, A. Subramanian, S. Krishnan, and V. S. Chauhan, “Body surface distribution of T wave alternans is modulated by heart rate and ventricular activation sequence in patients with cardiomyopathy,” *PLoS One*, vol. 14, no. 4, Apr. 2019, doi: 10.1371/JOURNAL.PONE.0214729.
- [16] S. M. Mathews, C. Kambhamettu, and K. E. Barner, “A novel application of deep learning for single-lead ECG classification,” *Comput. Biol. Med.*, vol. 99, no. June, pp. 53–62, 2018, doi: 10.1016/j.compbimed.2018.05.013.
- [17] A. Darmawahyuni *et al.*, “Deep learning with a recurrent network structure

- in the sequence modeling of imbalanced data for ECG-rhythm classifier,” *Algorithms*, vol. 12, no. 6, pp. 1–12, 2019, doi: 10.3390/a12060118.
- [18] E. B. Panganiban, A. C. Paglinawan, W. Y. Chung, and G. L. S. Paa, “ECG diagnostic support system (EDSS): A deep learning neural network based classification system for detecting ECG abnormal rhythms from a low-powered wearable biosensors,” *Sens. Bio-Sensing Res.*, vol. 31, no. December 2020, p. 100398, 2021, doi: 10.1016/j.sbsr.2021.100398.
- [19] Ö. Yildirim, “A novel wavelet sequence based on deep bidirectional LSTM network model for ECG signal classification,” *Comput. Biol. Med.*, vol. 96, pp. 189–202, May 2018, doi: 10.1016/J.COMPBIOMED.2018.03.016.
- [20] T. Tuncer, S. Dogan, P. Plawiak, and A. Subasi, “A novel Discrete Wavelet-Concatenated Mesh Tree and ternary chess pattern based ECG signal recognition method,” *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 72, Feb. 2022, doi: 10.1016/J.BSPC.2021.103331.
- [21] W. H. Lopez Pinaya, S. Vieira, R. Garcia-Dias, and A. Mechelli, “Autoencoders,” *Mach. Learn. Methods Appl. to Brain Disord.*, no. March, pp. 193–208, 2019, doi: 10.1016/B978-0-12-815739-8.00011-0.
- [22] C. Chen, Z. Hua, R. Zhang, G. Liu, and W. Wen, “Automated arrhythmia classification based on a combination network of CNN and LSTM,” *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 57, p. 101819, 2020, doi: 10.1016/j.bspc.2019.101819.
- [23] S. L. Oh, E. Y. K. Ng, R. S. Tan, and U. R. Acharya, “Automated diagnosis of arrhythmia using combination of CNN and LSTM techniques with variable length heart beats,” *Comput. Biol. Med.*, vol. 102, pp. 278–287, 2018, doi: 10.1016/j.compbiomed.2018.06.002.
- [24] U. Erdenebayar, H. Kim, J. U. Park, D. Kang, and K. J. Lee, “Automatic Prediction of Atrial Fibrillation Based on Convolutional Neural Network Using a Short-term Normal Electrocardiogram Signal,” *J. Korean Med. Sci.*, vol. 34, no. 7, Feb. 2019, doi: 10.3346/JKMS.2019.34.E64.
- [25] A. Darmawahyuni, S. Nurmaini, and Sukemi, “Deep Learning with Long Short-Term Memory for Enhancement Myocardial Infarction

- Classification,” *Proc. 2019 6th Int. Conf. Instrumentation, Control. Autom. ICA 2019*, pp. 19–23, Jul. 2019, doi: 10.1109/ICA.2019.8916683.
- [26] A. Darmawahyuni, S. Nurmaini, M. N. Rachmatullah, F. Firdaus, and B. Tutuko, “Unidirectional-bidirectional recurrent networks for cardiac disorders classification,” *Telkomnika (Telecommunication Comput. Electron. Control.*, vol. 19, no. 3, pp. 902–910, 2021, doi: 10.12928/TELKOMNIKA.v19i3.18876.
- [27] S. H. Goldberger A, Amaral L, Glass L, Hausdorff J, Ivanov PC, Mark R, Mietus JE, Moody GB, Peng CK, “QT Database v1.0.0.” <https://physionet.org/content/qtdb/1.0.0/> (accessed Apr. 16, 2022).
- [28] G. B. Moody, “The physionet/computers in cardiology challenge 2008: T-wave alternans,” in *2008 Computers in Cardiology*, 2008, pp. 505–508.
- [29] X. Salassa, *Deteksi T Wave Alternans Pada Sinyal Elektrokardiogram Menggunakan Metode Convolutional Neural Networks 1-Dimensi* *Elektrokardiogram Menggunakan Metode Convolutional Neural Networks 1-Dimensi*. 2020.