

**PENDETEKSIAN *T WAVE ALTERNANS* MELALUI
DELINEASI SINYAL ELEKTROKARDIOGRAM
BERBASIS *DEEP LEARNING***

SKRIPSI

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



OLEH:

DWINDA LAELA ANGGUN SARI

09011282025063

**JURUSAN SISTEM KOMPUTER
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN

**PENDETEKSIAN T WAVE ALTERNANS MELALUI
DELINEASI SINYAL ELEKTROKARDIOGRAM BERBASIS
DEEP LEARNING**

SKRIPSI

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

OLEH:

DWINDA LAELA ANGGUN SARI

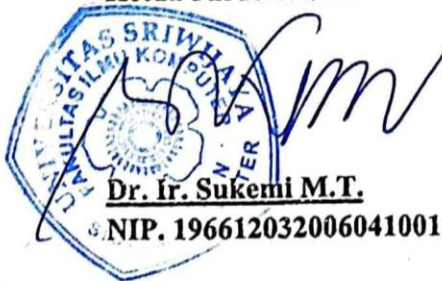
09011282025063

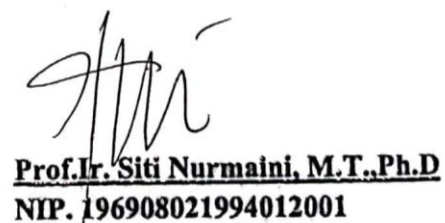
Palembang, 5 Agustus 2024

Mengetahui,

Ketua Jurusan Sistem Komputer,

Pembimbing,


Dr. Ir. Sukemi M.T.
NIP. 196612032006041001


Prof. Ir. Siti Nurmaini, M.T., Ph.D
NIP. 196908021994012001

◦ **HALAMAN PERSETUJUAN**

Telah diuji dan lulus pada :

Hari : Senin

Tanggal : 15 Juli 2024

Tim Penguji :

1. Ketua : Dr. Ahmad Zarkasi, M.T.

2. Sekretaris : Anggun Islami M.Kom.

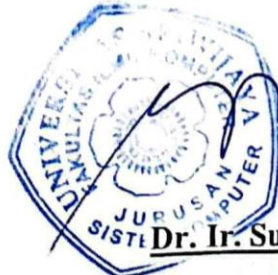
3. Penguji : Dr. Firdaus, S.T., M.Kom.

4. Pembimbing : Prof. Ir. Siti Nurmaini, M.T. Ph.D



Mengetahui, 5/8/24

Ketua Jurusan Sistem Komputer



Dr. Ir. Sukemi M.T.

NIP. 196612032006041001

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Dwindi Laela Anggun Sari
NIM : 09011282025063
Judul : Pendeteksian *T Wave Alternans* Melalui Delineasi Sinyal
Elektrokardiogram Berbasis *Deep Learning*

Hasil Pengecekan Software Turnitin : 11%

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

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tidak dipaksakan.



Palembang, Agustus 2024



Dwindi Laela Anggun Sari

NIM. 09011282025063

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan atas kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah memberikan karunia dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Proposal Tugas Akhir ini dengan judul "Pendeteksian *T Wave Alternans* Melalui Delineasi Sinyal Elektrokardiogram Berbasis *Deep Learning*".

Dalam laporan ini penulis menjelaskan mengenai bagaimana proses delineasi gelombang P, QRS kompleks, dan gelombang T pada sinyal elektrokardiogram dengan menggunakan *dataset* QTDB yang dilanjutkan dengan mendeteksi sinyal TWA Dalam penulisan ini diharapkan dapat bermanfaat bagi orang banyak dan menjadi bahan bacaan bagi yang berminat untuk meneliti di bidang medis untuk mendiagnosa penyakit jantung.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada beberapa pihak atas ide dan saran serta bantuannya dalam menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan rasa syukur kepada Allah SWT dan terimakasih kepada yang terhormat :

1. Allah Subhanahu Wa Ta'ala, yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Proposal Tugas Akhir ini dengan baik dan lancar.
2. Orang tua saya tercinta yang telah membesarkan saya dengan penuh kasih sayang dan selalu mengajarkan saya dalam berbuat hal yang baik. Terimakasih untuk segala do'a, motivasi dan dukungannya baik moril, materil maupun spritual selama ini.
3. Bapak Prof. Dr. Erwin, S.SI, M.SI., selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Dr. Ir. Sukemi, M.T., selaku Ketua Jurusan Sistem Komputer Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.
5. Ibu Prof. Ir. Siti Nurmaini, M.T. P.hD., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah berkenan meluangkan waktunya guna membimbing, memberikan

saran dan motivasi serta bimbingan terbaik untuk penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

6. Bapak Rahmat Fadli Isnanto, S.SI., M.SC. selaku Pembimbing Akademik Jurusan Sistem Komputer.
7. Mbak Annisa Darmawahyuni selaku mentor yang telah mengajari hingga memberi saran dalam penelitian Tugas Akhir ini.
8. Mbak Ade Iriani Sapitri dan Mbak Anggun Islami yang telah menemani dan menghibur selama proses pembuatan Tugas Akhir ini.
9. Lab Intelligent System Research Group (IsysRG) yang telah menjadi tempat dan membantu penulis selama menyelesaikan Tugas Akhir ini.
10. Kak M. Angga Pratama selaku admin jurusan Sistem Komputer Universitas Sriwijaya yang telah membantu proses administrasi selama mengurus perkuliahan ini.
11. Teman-teman Intelligent Systems Research Group (ISysRG) dan khususnya teman-teman Tim Sinyal Batch 5 yang telah bersedia menjadi teman dalam bertukar pikiran untuk menyelesaikan permasalahan pada Tugas Akhir ini.
12. Teman – teman Sistem Komputer 2020 yang turut menjadi *support system* penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih sangat jauh dari kata sempurna. Untuk itu kritik dan saran yang membangun sangatlah diharapkan penulis agar dapat segera diperbaiki sehingga laporan ini dapat dijadikan sebagai masukan ide dan pemikiran yang bermanfaat bagi semua pihak dan menjadi tambahan bahan bacaan bagi yang tertarik dalam penelitian pemodelan pada bidang *deep learning*.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Palembang, Agustus 2024

Penulis,



Dwinda Laela Anggun Sari
NIM. 09011282025063

PENDETEKSIAN *T WAVE ALTERNANS* MELALUI DELINEASI SINYAL ELEKTROKARDIOGRAM BERBASIS *DEEP LEARNING*

Dwinda Laela Anggun Sari (09011282025063)

Jurusan Sistem Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Sriwijaya

Email : dwindalaila63@gmail.com

ABSTRAK

T Wave Alternans (TWA) dikaitkan dengan beberapa penyakit dan deteksi akuratnya yang dapat mendiagnosis lebih dini mengenai komplikasi jantung. Penelitian ini menggunakan data dari *QT Database* (QTDB) dan *T Wave Alternans Database* (TWADB). QTDB digunakan untuk proses training untuk pengujian model sedangkan *dataset* TWA digunakan untuk proses pengujian. Delineasi terhadap sinyal EKG secara otomatis menggunakan deep learning yang dapat membantu para dokter karena adanya *human errors* pada anotasi sinyal EKG secara manual. Metodologi penelitian ini mengadopsi pendekatan dengan menggabungkan *Convolution Neural Network* (CNN) sebagai fitur ekstraksi dan arsitektur *Bidirectional Gated Recurrent Unit* (Bi-GRU). Parameter model berupa epoch, batch size dan learning rate menghasilkan 17 total 30 model. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model CNN dan Bi-GRU dapat melakukan delineasi sinyal dengan cukup baik pada skenario dengan 5 kelas gelombang. Model ini menghasilkan hasil evaluasi terbaik dengan nilai recall sebesar 91.4%, precision sebesar 89.4%, spesifity sebesar 99.2%, accuracy sebesar 99.3%, dan F1-Score sebesar 90.2%. Hasil terbaik delineasi ini mendeteksi 17 dari 30 data pasien yang mengalami TWA.

Kata Kunci : EKG Delineasi, *T Wave Alternans*, *ConvBiGRU*, *QT Database*.

***T WAVE ALTERNATION DETECTION THROUGH
ELECTROCARDIOGRAM SIGNAL DELINEATION BASED ON
DEEP LEARNING***

Dwinda Laela Anggun Sari (09011282025063)

Computer System Department, Computer Science Faculty, Sriwijaya University

Email : dwindalaila63@gmail.com

ABSTRACT

T Wave Alternans (TWA) is associated with several diseases and its accurate detection can enable earlier diagnosis of cardiac complications. This research uses data from the *QT Database (QTDB)* and the *T Wave Alternans Database (TWADB)*. QTDB is used for the training process for model testing while the TWA *dataset* is used for the testing process. Automatic delineation of ECG signals using deep learning which can help doctors because there are human errors in manual ECG signal annotation. This research methodology adopts an approach by combining Convolution Neural Network (CNN) as feature extraction and Bidirectional Gated Recurrent Unit (Bi-GRU) architecture. Model parameters in the form of epoch, batch size and learning rate produce a total 17 of 30 models. The research results show that the CNN and Bi-GRU models can perform signal delineation quite well in scenarios with 5 wave classes. This model produces the best evaluation results with a recall value of 91.4%, precision of 89.4%, specificity of 99.2%, accuracy of 99.3%, and F1-Score of 90.2%.

Keywords : ECG Delineation, T Wave Alternans, ConvBiGRU, QT Database.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan.....	3
1.5. Metodologi Penelitian	3
1.5.3. Delineasi	4
1.5.4. Deteksi.....	4
1.6. Analisis dan Kesimpulan.....	4
1.7. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Penelitian Sebelumnya	6
2.2. Pemrosesan Sinyal.....	6
2.3. Elektrokardiogram.....	7
2.4. Gelombang Sinyal EKG	8
2.5. Transformasi Wavelet Diskret.....	9
2.7. <i>Recurrent Neural Network</i>	10
2.7.1. <i>Gated Recurrent Unit</i>	10
2.7.2. Bi-GRU	11
2.8. <i>T Wave Alternans</i>	12
2.9. Validasi Performa.....	12
2.9.1. <i>Confussion Matrix</i>	13
2.9.2. Accuracy	14
2.9.3. <i>Recall</i>	14
2.9.4. <i>Spesificity</i>	14
2.9.5. <i>Precision</i>	15
2.9.6. <i>F1-Score</i>	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	16
3.1. Kerangka Kerja.....	16
3.2. Persiapan Data.....	17
3.3. <i>QT Database</i>	17
3.4. <i>T Wave Alternans Database</i>	18
3.5.1. <i>Noise Removal Sinyal</i>	20

3.5.2.	Normalisasi	22
3.5.3.	Segmentasi Fitur	24
3.6.	Splitting Data.....	24
3.7.	Ekstraksi Fitur	25
3.8.	Delineasi Sinyal.....	26
3.8.	Validasi Performa.....	27
3.11.	Deteksi TWA.....	28
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	30
4.1.	Optimasi Model Delineasi Sinyal EKG	30
4.2.	Hasil Delineasi Sinyal Model GRU	31
4.3.	Hasil Delineasi Sinyal Model Bi-GRU	46
4.4.	Perbandingan Model GRU & BI-GRU dengan Model Penelitian Sebelumnya	62
4.5.	Pendeteksian <i>T Wave Alternans</i>	62
4.5.1.	Proses Deteksi <i>R Peak</i> dan Gelombang T pada <i>dataset QTDB</i>	63
4.5.2.	Pembagian T ganjil dan T genap pada datase QTDB	63
4.5.3.	Proses Deteksi T Wave Alternans pada <i>dataset QTDB</i>	63
4.6.	Deteksi <i>R Peak</i> dan Gelombang T pada <i>dataset TWA Challenge</i>	67
4.6.1.	T ganjil dan T genap pada <i>dataset TWA Challenge</i>	67
4.6.2.	Deteksi <i>T Wave Alternans</i> pada <i>dataset TWA Challenge</i>	67
BAB V	KESIMPULAN.....	92
	DAFTAR PUSTAKA	93
	LAMPIRAN.....	97

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Sinyal Elektrokardiogram [18].....	8
Gambar 2.4. Struktur GRU [30].....	11
Gambar 2. 5. Struktur Bi-GRU [32].....	12
Gambar 3. 1. Diagram Alur Penelitian.....	17
Gambar 3. 2. Diagram Alur Pra Pengolahan Data	20
Gambar 3. 3. Perbandingan Sinyal Awal dan Hasil Transformasi Wavelet	22
Gambar 3. 4. Perbandingan antara Sinyal Hasil TWD dan Normalisasi	24
Gambar 3. 5. Plot Accuracy dan Loss model GRU	35
Gambar 3. 6 Visualisasi Model GRU	45
Gambar 3. 7. Plot Accuracy dan Loss model Bi-GRU	49
Gambar 4. 2. Visualisasi model Bi-GRU.....	59
Gambar 4. 3. Perbandingan t ganjil dan t genap	66
Gambar 4. 4. Perbandingan t ganjil dan t genap <i>dataset</i> TWA menggunakan metode Bi-GRU yang terdeteksi TWA.....	77
Gambar 4. 5. Perbandingan TWA yang terdeteksi dan tidak terdeteksi	78
Gambar 4. 6. Perbandingan t ganjil dan t genap Sinyal TWA GRU	86
Gambar 4. 7. Perbandingan record yang terdeteksi TWA dan tidak	87

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Sampel Confussion Matrix.....	13
Tabel 3. 1. Distribusi Rekaman Sinyal EKG Database.....	18
Tabel 3. 2. Distribusi rekaman T Wave Alternans Database	19
Tabel 3. 3. Nilai SNR setiap fungsi wavelet	21
Tabel 3. 6. Pembagian Data Uji dan Data Latih	25
Tabel 3. 7. Arsitektur Ekstrkasi Fitur CNN 1 dimensi.....	26
Tabel 3. 8. Parameter Umum Model GRU dan Bi-GRU	26
Tabel 3. 9. Tunning Parameter Model GRU & Bi-GRU	27
Tabel 4. 1. Pembagian parameter model GRU dan Bi-GRU	30
Tabel 4. 3. Confussion Matrix Model ke-1 GRU	35
Tabel 4. 4. Confussion Matrix Model ke-2 GRU	36
Tabel 4. 5. Confussion Matrix Model ke-3 GRU	36
Tabel 4. 6. Confussion Matrix Model ke-4 GRU	36
Tabel 4. 7. Confussion Matrix Model ke-5 GRU	36
Tabel 4. 8. Confussion Matrix Model ke-6 GRU	37
Tabel 4. 9. Confussion Matrix Model ke-7 GRU	37
Tabel 4. 10. Confussion Matrix Model ke-8 GRU	37
Tabel 4. 11. Confussion Matrix Model ke-9 GRU	37
Tabel 4. 12. Confussion Matrix Model ke-10 GRU	38
Tabel 4. 13. Confussion Matrix Model ke-11 GRU	38
Tabel 4. 14. Confussion Matrix Model ke-12 GRU	38
Tabel 4. 15. Confussion Matrix Model ke-13 GRU	38
Tabel 4. 16. Confussion Matrix Model ke-14 GRU	39
Tabel 4. 17. Confussion Matrix Model ke-15 GRU	39
Tabel 4. 18. Evaluasi Performa Model ke-1 GRU.....	39
Tabel 4. 19. Evaluasi Performa Model ke-2 GRU	40
Tabel 4. 20. Evaluasi Performa Model ke-3 GRU	40
Tabel 4. 21. Evaluasi Performa Model ke-4 GRU	40
Tabel 4. 22. Evaluasi Performa Model ke-5 GRU	40
Tabel 4. 23. Evaluasi Performa Model ke-6 GRU	41

Tabel 4. 24. Evaluasi Performa Model ke-7 GRU	41
Tabel 4. 25. Evaluasi Performa Model ke-8 GRU	41
Tabel 4. 26. Evaluasi Performa model ke-9 GRU	41
Tabel 4. 27. Evaluasi Performa model ke-10 GRU	42
Tabel 4. 28. Evaluasi Performa model ke-11 GRU	42
Tabel 4. 29. Evaluasi Performa model ke-12 GRU	42
Tabel 4. 30. Evaluasi Performa model ke-13 GRU	42
Tabel 4. 31. Evaluasi Performa model ke-14 GRU	43
Tabel 4. 32. Evaluasi Performa model ke-15 GRU	43
Tabel 4. 34. Confussion Matrix Model ke-1 Bi-GRU	50
Tabel 4. 35. Confussion Matrix Model ke-2 Bi-GRU	50
Tabel 4. 36. Confussion Matrix Model ke-3 Bi-GRU	50
Tabel 4. 37. Confussion Matrix Model ke-4 Bi-GRU	51
Tabel 4. 38. Confussion Matrix Model ke-5 Bi-GRU	51
Tabel 4. 39. Confussion Matrix Model ke-6 Bi-GRU	51
Tabel 4. 40. Confussion Matrix Model ke-7 Bi-GRU	51
Tabel 4. 41. Confussion Matrix Model ke-8 Bi-GRU	52
Tabel 4. 42. Confussion Matrix Model ke-9 Bi-GRU	52
Tabel 4. 43. Confussion Matrix Model ke-10 Bi-GRU	52
Tabel 4. 44. Confussion Matrix Model ke-11 Bi-GRU	52
Tabel 4. 45. Confussion Matrix Model ke-12 Bi-GRU	53
Tabel 4. 46. Confussion Matrix Model ke-13 Bi-GRU	53
Tabel 4. 47. Confussion Matrix Model ke-14 Bi-GRU	53
Tabel 4. 48. Confussion Matrix Model ke-15 Bi-GRU	53
Tabel 4. 49. Evaluasi Performa model ke-1 Bi-GRU	54
Tabel 4. 50. Evaluasi Performa model ke-2 Bi-GRU	54
Tabel 4. 51. Evaluasi Performa model ke-3 Bi-GRU	54
Tabel 4. 52. Evaluasi Performa model ke-4 Bi-GRU	54
Tabel 4. 53. Evaluasi Performa model ke-5 Bi-GRU	55
Tabel 4. 54. Evaluasi Performa model ke-6 Bi-GRU	55
Tabel 4. 55. Evaluasi Performa model ke-7 Bi-GRU	55
Tabel 4. 56. Evaluasi Performa model ke-8 Bi-GRU	55

Tabel 4. 57. Evaluasi Performa model ke-10 Bi-GRU	56
Tabel 4. 58. Evaluasi Performa model ke-11 Bi-GRU	56
Tabel 4. 59. Evaluasi Performa model ke-12 Bi-GRU	56
Tabel 4. 60. Evaluasi Performa model ke-13 Bi-GRU	56
Tabel 4. 61. Evaluasi Performa model ke-14 Bi-GRU	57
Tabel 4. 62. Evaluasi Performa model ke-15 Bi-GRU	57
Tabel 4. 64. Rekap Hasil Delineasi menggunakan Model GRU.....	60
Tabel 4. 65. Rekap Hasil Delineasi menggunakan Metode Bi-GRU.....	61
Tabel 4. 66. Perbandingan Hasil GRU, BI_GRU dan Penelitian Sebelumnya.....	62
Tabel 4. 67. Perbandingan Hasil Delineasi GRU & Bi-GRU dengan Penelitian Sebelumnya.....	62
Tabel 4. 68. Hasil Selisih Gelombang T pada dataset QTDB.....	64
Tabel 4. 69. Hasil Pendeteksian TWA pada dataset QTDB	66
Tabel 4. 70. Rekap Hasil Selisih Gelombang T pada dataset TWA menggunakan Model Bi-GRU.....	67
Tabel 4. 71. Rekap Hasil Deteksi TWA menggunakan Model Terbaik Bi-GRU.	71
Tabel 4. 72. Rekap Hasil Selisih Gelombang T pada dataset TWA Challenge menggunakan Model Terbaik GRU	79
Tabel 4. 73. Rekap Hasil Deteksi TWA menggunakan Model Terbaik GRU.....	82
Tabel 4. 74. Perbandingan Hasil Deteksi TWA dengan Penelitian Sebelumnya..	88

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Form Perbaikan Penguji

Lampiran 2 Form Perbaikan Pembimbing

Lampiran 3 Hasil Cek Plagiarisme di Turnitin Halaman Judul

Lampiran 4 Hasil Persentase Cek Plagiarisme di Turnitin

Lampiran 5 Surat Keterangan Pengecekan Similarity

BAB I

PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Pemrosesan sinyal elektrokardiogram (EKG) merupakan ilmu yang fokus pada analisis, manipulasi, dan interpretasi rekaman aktivitas jantung. EKG berperan sebagai perangkat diagnostik yang sangat penting dalam mengenali dan memonitor gangguan jantung. Dengan memanfaatkan pemrosesan sinyal EKG, dapat diidentifikasi karakteristik seperti gelombang P,QRS kompleks, dan gelombang T. Informasi ini dapat digunakan untuk mendeteksi masalah jantung termasuk aritmia, iskemia miokardium dan blok jantung. Perkembangan terus-menerus terjadi dalam algoritma dan teknik pemrosesan sinyal EKG untuk meningkatkan *accuracy* deteksi dan pengawasan pasien [1].

Delineasi adalah langkah untuk mengidentifikasi lokasi *interval* dan amplitudo pada setiap gelombang. Proses ini dapat digunakan untuk menganalisis sinyal EKG secara otomatis [2]. Saat ini, proses penganalisisan sinyal EKG masih dilakukan secara manual sehingga rentan terjadi kesalahan seperti interpretasi yang tidak tepat sehingga dengan adanya delineasi otomatis pada sinyal EKG dapat mengurangi kemungkinan kesalahan tersebut [3].

Tujuan dari delineasi sinyal EKG adalah untuk menemukan *onset* dan *offset* dari gelombang P, gelombang QRS kompleks dan gelombang T.[4],[5],[6]. Dengan melakukan delineasi, informasi klinis penting dapat diperoleh dan diekstraksi dari morfologi gelombang yang terdiri dari *interval*, amplitudo dan bentuk. Tenaga medis dapat menggunakan fitur ini untuk menilai berbagai kinerja struktural dan fungsional jantung serta membantu mereka untuk membuat keputusan yang tepat tentang kelainan irama jantung[5].

Saat ini, untuk mendeteksi sinyal EKG, beberapa teknik konvensional telah digunakan termasuk transformasi gelombang, transformasi *phasor*, *dynamic time warping*, dan *low-pass differentiation*. Meskipun teknik konvensional tersebut menunjukkan kinerja yang bagus tetapi teknik konvensional tersebut masih mempunyai kelemahan karena memerlukan penyesuaian parameter secara manual yang bergantung pada *dataset* yang dipakai. Oleh karena itu, model yang telah

dituning cenderung memberikan performa yang kurang optimal ketika diuji dengan *dataset* yang berbeda [6].

Untuk mengatasi kekurangan ini, pengembangan model dilakukan dengan menggunakan algoritma *machine learning*. *Machine learning* mempermudah proses delineasi sinyal EKG dengan menggunakan sinyal EKG sebagai fitur *input*. Namun, kelemahan dari pendekatan ini adalah ketergantungan pada fitur-fitur yang didefinisikan secara manual. [4],[7].

Penerapan metode *deep learning* menjadi solusi untuk menyelesaikan permasalahan keterbatasan yang ada pada penerapan metode *machine learning*. Metode *deep learning* mampu secara otomatis memahami dan mempelajari fitur-fitur dari *input* yang diberikan [8]. Penerapan metode *deep learning* sudah umum digunakan pada konteks pemrosesan sinyal elektrokardiogram seperti metode transformasi wavelet diskret, GRU dan Bi-GRU.

Proses delineasi sinyal elektrokardiogram menggunakan metode GRU dan Bi-GRU. Sebelum proses delineasi sinyal terdapat proses pra pengolahan data, disini transformasi wavelet diskret digunakan dalam proses *denoising* sinyal untuk mengurangi derau yang ada pada sinyal serta membagi sinyal menjadi beberapa frekuensi yang berbeda [9]. Pengujian model ini menggunakan *dataset QT Database (QTDB)* dan *T Wave Alternans Database (TWADB)*. Model tersebut nantinya akan melakukan pemetaan sinyal EKG menjadi gelombang P, QRS kompleks dan gelombang T [10]. Setelah melakukan proses delineasi sinyal EKG kemudian akan dilakukan proses deteksi TWA. Penelitian ini diharapkan dapat mempermudah para tenaga medis untuk mendeteksi masalah jantung seperti aritmia, iskemia miokardium, dan blok jantung sedini mungkin.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang yang telah diberikan, perumusan masalah yang ditemukan adalah sebagai berikut:

1. Dengan menggunakan metode *deep learning*, bagaimana cara terbaik untuk menghasilkan model terbaik untuk proses delineasi sinyal EKG?
2. Bagaimana cara melakukan pendeteksian *T Wave Alternans* melalui hasil dari delineasi sinyal EKG yang paling baik?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. *Dataset* penelitian akan menggunakan *dataset* QTDB dan TWADB.
2. Delineasi sinyal Elektrokardiogram dilakukan terhadap gelombang P, QRS kompleks, *T Wave*, *Isoelectric* dan *Zeropad*.
3. Penelitian ini hanya mengevaluasi kinerja model dalam mendelineasi sinyal, tanpa melakukan evaluasi dalam mendeteksi letak TWA.

1.4. Tujuan

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan yang ingin dicapai sebagai berikut:

1. Penulis dapat melakukan *preprocessing* sinyal EKG melalui *denoising*, normalisasi dan segmentasi kemudian delineasi menggunakan metode GRU dan Bi-GRU.
2. Membangun model GRU dan Bi-GRU untuk delineasi sinyal elektrokardiogram *single lead* menggunakan *dataset* QTDB.
3. Melakukan pemetaan terhadap gelombang P, QRS kompleks, dan T dengan kinerja yang lebih unggul dari studi sebelumnya.
4. Melakukan pendeteksian TWA.

1.5. Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1.5.1. Persiapan Data

Persiapan data mencakup analisis dan pemahaman terhadap data yang akan digunakan agar sesuai dengan topik penelitian. Proses ini melibatkan pengumpulan data dari berbagai sumber yang relevan, pembersihan data dari anomali. Dalam tahap ini, dilakukan proses transformasi seperti normalisasi dan segmentasi.

1.5.2. Pra Pengolahan Data

Pra pengolahan data sebelum dimasukkan ke dalam model pembelajaran mesin. Pra-pemrosesan data mencakup penghilangan *noise* menggunakan transformasi gelombang diskrit, segmentasi sinyal dan normalisasi.

1.5.3. Delineasi

Sinyal EKG diklasifikasikan untuk gelombang P, QRS kompleks dan gelombang T. Proses ini menggunakan model GRU dan Bi-GRU dan fitur ekstraksi CNN 1 Dimensi dengan mempertimbangkan parameter pengujian yang telah dibuat.

1.5.4. Deteksi

Model terbaik yang didapat dari hasil delineasi digunakan untuk mendeteksi TWA menggunakan *dataset* TWA.

1.6. Analisis dan Kesimpulan

Setelah mendapatkan hasil dari pengujian parameter dan deteksi sinyal elektrokardiogram hasilnya akan dianalisis dan ditarik kesimpulan.

1.7. Sistematika Penulisan

Untuk menyelesaikan skripsi ini, beberapa metode yang diterapkan untuk memastikan hasil yang akurat, diantaranya:

BAB I PENDAHULUAN

Bab pertama menjelaskan latar belakang, tujuan penelitian, rumusan masalah dan struktur penulisan. Bagian ini menguraikan konteks dan alasan penting penelitian dilakukan serta tujuan-tujuan spesifik yang ingin dicapai. Selain itu rumusan masalah yang menjadi fokus utama penelitian akan dijelaskan secara rinci. Struktur penulisan akan disajikan untuk memberikan gambaran tentang alur dan sistematika pembahasan dalam seluruh bab skripsi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab kedua menjelaskan teori dasar yang mendukung penelitian ini. Teori yang dibahas mencakup literatur tentang gelombang elektrokardiogram, sinyal elektrokardiogram, transformasi wavelet diskret, GRU, Bi-GRU dan validasi performa. Teori-teori ini memberikan dasar ilmiah dan metodologi yang diperlukan untuk analisis dan interpretasi data dalam penelitian ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ketiga membahas proses penelitian. Ini mencakup persiapan data, pengurangan derau sinyal elektrokardiogram, normalisasi, segmentasi atribut,

ekstraksi atribut dan klasifikasi. Setiap tahap, mulai dari pengumpulan data hingga klasifikasi akhir dijelaskan secara rinci.

BAB IV HASIL DAN ANALISIS

Hasil dan analisis menyajikan hasil dan analisis penelitian, termasuk kinerja model dalam mendeteksi dan menganalisis sinyal EKG. Visualisasi data dan perbandingan dengan ground truth disajikan untuk menunjukkan efektivitas model.

BAB V KESIMPULAN

Bab kelima menyimpulkan temuan penelitian setelah melakukan analisis yang berisi tentang keseluruhan bab dan memberikan pernyataan akhir mengenai penelitian

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Chandrakar, O. P. Yadav, and V. K. Chandra, “a Survey of Noise Removal Techniques for Ecg Signals,” *Ijarcc*, vol. 2, no. 3, pp. 1354–1357, 2013, [Online]. Available: www.ijarcc.com.
- [2] Q. Qin, J. Li, L. Zhang, Y. Yue, and C. Liu, “Combining Low-dimensional Wavelet Features and Support Vector Machine for Arrhythmia Beat Classification,” *Sci. Rep.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–12, 2017, doi: 10.1038/s41598-017-06596-z.
- [3] G. De Lannoy, B. Frenay, M. Verleysen, and J. Delbeke, “Supervised ECG delineation using the wavelet transform and hidden markov models,” *IFMBE Proc.*, vol. 22, pp. 22–25, 2008, doi: 10.1007/978-3-540-89208-3_7.
- [4] 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: <https://doi.org/10.1016/j.future.2020.02.068>.
- [5] T. M. Chieng, Y. W. Hau, Z. B. Omar, and C. W. Lim, “An Efficient Instantaneous ECG Delineation Algorithm,” in *2019 Computing in Cardiology (CinC)*, 2019, p. Page 1-Page 4, doi: 10.22489/CinC.2019.227.
- [6] 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: <https://doi.org/10.1016/j.imu.2020.100507>.
- [7] D. Jia *et al.*, “An Electrocardiogram Delineator via Deep Segmentation Network,” in *2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, 2019, pp. 1913–1916, doi: 10.1109/EMBC.2019.8856987.
- [8] A. Peimankar and S. Puthusserypady, “DENS-ECG: A deep learning approach for ECG signal delineation,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 165, p. 113911, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113911>.
- [9] J. D. Linton *et al.*, “Noise Handling Pada Sinyal Seismik Menggunakan Discrete Wavelet Transform (dwt),” *Sustain.*, vol. 14, no. 2, pp. 1–4, 2020, [Online]. Available: <http://www.unpcdc.org/media/15782/sustainable>

procurementpractice.pdf%0Ahttps://europa.eu/capacity4dev/unep/document/briefing-note-sustainable-public-procurement%0Ahttp://www.hpw.qld.gov.au/SiteCollectionDocuments/ProcurementGuideIntegratingSustainability.

- [10] T. A. S. Nada Fitriyatul Hikmah, Achmad Arifin, “Delineation Of Ecg Feature Extraction Using Multiresolution Analysis Framework,” [Online]. Available: <http://juti.if.its.ac.id/index.php/juti/article/view/992>.
- [11] B. Tutuko *et al.*, “DAE-ConvBiLSTM: End-to-end learning single-lead electrocardiogram signal for heart abnormalities detection,” *PLoS One*, vol. 17, no. 12 December, pp. 1–14, 2022, doi: 10.1371/journal.pone.0277932.
- [12] A. Antoniou, *Digital signal processing*. McGraw-Hill, 2006.
- [13] L. Sörnmo and P. Laguna, “Electrocardiogram (ECG) signal processing,” *Wiley Encycl. Biomed. Eng.*, 2006.
- [14] J. G. Proakis, *Digital signal processing: principles, algorithms, and applications, 4/E*. Pearson Education India, 2007.
- [15] R. F. Hassan and S. A. Shaker, “ECG signal de-noising and feature extraction using discrete wavelet transform,” *Int J Eng Trends Technol*, vol. 63, no. 1, pp. 32–39, 2018.
- [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, pp. 53–62, 2018.
- [17] G. Chen, M. Chen, J. Zhang, L. Zhang, and C. Pang, “A crucial wave detection and delineation method for twelve-lead ECG signals,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 10707–10717, 2020.
- [18] S. Nurdin, Muhammad Ryan Fajar, Hadiyoso, “Aplikasi Web Monitoring Electrocardiogram Terdistribusi Untuk Mendukung Aplikasi Wireless Node,” vol. 1, 2015.
- [19] S. Tanuwidjaja *et al.*, “Simptomatologi Pada Penyakit Jantung.”
- [20] I. Prasajo and S. Kusumadewi, “Diagnosis ekg dengan sistem pakar menggunakan k-nn,” 2013.
- [21] S. Dharma and F. SpJP, “Sistematika Interpretasi EKG Pedoman Praktis,” 2010.

- [22] M. S. Rahmawati and R. Soekarta, "Penerapan aljabar linear pada transformasi Wavelet Diskrit dalam program aplikasi keamanan citra digital," in *Prosiding Seminar Pendidikan Matematika dan Matematika*, 2019, vol. 1, pp. 35–40.
- [23] I. L. May, "Pengenalan Vokal Bahasa Indonesia dengan Jaringan Syaraf Tiruan melalui Transformasi Wavelet Diskret," *Jur. Tek. Elektro Univ. Diponegoro, Tugas Akhir*, 2002.
- [24] 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, p. 103331, 2022.
- [25] D. A. K. Pramita, D. A. I. C. Dewi, I. W. D. Suryawan, and Y. P. Fittryani, "Analisa Kompresi Citra Digital Pada Aritmetic Dan Wavelet Threshold," *J. Teknol. Inf. dan Komput.*, vol. 9, no. 4, 2023.
- [26] S. Ilahiyah and A. Nilogiri, "Implementasi Deep Learning Pada Identifikasi Jenis Tumbuhan Berdasarkan Citra Daun Menggunakan Convolutional Neural Network," *Justindo (Jurnal Sist. dan Teknol. Inf. Indones.)*, vol. 3, no. 2, pp. 49–56, 2018.
- [27] E. D. Tarkus, S. R. U. A. Sompie, and A. Jacobus, "Implementasi Metode Recurrent Neural Network pada Pengklasifikasian Kualitas Telur Puyuh," *J. Tek. Inform.*, vol. 15, no. 2, pp. 137–144, 2020.
- [28] L. Zaman, S. Sumpeno, and M. Hariadi, "Analisis Kinerja LSTM dan GRU sebagai Model Generatif untuk Tari Remo," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 8, no. 2, pp. 142–150, 2019.
- [29] B. A. Firmansyah and F. A. Bachtiar, "Automatic Speech Recognition Bahasa Indonesia menggunakan Unidirectional Gated Recurrent Unit," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 5, no. 12, pp. 5180–5187, 2021.
- [30] Gominsu, *Deep Learning Bible - 3. Natural Language Processing - Eng.* 2024.
- [31] P. Anki, A. Bustamam, and R. A. Buyung, "Comparative analysis of performance between multimodal implementation of chatbot based on news

- classification data using categories,” *Electron.*, vol. 10, no. 21, 2021, doi: 10.3390/electronics10212696.
- [32] Y. Wang, C. Zhang, L. Guo, S. Xu, and G. Ju, “Decoupled Object-Independent Image Features for Fine Phasing of Segmented Mirrors Using Deep Learning,” *Remote Sens.*, vol. 14, p. 4681, Sep. 2022, doi: 10.3390/rs14184681.
- [33] R. L. Verrier and T. Nieminen, “T-wave alternans as a therapeutic marker for antiarrhythmic agents,” *J. Cardiovasc. Pharmacol.*, vol. 55, no. 6, pp. 544–554, 2010, doi: 10.1097/FJC.0b013e3181d6b781.
- [34] M. J. Cutler and D. S. Rosenbaum, “Explaining the clinical manifestations of T wave alternans in patients at risk for sudden cardiac death,” *Hear. Rhythm*, vol. 6, no. 3, Supplement, pp. S22–S28, 2009, doi: <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2008.10.007>.
- [35] D. Normawati and S. A. Prayogi, “Implementasi Naïve Bayes Classifier Dan Confusion Matrix Pada Analisis Sentimen Berbasis Teks Pada Twitter,” *J-SAKTI (Jurnal Sains Komput. Dan Inform.)*, vol. 5, no. 2, pp. 697–711, 2021.
- [36] S. SetiawidaySetiawidayat, S., Hadayati, R., Sulistiarini, E. B., & Finahari, N. (2017). Pendeteksi Amplitudo Elektrokardiogram Diskrit Menggunakan Algoritma Pqrst. Seminar Nasional Hasil Penelitian Universitas Kanjuruhan Malang, 116.at, R. Hadayati, E. B. Sulistiarini, and N. Finahari, “Pendeteksi Amplitudo Elektrokardiogram Diskrit Menggunakan Algoritma Pqrst,” *Semin. Nas. Has. Penelit. Univ. Kanjuruhan Malang*, vol. 5, no. 1, p. 116, 2017.