

**PENINGKATAN KINERJA DELINEASI SINYAL  
ELEKTROKARDIOGRAM *MULTI-LEAD* BERBASIS  
*DEEP LEARNING***

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat**

**Memperoleh Gelar Sarjana Komputer**



**OLEH :**

**GIOVANO ALVIN JANDERA**

**09011282025081**

**JURUSAN SISTEM KOMPUTER**

**FAKULTAS ILMU KOMPUTER**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2023**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PENINGKATAN KINERJA DELINEASI SINYAL  
ELEKTROKARDIOGRAM *MULTI-LEAD* BERBASIS  
*DEEP LEARNING***

**TUGAS AKHIR**

Program Studi Sistem Komputer

Jenjang S1

**OLEH :**

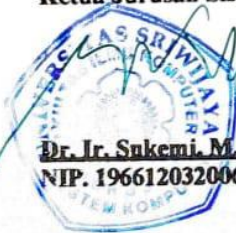
**GIOVANO ALVIN JANDERA**

09011282025081

<sup>or</sup>  
Palembang, Januari 2024

Mengetahui,

**Ketua Jurusan Sistem Komputer**



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

**Pembimbing Tugas Akhir**

**Prof. Dr. Ir. Siti Nurmaini, M.T.**  
NIP. 196908021994012001

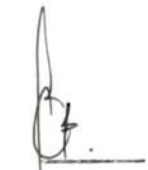

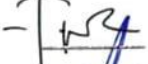

## HALAMAN PERSETUJUAN

Telah diuji dan lulus pada :

Hari : Selasa

Tanggal : 9 Januari 2023

Tim Penguji :

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

Mengetahui,

Ketua Jurusan Sistem Komputer



Dr. Ir. Sukemi, M.T.

NIP. 19661203200604100

## HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Giovano Alvin Jandera

NIM : 09011282025081

Judul : Peningkatan Kinerja Deliniasi Sinyal Elektrokardiogram *Multi-Lead*  
Berbasis *Deep Learning*

**Hasil Pengecekan Software Turnitin : 19%**

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.



Palembang, Januari 2024



Giovano Alvin Jandera

NIM. 09011282025081

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, rahmat, dan penyertaan-Nya penulis telah diberikan kesehatan, kekuatan, serta kesanggupan sehingga penulis mampu menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini yang berjudul “Peningkatan Kinerja Delineasi Sinyal Elektrokardiogram *Multi-Lead* Berbasis *Deep Learning*”.

Dalam penulis Proposal Tugas Akhir ini, penulis masih dalam tahap pembelajaran dan bimbingan. Dengan demikian, penulis menyadari bahwa tanpa bantuan serta petunjuk dari semuapihak, penulis tentu tidak dapat menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini. Pada kesempatan kali ini saya ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Tuhan yang Maha Esa yang telah memberi saya berkat dan rahmat-Nya
2. Orang Tua penulis, Mama, dan Papa, yang selalu memberikan motivasi, doa, serta dukungannya oleh penulis dan menguatkan dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir.
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. Dr. Ir. Siti Nurmaini, M.T., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir penulis yang telah berkenan meluangkan waktu dalam membimbing penulis dalam penyusunan Proposal Tugas Akhir.
6. Bapak Muhammad Ali Buchari, M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik penulis pada Program Studi Sistem Komputer.
7. Mba Annisa Darmawahyuni selaku mentor dalam penyelesaian Tugas Akhir.
8. Mba Sari selaku Admin Program Studi Sistem Komputer yang telah membantu administrasi dalam menyelesaikan Tugas Akhir.

9. Pak Firdaus yang telah membantu dan mengajari untuk penulisan laporan.
10. Mba Ade dan Mba Anggun yang selalu menemani kami di lab dan memberi saran-saran yang bermanfaat serta selalu menghibur.
11. Teman – teman Isysrg batch 5 yang berjuang bersama melewati senang dan sulitnya pengerjaan TA ini.
12. Terima kasih kepada *Intelligent System Research Group* atas bantuan infrastruktur dalam menyelesaikan skripsi.
13. Semua relasi penulis, baik kakak tingkat maupun rekan seangkatan penulis angkatan 2020 yang menjadi teman seperjuangan pada Sistem Komputer, Universitas Sriwijaya.

Penulis menyadari bahwa Proposal Tugas Akhir ini belum sampai pada batas sempurna. Maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun serta kemakluman agar penulis semakin berkembang dalam masa pembelajaran. Penulis berharap pula agar Proposal Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan berguna bagi pihak yang terlibat maupun para pembaca,serta bagi penulis sendiri.

Palembang, Januari 2024

Penulis,

**Giovano Alvin Jandera**  
**NIM. 09011282025081**

***Improved Performance of Multi-Lead Electrocardiogram Signal  
Delineation based on Deep Learning***

**GIOVANO ALVIN JANDERA (09011281924027)**

*Computer Engineering Department, Computer Science Faculty, Sriwijaya University*

Email : [alvinchen2905@gmail.com](mailto:alvinchen2905@gmail.com)

**ABSTRACT**

*This research explores the processing of Electrocardiogram (EKG) signals, a field in signal processing that focuses on the analysis, manipulation, and interpretation of recorded electrical activity in the heart. EKG serves as a crucial diagnostic tool in the recognition and monitoring of heart disorders. Analyzing the patterns of changes in heart rate or rhythm, consisting of the P wave, QRS complex, and T wave, can identify heart conditions in the medical world. The study utilizes data from the Lobachevsky University Database (LUDB). The research methodology adopts an approach that combines Convolutional Neural Network (CNN) as a feature extractor and the Long Short-Term Memory (LSTM) architecture as a wave classifier. In the experiments, a bidirectional LSTM (BiLSTM) is employed. Model parameters, including epoch, batch size, and learning rate, result in a total of 48 models. The research findings indicate that CNN and Bi-LSTM models perform well in signal delineation in scenarios with 5 wave classes. For this scenario, the models achieve Recall of 95.45%, Precision of 95.46%, specificity of 99.11%, Accuracy of 98.68%, and an F1 score of 95.45%. The implications of these findings suggest significant potential in supporting the diagnosis and monitoring of heart disorders through EKG signal processing using the combination of CNN and Bi-LSTM.*

**Keywords :** *Electrocardiogram, Convolutional Neural Network, Long Short-Term Memory, Lobachevsky University Database*

**PENINGKATAN KINERJA DELINEASI SINYAL  
ELEKTROKARDIOGRAM *MULTI-LEAD* BERBASIS  
*DEEP LEARNING***

**GIOVANO ALVIN JANDERA (09011282025081)**

Jurusan Sistem Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Sriwijaya

Email : [alvinchen2905@gmail.com](mailto:alvinchen2905@gmail.com)

**ABSTRAK**

Penelitian ini membahas pemrosesan sinyal Elektrokardiogram(EKG), sebuah bidang dalam pemrosesan sinyal yang fokus pada analisis, manipulasi, dan interpretasi rekaman aktivitas listrik jantung. EKG merupakan alat diagnostik yang krusial dalam pengenalan dan pemantauan gangguan jantung. Analisis pola perubahan detak atau ritme jantung, yang terdiri dari gelombang P, QRS Kompleks, dan T, dapat mengidentifikasi kondisi jantung dalam dunia medis. Penelitian ini menggunakan data dari *Lobachevsky University Database* (LUDB). Metodologi penelitian ini mengadopsi pendekatan yang menggabungkan *Convolutional Neural Network (CNN)* sebagai ekstraktor fitur dan arsitektur *Long Short Term Memory (LSTM)* sebagai pengklasifikasi gelombang. Dalam eksperimen, jenis LSTM digunakan, yaitu *bidirectional (BiLSTM)*. Parameter model berupa *epoch*, *batch size*, dan *learning rate*, menghasilkan total 48 model. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model CNN dan *Bi-LSTM* dapat melakukan delineasi sinyal dengan baik pada skenario dengan 5 kelas gelombang. Untuk skenario ini, model mencapai nilai Recall sebesar 95.45%, Presisi 95.46%, spesifitas 99.11%, akurasi 98.68%, dan *F1 score* 95.45%. Implikasi dari temuan ini menunjukkan potensi besar dalam mendukung diagnosis dan pemantauan gangguan jantung melalui pemrosesan sinyal EKG menggunakan kombinasi CNN dan Bi-LSTM.

**Kata Kunci** : Elektrokardiogram, *Convolutional Neural Network*, *Long Short-Term Memory*, *Lobachevsky University Database*, *Grid Search*.



# DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
ABSTRACT.....	vii
ABSTRAK.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Perumusan Masalah.....	2
1.3    Batasan Masalah.....	2
1.4    Tujuan .....	3
1.5    Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1    Penelitian Terdahulu .....	5
2.2    Pemrosesan Sinyal.....	6
2.3    Sinyal Elektrokardiogram.....	7
2.4    Normaliasi .....	8
2.5    Transformasi <i>Wavelet</i> .....	9
2.6    Delineasi .....	10
2.7 <i>Deep Learning</i> .....	11
2.7.1 <i>Convolutional Neural Network</i> .....	11
2.7.2 <i>Recurrent Neural Network</i> .....	12
2.7.3    Long Short-Term Memory .....	13
2.8    Confussion Matrix.....	14
2.8.1    Akurasi .....	15
2.8.2    Recall .....	15
2.8.3    Spesifisitas.....	15

2.8.4	Presisi .....	16
2.8.5	F1 Score .....	16
2.9	<i>Lobachevsky University Electrocardiography Database</i> .....	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....		17
3.1	Pendahuluan .....	17
3.2	Kerangka Kerja .....	17
3.3	Persiapan Data .....	19
3.4	Pra Pengolahan Data .....	20
3.4.1	Pengurangan Derau atau <i>Denoising</i> .....	20
3.4.2	Normalisasi .....	24
3.4.3	Segmentasi .....	25
3.5	Pembagian Data Uji dan Latih .....	26
3.6	Ekstraksi Fitur dengan Convolutional Neural Network .....	27
3.7	Deliniasi Sinyal 5 Kelas dengan <i>Convolutional Neural Network</i> dan <i>Long Short-Term Memory</i> .....	27
3.8	Validasi Performa Model .....	28
BAB IV HASIL DAN ANALISIS .....		30
4.1	Pendahuluan .....	30
4.2	Hasil Delineasi Sinyal dengan Bi-LSTM .....	30
4.2.1	Hasil Delineasi Model Sinyal <i>RAW</i> pada <i>learning rate</i> 0,01 .....	33
4.2.2	Hasil Delineasi Model Sinyal <i>RAW</i> pada <i>learning rate</i> 0,001 .....	50
4.2.3	Hasil Delineasi Model Sinyal yang dilakukan <i>preprocessing</i> pada <i>learning rate</i> 0,01 .....	68
4.2.4	Hasil Delineasi Model Sinyal yang dilakukan <i>preprocessing</i> pada <i>learning rate</i> 0,001 .....	86
4.3	Uji <i>Unseen Model</i> .....	103
4.4	Analisa .....	105
BAB 5 KESIMPULAN .....		107
	Kesimpulan .....	107
DAFTAR PUSTAKA .....		108

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Morfologi Gelombang EKG.....	7
Gambar 2.2 Morfologi Kompleks QRS.....	8
Gambar 2. 3 Contoh Delineasi sinyal elektrokardiogram.....	11
Gambar 2.4 Ilustrasi neuron pada arsitektur LSTM .....	13
Gambar 2.5 Ilustrasi neuron pada <i>bidirectional</i> LSTM untuk <i>forward pass</i> dan <i>backward pass</i> .....	14
Gambar 3.1 Rancangan Blok Diagram.....	18
Gambar 3.2 <b>Diagram Alir Pra Pengolahan Data</b> .....	20
Gambar 3 3 Perbandingan Sinyal sebelum dengan setelah <i>Denoising</i> .....	23
Gambar 3 4 Perbandingan Sinyal Hasil DWT dengan Normalisasi .....	25
Gambar 3.5 Sampel Hasil Segmentasi EKG .....	26
Gambar 4 1 Grafik Akurasi dan <i>Loss</i> pada proses pelatihan dan pengujian Sinyal RAW Learning Rate 0,01 .....	37
Gambar 4 2 Matriks Konfusi Pengujian Sinyal RAW Learning Rate 0,01 .....	43
Gambar 4 3 Sampel Hasil Deliniasi Sinyal RAW Learning rate 0,01 .....	50
Gambar 4 4 Grafik Akurasi dan <i>Loss</i> pada proses pelatihan dan pengujian Sinyal RAW Learning Rate 0,001 .....	54
Gambar 4 5 Matriks Konfusi Pengujian Sinyal RAW Learning Rate 0,001 .....	61
Gambar 4 6 Sampel Hasil Deliniasi Sinyal RAW Learning rate 0,001 .....	67
Gambar 4 7 Grafik Akurasi dan <i>Loss</i> pada proses pelatihan dan pengujian Sinyal yang dilakukan <i>preprocessing</i> pada Learning Rate 0,01 .....	72
Gambar 4 8 Matriks Konfusi Pengujian Sinyal yang dilakukan <i>preprocessing</i> pada Learning Rate 0,01 .....	78
Gambar 4 9 Sampel Hasil Deliniasi Sinyal Sinyal yang dilakukan <i>preprocessing</i> pada Learning Rate 0,01 .....	85
Gambar 4 10 Grafik Akurasi dan <i>Loss</i> pada proses pelatihan dan pengujian Sinyal yang dilakukan <i>preprocessing</i> pada Learning Rate 0,001 .....	90
Gambar 4 11 Matriks Konfusi Pengujian Sinyal yang dilakukan <i>preprocessing</i> pada Learning Rate 0,001 .....	96
Gambar 4 12Sampel Hasil Deliniasi Sinyal Sinyal yang dilakukan <i>preprocessing</i> pada Learning Rate 0,001 .....	103

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Matriks Konfusi .....	14
Tabel 3.1 Jumlah Rekaman Berdasarkan Jenis Detak Jantung .....	19
Tabel 3.2 Jumlah Gelombang Beranotasi .....	19
Tabel 3.3 Nilai SNR fungsi <i>wavelet</i> .....	22
Tabel 3.4 Jumlah Pembagian <i>Beat</i> untuk data latih dan data Uji.....	26
Tabel 3.5 Parameter Umum Model LSTM.....	28
Tabel 3.6 Parameter Model LSTM.....	28
Tabel 4.1 Evaluasi Performa Validasi Akurasi Sinyal RAW dengan learning rate 0,01.....	31
Tabel 4.2 Evaluasi Performa Validasi Akurasi Sinyal RAW dengan learning rate 0,001.....	31
Tabel 4.3 Evaluasi Performa Validasi Akurasi Sinyal yang dilakukan <i>preprocessing</i> dengan learning rate 0,01 .....	32
Tabel 4.4 Evaluasi Performa Validasi Akurasi Sinyal yang dilakukan <i>preprocessing</i> dengan learning rate 0,001 .....	32
Tabel 4.5 Hasil uji unseen menggunakan Model Sinyal yang dilakukan <i>preprocessing</i> pada learning rate 0,01 .....	103
Tabel 4.6 Hasil uji unseen menggunakan Model Sinyal RAW pada <i>learning rate</i> 0,01.....	104
Tabel 4.7 Perbandingan hasil validasi akurasi dan uji unseen .....	106

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pemrosesan sinyal EKG (Elektrokardiogram) merupakan suatu bidang dalam pemrosesan sinyal yang khusus mengkaji analisis, manipulasi, dan interpretasi dari rekaman aktivitas listrik jantung. EKG adalah alat diagnostik yang kritis dalam pengenalan dan pemantauan gangguan jantung. Pemrosesan sinyal EKG memungkinkan identifikasi karakteristik seperti gelombang P, kompleks QRS, dan interval QT, yang dapat digunakan untuk mendeteksi gangguan jantung seperti aritmia, iskemia miokardium, dan blok jantung. Algoritma dan teknik pemrosesan sinyal EKG yang canggih terus berkembang untuk meningkatkan akurasi deteksi dan pengawasan pasien [1] – [3].

Deliniasi ialah tahapan pengenalan lokasi interval dan amplitudo pada fitur setiap gelombang. Proses deliniasi dapat mendukung analisis otomatis gelombang sinyal EKG [4]. Saat ini, analisis sinyal EKG masih umumnya dilaksanakan secara manual, yang kerap kali berpotensi mengakibatkan kesalahan dalam interpretasi. Penerapan deliniasi otomatis pada sinyal EKG dapat mengurangi kesalahan interpretasi yang mungkin terjadi oleh manusia [5]–[7].

Sampai sekarang, berbagai pendekatan konvensional telah diterapkan untuk melakukan deliniasi sinyal EKG, termasuk teknik seperti transformasi gelombang, *transformasi phasor*, *dynamic time warping*, dan *low-pass differentiation*. Meskipun kinerja metode-metode tersebut telah terbukti baik, mereka memiliki kekurangan dalam penyesuaian parameter yang seringkali harus dilakukan secara manual sesuai dengan dataset yang sedang digunakan. Selain itu, model-model yang telah disesuaikan khusus cenderung tidak memberikan hasil yang memuaskan ketika diuji dengan dataset yang berbeda [8]. Oleh karena itu, untuk mengatasi kekurangan-kekurangan ini, telah dikembangkan model-model menggunakan algoritma machine learning.

Penelitian menggunakan metode *LSTM* ini sebelumnya telah dilakukan pada penelitian [1] dan menunjukkan hasil yang baik. Dari penelitian tersebut model terbaik yang didapatkan adalah model *CNN* dan *Bi-LSTM*. Sehingga, berlandaskan hal tersebut menjadi acuan untuk penulis dalam meningkatkan performa model yang telah dibuat. Dalam penelitian ini, *CNN* berperan sebagai alat ekstraksi fitur dari sinyal EKG, sementara *Bi-LSTM* bertindak sebagai pemisah gelombang pada sinyal. Pengujian model ini akan dilakukan dengan menggunakan dataset *Lobachevsky University Database (LUDB)*. Model tersebut akan mengemban tugas melakukan identifikasi pada sinyal EKG terkait gelombang P, kompleks QRS, dan T. Diharapkan dari percobaan ini menghasilkan peningkatan kinerja dari model penelitian yang sebelumnya.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan pemaparan latar belakang, maka dapat diuraikan perumusan masalah yang terdiri atas :

1. Bagaimana membangun model *CNN-LSTM* untuk melakukan deliniasi sinyal EKG *multi-lead* terhadap dataset *LUDB* ?
2. Bagaimana model tersebut dapat meningkatkan kinerja presisi-*recall* yang sesuai dengan yang diharapkan ?

## 1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan pemaparan latar belakang, maka dapat diuraikan perumusan masalah yang terdiri atas :

1. Data yang digunakan pada penelitian ini bersumberkan data dari *Lobachevsky University Database (LUDB)*
2. Melakukan deliniasi sinyal EKG yang memiliki gelombang sinyal lengkap (gelombang P, gelombang QRS Kompleks, dan gelombang T)
3. Penelitian ini disimulasikan menggunakan Bahasa pemrograman Python.

## 1.4 Tujuan

Tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Membangun model *CNN-LSTM* untuk deliniasi sinyal EKG multi-lead dengan menggunakan dataset *LUDB*.
2. Menghasilkan peningkatan kinerja model *CNN-LSTM* dengan kinerja presisi-*recall* yang melebihi dari penelitian sebelumnya.

## 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah :

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab pertama akan memaparkan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitan, serta sistematika penulisan yang digunakan.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini akan menjelaskan teori dasar yang menjadi dasar penelitian yang sedang dilakukan. Teori dasar yang akan dibahas dalam bab ini mencakup literatur tentang pemrosesan sinyal, sinyal EKG, morfologi EKG, transformasi wavelet diskrit, *Bidirectional Long Short-Term Memory*, *Deep Learning*, dan evaluasi performa validasi.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini memaparkan mengenai tahap dan rangkaian yang dilakukan penelitian ini. Penelitian akan dimulai dari persiapan data, pengurangan derau sinyal, normalisasi, segmentasi sinyal, fitur ekstraksi dan klasifikasi, hingga validasi performa model.

### **BAB IV HASIL DAN ANALISIS**

Bab ini akan menjelaskan hasil pengujian yang diperoleh dan menjelaskan analisa terhadap hasil penelitian yang telah dilakukan.

### **BAB V KESIMPULAN**

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil dan analisa dari keseluruhan penelitian yang dilakukan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Prazna Paramitha and Nurmaini, Siti (2022) Delineasi Sinyal Elektrokardiogram Multi-Lead Menggunakan Metode Long Short-Term Memory Berbasis Ekstraksi Fitur Convolutional Neural Network. Undergraduate thesis, Sriwijaya University.
  
- [2] S. Nurmaini et al., "*Beat-to-Beat Electrocardiogram Waveform Classification Based on a Stacked Convolutional and Bidirectional Long Short-Term Memory*," in IEEE Access, vol. 9, pp. 92600-92613, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3092631.
  
- [3] A. Antoniou, "Digital signal processing," McGraw-Hill, 2006.
  
- [4] L. Sörnmo and P. Laguna, "Electrocardiogram (ECG) signal processing," in Wiley encyclopedia of biomedical engineering, 2006.
  
- [5] J. G. Proakis and D. G. Manolakis, "Digital Signal Processing: Principles, Algorithms, and Applications," 4th ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice-Hall, 2006.
  
- [6] "Elektrokardiografi Konsep Dasar dan Praktik Klinik - Google Books." [https://www.google.co.id/books/edition/Elektrokardiografi\\_Konsep\\_Dasar\\_dan\\_Prak/3KtTDwAAQBAJ?hl=id&gbpv=0&kptab=overview](https://www.google.co.id/books/edition/Elektrokardiografi_Konsep_Dasar_dan_Prak/3KtTDwAAQBAJ?hl=id&gbpv=0&kptab=overview) (accessed Sept. 9, 2023).
  
- [7] Andrianto and M. Ardiana, "BUKU AJAR BELAJAR CEPAT EKG - Google Play Buku," Airlangga University Press, 2019. <https://play.google.com/books/reader?id=eaRHEAAAQBAJ&pg=GBS.PA> 44 (accessed Okt. 14, 2023).



- [8] H. Sulastomo et al., “Buku Manual Keterampilan Klinis Interpretasi Pemeriksaan Elektrokardiografi ( Ekg ),” Skillslab.Fk.Uns.Ac.Id, pp. 1–30, 2019.
- [9] B. Deepa and K. Ramesh, "Epileptic seizure detection using deep learning through min max scaler normalization," *Int. J. Health Sci*, vol. 6, pp. 10981-10996, 2022.
- [10] M. Risnasari, “Penekanan Noise Pada Sinyal Ekg Menggunakan Transformasi Wavelet,” *Educic - Sci. J. Informatics Educ.*, vol. 1, no. 1, 2015, doi: 10.21107/educic.v1i1.397.
- [11] P. Karthikeyan, M. Murugappan, and S. Yaacob, “ECG signal denoising using wavelet thresholding techniques in human stress assessment,” *Int. J. Electr. Eng. Informatics*, vol. 4, no. 2, pp. 306–319, 2012, doi: 10.15676/ijeei.2012.4.2.9.
- [12] Sutarno, “Analisis Perbandingan Transformasi *Wavelet* pada Pengenalan Citra Wajah,” *Jurnal Generic.*, vol. 5, no. 3, pp. 15–20, 2010
- [13] N. Spicher and M. Kukuk, "Delineation of Electrocardiograms Using Multiscale Parameter Estimation," in *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, vol. 24, no. 8, pp. 2216-2229, Aug. 2020, doi: 10.1109/JBHI.2019.2963786.
- [14] “Pengenalan Machine Learning Menggunakan Jupyter Notebook – Google Books.”[https://www.google.co.id/books/edition/Pengenalan\\_Machine\\_Learning\\_Menggunakan/\\_uMREAAAQBAJ?hl=id&gbpv=0](https://www.google.co.id/books/edition/Pengenalan_Machine_Learning_Menggunakan/_uMREAAAQBAJ?hl=id&gbpv=0) (accessed Jan. 08, 2022).

- [15] C. T. C. Arsene, R. Hankins and H. Yin, "Deep Learning Models for Denoising ECG Signals," 2019 27th European Signal Processing Conference (EUSIPCO), A Coruna, Spain, 2019, pp. 1-5, doi: 10.23919/EUSIPCO.2019.8902833.
- [16] D. Jia et al., "An Electrocardiogram Delineator via Deep Segmentation Network," Proc. Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. EMBS, no. July, pp. 1913–1916, 2019, doi: 10.1109/EMBC.2019.8856987.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] H. Wai and K. Lau, "Informatics in Medicine Unlocked Multiclass classification of myocardial infarction with convolutional and recurrent neural networks for portable ECG devices," Informatics Med. Unlocked, vol. 13, no. June, pp. 26–33, 2018.
- [20] L. S. Memory, "Long Short-Term Memory," pp. 37–45, 2012. L. S. Memory, "Long Short-Term Memory," pp. 37–45, 2012.
- [21] H. Abrishami, C. Han, X. Zhou, M. Campbell, and R. Czosek, "Supervised ecg interval segmentation using lstm neural network," in Proceedings of the International Conference on Bioinformatics & Computational Biology (BIOCOMP), 2018, pp. 71–77.

- [22] G. S. Chadha, A. Panambilly, A. Schwung, and S. X. Ding, “Bidirectional deep recurrent neural networks for process fault classification,” *ISA Trans.*, 2020.
- [23] K. Kim, “Arrhythmia classification in multi-channel ECG signals using deep neural networks,” 2018.
- [24] “Cara Praktis & Sistematis Belajar Membaca EKG - Google Books.” [https://www.google.co.id/books/edition/Cara\\_Praktis\\_Sistematis\\_Belajar\\_Membaca/cY5KDwAAQBAJ?hl=id&gbpv=0](https://www.google.co.id/books/edition/Cara_Praktis_Sistematis_Belajar_Membaca/cY5KDwAAQBAJ?hl=id&gbpv=0) (accessed Aug. 24, 2021).
- [25] E. L. Utari, “Analisa Deteksi Gelombang Qrs Untuk Menentukan Kelainan Fungsi Kerja Jantung,” *Teknoin*, vol. 22, no. 1, pp. 27–37, 2016, doi: 10.20885/teknoin.vol22.iss1.art4.
- [26] N. F. Hikmah, A. Arifin, and T. A. Sardjono, “Delineation of ECG Feature Extraction Using Multiresolution Analysis Framework,” *J. Ilm. Teknol. Inf.*, vol. 18, no. 2, pp. 135–146, 2020.
- [27] 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. Reports* 2017 71, vol. 7, no. 1, pp. 1–12, Jul. 2017, doi: 10.1038/s41598-017-06596-z.
- [28] 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, 2009, doi: 10.1007/978-3-540-89208-3\_7.

- [29] H. Hajimolahoseini, J. Hashemi, and D. Redfearn, "ECG Delineation for Qt Interval Analysis Using an Unsupervised Learning Method," ICASSP, IEEE Int. Conf. Acoust. Speech Signal Process. - Proc., vol. 2018-April, pp. 2541–2545, Sep. 2018, doi: 10.1109/ICASSP.2018.8461999.
- [30] D. Jia et al., "An Electrocardiogram Delineator via Deep Segmentation Network," Proc. Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. EMBS, no. July, pp. 1913–1916, 2019, doi: 10.1109/EMBC.2019.8856987.
- [31] J. Effendi, "Otomatisasi Deliniasi Sinyal Elektrokardiogram Menggunakan Metode Long Short-Term Memory Berbasis Ekstraksi Fitur Convolutional Neural Network 1-Dimensi," Universitas Sriwijaya, 2020.
- [32] Patro, V. Mohan, and Manas Ranjan Patra. "Augmenting weighted average with confusion matrix to enhance classification accuracy." Transactions on Machine Learning and Artificial Intelligence 2.4 (2014): 77-91.
- [33] S. N. Gupta, P. Gupta, dan S. K. Sharma, "A Survey of ECG Denoising Techniques," in International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, vol. 6, no. 6, 2016.
- [34] Kalyakulina, A., Yusipov, I., Moskalenko, V., Nikolskiy, A., Kosonogov, K., Zolotikh, N., & Ivanchenko, M. (2021). Lobachevsky University Electrocardiography Database (version 1.0.1). PhysioNet. <https://doi.org/10.13026/eegm-h675>.