

**DETEKSI QRS COMPLEX
PADA SINYAL FETAL ELECTROCARDIOGRAM
MENGUNAKAN DEEP LEARNING**

TUGAS AKHIR

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



OLEH :

MUHAMMAD ARDIANSYAH

09011281924028

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

2023

LEMBAR PENGESAHAN

**DETEKSI *QRS* COMPLEX
PADA SINYAL FETAL ELECTROCARDIOGRAM
MENGUNAKAN DEEP LEARNING**

TUGAS AKHIR


Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer

**Program Studi Sistem Komputer
Jenjang S1**

Oleh

MUHAMMAD ARDIANSYAH

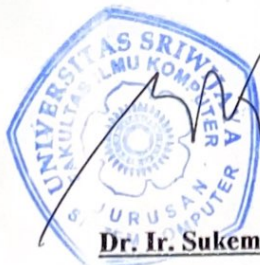
09011281924028

Indralaya,  Mei 2023

Mengetahui,

Ketua Jurusan Sistem Komputer

Pembimbing Tugas Akhir



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 : Kamis

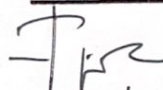
Tanggal : 25 MEI 2023

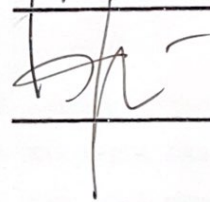
Tim Penguji :

1. Ketua : Dr. Ir. Bambang Tutuko, M.T.
2. Sekretaris : Aditya Putra Perdana Prasetyo,
S.Kom., M.T
3. Penguji : Dr. Firdaus, S.T., M.Kom.
4. Pembimbing : Prof. Ir. Siti Nurmaini, M.T., Ph.D.

 25/5/2023







Mengetahui, 27/5/23

Ketua Jurusan Sistem Komputer




Dr. Ir. Sukemi, M.T.

NIP. 196612032006041001

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Ardiansyah

NIM : 09011281924028

Judul : Deteksi QRS Complex Pada Sinyal Fetal Electrocardiogram
Menggunakan *Deep Learning*

Hasil Pengecekan *Software* Turnitin : 6%

Menyatakan bahwa laporan tugas akhir ini adalah hasil pekerjaan tangan penulis sendiri tanpa adanya penjiplakan pada karya orang lain atau plagiat. Jika ditemukan unsur-unsur penjiplakan dalam tugas akhir saya, maka saya siap menerima sanksi akademi dari Universitas Sriwijaya.



Palembang, Juni 2023



Muhammad Ardiansyah
NIM. 09011281924028

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Dengan Menyebut asma Allah yang maha pengasih lagi maha penyayang, Alhamdulillah atas berkah dan rahmat yang telah Ia limpahkan penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini yang berjudul **“Deteksi *QRS Complex* Pada Sinyal *Fetal Electrocardiogram* menggunakan *Deep Learning*”**.

Dalam pembuatan proposal ini penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih yang mendalam serta rasa syukur atas pertolongan yang telah diberikan. Di kesempatan ini penulis menyampaikan kepada :

1. Allah SWT, yang telah memberikan berkah dan rahmat-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan penulisan Proposal Tugas Akhir ini dengan baik dan lancar.
2. Orang tua yang telah melanturkan berjuta do'a serta motivasi untuk saya dan telah mendidik sedari kecil hingga saat ini.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. M.Said, M.Sc., selaku PLT 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. Siti Nurmaini, M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah meluangkan waktunya guna membimbing, memberikan saran dan motivasi serta bimbingan terbaik untuk penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Bapak Abdurahman S. KOM., M. HAN. selaku Dosen Pembimbing Akademik.
7. Ibu Annisa Darmawahyuni, M.Kom, selaku Asisten Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing dan memotivasi selama penyelesaian Tugas Akhir ini.
8. Mbak Renny selaku admin Jurusan Sistem Komputer yang telah membantu mengurus seluruh berkas.

9. Siti Luthfia Unigha selaku *support system* 24/7 dalam pengerjaan skripsi ini.
10. Mahasiswa ISysRg Batch 4 yang tidak saya lupakan, yang telah membantu dalam memberikan saran serta bantuan dalam penelitian ini.
11. Dan semua pihak yang telah membantu.

Dalam penyusunan laporan 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 tugas akhir ini dapat bermanfaat serta dapat memberikan pengetahuan dan wawasan bagi semua pihak yang membutuhkannya..

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Palembang, Juni 2023

Penulis,

Muhammad Ardiansyah

NIM. 090112811924028

Deteksi QRS Complex Pada Sinyal Fetal Electrocardiogram Menggunakan Deep Learning

Muhammad Ardiansyah (09011281924028)

Jurusan Sistem Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Sriwijaya

Email : Ardi412233@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengembangkan model deteksi dengan menggabungkan arsitektur *Convolutional Neural Networks* (CNN) dan *Recurrent Neural Network* (RNN) untuk mendeteksi gelombang sinyal QRS Complex pada dataset sinyal *fetal electrocardiogram*. Dalam penelitian ini, CNN digunakan untuk meng-ekstraksi fitur dan memproses sinyal, lalu fungsi dari penggunaan RNN adalah sebagai pendeteksi sinyal QRS Complex. Penelitian ini hanya mendeteksi dua kelas yaitu kelas “QRS-Complex” dan “Non-QRS”. Penerapan RNN di dalam penelitian ini, menggunakan arsitektur *Bidirectional Long Short-term Memory* (BiLSTM), dimana arsitektur ini merupakan pembaharuan dari arsitektur RNN. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model terbaik terdapat pada model kedua, dimana menghasilkan akurasi yang tinggi. Performa deteksi yang dihasilkan pada model kedua mendapatkan nilai akurasi sebesar 100% , dengan dilakukannya proses validasi menggunakan data unseen dengan menghasilkan akurasi sebesar 100%. Kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini adalah, penggunaan *Convolutional Neural Network* yang digabungkan dengan *Bidirectional Long Short-Term Memory* memiliki kecocokan dan dapat digunakan untuk melakukan deteksi terhadap gelombang sinyal QRS Complex pada dataset sinyal fetal EKG dengan akurat.

Keywords : *Detection, Fetal ECG, Bidirectional Long Short-Term Memory (BiLSTM), Signal Processing.*

***QRS-Complex Signal Detection in Fetal Electrocardiogram
Using Deep learning***

Muhammad Ardiansyah (09011281924028)

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

E-Mail : Ardi412233@gmail.com

ABSTRACT

This research aims to develop a detection model by combining Convolutional Neural Networks (CNN) and Recurrent Neural Network (RNN) architectures to detect QRS Complex signal waves in fetal electrocardiogram signal datasets. In this study, CNN is used to extract features and process the signals, while the function of RNN is to detect the QRS Complex signals. The research focuses on detecting two classes: "QRS-Complex" and "Non-QRS." The implementation of RNN in this study utilizes the Bidirectional Long Short-term Memory (BiLSTM) architecture, which is an improvement over traditional RNN architectures. The research findings indicate that the best model is found in the second model, which achieves high accuracy. The detection performance of the second model resulted in 100% accuracy, validated using unseen data. In conclusion, the combination of Convolutional Neural Network and Bidirectional Long Short-Term Memory shows compatibility and can be used for accurate detection of QRS Complex signal waves in fetal EKG signal datasets.

Keywords : *Detection, Fetal ECG, Bidirectional Long Short-Term Memory (BiLSTM), Signal Processing.*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	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	2
1.5. Sistematika Penulisan.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Penelitian Terdahulu.....	6
2.2. Elektrokardiogram	7
2.3. Transformasi Wavelet Diskrit	8
2.4. <i>Deep Learning</i>	9
2.5. <i>Recurrent Neural Network</i>	10
2.6. <i>Bidirectional Long-Short Term Memory(Bi-LSTM)</i>	10
2.7. Validasi Performa	11
2.8. Confussion Matrix	12
2.8.1. Akurasi	13
2.8.2. <i>Recall</i>	14
2.8.3. Spesifisitas.....	14
2.8.4. Presisi	14
2.8.5. <i>F1-Score</i>	14
2.9. Model Optimizers	15

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	16
3.1. Pendahuluan	16
3.2. Kerangka Kerja	16
3.3. Persiapan Data.....	17
3.4. Pra-pengolahan Data	18
3.4.1 Denoising (Pengurangan Derau)	20
3.4.2 Normalisasi (Normalize Bound)	21
3.4.3 Segmentasi.....	23
3.5. Pembagian Data Uji dan data latih	24
3.6. Ekstraksi Fitur Menggunakan CNN	24
3.7. Deteksi dengan BI-LSTM.....	25
3.8. Validasi Model.....	26
BAB IV HASIL DAN ANALISIS	27
4.1.Pendahuluan	27
4.2.Tuning Hyperparameter	27
4.2.1 Hasil pengujian BI-LSTM	28
4.2.2 Model 2	29
4.2.3 Model 3	32
4.2.4 Uji Coba Model 2 Tanpa Pengurangan Derau.....	33
4.2.5 Uji Coba Model 3 Tanpa Pengurangan Derau.....	34
4.3.Uji Data Unseen	35
4.4.Analisis.....	38
BAB V KESIMPULAN.....	40
DAFTAR PUSTAKA	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Morfologi sinyal <i>QRS Complex</i>	7
Gambar 2.2 Rangkaian Arsitektur <i>Bidirectional Long Short-Term Memory</i>	11
Gambar 2.3 Contoh Bentuk <i>Confussion Matrix</i>	13
Gambar 3.1. Rancangan Blok Diagram Penelitian.	17
Gambar 3.2 Plotting Sinyal Dari Dataset Fetal EKG.....	18
Gambar 3.3 Diagram Alir Pra-pengolahan dataset fetal EKG.....	20
Gambar 3.4 Plotting Sinyal Sebelum Dilakukan Normalisasi.....	22
Gambar 3.5 Plotting Sinyal Sesudah Dilakukan Normalisasi.....	22
Gambar 3.6. Hasil Segmentasi Beat pada Dataset Sinyal Fetal EKG.....	23
Gambar 3.7 Segmentasi Label QRS Complex.....	24
Gambar 4.1 Grafik <i>accuracy</i> dan <i>loss model</i> ke-1	28
Gambar 4.2 Heatmap <i>Confussion Matrix ConvBiLSTM</i>	29
Gambar 4.3 Grafik akurasi dan <i>loss model</i> 2.....	30
Gambar 4.4 <i>Confussion Matrix</i> hasil Model ke-2.....	31
Gambar 4.5 Grafik Akurasi dan <i>Loss Model</i> 3 (RMSprop).....	32
Gambar 4.6. <i>Confussion Matrix</i> hasil dari model ke-3	33
Gambar 4.7. Grafik akurasi dan <i>loss</i> pada model 2 tanpa pengurangan derau	34
Gambar 4.8. Grafik akurasi dan <i>loss model</i> ke-3 tanpa pengurangan derau.....	35
Gambar 4.9 Matriks konfusi data unseen model 2.....	36
Gambar 4.10 Hasil plotting <i>Ground Truth Uji Unssen Model</i> 2.....	36
Gambar 4.11 Matriks Konfusi Uji Unseen Model 3	37
Gambar 4.12 Hasil Plotting <i>GroundTruth Uji Unseen Model</i> 3	37

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Paparan Nilai Rata-rata SNR <i>DWT</i> Pada Dataset Sinyal EKG.....	21
Tabel 3.2 Arsitektur CNN 4 Layer	25
Tabel 4.1 Hasil performa model ke-1	28
Tabel 4.2 Tabel sebaran dataset	30
Tabel 4.3 Paparan Penilaian Model 2	30
Tabel 4.4 Hasil Penilaian Model 3	32

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Deteksi sinyal merupakan komponen penting dalam pengolahan sinyal EKG. Deteksi denyut jantung bertujuan untuk mengidentifikasi awal dan akhir dari setiap siklus detak jantung dalam sinyal EKG. Dengan mendeteksi denyut jantung, kita dapat mendapatkan informasi tentang laju jantung dan ritme jantung, yang berperan penting dalam pemantauan dan diagnosis [1]. Selain itu, deteksi detak jantung melibatkan identifikasi kelainan irama jantung pada sinyal EKG. Dengan mendeteksi adanya kelainan irama, seperti perubahan interval antara puncak R atau pola detak jantung yang tidak normal, kita dapat mengindikasikan keberadaan kondisi jantung yang serius dan memungkinkan intervensi medis yang tepat [2].

Salah satu metode yang digunakan dalam pemrosesan sinyal untuk melakukan deteksi pada sinyal EKG adalah deep learning. Deep learning merupakan pembelajaran komputer yang memiliki arsitektur seperti *Convolutional Neural Network (CNN)* dan *Recurrent Neural Network (RNN)* yang biasa digunakan untuk pemrosesan sinyal [3]. RNN, sebagai metode deep learning, dirancang khusus untuk deteksi dan prediksi data dalam urutan waktu. RNN dapat mempelajari tipe data time series karena kemampuannya dalam mengalirkan informasi dari satu langkah ke langkah berikutnya [4]. Meskipun demikian, RNN memiliki beberapa kekurangan, seperti exploding dan vanishing gradients. Kekurangan ini dapat diatasi dengan menggunakan metode Bidirectional Long-Short Term Memory (BI-LSTM) [5].

Dengan demikian, penelitian ini akan fokus pada deteksi gelombang QRS dalam sinyal EKG, dengan menggunakan metode deep learning seperti CNN dan RNN, serta memperbaiki kekurangan RNN dengan mengimplementasikan BI-LSTM. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat meningkatkan akurasi dan efektivitas dalam analisis sinyal EKG untuk diagnosis dan perawatan pasien.

1.2. Perumusan Masalah

Pada penelitian ini masih sedikit referensi terkait mengenai dataset *Fetal ECG*. Dimana pada kesempatan ini penulis ingin membuat sebuah algoritma untuk melakukan pendeteksian QRS kompleks dengan penerapan metode *Convolutional Recurrent Neural Network*. Penelitian ini akan melakukan percobaan menggunakan *Convolutional Neural Network* pada bagian ekstraksi fitur, kemudian pada bagian deteksi akan menggunakan *Bidirectional Long-Short Term Memory*.

1.3. Batasan Masalah

Berikut batasan masalah pada Tugas Akhir ini, yaitu :

1. Penelitian ini menggunakan data dari *Physionet.org, Challenge-2013 Fetal Electrocardiogram (ECG) Dataset*.
2. Deteksi sinyal EKG hanya dilakukan terhadap gelombang QRS Kompleks.
3. Penelitian ini merupakan simulasi program dengan menggunakan Bahasa pemrograman *Python*.

1.4. Tujuan

Tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Membangun algoritma untuk pendeteksian QRS kompleks terhadap dataset *Fetal Electrocardiogram* dengan penerapan metode *Convolutional Recurrent Neural Network*
2. Melakukan pengujian performa terhadap algoritma pendeteksian QRS kompleks.
3. Melakukan Uji Model Dengan Data unseen.

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab pertama ini, terdapat penjelasan secara sistematis tentang latar belakang tugas akhir yang akan dilakukan, tujuan penelitian, rumusan masalah, serta batasan masalah yang akan dihadapi selama penulisan tugas akhir. Selain itu, bab ini juga menjelaskan tentang sistematika penulisan tugas akhir yang akan diikuti.

Bagian latar belakang akan menjelaskan mengapa topik ini dipilih sebagai tugas akhir, serta memberikan konteks dan pemahaman tentang topik yang akan dibahas. Tujuan penelitian akan menjelaskan apa yang ingin dicapai melalui penelitian, dan rumusan masalah akan menjelaskan pertanyaan-pertanyaan yang akan dijawab dalam tugas akhir ini. Batasan masalah akan membatasi lingkup penelitian agar lebih fokus dan terarah, sedangkan sistematika penulisan akan memberikan panduan mengenai struktur dan isi dari tugas akhir yang akan dibuat.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab II berisi penjelasan mengenai teori-teori dasar yang menjadi landasan penelitian ini. Teori-teori tersebut meliputi literatur tentang sinyal elektrokardiogram, morfologi sinyal, transformasi wavelet diskrit, Bidirectional Long Short Term Memory, dan validasi performa.

Penjelasan mengenai sinyal elektrokardiogram akan membahas karakteristik dari sinyal tersebut, termasuk pola gelombang dan frekuensi yang terkandung dalam sinyal elektrokardiogram. Selain itu, bab ini juga akan membahas mengenai morfologi sinyal, yaitu mengenai analisis dari bentuk sinyal elektrokardiogram seperti durasi dan amplitudo, serta transformasi wavelet diskrit yang digunakan untuk memperoleh informasi lebih detail dari sinyal elektrokardiogram. Kemudian, akan dijelaskan pula mengenai Bidirectional Long Short Term Memory, yaitu jenis algoritma yang digunakan dalam machine learning untuk melakukan klasifikasi sinyal elektrokardiogram. Terakhir, teori validasi performa akan membahas mengenai metode-metode yang digunakan untuk mengukur dan mengevaluasi performa model yang dibuat dalam penelitian ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas tentang serangkaian proses dan kegiatan yang dilakukan dalam penelitian. Tahapan-tahapan tersebut dimulai dari persiapan data yang meliputi pengumpulan, pembersihan, dan pemilihan data yang akan digunakan dalam penelitian. Selanjutnya, dilakukan pengurangan noise atau Denoising untuk menghilangkan noise pada sinyal, normalisasi data untuk menyesuaikan range data, dan segmentasi beat sinyal untuk memisahkan setiap gelombang EKG. Setelah itu, dilakukan pembuatan label untuk mengidentifikasi setiap beat sinyal. Tahapan terakhir yaitu ekstraksi fitur dan deliniasi, di mana dilakukan analisis lebih lanjut terhadap setiap beat sinyal untuk mendapatkan informasi yang lebih detail dan akurat.

Semua tahapan yang dilakukan harus dilakukan secara berurutan dan sistematis untuk memastikan kualitas data yang digunakan dalam penelitian. Proses-proses ini sangat penting dan sangat menentukan keberhasilan dari penelitian, sehingga perlu dilakukan dengan seksama dan hati-hati. Dengan melakukan serangkaian proses dan kegiatan tersebut, diharapkan hasil penelitian dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

BAB IV HASIL DAN ANALISIS

Bab ini akan membahas hasil pengujian dari penelitian dan analisis terhadap hasil pengujian tersebut. Hasil pengujian tersebut mencakup seluruh tahapan yang telah dilakukan dalam penelitian, mulai dari persiapan data hingga ekstraksi fitur dan deliniasi. Setiap tahapan pengujian akan dijelaskan secara rinci, termasuk juga hasil yang diperoleh dari setiap tahapan tersebut.

Setelah dilakukan pengujian terhadap seluruh tahapan dalam penelitian, hasil yang diperoleh akan dianalisis secara mendalam dalam bab ini. Analisis tersebut akan mencakup perbandingan antara hasil yang diperoleh dengan hasil penelitian sebelumnya, dan juga penjelasan mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi

hasil pengujian tersebut. Dari analisis tersebut, dapat diambil kesimpulan yang berhubungan dengan keberhasilan penelitian, serta saran untuk pengembangan penelitian di masa yang akan datang.

BAB V KESIMPULAN

Bab ini akan menampilkan kesimpulan akhir yang dapat diambil dari analisis hasil penelitian. Setelah melakukan pengujian dan analisis secara menyeluruh, kesimpulan akan dihasilkan dengan mempertimbangkan semua fakta dan temuan yang diperoleh selama penelitian. Kesimpulan ini sangat penting karena dapat digunakan sebagai panduan untuk memperbaiki kualitas dan meningkatkan keefektifan penelitian di masa depan.

Selain itu, pada bab ini juga akan dibahas beberapa rekomendasi untuk penelitian selanjutnya. Rekomendasi ini dapat berupa saran atau saran praktis yang ditujukan kepada para peneliti yang akan melakukan penelitian di bidang yang sama atau terkait. Dengan rekomendasi ini, diharapkan dapat membantu para peneliti di masa depan dalam mengembangkan dan meningkatkan penelitian yang mereka lakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Surtono and G. A. Pauzi, “Deteksi Miokard Infark Jantung pada Rekaman Elektrokardiogram Menggunakan Elevasi Segmen ST,” *J. Teor. dan Apl. Fis.*, vol. 4, no. 1, pp. 119–124, 2016, [Online]. Available: <http://jurnal.fmipa.unila.ac.id>.
- [2] 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.
- [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, 2009, doi: 10.1007/978-3-540-89208-3_7.
- [4] A. Manuscript, “d M us A deep learning approach for fetal QRS complex,” 2018.
- [5] W. Zaremba, I. Sutskever, and O. Vinyals, “Recurrent Neural Network Regularization,” no. 2013, pp. 1–8, 2014, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1409.2329>.
- [6] J. S. Lee, M. Seo, S. W. Kim, and M. Choi, “Fetal QRS detection based on convolutional neural networks in noninvasive fetal electrocardiogram,” *2018 4th Int. Conf. Front. Signal Process. ICFSP 2018*, vol. 4, pp. 75–78, 2018, doi: 10.1109/ICFSP.2018.8552074.
- [7] U. G. M. Press, G. M. U. Press, and E. Maharani, *Elektrokardiografi Konsep Dasar dan Praktik Klinik*. UGM PRESS, 2018.
- [8] D. Putra, *Pengolahan Citra Digital*. Penerbit Andi.
- [9] W. Setiawan, *Deep Learning menggunakan Convolutional Neural Network: Teori dan Aplikasi*. Media Nusa Creative (MNC Publishing), 2021.
- [10] 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, Aug. 2020, doi: 10.1016/J.FUTURE.2020.02.068.

- [11] L. Medsker and L. C. Jain, *Recurrent Neural Networks: Design and Applications*. CRC Press, 1999.
- [12] *TEKNIK ENSEMBLE LEARNING UNTUK PENINGKATAN PERFORMA AKURASI MODEL PREDIKSI (SELEKSI MAHASISWA PENERIMA BEASISWA)*. Pascal Books, 2022.
- [13] S. Chivers *et al.*, “Measurement of the cardiac time intervals of the fetal ECG utilising a computerised algorithm: A retrospective observational study,” *JRSM Cardiovasc. Dis.*, vol. 11, p. 204800402210962, 2022, doi: 10.1177/20480040221096209.
- [14] 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.