

**KLASIFIKASI GELOMBANG PQRST PADA SINYAL
ELEKTROKARDIOGRAM MENGGUNAKAN
METODE *LONG SHORT-TERM MEMORY***

TUGAS AKHIR

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



OLEH :

TIARA ANNISA DINA

09011391722124

**JURUSAN SISTEM KOMPUTER
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2021**

HALAMAN PENGESAHAN

**KLASIFIKASI GELOMBANG PQRS PADA SINYAL
ELEKTROKARDIOGRAM MENGGUNAKAN METODE
LONG SHORT-TERM MEMORY**

TUGAS AKHIR

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

OLEH :

**TIARA ANNISA DINA
09011381722124**

Palembang, Juli 2021

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Sistem Komputer**



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

Pembimbing

A handwritten signature in black ink, likely belonging to the supervisor, Prof. Dr. Ir. Siti Nurmaini, M.T.

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

HALAMAN PERSETUJUAN

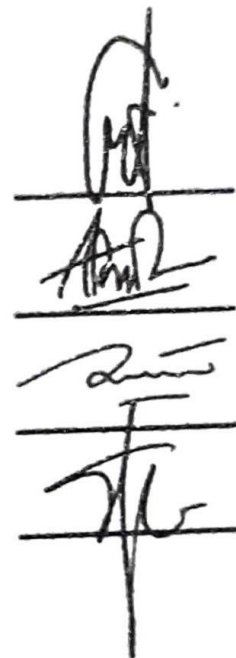
Telah diuji dan lulus pada :

Hari : Senin

Tanggal : 19 Juli 2021

Tim Penguji :

1. Ketua Sidang : Ahmad Zarkasi, M.T.
2. Sekretaris Sidang : Aditya Putra P Prasetyo, S.Kom., MT
3. Penguji Sidang : Rossi Passarella, S.T., M.Eng.
4. Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Siti Nurmaini, M.T.



Mengetahui,

Ketua Jurusan Sistem Komputer



12/8/21

Dr. Ir. H. Sukemi, M.T
Nip. 196612032006041001

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Tiara Annisa Dina

Nim : 09011381722124

Program Studi : Sistem Komputer

Judul Penelitian : Klasifikasi Gelombang PQRST pada Sinyal
Elektrokardiogram menggunakan Metode *Long
Short-Term Memory*

Hasil Pengecekan *Software iThenticate/ Turnitin* : 18%

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 sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya.

Demikin surat pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tidak dipaksakan.



Indralaya, Juli 2021



Tiara Annisa Dina
Nim. 09011381722124

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin. Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas segala karunia dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini dengan judul **“Klasifikasi Gelombang PQRST pada Sinyal Elektrokardiogram menggunakan Metode *Long Short-Term Memory*”**.

Dalam laporan ini penulis menjelaskan mengenai menjelaskan mengenai klasifikasi gelombang PQRST pada sinyal EKG dengan disertai data-data yang diperoleh penulis saat melakukan pengujian. Penulis berharap agar tulisan ini dapat bermanfaat bagi orang banyak dan menjadi bahan bacaan bagi yang tertarik untuk meneliti dalam bidang medis untuk diagnosa penyakit jantung.

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

1. Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga pelaksanaan kerja praktek dan penulisan proposal tugas akhir ini dapat berjalan dengan lancar.
2. Kedua orang tua beserta keluarga yang selalu mendoakan serta memberikan motivasi dan semangat.
3. Bapak Dr. Ir. Bambang Tutuko, M.T. selaku Pembimbing Akademik di Jurusan Sistem Komputer Universitas Sriwijaya.
4. Ibu Prof. Dr. Ir. Siti Nurmaini, M. T. selaku Pembimbing Tugas Akhir dan Pembimbing Akademik Jurusan Sistem Komputer.
5. Bapak Dr. Ir. Sukemi, M.T. selaku Ketua Jurusan Sistem Komputer Universitas Sriwijaya.
6. Mbak Nisa yang telah membantu dan memberikan saran dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Intelligent Systems Research Group (ISYSRG) yang telah memberikan fasilitas kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

8. Teman-teman dan kakak-kakak Intelligent Systems Research Group (ISYSRG) yang menjadi teman berdiskusi dalam tugas akhir penulis.
9. Teman- teman seperjuangan grup girls (Nanda, Virani, Ika, Vanissa, dan Fidyaa) yang telah menyemangati dan menghibur penulis.
10. Teman- teman seperjuangan Abdi, Jannes, Nadhya, Agung, Taufiq, Safiq, Ryan, dan Divo yang telah menyemangati dan banyak membantu penulis
11. Teman-teman Seperjuangan Sistem Komputer Angkatan 2017 serta pihak-pihak yang terlibat dalam membuat Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.
12. Mbak Sari selaku Admin Jurusan Sistem Komputer yang telah membantu penulis dalam hal-hal administrasi.
13. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang telah memberikan semangat serta do'a.
14. Almamater.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun agar lebih baik lagi dikemudian hari.

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

Palembang, Juli 2021

Penulis,

Classification of PQRST Waves on Electrocardiogram Signal using Long Short-Term Memory Method

Tiara Annisa Dina (09011381722124)

Departement of Computer Engineering, Faculty of Computer Science,
Universitas Sriwijaya

Email : tiaraanisa3@gmail.com

Abstract

Electrocardiogram (ECG) is the most commonly used non-invasive diagnostic tool to record the physiological activity of the heart over a period of time. Inside the ECG there is a QRS-complex signal, the P and T waves are the main characteristic waveforms in the ECG, representing the various activities of the heart. This study uses a dataset from the Lobachevsky University Database (LUDB). The Long Short-Term Memory method is used to solve the vanishing gradient problem. Then a comparison is made using the LSTM method to get the best model results. The results of the classification using the LSTM method showed good results in the case of 4 PQRST wave classes, namely the accuracy value of 97.53%, precision value of 93.44%, sensitivity value of 93.27%, specificity value of 98.45% and nial f1-score of 93.35%. Furthermore, the classification results in the case of 7 PQRST wave classes also got good results, namely the accuracy value of 99.18%, the precision value of 93.76%, the sensitivity value of 94.51%, the specificity value of 99.54%, and the F1 value score of 94.12%.

Keywords : *ECG Classification, PQRST Waves, Recurrent Neural Network, Long Short-Term Memory, Deep Learning*

Klasifikasi Gelombang PQRST pada Sinyal Elektrokardiogram menggunakan Metode *Long Short-Term Memory*

Tiara Annisa Dina (09011381722124)

Jurusan Sistem Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas
Sriwijaya

Email : tiaraanisa3@gmail.com

Abstract

Elektrokardiogram (EKG) merupakan alat diagnosis non-invasif yang paling umum digunakan untuk merekam aktivitas fisiologis jantung selama periode waktu tertentu. Didalam EKG terdapat sinyal QRS-complex, Gelombang P dan T merupakan bentuk gelombang karakteristik utama dalam EKG, merepresentasikan berbagai kegiatan jantung. Penelitian ini menggunakan dataset dari *Lobachevsky University Database* (LUDB). Metode *Long Short-Term Memory* digunakan untuk mengatasi masalah *vanishing gradient*. Kemudian dilakukan perbandingan menggunakan metode LSTM untuk mendapatkan hasil model yang terbaik. Hasil klasifikasi menggunakan metode LSTM tersebut menunjukkan hasil yang baik pada kasus 4 kelas gelombang PQRST yaitu nilai akurasi sebesar 97,53%, nilai presisi sebesar 93,44%, nilai sensitivitas sebesar 93,27%, nilai spesifisitas sebesar 98,45% serta nilai f1-score sebesar 93,35%. Selanjutnya hasil klasifikasi pada kasus 7 kelas gelombang PQRST juga mendapatkan hasil yang baik yaitu nilai akurasi sebesar 99,18%, nilai presisi sebesar 93,76%, nilai sensitivitas sebesar 94,51%, nilai spesifisitas sebesar 99,54%, dan nilai F1-score sebesar 94.12%.

Kata Kunci : Klasifikasi EKG, Gelombang PQRST, *Recurrent Neural Network*, *Long Short-Term Memory*, *Deep Learning*

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRACT	vii
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	2
1.3 Perumusan Masalah	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Metodologi Penelitian.....	3
1.5.1 Tahap Pertama (Persiapan Data).....	3
1.5.2 Tahap Kedua (Pra Pengolahan Data)	3
1.5.3. Tahap Ketiga (Klasifikasi).....	4
1.5.4 Tahap Keempat (Analisa dan Kesimpulan).....	4
1.6 Sistematika Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6

2.1	Elektrokardiogram (EKG)	6
2.2	Long-QT Syndrome	7
2.3	Transformasi <i>Wavelet</i>	7
2.3.1	Transformasi <i>Wavelet</i> Kontinyu.....	8
2.3.2	Transformasi <i>Wavelet</i> Diskrit	9
2.4	<i>Machine Learning</i>	10
2.4.1	<i>Supervised Learning</i>	10
2.4.2	<i>Unsupervised Learning</i>	10
2.4.3	<i>Reinforcement Learning</i>	10
2.5	<i>Deep Learning</i>	11
2.6	Jaringan Syaraf Tiruan	12
2.6.1	Tipe Fungsi Aktivasi	14
2.7	Recurent Neural Network	15
2.8	Long Short Term Memory	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		19
3.1	Kerangka Kerja	19
3.2	Persiapan Data	20
3.3	Pra Pengolahan Data	22
3.3.1	Pengurangan Derau atau <i>Denoising</i>	22
3.3.2	Normalisasi.....	24
3.3.3	Segmentasi	26
3.4	Pembagian Data Uji dan Latih.....	27
3.5	Klasifikasi Sinyal dengan Long Short -Term Memory.....	27
3.6	Validasi Performa Model.....	28
3.6.1	Akurasi	28
3.6.2	Sensitivitas.....	28

3.6.3	Spesifisitas.....	29
3.6.4	Presisi.....	29
3.6.5	F1 Score.....	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		30
4.1	Pendahuluan.....	30
4.2	Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model LSTM.....	30
4.2.1	Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 1 LSTM.....	31
4.2.2	Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 2 LSTM.....	34
4.2.3	Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 3 LSTM.....	37
4.2.4	Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 4 LSTM.....	40
4.2.5	Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 5 LSTM.....	43
4.2.6	Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 6 LSTM.....	46
4.2.7	Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 7 LSTM.....	49
4.2.8	Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 8 LSTM.....	52
4.2.9	Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 9 LSTM.....	55
4.2.10	Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 10 LSTM.....	58
4.3	Hasil Klasifikasi Sinyal 7 kelas dengan Model LSTM.....	61
4.3.1	Hasil Klasifikasi Sinyal 7 kelas dengan Model 1 LSTM	61
4.3.2	Hasil Klasifikasi Sinyal 7 kelas dengan Model 2 LSTM	66
4.3.3	Hasil Klasifikasi Sinyal 7 kelas dengan Model 3 LSTM	67
4.3.4	Hasil Klasifikasi Sinyal 7 kelas dengan Model 4 LSTM	70
4.3.5	Hasil Klasifikasi Sinyal 7 kelas dengan Model 5 LSTM	73
4.3.6	Hasil Klasifikasi Sinyal 7 kelas dengan Model 6 LSTM	76
4.3.7	Hasil Klasifikasi Sinyal 7 kelas dengan Model 7 LSTM	79
4.3.8	Hasil Klasifikasi Sinyal 7 kelas dengan Model 8 LSTM	82
4.4	Hasil Klasifikasi Sinyal 7 kelas dengan Model Bi-LSTM.....	85

4.4.1	Hasil Klasifikasi Sinyal 7 kelas dengan Model 1 Bi-LSTM	88
4.4.2	Hasil Klasifikasi Sinyal 7 kelas dengan Model 2 Bi-LSTM	89
4.4.3	Hasil Klasifikasi Sinyal 7 kelas dengan Model 3 Bi-LSTM	92
4.4.4	Hasil Klasifikasi Sinyal 7 kelas dengan Model 4 Bi-LSTM	95
4.5	Hasil Klasifikasi Sinyal 7 kelas dengan Model CNN-LSTM	98
4.5.1	Hasil Klasifikasi Sinyal 7 kelas dengan Model 1 CNN-LSTM	98
4.5.2	Hasil Klasifikasi Sinyal 7 kelas dengan Model 2 CNN-LSTM ..	101
4.5.3	Hasil Klasifikasi Sinyal 7 kelas dengan Model 3 CNN-LSTM ..	104
4.5.4	Hasil Klasifikasi Sinyal 7 kelas dengan Model 4 CNN-LSTM ..	107
4.6	Hasil Klasifikasi Sinyal 7 kelas dengan Model CNN Bi-LSTM	110
4.6.1	Hasil Klasifikasi Sinyal 7 kelas dengan Model 1 CNN Bi-LSTM....	111
4.6.2	Hasil Klasifikasi Sinyal 7 kelas dengan Model 2 CNN Bi-LSTM....	114
4.6.3	Hasil Klasifikasi Sinyal 7 kelas dengan Model 3 CNN Bi-LSTM....	117
4.6.4	Hasil Klasifikasi Sinyal 7 kelas dengan Model 4 CNN Bi-LSTM....	120
4.7	Perbandingan Hasil Keseluruhan Model Untuk 4 Kelas Gelombang...	123
4.8	Perbandingan Hasil Keseluruhan Model Untuk 7 Kelas Gelombang...	124
4.9	Hasil Delineasi Sinyal dengan Data QTDB Model CNN dan Bi-LSTM	125
4.10	Pengujian Model CNN dan Bi-LSTM dengan Data <i>Unseen</i> QTDB	129
4.11	Perbandingan Hasil Klasifikasi Model Terbaik Berdasarkan Metode..	132
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN... ..		133
5.1	Kesimpulan	133
5.2	Saran	134

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Gelombang EKG Normal.....	6
Gambar 2.2 12-lead EKG pada pasien LQTS	7
Gambar 2.3 Arsitektur Deep Learning	11
Gambar 2.4 Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan	12
Gambar 2.5 Neuron Jaringan Syaraf Tiruan	13
Gambar 2.6 Linear Function.	14
Gambar 2.7 Sigmoid and Tanh Fuction	14
Gambar 2.8 Grafik Fungsi Relu	15
Gambar 2.9 Arsitektur Recurent Neural Network	16
Gambar 2.10 Blok Memori LSTM dengan satu sel (Persegi Panjang).....	17
Gambar 2.11 Struktur bidirectional LSTM untuk forward (a) dan backward (b) pass.....	17
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian.....	20
Gambar 3.2 Diagram Alur Pra Pengolahan Data	22
Gambar 3.3 Sampel Hasil Segmentasi Sinyal EKG.....	26
Gambar 4.1 Plot Grafik Akurasi dan <i>Loss</i> Model 1 LSTM	31
Gambar 4.2 Plot Kurva ROC Model 1 LSTM	32
Gambar 4.3 Plot Kurva P-R Model 1 LSTM	33
Gambar 4.4 Sampel Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 1 LSTM	33
Gambar 4.5 Plot Grafik Akurasi dan <i>Loss</i> Model 2 LSTM	34
Gambar 4.6 Plot Kurva ROC Model 2 LSTM	35
Gambar 4.7 Plot Kurva P-R Model 2 LSTM	36
Gambar 4.8 Sampel Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 2 LSTM	36

Gambar 4.9 Plot Grafik Akurasi dan <i>Loss</i> Model 3 LSTM	37
Gambar 4.10 Plot Kurva ROC Model 3 LSTM	38
Gambar 4.11 Plot Kurva P-R Model 3 LSTM	39
Gambar 4.12 Sampel Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 3 LSTM	39
Gambar 4.13 Plot Grafik Akurasi dan <i>Loss</i> Model 4 LSTM	40
Gambar 4.14 Plot Kurva ROC Model 4 LSTM	41
Gambar 4.15 Plot Kurva P-R Model 4 LSTM	42
Gambar 4.16 Sampel Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 4 LSTM	42
Gambar 4.17 Plot Grafik Akurasi dan <i>Loss</i> Model 5 LSTM	43
Gambar 4.18 Plot Kurva ROC Model 5 LSTM	44
Gambar 4.19 Plot Kurva P-R Model 5 LSTM	45
Gambar 4.20 Sampel Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 5 LSTM	45
Gambar 4.21 Plot Grafik Akurasi dan <i>Loss</i> Model 6 LSTM	46
Gambar 4.22 Plot Kurva ROC Model 6 LSTM	47
Gambar 4.23 Plot Kurva P-R Model 6 LSTM	48
Gambar 4.24 Sampel Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 6 LSTM	48
Gambar 4.25 Plot Grafik Akurasi dan <i>Loss</i> Model 7 LSTM	49
Gambar 4.26 Plot Kurva ROC Model 7 LSTM	50
Gambar 4.27 Plot Kurva P-R Model 7 LSTM	51
Gambar 4.28 Sampel Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 7 LSTM	51
Gambar 4.29 Plot Grafik Akurasi dan <i>Loss</i> Model 8 LSTM	52
Gambar 4.30 Plot Kurva ROC Model 8 LSTM	53
Gambar 4.31 Plot Kurva P-R Model 8 LSTM	54
Gambar 4.32 Sampel Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 8 LSTM	54
Gambar 4.33 Plot Grafik Akurasi dan <i>Loss</i> Model 9 LSTM	55
Gambar 4.34 Plot Kurva ROC Model 9 LSTM	56

Gambar 4.35 Plot Kurva P-R Model 9 LSTM	57
Gambar 4.36 Sampel Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 9 LSTM	57
Gambar 4.37 Plot Grafik Akurasi dan <i>Loss</i> Model 10 LSTM	58
Gambar 4.38 Plot Kurva ROC Model 10 LSTM	59
Gambar 4.39 Kurva P_R Pada Data Pengujian Model 10 LSTM.....	60
Gambar 4.40 Sampel Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 10 LSTM	60
Gambar 4.41 Plot Grafik Akurasi dan <i>Loss</i> Model 1 LSTM	61
Gambar 4.42 Plot Kurva ROC Model 1 LSTM	63
Gambar 4.43 Plot Kurva P-R Model 1 LSTM	63
Gambar 4.44 Sampel Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 1 LSTM	64
Gambar 4.45 Plot Grafik Akurasi dan <i>Loss</i> Model 2 LSTM	64
Gambar 4.46 Plot Kurva ROC Model 2 LSTM	66
Gambar 4.47 Plot Kurva P-R Model 2 LSTM	66
Gambar 4.48 Sampel Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 2 LSTM	67
Gambar 4.49 Plot Grafik Akurasi dan <i>Loss</i> Model 3 LSTM	67
Gambar 4.50 Plot Kurva ROC Model 3 LSTM	69
Gambar 4.51 Plot Kurva P-R Model 3 LSTM	69
Gambar 4.52 Sampel Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 3 LSTM	70
Gambar 4.53 Plot Grafik Akurasi dan <i>Loss</i> Model 4 LSTM	70
Gambar 4.54 Plot Kurva ROC Model 4 LSTM	72
Gambar 4.55 Plot Kurva P-R Model 4 LSTM	72
Gambar 4.56 Sampel Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 4 LSTM	73
Gambar 4.57 Plot Grafik Akurasi dan <i>Loss</i> Model 5 LSTM	73
Gambar 4.58 Plot Kurva ROC Model 5 LSTM	75
Gambar 4.59 Plot Kurva P-R Model 5 LSTM	75
Gambar 4.60 Sampel Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 5 LSTM	76

Gambar 4.61 Plot Grafik Akurasi dan <i>Loss</i> Model 6 LSTM	76
Gambar 4.62 Plot Kurva ROC Model 6 LSTM	78
Gambar 4.63 Plot Kurva P-R Model 6 LSTM	78
Gambar 4.64 Sampel Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 6 LSTM	79
Gambar 4.65 Plot Grafik Akurasi dan <i>Loss</i> Model 7 LSTM	79
Gambar 4.66 Plot Kurva ROC Model 7 LSTM	81
Gambar 4.67 Plot Kurva P-R Model 7 LSTM	81
Gambar 4.68 Sampel Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 7 LSTM	82
Gambar 4.69 Plot Grafik Akurasi dan <i>Loss</i> Model 8 LSTM	82
Gambar 4.70 Plot Kurva ROC Model 8 LSTM	84
Gambar 4.71 Plot Kurva P-R Model 8 LSTM	84
Gambar 4.72 Sampel Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 8 LSTM	85
Gambar 4.73 Plot Grafik Akurasi dan <i>Loss</i> Model 1 Bi-LSTM	86
Gambar 4.74 Plot Kurva ROC Model 1 Bi-LSTM	87
Gambar 4.75 Plot Kurva P-R Model 1 Bi-LSTM	88
Gambar 4.76 Sampel Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 1 Bi-LSTM	88
Gambar 4.77 Plot Grafik Akurasi dan <i>Loss</i> Model 2 Bi-LSTM	89
Gambar 4.78 Plot Kurva ROC Model 2 Bi-LSTM	90
Gambar 4.79 Plot Kurva P-R Model 2 Bi-LSTM	91
Gambar 4.80 Sampel Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 2 Bi-LSTM	91
Gambar 4.81 Plot Grafik Akurasi dan <i>Loss</i> Model 3 Bi-LSTM	92
Gambar 4.82 Plot Kurva ROC Model 3 Bi-LSTM	93
Gambar 4.83 Plot Kurva P-R Model 3 Bi-LSTM	94
Gambar 4.84 Sampel Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 4 Bi-LSTM	94
Gambar 4.85 Plot Grafik Akurasi dan <i>Loss</i> Model 4 Bi-LSTM	95
Gambar 4.86 Plot Kurva ROC Model 4 Bi-LSTM	96

Gambar 4.87 Plot Kurva P-R Model 4 Bi-LSTM	97
Gambar 4.88 Sampel Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 4 Bi-LSTM	97
Gambar 4.89 Plot Grafik Akurasi dan <i>Loss</i> Model 1 CNN-LSTM	98
Gambar 4.90 Plot Kurva ROC Model 1 CNN-LSTM	100
Gambar 4.91 Plot Kurva P-R Model 1 CNN-LSTM	100
Gambar 4.92 Sampel Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 1 CNN-LSTM	101
Gambar 4.93 Plot Grafik Akurasi dan <i>Loss</i> Model 2 CNN-LSTM	101
Gambar 4.94 Plot Kurva ROC Model 2 CNN-LSTM	103
Gambar 4.95 Plot Kurva P-R Model 2 CNN-LSTM	103
Gambar 4.96 Sampel Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 2 CNN-LSTM	104
Gambar 4.97 Plot Grafik Akurasi dan <i>Loss</i> Model 3 CNN-LSTM	104
Gambar 4.98 Plot Kurva ROC Model 3 CNN-LSTM	106
Gambar 4.99 Plot Kurva P-R Model 3 CNN-LSTM	106
Gambar 4.100 Sampel Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 3 CNN-LSTM	107
Gambar 4.101 Plot Grafik Akurasi dan <i>Loss</i> Model 4 CNN-LSTM	107
Gambar 4.102 Plot Kurva ROC Model 4 CNN-LSTM	109
Gambar 4.103 Plot Kurva P-R Model 4 CNN-LSTM	109
Gambar 4.104 Sampel Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 4 CNN-LSTM	110
Gambar 4.105 Plot Grafik Akurasi dan <i>Loss</i> Model 1 CNN Bi-LSTM.....	111
Gambar 4.106 Plot Kurva ROC Model 1 CNN Bi-LSTM.....	112
Gambar 4.107 Plot Kurva P-R Model 1 CNN Bi-LSTM.....	113
Gambar 4.108 Sampel Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 1 CNN Bi-LSTM	113
Gambar 4.109 Plot Grafik Akurasi dan <i>Loss</i> Model 2 CNN Bi-LSTM.....	114
Gambar 4.110 Plot Kurva ROC Model 2 CNN Bi-LSTM.....	115

Gambar 4.111 Plot Kurva P-R Model 2 CNN Bi-LSTM.....	116
Gambar 4.112 Sampel Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 2 CNN Bi-LSTM	116
Gambar 4.113 Plot Grafik Akurasi dan <i>Loss</i> Model 3 CNN Bi-LSTM.....	117
Gambar 4.114 Plot Kurva ROC Model 3 CNN Bi-LSTM.....	118
Gambar 4.115 Plot Kurva P-R Model 3 CNN Bi-LSTM.....	119
Gambar 4.116 Sampel Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 3 CNN Bi-LSTM	119
Gambar 4.117 Plot Grafik Akurasi dan <i>Loss</i> Model 4 CNN Bi-LSTM.....	120
Gambar 4.118 Plot Kurva ROC Model 4 CNN Bi-LSTM.....	121
Gambar 4.119 Plot Kurva P-R Model 4 CNN Bi-LSTM.....	122
Gambar 4.120 Sampel Hasil Klasifikasi Sinyal dengan Model 4 CNN Bi-LSTM	122
Gambar 4.121 Plot Grafik Akurasi dan <i>Loss</i> Model CNN dan Bi-LSTM.....	125
Gambar 4.122 Kurva ROC Pada Data Pengujian Model CNN dan Bi-LSTM	127
Gambar 4.123 Kurva P-R Pada Data Pengujian Model CNN dan Bi-LSTM.	128
Gambar 4.125 Kurva ROC Pada Data Pengujian <i>Unseen</i> QTDB Model CNN Bi-LSTM.....	130
Gambar 4.126 Kurva P-R Pada Data Pengujian <i>Unseen</i> QTDB Model CNN Bi-LSTM.....	131

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Jumlah Rekaman Berdasarkan Jenis Detak Jantung	21
Tabel 3.2 Jumlah Rekaman Berdasarkan Posisi Sumbu Elektris Jantung	21
Tabel 3.3 Nilai SNR Setiap Fungsi <i>WAVELET</i>	23
Tabel 3.4 Perbandingan Sinyal Awal dengan Sintal Hasil TWD	24
Tabel 3.5 Perbandingan antara Sinyal Hasil TWD dan Normalisasi	25
Tabel 3.6 Parameter Umum Model LSTM	27
Tabel 3.7 <i>Confusion Matrix</i>	28
Tabel 4.1 Hasil Kombinasi Parameter LSTM Pada Klasifikasi Sinyal	30
Tabel 4.2 Matriks Konfusi Model 1 LSTM	31
Tabel 4.3 Evaluasi Performa Model 1 LSTM	32
Tabel 4.4 Matriks Konfusi Model 2 LSTM	34
Tabel 4.5 Evaluasi Performa Model 2 LSTM	35
Tabel 4.6 Matriks Konfusi Model 3 LSTM	37
Tabel 4.7 Evaluasi Performa Model 3 LSTM	38
Tabel 4.8 Matriks Konfusi Model 4 LSTM	40
Tabel 4.9 Evaluasi Performa Model 4 LSTM	41
Tabel 4.10 Matriks Konfusi Model 5 LSTM	43
Tabel 4.11 Evaluasi Performa Model 5 LSTM	44
Tabel 4.12 Matriks Konfusi Model 6 LSTM	45
Tabel 4.13 Evaluasi Performa Model 6 LSTM	47
Tabel 4.14 Matriks Konfusi Model 7 LSTM	49
Tabel 4.15 Evaluasi Performa Model 7 LSTM	50

Tabel 4.16 Matriks Konfusi Model 8 LSTM	52
Tabel 4.17 Evaluasi Performa Model 8 LSTM.....	53
Tabel 4.18 Matriks Konfusi Model 9 LSTM	55
Tabel 4.19 Evaluasi Performa Model 9 LSTM.....	56
Tabel 4.20 Matriks Konfusi Model 10 LSTM	58
Tabel 4.21 Evaluasi Performa Model 10 LSTM.....	59
Tabel 4.22 Hasil Kombinasi Parameter LSTM pada Klasifikasi Sinyal.....	61
Tabel 4.23 Matriks Konfusi Model 1 LSTM	62
Tabel 4.24 Evaluasi Performa Model 1 LSTM.....	62
Tabel 4.25 Matriks Konfusi Model 2 LSTM	65
Tabel 4.26 Evaluasi Performa Model 2 LSTM.....	65
Tabel 4.27 Matriks Konfusi Model 3 LSTM	68
Tabel 4.28 Evaluasi Performa Model 3 LSTM.....	68
Tabel 4.29 Matriks Konfusi Model 4 LSTM	71
Tabel 4.30 Evaluasi Performa Model 4 LSTM.....	71
Tabel 4.31 Matriks Konfusi Model 5 LSTM	74
Tabel 4.32 Evaluasi Performa Model 5 LSTM.....	74
Tabel 4.33 Matriks Konfusi Model 6 LSTM	77
Tabel 4.34 Evaluasi Performa Model 6 LSTM.....	77
Tabel 4.35 Matriks Konfusi Model 7 LSTM	80
Tabel 4.36 Evaluasi Performa Model 7 LSTM.....	80
Tabel 4.37 Matriks Konfusi Model 8 LSTM	83
Tabel 4.38 Evaluasi Performa Model 8 LSTM.....	83
Tabel 4.39 Hasil Kombinasi Parameter Bi-LSTM pada Klasifikasi Sinyal	85
Tabel 4.40 Matriks Konfusi Model 1 BiLSTM	86
Tabel 4.41 Evaluasi Performa Model 1 Bi-LSTM.....	87

Tabel 4.42 Matriks Konfusi Model 2 BiLSTM	89
Tabel 4.43 Evaluasi Performa Model 2 Bi-LSTM.....	90
Tabel 4.44 Matriks Konfusi Model 3 BiLSTM	92
Tabel 4.45 Evaluasi Performa Model 3 Bi-LSTM.....	93
Tabel 4.46 Matriks Konfusi Model 4 BiLSTM	95
Tabel 4.47 Evaluasi Performa Model 4 Bi-LSTM.....	96
Tabel 4.48 Hasil Kombinasi Parameter CNN-LSTM pada Klasifikasi Sinyal	98
Tabel 4.49 Matriks Konfusi Model 1CNN-LSTM	99
Tabel 4.50 Evaluasi Performa Model 1 CNN-LSTM.....	99
Tabel 4.51 Matriks Konfusi Model 2 CNN-LSTM	102
Tabel 4.52 Evaluasi Performa Model 2 CNN-LSTM	102
Tabel 4.53 Matriks Konfusi Model 3 CNN-LSTM	105
Tabel 4.54 Evaluasi Performa Model 3 CNN-LSTM	105
Tabel 4.55 Matriks Konfusi Model 4 CNN-LSTM	108
Tabel 4.56 Evaluasi Performa Model 4 CNN-LSTM.....	108
Tabel 4.57 Hasil Kombinasi Parameter CNN Bi-LSTM pada Klasifikasi Sinyal	110
Tabel 4.58 Matriks Konfusi Model 1 CNN Bi-LSTM.....	111
Tabel 4.59 Evaluasi Performa Model 1 CNN Bi-LSTM	112
Tabel 4.60 Matriks Konfusi Model 2 CNN Bi-LSTM.....	114
Tabel 4.61 Evaluasi Performa Model 2 CNN Bi-LSTM	115
Tabel 4.62 Matriks Konfusi Model 3 CNN Bi-LSTM.....	117
Tabel 4.63 Evaluasi Performa Model 3 CNN Bi-LSTM	118
Tabel 4.64 Matriks Konfusi Data Model 4 CNN Bi-LSTM	120
Tabel 4.65 Evaluasi Performa Data Model 4 CNN Bi-LSTM.....	121
Tabel 4.66 Perbandingan Semua Hasil Evaluasi Terhadap 4 Kelas Gelombang...	123

Tabel 4.67 Perbandingan Semua Hasil Evaluasi Terhadap 7 Kelas Gelombang...	124
Tabel 4.68 Matriks Konfusi Data Pelatihan QTDB Model CNN dan Bi-LSTM ..	126
Tabel 4.69 Matriks Konfusi Data Pengujian QTDB Model CNN dan Bi-LSTM .	126
Tabel 4.70 Evaluasi Performa Data Pelatihan QTDB Model CNN dan Bi-LSTM	127
Tabel 4.71 Evaluasi Performa Data Pengujian QTDB Model CNN dan Bi-LSTM	127
Tabel 4.72 Sampel Hasil Delineasi Sinyal QTDB Dengan Model CNN dan Bi-.. LSTM.....	128
Tabel 4.73 Matriks Konfusi Data <i>Unseen</i> QTDB Model CNN dan Bi-LSTM	129
Tabel 4.74 Evaluasi Performa Data <i>Unseen</i> QTDB Model CNN dan Bi-LSTM..	130
Tabel 4.75 Sampel Hasil Delineasi Sinya <i>Unseen</i> QTDB Model CNN dan Bi- ... LSTM.....	131
Tabel 4.76 Perbandingan Hasil Klasifikasi Model Terbaik Berdasarkan Metode.	132

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Elektrokardiogram (EKG) merupakan alat diagnosis non-invasif yang paling umum digunakan untuk merekam aktivitas fisiologis jantung selama periode waktu tertentu. EKG dapat membantu mendiagnosis banyak kelainan kardiovaskular seperti *Premature Contractions Of Atria* (PAC) atau *Ventricles* (PVC), *Atrial fibrillation* (AF), *Myocardial Infarction* (MI), dan *Congestive Heart Failure* (CHF). Area medis seperti Holter [1], serta perangkat yang dapat dikenakan pada area perawatan kesehatan seperti *Apple Watch*. Konsekuensinya, jumlah data EKG tumbuh dengan cepat sehingga tidak ada yang mampu menyelesaikannya. Sehingga bagaimana cara menganalisis data EKG secara otomatis dan akurat telah menjadi topik penelitian panas selama bertahun-tahun.[2]

Didalam EKG terdapat sinyal QRS-complex, Gelombang P dan T merupakan bentuk gelombang karakteristik utama dalam EKG, merepresentasikan berbagai kegiatan jantung. Misalnya, ritme jantung sehat yang normal dapat diidentifikasi oleh penentuan khusus dari berbagai bentuk gelombang: gelombang P, QRS-complex dan gelombang T, muncul pada interval waktu yang ditentukan dan teratur.[3] QT complex tidak sekedar dianggap sebagai ruang fitur domain waktu sedangkan penjumlahan kumulatif antara gelombang QRS, ST, dan T dilakukan dan fitur domain frekuensi-waktu dari kelas yang berbeda ditempatkan di ruang kapasitas fitur untuk klasifikasi.[4]

Beberapa algoritma *machine learning* telah berhasil digunakan untuk mengklasifikasikan aritmia yang berbeda berdasarkan fitur yang diekstraksi dari sinyal EKG. Sebuah studi oleh Asl et al [5] mengusulkan algoritma yang mencakup analisis diskriminan umum untuk pengurangan fitur dalam kombinasi dengan dukungan *support vector machine classifier* untuk membedakan berbagai jenis aritmia jantung, termasuk *Normal Sinus Rhythm*, *Premature Ventricular*

Contraction, AFib, Sick Sinus Syndrome, Ventricular Fibrillation dan *Heart Block* mencapai akurasi hingga 99%. Fitur yang diekstraksi untuk membangun model didasarkan pada interval RR, yang biasanya digunakan dalam analisis variabilitas detak jantung. Özçift [6] telah menerapkan *Random Forests Ensemble Classifier* untuk memprediksi tiga kelas aritmia dengan akurasi 90%.

Dari beberapa penelitian tersebut memiliki kekurangan yaitu tidak semua data digunakan dan belum mencapai proses secara maksimal. Selain itu, terdapat metode lain yang bisa digunakan seperti metode *deep learning*, *Dual Tree Complex Wavelet Transform* (DTCWT), Fuzzy C-Mean, K-Means, dan sebagainya. Data sinyal EKG bersifat sekuensial serta berukuran besar dan memiliki kompleksitas yang tinggi maka diperlukan sebuah metode baru yang mampu menganalisis sinyal EKG secara otomatis untuk mengklasifikasi terhadap detak jantung.

Metode *deep learning* menjadi pilihan yang bisa digunakan untuk mengklasifikasi terhadap detak jantung dengan baik. Keunggulan metode *deep learning* adalah dapat memproses data yang ukurannya lebih besar dan memiliki kompleksitas yang tinggi. Beberapa jenis *deep learning* yaitu , Deep Neural Network(DNN), Convolutional Neural Network(CNN), dan Recurrent Neural Network(RNN). Untuk jenis data yang bersifat sekuensial maka dapat digunakan metode RNN. Adapun untuk mengatasi masalah *vanishing gradient* pada RNN maka dapat digunakan metode Long Short Term Memory (LSTM). Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian dalam mengklasifikasi sinyal EKG menggunakan metode LSTM untuk menyelesaikan masalah penelitian sebelumnya.

1.2. Tujuan

Adapun tujuan dilakukannya penelitian tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Merancang suatu sistem klasifikasi morfologi sinyal EKG lead ke-2 berdasarkan gelombang PQRS.
2. Menguji dan menganalisa hasil klasifikasi morfologi sinyal EKG setelah diproses menggunakan metode LSTM.
3. Menguji hasil klasifikasi morfologi sinyal EKG dengan melakukan perbandingan dengan berbagai metode LSTM lainnya.

1.3. Perumusan Masalah

Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, sinyal EKG dapat diklasifikasi dalam berbagai kelas dan didapatkan hasil berupa akurasi menggunakan berbagai metode. Maka perumusan masalah pada penelitian ini yaitu bagaimana cara mengimplementasikan morfologi sinyal EKG berdasarkan gelombang PQRST dengan menggunakan LSTM sebagai metode. Penelitian ini hanya sebatas mengklasifikasi dan mendapatkan hasil uji dan analisa yang lebih baik dari metode penelitian sebelumnya.

1.4. Batasan Masalah

Berikut batasan masalah pada Tugas Akhir ini, yaitu :

1. Penelitian ini menggunakan data dari *Lobachevsky University Database* (LUDB).
2. Meningkatkan kinerja klasifikasi dari penelitian sebelumnya menggunakan metode LSTM.

1.5 Metodologi Penelitian

Dalam proses pengerjaan tugas akhir ini terdiri dari beberapa tahap yang terusun dalam suatu metodologi penelitian. Tahap-tahap penelitian dapat dilihat sebagai berikut :

1.5.1 Tahap Pertama (Persiapan Data)

Untuk tahap pertama, penelitian dimulai dengan proses memahami data serta dianalisis guna mengetahui apakah sudah sesuai dengan topik penelitian atau belum.

1.5.2 Tahap Kedua (Pra Pengolahan Data)

Tahapan selanjutnya, proses penelitian ini dilakukan pra pengolahan data. Dimana proses pra pengolahan data merupakan suatu proses menghilangkan suatu *noise* yang terdapat dalam data sinyal menggunakan bantuan metode transformasi *wavelet* diskrit, proses normalisasi, serta proses segmentasi sinyal.

1.5.3 Tahap Ketiga (Klasifikasi)

Untuk tahap ketiga, proses penelitian dilanjutkan dengan melakukan klasifikasi berdasarkan gelombang PQRS pada sinyal elektrokardiogram dengan menggunakan metode *Recurrent Neural Networks* arsitektur LSTM.

1.5.4 Tahap Keempat (Analisa dan Kesimpulan)

Tahapan terakhir dari proses penelitian ini ditutup dengan melakukan analisa performa setiap data model LSTM berdasarkan parameter yang telah ditetapkan sebelumnya. Keluaran dari tahapan ini berupa kesimpulan yang akan dimasukkan pada bab terakhir.

1.6 Sistematika Penelitian

Dalam proses pengerjaan tugas akhir ini, penulis membuat suatu sistematika penulisan yang berguna untuk mempermudah proses penulisan. Berikut sistematika penulisan dapat dilihat sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab I ini berisikan mengenai latar belakang penelitian, tujuan dilakukan penelitian, perumusan serta batasan masalah penelitian, metode yang digunakan dalam penelitian, dan sistematika penulisan dari penelitian yang dilakukan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab II ini berisikan mengenai penjelasan landasan pustaka penelitian, konsep serta prinsip yang menjadi dasar dalam memecahkan masalah suatu penelitian. Landasan pustaka penelitian ini terdiri dari beberapa literatur mengenai sinyal EKG, gelombang EKG, transformasi *wavelet* diskrit, LSTM diikuti validasi *performance*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab III ini berisikan mengenai metodologi penelitian yang akan dijelaskan secara detail. Dimana metodologi penelitian ini dimulai dari tahapan persiapan data, tahapan pengurangan derau

pada sinyal ECG, tahapan normalisasi, tahapan segmentasi, dan tahapan klasifikasi.

BAB IV HASIL DAN ANALISIS

Dalam bab IV ini berisi mengenai penjelasan beberapa hasil dari proses pengujian disertai analisis beberapa parameter. Analisis penelitian ini berisikan kelebihan serta kekurangan dari hasil pengujian.

BAB V KESIMPULAN

Untuk bab terakhir dari penelitian ini berisi mengenai beberapa kesimpulan yang didapatkan dari hasil penelitian yang dilakukan. Dalam bab ini juga disertai beberapa saran untuk penelitian yang akan dilakukan selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Nikolic, R. L. Bishop, and J. B. Singh, "Sudden death recorded during Holter monitoring.," *Circulation*, vol. 66, no. 1, pp. 218–225, 1982.
- [2] S. Hong, Y. Zhou, J. Shang, C. Xiao, and J. Sun, "Opportunities and Challenges in Deep Learning Methods on Electrocardiogram Data: A Systematic Review," no. December, pp. 1–12, 2019.
- [3] P. Sodmann, M. Vollmer, and N. Nath, "d M us A Convolutional Neural Network for ECG," *Inst. Phys. Enginerring Med.*, 2018.
- [4] A. K. Bhoi, K. S. Sherpa, and B. Khandelwal, "Arrhythmia and ischemia classification and clustering using QRS-ST-T (QT) analysis of electrocardiogram," *Cluster Comput.*, vol. 21, no. 1, pp. 1033–1044, 2017.
- [5] B. M. Asl, S. K. Setarehdan, and M. Mohebbi, "Support vector machine-based arrhythmia classification using reduced features of heart rate variability signal," *Artif. Intell. Med.*, vol. 44, no. 1, pp. 51–64, 2008.
- [6] A. Özçift, "Random forests ensemble classifier trained with data resampling strategy to improve cardiac arrhythmia diagnosis," *Comput. Biol. Med.*, vol. 41, no. 5, pp. 265–271, 2011.
- [7] J. S. Walker, *A primer on wavelets and their scientific applications*. CRC press, 2008.
- [8] W. J. Tompkins, "Biomedical Digital signal processing,|| Prentice Hall," *New Jersey-1993*, 1993.
- [9] Y. Nakano and W. Shimizu, "Genetics of long-QT syndrome," *J. Hum. Genet.*, vol. 61, no. 1, pp. 51–55, 2016.
- [10] Q. Pan, D. Zhang, G. Dai, and H. Zhang, "Two denoising methods by wavelet transform," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 47, no. 12, pp. 3401–3406, 1999.
- [11] Y. Xu, J. B. Weaver, D. M. Healy, and J. Lu, "Wavelet Transform Domain Filters: A Spatially Selective Noise Filtration Technique," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 3, no. 6, pp. 747–758, 1994.

- [12] Y. Liao, X. Zeng, and W. Li, "Wavelet transform based convolutional neural network for gearbox fault classification," *2017 Progn. Syst. Heal. Manag. Conf. PHM-Harbin 2017 - Proc.*, no. 51475170, 2017.
- [13] Y. Yoo and J. G. Baek, "A novel image feature for the remaining useful lifetime prediction of bearings based on continuous wavelet transform and convolutional neural network," *Appl. Sci.*, vol. 8, no. 7, 2018.
- [14] I. Daubechies, *Ten lectures on wavelets*. SIAM, 1992.
- [15] M. Kociolek, A. Materka, M. Strzelecki, and P. Szczypinski, "Discrete Wavelet Transform – Derived Features for Digital Image Texture Analysis," *Int. Conf. Signals Electron. Syst.*, no. September, pp. 163–168, 2001.
- [16] M. N. Ali, E. S. A. El-Dahshan, and A. H. Yahia, "Denoising of Heart Sound Signals Using Discrete Wavelet Transform," *Circuits, Syst. Signal Process.*, vol. 36, no. 11, pp. 4482–4497, 2017.
- [17] W. Decompositions, M. P. Fargues, and R. D. Hippenstiel, "Monterey , California ro CLASSIFICATION OF UNDERWATER SIGNALS," 1998.
- [18] A. Mehryar Mohri, "Foundations of machine learning." Cambridge: The MIT Press, 2012.
- [19] I. Goodfellow, Y. Bengio, and A. Courville, *Deep learning*. MIT press, 2016.
- [20] A. Hermawan, "Jaringan Saraf Tiruan Teori dan Aplikasi," *Andi, Yogyakarta*, 2006.
- [21] N. I. Widiastuti, "Deep Learning--Now and Next in Text Mining and Natural Language Processing," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, vol. 407, no. 1, p. 12114.
- [22] T. Katte, "Recurrent Neural Network and its Various Architecture Types," *Int. J. Res. Sci. Innov.*, vol. 5, pp. 124–129.
- [23] F. A. Gers, N. N. Schraudolph, and J. Schmidhuber, "Learning precise timing with LSTM recurrent networks," *J. Mach. Learn. Res.*, vol. 3, no. 1, pp. 115–143, 2003.
- [24] M. Liu and Y. Kim, "Classification of Heart Diseases Based on ECG Signals Using Long Short-Term Memory," *Proc. Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. EMBS*, vol. 2018-July, pp. 2707–2710, 2018.
- [25] S. Hochreiter, "Long Short-Term Memory," vol. 1780, pp. 1735–1780, 1997.

- [26] S. Nurmaini *et al.*, “Electrocardiogram signal classification for automated delineation using bidirectional long short-term memory,” *Informatics Med. Unlocked*, vol. 22, p. 100507, 2021.
- [27] H. M. Lynn, S. B. Pan, and P. Kim, “A deep bidirectional GRU network model for biometric electrocardiogram classification based on recurrent neural networks,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 145395–145405, 2019.
- [28] Z. Cui, R. Ke, Z. Pu, and Y. Wang, “Stacked Bidirectional and Unidirectional LSTM Recurrent Neural Network for Forecasting Network-wide Traffic State with Missing Values,” *arXiv Prepr. arXiv2005.11627*, 2020.
- [29] J. EFFENDI and S. Nurmaini, “OTOMATISASI DELINEASI SINYAL ELEKTROKARDIOGRAM MENGGUNAKAN METODE LONG SHORT-TERM MEMORY BERBASIS EKSTRAKSI FITUR CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK 1-DIMENSI,” Sriwijaya University, 2021.