

DELINEASI *SINGLE-LEAD* SINYAL ELEKTROKARDIOGRAM  
MENGUNAKAN *DEEP LEARNING* DENGAN *BAYESIAN*  
*HYPERPARAMETER TUNING OPTIMIZATION*

Diajukan Sebagai Syarat Untuk Menyelesaikan  
Pendidikan Program Strata-1 Pada  
Jurusan Teknik Informatika



Oleh:

Jordan Marcelino  
NIM: 09021282126077

**Jurusan Teknik Informatika**  
**FAKULTAS ILMU KOMPUTER UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

Tahun 2024

# LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

## DELINEASI *SINGLE-LEAD* SINYAL ELEKTROKARDIOGRAM MENGUNAKAN *DEEP LEARNING* DENGAN *BAYESIAN* *HYPERPARAMETER TUNING OPTIMIZATION*

Oleh:

Jordan Marcelino  
NIM: 09021282126077

Palembang, 23 Desember 2024

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Informatika

Pembimbing I



Hadipurnawan Satria, Ph.D.

NIP-198004182020121001



Annisa Darmawahyuni, M.Kom.

NIP 199006302023212044

## TANDA LULUS UJIAN KOMPREHENSIF

Pada hari Jumat tanggal 27 Desember 2024 telah dilaksanakan ujian komprehensif skripsi oleh Jurusan Teknik Informatika Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.

Nama : Jordan Marcelino  
NIM : 09021282126077  
Judul : Delineasi Single-Lead Sinyal Elektrokardiogram Menggunakan Deep Learning Dengan Bayesian Hyperparameter Tuning Optimization

dan dinyatakan LULUS.

1. Ketua Penguji

Anggina Primanita, M.IT., Ph.D.  
NIP 198908062015042002



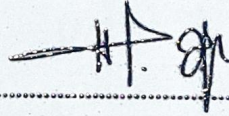
2. Penguji I

Dian Palupi Rini, M.Kom., Ph.D.  
NIP 197802232006042002



3. Pembimbing I

Annisa Darmawahyuni, M.Kom.  
NIP 199006302023212044



Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Informatika



Hadipurnawan Satria, Ph.D.  
NIP 198004182020121001

## HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

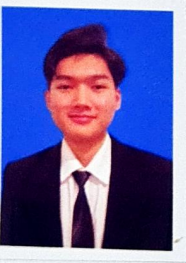
Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Jordan Marcelino  
NIM : 09021282126077  
Program Studi : Teknik Informatika Bilingual  
Judul : Delineasi Single-Lead Sinyal Elektrokardiogram  
Menggunakan Deep Learning Dengan Bayesian  
Hyperparameter Tuning Optimization

Hasil pengecekan *iThenticate/Turnitin*: 4%

Menyatakan bahwa laporan proyek saya merupakan hasil karya sendiri dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam laporan proyek ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan tidak ada paksaan dari pihak manapun



Palembang, 31 Desember 2024



Jordan Marcelino

NIM 09021282126077

## **MOTTO DAN PERSEMBAHAN**

*“Searching for someone to blame is such a pain.”*

- Gojo Satoru

Kupersembahkan karya tulis ini kepada:

- Tuhan Yang Maha Esa
- Orang tua dan saudara-saudaraku
- Teman seperjuangan

## ABSTRACT

*Electrocardiogram (ECG) is a medical procedure used to assess cardiac function, including its electrical activity. With the increasing prevalence of heart disease, which recorded an 18.71% rise in 2020 compared to 2010, the role of ECG interpretation has become critically important. Cardiac conditions can be analyzed through the morphology of ECG signals, consisting of the P wave, QRS complex, and T wave. This research employs a Deep Learning (DL) approach combining Convolutional Neural Network (CNN) and Bidirectional Long-Short Term Memory (BiLSTM) to delineate single-lead ECG signals. Bayesian optimization was utilized to fine-tune hyperparameters and enhance model performance. The dataset used in this research is the Lobachevsky University Database (LUDB). The study achieved an accuracy of 99.28%, specificity of 99.49%, recall of 91.99%, precision of 92.66%, and an F1-score of 92.3%. The application of DL and Bayesian optimization demonstrated high efficacy in delineating single-lead ECG signals, particularly for normal beats. For future work, this research could be expanded to explore more diverse datasets and Deep Learning architectures.*

*Key Word: Electrocardiogram, Deep Learning, Convolutional Neural Network, Long-Short Term Memory, Bayesian Optimization*

## ABSTRAK

Elektrokardiogram (EKG) adalah prosedur medis yang digunakan untuk memeriksa fungsi jantung, termasuk aktivitas kelistrikannya. Dengan semakin tingginya penderita penyakit jantung, yang tercatat mengalami peningkatan sebesar 18,71% pada tahun 2020 dibandingkan tahun 2010 membuat peran interpretasi EKG menjadi sangat penting. Kondisi jantung dapat dianalisa melalui morfologi sinyal EKG yang terdiri dari gelombang P, kompleks QRS, dan gelombang T. Penelitian ini menggunakan pendekatan *Deep Learning* (DL) dengan kombinasi *Convolutional Neural Network* (CNN) dan *Bidirectional Long-Short Term Memory* (BiLSTM) untuk mendelineasikan *single-lead* sinyal EKG. *Bayesian optimization* digunakan untuk mengoptimasi nilai *hyperparameter* dan meningkatkan kinerja *model*. Dataset yang digunakan pada penelitian ini adalah *Lobachevsky University Database* (LUDB). Hasil penelitian mendapatkan nilai akurasi 99.28%, spesifisitas 99.49%, *recall* 91.99%, presisi 92.66%, dan *f1-score* 92.3%. Penggunaan DL dan *bayesian optimization* menunjukkan kinerja yang baik pada delineasi *single-lead* sinyal EKG terutama terhadap data normal *beat*. Untuk pengembangan lebih lanjut, penelitian ini dapat diarahkan pada eksplorasi dataset dan arsitektur DL yang lebih bervariasi.

Kata Kunci: Elektrokardiogram, *Deep Learning*, *Convolutional Neural Network*, *Long-Short Term Memory*, *Bayesian Optimization*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan atas berkat dan rahmat-Nya yang telah diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Delineasi *Single-Lead* Sinyal Elektrokardiogram Menggunakan *Deep Learning* Dengan *Bayesian Hyperparameter Tuning Optimization*” dengan baik.

Untuk selanjutnya penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini, yaitu:

1. Orang tua dan saudara-saudara saya yang telah memberikan dukungan dan doa kepada saya.
2. Bapak Prof. DR. Erwin, S.Si., M.Si., selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Hadipurnawan Satria, Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Informatika Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.
4. Ibu Annisa Darmawahyuni, M.Kom., selaku Dosen Pembimbing I, yang telah membimbing dan mengarahkan Penulis dalam penulisan skripsi.
5. Ibu Desty Rodiah, S.Kom., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik.
6. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Teknik Informatika Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.
7. Seluruh Tata Usaha Program Studi Teknik Informatika Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya
8. Teman-teman Teknik Informatika Bilingual B 2021 yang telah menemani dan membantu selama perkuliahan.
9. Teman-teman dekat Penulis yang telah menemani dan membantu selama perkuliahan.
10. Serta semua pihak yang telah membantu Penulis selama penyusunan skripsi yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi masih terdapat banyak kesalahan dan kekurangan yang disebabkan oleh keterbatasan pengetahuan dan pengalaman. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat



diperlukan untuk kemajuan penelitian di masa pendatang. Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Palembang, 23 Desember 2024

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI .....	ii
TANDA LULUS UJIAN KOMPREHENSIF.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT .....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN .....	v
ABSTRACT.....	vi
ABSTRAK .....	vii
KATA PENGANTAR .....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	I-1
I.1 Latar Belakang Masalah .....	I-1
I.2 Rumusan Masalah.....	I-3
I.3 Tujuan Penelitian .....	I-4
I.4 Manfaat Penelitian .....	I-4
I.5 Batasan Masalah .....	I-4
I.6 Sistematika Penulisan .....	I-5
BAB II KAJIAN LITERATUR.....	II-1
II.1 Landasan Teori .....	II-1
II.1.1 Elektrokardiogram (EKG).....	II-1
II.1.2 <i>Discrete Wavelet Transform</i> (DWT).....	II-3
II.1.3 <i>Deep Learning</i> (DL).....	II-6
II.1.4 <i>Convolutinal Bidirectional Long Short-Term Memory</i> .....	II-8

II.1.5	<i>Bayesian Optimization</i> .....	II-10
II.2	Penelitian Lain yang Relevan .....	II-11
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN .....	III-1
III.1	Pengumpulan Data .....	III-1
III.2	Tahapan Penelitian.....	III-2
III.2.1	Persiapan Data .....	III-4
III.2.2	Pra-Pengolahan Data .....	III-4
III.2.3	Pembagian Data Latih, Data Validasi dan Data Uji .....	III-8
III.2.4	Ekstraksi Fitur .....	III-8
III.2.5	Validasi Performa Model .....	III-9
III.3	Metode Pengembangan Perangkat Lunak.....	III-9
III.4	Kesimpulan .....	III-10
BAB IV	PENGEMBANGAN PERANGKAT LUNAK.....	IV-1
IV.1	<i>Waterfall</i> .....	IV-1
IV.1.1	<i>Requirement Analysis</i> .....	IV-1
IV.1.2	<i>Design</i> .....	IV-2
IV.1.3	<i>Implementation</i> .....	IV-10
IV.1.4	<i>Testing</i> .....	IV-12
BAB V	HASIL DAN ANALISIS .....	V-1
V.1	Data Konfigurasi Penelitian.....	V-1
V.2	Hasil Delineasi <i>Single-Lead</i> Sinyal EKG Menggunakan Metode <i>Bayesian Optimization</i> .....	V-2
V.3	Hasil Delineasi .....	V-6
V.3.1	Hasil Delineasi Data Latih .....	V-8
V.3.2	Hasil Delineasi Data Validasi.....	V-11
V.3.3	Hasil Delineasi Data Uji.....	V-13
V.3.4	Analisis Hasil Delineasi <i>Model</i> Terbaik.....	V-15
V.4	Kesimpulan .....	V-17
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN .....	VI-1

VI.1	Kesimpulan .....	VI-1
VI.2	Saran.....	VI-1
DAFTAR PUSTAKA .....		xiii
LAMPIRAN.....		xvi

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel II-1 Penjabaran metrik .....	II-8
Tabel III-1 Jumlah rekaman berdasarkan tipe detak jantung .....	III-2
Tabel III-2 Jumlah gelombang yang dianotasi .....	III-2
Tabel III-3 Nilai SNR pada tiap fungsi <i>mother wavelet</i> .....	III-5
Tabel III-4 Jumlah beat untuk setiap variabel .....	III-8
Tabel III-5 Ruang pencarian <i>hyperparameter model</i> .....	III-8
Tabel IV-1 Kebutuhan fungsional perangkat lunak .....	IV-2
Tabel IV-2 Kebutuhan non-fungsional perangkat lunak .....	IV-2
Tabel IV-3 Arsitektur <i>model Conv-BiLSTM</i> .....	IV-3
Tabel IV-4 Struktur folder perangkat lunak .....	IV-10
Tabel IV-5 Deskripsi file dan direktori .....	IV-10
Tabel IV-6 Rencana pengujian <i>use case upload file</i> .....	IV-13
Tabel IV-7 Rencana pengujian <i>use case</i> melakukan delineasi .....	IV-13
Tabel IV-8 Hasil pengujian <i>use case upload file</i> .....	IV-14
Tabel IV-9 Hasil pengujian <i>use case</i> melakukan delineasi .....	IV-15
Tabel V-1 Ruang Pencarian <i>Hyperparameter</i> .....	V-1
Tabel V-2 Kombinasi <i>hyperparameter</i> dari masing-masing <i>model</i> .....	V-2
Tabel V-3 Hasil Delineasi <i>model</i> pada data validasi .....	V-4
Tabel V-4 Kombinasi <i>hyperparameter model</i> terbaik .....	V-6
Tabel V-5 Arsitektur <i>model Conv-BiLSTM</i> .....	V-7
Tabel V-6 Matriks konfusi data latih .....	V-9
Tabel V-7 Hasil delineasi pada data latih .....	V-10
Tabel V-8 Matriks konfusi data validasi .....	V-12
Tabel V-9 Hasil delineasi pada data validasi .....	V-13
Tabel V-10 Matriks konfusi data uji .....	V-14
Tabel V-11 Hasil delineasi pada data uji .....	V-15

## DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar II-1 Morfologi EKG (De Luna, Batchvarov, & Malik, 2006).....	II-2
Gambar II-2 <i>Model</i> dekomposisi DWT (Aqil, Jbari, & Bourouhou, 2017)....	II-3
Gambar II-3 <i>Hard</i> dan <i>soft thresholding</i> (Aqil, Jbari, & Bourouhou, 2017)...	II-4
Gambar II-4 <i>Model</i> IDWT (Aqil, Jbari, & Bourouhou, 2017).....	II-5
Gambar II-5 <i>Neural networks layer</i> (LeCun, Bengio, & Hinton, 2015).....	II-6
Gambar II-6 Matriks Konfusi.....	II-7
Gambar II-7 Arsitektur Conv-BiLSTM (Nurmaini, et al., 2021) .....	II-8
Gambar II-8 <i>Bayesian optimization</i> (Snoek, Larochelle, & Adams, 2012).....	II-11
Gambar III-1 Kerangka tahapan penelitian.....	III-3
Gambar III-2 Perbandingan sebelum dan sesudah <i>denoising</i> .....	III-5
Gambar III-3 Perbandingan sebelum dan sesudah normalisasi .....	III-7
Gambar III-4 Hasil segmentasi sinyal EKG .....	III-7
Gambar III-5 Diagram alur kerja <i>waterfall</i> (Adenowo & Adenowo, 2013) ....	III-10
Gambar IV-1 Desain antarmuka perangkat lunak.....	IV-3
Gambar IV-2 Diagram <i>Use Case</i> perangkat lunak .....	IV-4
Gambar IV-3 <i>Activity diagram use case upload file</i> .....	IV-6
Gambar IV-4 <i>Activity diagram use case</i> melakukan delineasi .....	IV-7
Gambar IV-5 <i>Activity diagram use case</i> melakukan <i>preprocessing</i> .....	IV-9
Gambar IV-6 Antarmuka dashboard.....	IV-12
Gambar V-1 <i>Learning curve</i> akurasi.....	V-7
Gambar V-2 <i>Learning curve loss</i> .....	V-8
Gambar V-3 Kurva <i>precision-recall</i> data latih .....	V-9
Gambar V-4 Kurva <i>precision-recall</i> data validasi .....	V-11
Gambar V-5 Kurva <i>precision-recall</i> data uji .....	V-14
Gambar V-6 Hasil delineasi <i>record 184</i> .....	V-16
Gambar V-7 Hasil delineasi <i>record 189</i> .....	V-16
Gambar V-8 Hasil delineasi <i>record 195</i> .....	V-16

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

Elektrokardiogram (EKG) adalah alat diagnostik penting dalam kardiologi, namun interpretasinya rumit dan memakan waktu. Oleh karena itu, dibutuhkan metode analisis EKG yang lebih otomatis dan akurat. *Deep learning* menunjukkan potensi besar untuk analisis EKG, namun untuk menghasilkan *model* yang berkinerja baik diperlukan *hyperparameter* yang tepat. *Bayesian optimization* menawarkan solusi untuk memilih *hyperparameter* secara efektif. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi penggunaan *bayesian optimization* untuk meningkatkan kinerja delinesasi EKG berbasis *deep learning*.

### **I.1 Latar Belakang Masalah**

Penyakit jantung menjadi permasalahan kesehatan global yang mendesak, dengan tingginya angka kematian setiap tahunnya. *American Heart Association* mencatat bahwa penyakit jantung menyebabkan 19,05 juta kematian pada tahun 2020, meningkat sebesar 18,71% dibandingkan tahun 2010 (Tsao, et al., 2023). Dalam menghadapi dampak serius penyakit jantung, deteksi dini menjadi kunci utama untuk meningkatkan tingkat kesembuhan dan memberikan perawatan yang lebih efektif.

Elektrokardiogram (EKG) merupakan teknik perekaman grafik dari aktivitas listrik jantung selama periode waktu tertentu (Geselowitz, 1989). Sinyal EKG menyediakan informasi rinci tentang irama dan kondisi jantung secara keseluruhan, sehingga menjadi fokus utama dalam diagnosis penyakit kardiovaskular (Siontis, Noseworthy, Attia, & Friedman, 2021). Sinyal EKG mencatat variasi gelombang dari waktu ke waktu, termasuk gelombang P, kompleks QRS, dan gelombang T.

Analisis struktur sinyal EKG memiliki peran vital dalam deteksi dini kondisi kardiovaskular. Ketidaknormalan dalam bentuk atau durasi gelombang-gelombang sinyal EKG dapat memberikan petunjuk awal terhadap penyakit jantung (Bollmann, et al., 1998). Delineasi sinyal EKG merupakan proses dalam analisis

medis yang bertujuan untuk mengidentifikasi batas-batas interval dari komponen utama sinyal EKG, seperti gelombang P, kompleks QRS, dan gelombang T. Proses ini memberikan informasi utama tentang aktivitas listrik jantung sehingga memungkinkan analisis yang lebih mendalam terhadap kondisi jantung (Geselowitz, 1989).

*Deep learning* (DL) merupakan pendekatan yang sangat lazim digunakan sebagai penerapan teknologi dalam berbagai penelitian karena kemampuannya yang secara otomatis dapat menganalisis pola-pola kompleks dalam data (LeCun, Bengio, & Hinton, 2015). Penerapan DL akan digunakan untuk meningkatkan kinerja deliniasi sinyal EKG. Meskipun demikian, untuk memperoleh *model* DL yang optimal, perlu dilakukan *hyperparameter tuning* pada *model* DL. Semakin banyak parameter yang dioptimalkan, maka semakin mahal pula biaya yang dibutuhkan.

*Hyperparameter tuning* merupakan proses penyesuaian parameter pada *model* DL untuk meningkatkan performanya dan menghasilkan *model* yang optimal. *Hyperparameter* memegang peranan kunci dalam menentukan sejauh mana *model* dapat menggeneralisasi pada data baru. Beberapa metode umum yang digunakan dalam *hyperparameter tuning* melibatkan *grid search*, *random search*, dan *Bayesian optimization*.

*Grid search* adalah metode yang sederhana dan sistematis, namun memakan waktu dan *resource* yang signifikan. Pendekatan ini menguji kombinasi parameter pada suatu *grid* yang telah ditentukan (Ghawi & Pfeffer, 2019). Meskipun mudah diimplementasikan dan dapat menemukan parameter terbaik, *grid search* kurang efisien terutama pada ruang pencarian parameter yang luas dan metode ini tidak memanfaatkan informasi hasil uji sebelumnya. *Random search* mengatasi kelemahan *grid search* dengan melakukan pencarian acak di seluruh ruang parameter (Bergstra & Bengio, 2012). *Random search* secara acak memilih kombinasi parameter untuk diuji. Metode ini memiliki kelebihan dalam kecepatan eksplorasi parameter terutama dalam ruang parameter yang besar, namun masih ada risiko melewatkan parameter yang optimal dan metode ini tidak memanfaatkan informasi hasil uji sebelumnya.



Untuk menangani permasalahan pada metode *grid search* dan *random search*, terdapat metode lain yaitu *bayesian optimization*. *Bayesian optimization* adalah suatu metode optimisasi yang digunakan untuk mencari nilai optimal dari suatu fungsi objektif yang mahal untuk dievaluasi. *Bayesian optimization* menggunakan model probabilistik untuk memodelkan fungsi objektif. Metode ini berfokus pada area pencarian yang paling menjanjikan dalam ruang parameter, secara iteratif membangun model probabilitas dari fungsi objektif, kemudian menggunakan model tersebut untuk memilih titik baru untuk diuji. *Bayesian optimization* memungkinkan pencarian parameter yang efisien dan lebih cepat dibandingkan dengan metode tuning konvensional, seperti *grid search* (Snoek, Larochelle, & Adams, 2012).

Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan pendekatan DL dengan metode *Bayesian Optimization* dalam delineasi *single-lead* sinyal EKG. Pendekatan penelitian ini menggabungkan DL dengan teknik pengolahan sinyal untuk mengembangkan *model* yang efektif dan akurat dalam delineasi sinyal EKG. Dengan adanya model yang dikembangkan melalui penerapan DL dan *Bayesian Optimization*, diharapkan dapat terjadi peningkatan akurasi dan efisiensi dalam delineasi sinyal EKG. Dengan demikian, penelitian ini memiliki potensi untuk memberikan kontribusi yang berarti dalam pengembangan bidang pengolahan sinyal EKG.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kinerja teknologi DL dalam melakukan delineasi *single-lead* sinyal EKG?
2. Bagaimana pengaruh *hyperparameter tuning* menggunakan metode *bayesian optimization* terhadap kinerja *model* delineasi *single-lead* sinyal EKG?

### I.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Mengevaluasi kinerja teknologi DL dalam melakukan delineasi *single-lead* sinyal EKG.
2. Menganalisis pengaruh *hyperparameter tuning* menggunakan *bayesian optimization* pada *model* delineasi *single-lead* sinyal EKG.

### I.4 Manfaat Penelitian

Penelitian yang dijalankan diharapkan memberi manfaat sebagai berikut:

1. Penelitian ini dapat membantu dalam mengembangkan model delineasi *single-lead* sinyal EKG yang lebih baik.
2. Penelitian ini dapat menjadi rujukan dalam penelitian lebih lanjut mengenai delineasi *single-lead* sinyal EKG menggunakan *deep learning* dan bayesian optimization.

### I.5 Batasan Masalah

Untuk mencegah penelitian ini terlalu meluas dan tidak terarah, peneliti membatasi lingkup masalah pada penelitian ini dengan rincian sebagai berikut:

1. Dataset yang digunakan pada penelitian ini adalah *Lobachevsky University Database* (LUDB).
2. Penelitian ini hanya berfokus pada delineasi *single-lead* yaitu *lead-II* pada sinyal EKG.

## **I.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini membahas secara rinci tentang latar belakang yang menjadi dasar pemilihan topik, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian yang menjelaskan kontribusi penelitian, batasan masalah, sistematika penulisan, dan kesimpulan yang memberikan gambaran menyeluruh tentang arah penelitian ini.

### **BAB II KAJIAN LITERATUR**

Bab ini membahas secara rinci mengenai landasan teori terkait topik penelitian sebagai landasan yang kokoh, penelitian-penelitian sebelumnya yang relevan dengan topik penelitian, dan kesimpulan yang merangkum inti dari landasan teori dan penelitian terdahulu.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini membahas secara rinci mengenai sumber data yang digunakan, tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian mulai dari pengambilan data hingga validasi performa *model*, metode pengembangan perangkat lunak, dan kesimpulan yang merangkum bagaimana penelitian akan dilakukan.

### **BAB IV PENGEMBANGAN PERANGKAT LUNAK**

Bab ini membahas secara rinci mengenai proses pengembangan perangkat lunak yang sudah direncanakan pada BAB III, dan melakukan pengujian pada perangkat lunak yang digunakan untuk penelitian.

### **BAB V HASIL DAN ANALISIS**

Bab ini membahas secara rinci mengenai hasil dan analisis kinerja DL dan *bayesian optimization* terhadap delineasi sinyal EKG.

## **BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini menarik kesimpulan berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan serta saran – saran yang dapat digunakan untuk mengembangkan penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adenowo, A. A., & Adenowo, B. A. (2013). Software engineering methodologies: a review of the waterfall model and object-oriented approach. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 427-434.
- Aqil, M., Jbari, A., & Bourouhou, A. (2017). ECG Signal Denoising by Discrete Wavelet Transform. *International journal of online engineering*. doi:10.3991/IJOE.V13I09.7159
- Bergstra, J., & Bengio, Y. (2012). Random search for hyper-parameter optimization. *Journal of machine learning research*, 13(2), 281-305.
- Bollmann, A., Kanuru, N., McTeague, K., Walter, P., DeLurgio, D., & Langberg, J. (1998). Frequency analysis of human atrial fibrillation using the surface electrocardiogram and its response to ibutilide. *The American journal of cardiology*, 81(12), 1439-1445. doi:10.1016/S0002-9149(98)00210-0
- Darmawahyuni, A., Nurmaini, S., Rachmatullah, M. N., Avi, P. P., Teguh, S. B., Sapitri, A. I., & Firdaus, F. (2023). Improved delineation model of a standard 12-lead electrocardiogram based on a deep learning algorithm. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 113, 139. doi:10.1186/s12911-023-02233-0
- De Luna, A. B., Batchvarov, V. N., & Malik, M. (2006). The morphology of the electrocardiogram. *The ESC Textbook of Cardiovascular Medicine Blackwell Publishing*.
- Donoho, D. L., & Johnstone, I. M. (1994). Ideal spatial adaptation by wavelet shrinkage. *biometrika*, 425-455. doi:10.1093/biomet/81.3.425
- Geselowitz, D. B. (1989). On the theory of the electrocardiogram. *Proceedings of the IEEE*, 77(6), 857-876. doi:10.1109/5.29327
- Ghawi, R., & Pfeffer, J. (2019). Efficient hyperparameter tuning with grid search for text categorization using kNN approach with BM25 similarity. *Open Computer Scienc*, 9(1), 160-180. doi:10.1515/comp-2019-0011

- Grandini, M., Bagli, E., & Visani, G. (2020). Metrics for multi-class classification: an overview. *arXiv preprint arXiv:2008.05756*. doi:10.48550/arXiv.2008.05756
- Gu, J., Wang, Z., Kuen, J., Ma, L., Shahroudy, A., Shuai, B., & Chen, T. (2018). Recent advances in convolutional neural networks. *Pattern Recognition*, 354-377. doi:10.1016/j.patcog.2017.10.013
- Janiesch, C., Zschech, P., & Heinrich, K. (2021). Machine learning and deep learning. *Electronic Markets*, 685-695. doi:10.1007/s12525-021-00475-2
- Jimenez-Perez, G., Alcaine, A., & Camara, O. (2021). Delineation of the electrocardiogram with a mixed-quality-annotations dataset using convolutional neural networks. *Scientific reports*, 863. doi:10.1038/s41598-020-79512-7
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *nature*, 521(7553), 436-444. doi:10.1038/nature14539
- Liang, X., Li, L., Liu, Y., Chen, D., Wang, X., Hu, S., & Liu, C. (2022). ECG\_SegNet: An ECG delineation model based on the encoder-decoder structure. *Computers in Biology and Medicine*, 105445. doi:10.1016/j.compbiomed.2022.105445
- Nurmaini, S., Darmawahyuni, A., Rachmatullah, M. N., Effendi, J., Sapitri, A. I., Firdaus, F., & Tutuko, B. (2021). Beat-to-beat electrocardiogram waveform classification based on a stacked convolutional and bidirectional long short-term memory. *IEEE Access*, 92600-92613. doi:10.1109/ACCESS.2021.3092631
- Peimankar, A., & Puthusserypady, S. (2021). DENS-ECG: A deep learning approach for ECG signal delineation. *Expert systems with applications*, 113911. doi:10.1016/j.eswa.2020.113911

Shahriari, B., Swersky, K., Wang, Z., Adams, R. P., & De Freitas, N. (2015). Taking the human out of the loop: A review of Bayesian optimization. *Proceedings of the IEEE*, 148-175. doi:10.1109/JPROC.2015.2494218

Siontis, K. C., Noseworthy, P. A., Attia, Z. I., & Friedman, P. A. (2021). Artificial intelligence-enhanced electrocardiography in cardiovascular disease management. *Nature Reviews Cardiology*, 18(7), 465-478. doi:10.1038/s41569-020-00503-2

Snoek, J., Larochelle, H., & Adams, R. P. (2012). Practical bayesian optimization of machine learning algorithms. *Advances in neural information processing systems*, 25.

Tsao, C. W., Aday, A. W., Almarzooq, Z. I., Anderson, C. A., Arora, P., & Avery, C. L. (2023). Heart disease and stroke statistics—2023 update: a report from the American Heart Association. *Circulation*, 8. doi:10.1161/CIR.0000000000001123