



**ANALISIS KOMPARATIF ARSITEKTUR CNN 1D UNTUK
KLASIFIKASI ARITMIA ECG *INTER-PATIENT*: STUDI
SYSTEMATIC TENTANG *DEPTH, KERNEL SIZE***

**TUGAS AKHIR
SKRIPSI**



WILLIAM YOHANES HUTUBESSY

41522110001

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA
2026**



**ANALISIS KOMPARATIF ARSITEKTUR CNN 1D UNTUK
KLASIFIKASI ARITMIA ECG *INTER-PATIENT*: STUDI
SYSTEMATIC TENTANG *DEPTH*, *KERNEL SIZE***

**TUGAS AKHIR
SKRIPSI**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana

**WILLIAM YOHANES HUTUBESSY
41522110001**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA
2026**

HALAMAN PERNYATAAN KARYA SENDIRI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : William Yohanes Hutubessy

NIM : 41522110001

Fakultas/Program Studi : Fakultas Ilmu Komputer / Teknik Informatika

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa Tugas Akhir berjudul:

“Analisis Komparatif Arsitektur CNN 1D untuk Klasifikasi Aritmia ECG *Inter-patient*: Studi Systematic Tentang *Depth* , *Kernel size*” adalah hasil karya saya sendiri, tidak mengandung unsur plagiarisme, pelanggaran hak cipta, atau konten ilegal dalam bentuk apapun dan tidak melanggar hukum atau hak pihak manapun.

Apabila di kemudian hari ditemukan pelanggaran terhadap pernyataan ini, saya bersedia menanggung seluruh konsekuensi hukum dan membebaskan Universitas Mercu Buana dari segala bentuk tuntutan hukum dan saya siap mendapatkan sanksi akademis yang berlaku di Universitas Mercu Buana.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 18 Agustus 2026



William Yohanes Hutubessy

PERNYATAAN SIMILARITY CHECK
/SIMILARITY CHECK STATEMENT

Saya yang bertanda tangan dibawah ini menyatakan, bahwa karya ilmiah yang ditulis oleh
/The undersigned, hereby declare that the scientific work written by

Nama /Name : William Yohanes Hutubessy
NIM /Student ID Number : 41522110001
Program Studi /Study Program : Teknik Informatika

Dengan Judul Tugas Akhir

/The title:

“ANALISIS KOMPARATIF ARSITEKTUR CNN 1D UNTUK KLASIFIKASI ARITMIA ECG INTER-PATIENT: STUDI SYSTEMATIC TENTANG DEPTH, KERNEL SIZE”

telah dilakukan pengecekan *similarity* dengan sistem Turnitin pada tanggal:

/Similarity checks have been carried out with the Turnitin system on the date:

22 Juli 2026

dengan nilai persentase sebesar :

/with a percentage value of:

5%

dinyatakan memenuhi standar sesuai dengan ketentuan berlaku di **Fakultas Ilmu Komputer** Universitas Mercu Buana. */declared to meet standards in accordance with applicable regulations at the Faculty of Computer Science, Universitas Mercu Buana.*

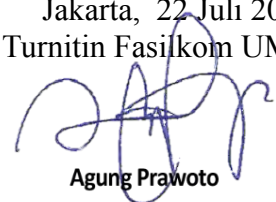
File hasil cek similarity turnitin:

/Turnitin similarity report file

https://drive.google.com/file/d/1wB-vuyHwYYfw0meycuoctoyQPr4cizQ7/view?usp=drive_link



Jakarta, 22 Juli 2026
Admin Turnitin Fasilkom UMB



Agung Prawoto, S.Kom., B.Sc
NIK : 322970503

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : William Yohanes Hutubessy
NIM : 41522110001
Fakultas/Program Studi : Fakultas Ilmu Komputer / Teknik Informatika
Judul Tugas Akhir : Analisis Komparatif Arsitektur CNN 1D untuk
Klasifikasi Aritmia ECG *Inter-patient*: Studi
Systematic tentang *Depth, Kernel size*

Telah berhasil dipertahankan pada sidang tanggal 18 Agustus 2026 dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer Universitas Mercu Buana.

Disahkan oleh:

Pembimbing

Umniy Salamah, S.T., MMSI.
NIDN/NUPTK: 0306098104

Jakarta, 18 Agustus 2026

Mengetahui,

Dekan Fakultas Ilmu Komputer

Ketua Program Studi
Teknik Informatika



Dr. Bambang Jokonowo, S.Si., MTI
NIDN/NUPTK: 0320037002



Dr. Hadi Santoso, S.Kom., M.Kom
NIDN/NUPTK: 0225067701

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulisan Tugas Akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Informatika pada Fakultas Ilmu Komputer Universitas Mercu Buana. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan Tugas Akhir ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Andi Adriansyah, M.Eng. selaku Rektor Universitas Mercu Buana.
2. Bapak Dr. Bambang Jokonowo, S.Si., MTI selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer.
3. Bapak Dr. Hadi Santoso, S.Kom., M.Kom. selaku Ketua Program Studi Teknik Informatika Universitas Mercu Buana.
4. Ibu Umniy Salamah, S.T. MMSI. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan pengarahan, motivasi, menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran sehingga selama pembuatan tugas akhir ini terjadwal dengan baik.
5. Kedua Orang Tua saya yang selalu mendukung saya selama menjalani masa studi sebagai mahasiswa Universitas Mercu Buana.
6. Serta seseorang dengan nim 41822110006 yang selalu hadir memberikan semangat, dukungan, doa dan motivasi dalam setiap proses penyusunan skripsi ini. Terima kasih telah menjadi tempat berbagi cerita, memberikan kekuatan disaat lelah, dan menemani perjalanan panjang hingga skripsi ini dapat terselesaikan

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Tugas Akhir ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Jakarta, 18 Agustus 2026

William Yohanes Hutubessy

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR DI REPOSITORI UMB

Sebagai sivitas akademik Universitas Mercu Buana, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : William Yohanes Hutubessy
NIM : 41522110001
Fakultas/Program Studi : Fakultas Ilmu Komputer / Teknik Informatika
Judul Laporan Skripsi : Analisis Komparatif Arsitektur CNN 1D untuk Klasifikasi Aritmia ECG *Inter-patient*: Studi Systematic tentang *Depth*, *Kernel size*

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, dengan ini memberikan izin dan menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Mercu Buana **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul di atas beserta perangkat yang ada (jika diperlukan).

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Universitas Mercu Buana berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan Tugas Akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 18 Agustus 2026
Yang menyatakan,



William Yohanes Hutubessy

**ANALISIS KOMPARATIF ARSITEKTUR CNN 1D UNTUK
KLASIFIKASI ARITMIA ECG *INTER-PATIENT*: STUDI SYSTEMATIC
TENTANG *DEPTH*, *KERNEL SIZE***

WILLIAM YOHANES HUTUBESSY

ABSTRAK

Penyakit kardiovaskular merupakan penyebab kematian tertinggi secara global, dan aritmia menjadi salah satu manifestasinya yang dapat mengancam nyawa. Elektrokardiogram (ECG) menjadi standar deteksi dini aritmia, namun interpretasi manualnya memerlukan keahlian kardiologis. *Convolutional* Neural Network (CNN) 1D banyak digunakan untuk mengotomatisasi klasifikasi aritmia, tetapi sebagian besar penelitian masih memakai evaluasi *intra-patient* yang menghasilkan metrik tidak realistis karena model menghafal pola spesifik pasien. Penelitian ini melakukan analisis komparatif sistematis terhadap delapan varian arsitektur CNN 1D murni pada paradigma *inter-patient* menggunakan MIT-BIH Arrhythmia Database dengan protokol DS1/DS2, mencakup variasi *depth* (3, 5, 7, 9 layer), *kernel size* (3, 5, 7, 9), dan arsitektur *multi-scale*. Varian *VeryDeep* (9 layer, *kernel size* 5) mencapai performa terbaik dengan *accuracy* 87,97%, *F1-weighted* 88,54%, *F1-macro* 49,18%, dan *F1-score* kelas Fusion 20,56%, mendekati *baseline inter-patient* pada kelas tersulit tersebut namun dengan arsitektur yang jauh lebih sederhana. Penambahan *depth* terbukti paling menentukan, terutama bagi kelas minoritas Fusion, sedangkan *kernel size* optimal berada pada rentang K=5 hingga K=7 dan arsitektur *multi-scale* tidak mengungguli *single-scale* terbaik. Uji McNemar dengan koreksi Bonferroni mengonfirmasi keunggulan arsitektur 9 layer signifikan secara statistik. Kontribusi utama penelitian ini adalah menyediakan panduan berbasis bukti mengenai pengaruh *depth* dan *kernel size* pada klasifikasi aritmia *inter-patient*, sekaligus menunjukkan bahwa pemilihan kedalaman arsitektur yang tepat mampu mengatasi tantangan kelas minoritas tanpa menambah kompleksitas arsitektural.

Kata kunci: Klasifikasi Aritmia, CNN 1D, *Inter-patient*, ECG, *Deep learning*.

COMPARATIVE ANALYSIS OF 1D CNN ARCHITECTURES FOR INTER-PATIENT ECG ARRHYTHMIA CLASSIFICATION: A SYSTEMATIC STUDY ON DEPTH AND KERNEL SIZE

WILLIAM YOHANES HUTUBESSY

ABSTRACT

Cardiovascular disease is the leading cause of death globally, and arrhythmia is one of its potentially life-threatening manifestations. The electrocardiogram (ECG) is the standard tool for early arrhythmia detection, yet its manual interpretation requires cardiological expertise. One-dimensional Convolutional Neural Networks (1D CNNs) are widely used to automate arrhythmia classification, but most studies still adopt intra-patient evaluation, which yields unrealistic metrics because the model memorizes patient-specific patterns. This study conducts a systematic comparative analysis of eight pure 1D CNN architecture variants under the inter-patient paradigm using the MIT-BIH Arrhythmia Database with the DS1/DS2 protocol, covering variations in depth (3, 5, 7, and 9 layers), kernel size (3, 5, 7, and 9), and a multi-scale architecture. The VeryDeep variant (9 layers, kernel 5) achieved the best performance, with an accuracy of 87.97%, F1-weighted of 88.54%, F1-macro of 49.18%, and an F1-score of 20.56% for the Fusion class, approaching the inter-patient baseline on this most difficult class while using a substantially simpler architecture. Increasing depth proved to be the most decisive factor, particularly for the minority Fusion class, whereas the optimal kernel size lies between $K=5$ and $K=7$, and the multi-scale architecture did not outperform the best single-scale model. McNemar's test with Bonferroni correction confirmed that the superiority of the 9-layer architecture is statistically significant. The main contribution of this study is to provide evidence-based guidance on the influence of depth and kernel size on inter-patient arrhythmia classification, while demonstrating that an appropriate choice of architectural depth can address the minority-class challenge without adding architectural complexity.

Keywords: *Arrhythmia Classification, 1D CNN, Inter-patient, ECG, Deep learning.*

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN KARYA SENDIRI	ii
HALAMAN SURAT KETERANGAN HASIL UJI TURNITIN	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR DI REPOSITORI UMB.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Masalah	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Penelitian Terdahulu	8
2.2 Teori Utama	19
2.2.1 Aritmia Jantung dan Penyakit Kardiovaskular	19
2.2.2 Elektrokardiogram (ECG).....	21
2.2.3 <i>Preprocessing</i> Sinyal ECG	25
2.2.3.1 <i>Butterworth Bandpass filter</i>	26
2.2.3.2 <i>Wavelet denoising</i>	28
2.2.3.3 Normalisasi MAD	30
2.2.3.4 R-peak Detection dan Segmentasi	31
2.2.4 <i>Machine learning</i> dan <i>Deep learning</i>	33
2.2.5 <i>Convolutional</i> Neural Network (CNN).....	34
2.2.6 <i>Arsitektur Single-scale Vs Multi-scale</i>	39

2.2.7	<i>Inter-patient versus Intra-patient Evaluation</i>	39
2.3	Teori Pendukung	41
2.3.1	MIT-BIH Arrhythmia Database	42
2.3.2	BorderlineSMOTE	43
2.3.3	Focal Loss dengan Per-Class Alpha	44
2.3.4	Manual <i>Class weighting</i>	46
2.3.5	Metrik Evaluasi Klasifikasi	48
2.3.6	McNemar's Test	51
BAB III METODE PENELITIAN		53
3.1	Jenis Penelitian	53
3.2	Tahapan Penelitian	54
3.3	Subjek Penelitian	56
3.4	Instrumen Penelitian	58
3.5	<i>Preprocessing Data</i>	59
3.5.1	<i>Bandpass filtering</i>	59
3.5.2	<i>Wavelet denoising</i>	60
3.5.3	Normalisasi MAD	60
3.5.4	R-peak Detection dan Segmentasi	61
3.6	Penanganan <i>Class imbalance</i>	62
3.7	Desain Arsitektur	64
3.8	Konfigurasi Training	67
3.9	Analisis Data	70
3.9.1	Metrik Klasifikasi	70
3.9.2	Metrik Efisiensi Komputasional	71
3.9.3	Uji Signifikansi McNemar's	71
3.9.4	Analisis Komparatif	72
3.9.5	Evaluasi Hasil Penelitian	73
BAB IV PEMODELAN		75
4.1.	Hasil <i>Preprocessing</i> dan Distribusi Data	75
4.2.	Hasil Klasifikasi Keseluruhan	76
4.3.	Analisis Pengaruh Kedalaman (<i>Depth</i>) Arsitektur	78
4.4.	Analisis Pengaruh Ukuran <i>Kernel</i>	80
4.5.	<i>Multi-scale vs Single-scale</i>	83
4.6.	Analisis Per-Class <i>F1-score</i>	84
4.7.	Uji Signifikansi Statistik (McNemar's Test)	86
4.8.	Analisis <i>Trade-off</i> Performa dan Efisiensi Komputasional	88
4.9.	Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu	89
4.10.	Keterbatasan Penelitian	90
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		92
5.1	Kesimpulan	92

5.2	Saran	94
DAFTAR PUSTAKA.....		96
LAMPIRAN.....		100



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	8
Tabel 2.2 <i>Pipeline Preprocessing</i>	33
Tabel 2.3 <i>Kernel size</i>	37
Tabel 2.4 Variasi Kedalaman (<i>Depth</i>)	37
Tabel 2.5 <i>Inter-patient</i> Distributed	40
Tabel 2.6 Perbandingan PPV dan Sensitivity Kelas Minoritas.....	41
Tabel 2.7 Distribusi kelas Data MIT-BIH	43
Tabel 2.8 Perbandingan Bobot Kelas.....	48
Tabel 2.9 <i>Confusion matrix</i>	48
Tabel 2.10 McNemar's Test.....	51
Tabel 3.1 Karakteristik Umum MIT-BIH Arrhythmia Database.....	56
Tabel 3.2 Pembagian <i>Record</i> MIT-BIH untuk Protokol <i>Inter-patient</i>	57
Tabel 3.3 Distribusi Kelas pada DS1 dan DS2 setelah <i>Preprocessing</i>	58
Tabel 3.4 Software dan Library yang Digunakan	58
Tabel 3.5 Konfigurasi Delapan Arsitektur CNN 1D.....	66
Tabel 3.6 Konfigurasi <i>Hyperparameter Training</i>	67
Tabel 3.7 Metrik Klasifikasi yang Digunakan	70
Tabel 3.8 Metrik Efisiensi Komputasional	71
Tabel 3.9 28 Perbandingan Uji McNemar	72
Tabel 4.1 Distribusi Data <i>Training</i> (DS1) dan <i>Testing</i> (DS2)	75
Tabel 4.2 Hasil Evaluasi Delapan Arsitektur CNN 1D pada DS2.....	76
Tabel 4.3 Hasil Variasi <i>Depth</i> (<i>Kernel size</i> Tetap K= 5).....	78
Tabel 4.4 Hasil Variasi <i>Kernel size</i> (<i>Depth</i> Tetap 5 <i>Layer</i>).....	81
Tabel 4.5 Perbandingan <i>Multi-scale</i> vs <i>Single-scale</i>	83
Tabel 4.6 <i>F1-score</i> Per-Kelas untuk Seluruh Arsitektur.....	84
Tabel 4.7 Pasangan Model dengan Perbedaan Tidak Signifikan.....	87
Tabel 4.8 Perbandingan Performa dan Efisiensi Komputasional Antar Arsitektur Representatif	88
Tabel 4.9 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu	89

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Contoh Morfologi sinyal ECG (4 Kelas AAMI)	2
Gambar 2.1 Komponen Gelombang Sinyal ECG	22
Gambar 2.2 Arsitektur Umum CNN 1D	34
Gambar 2.3 Operasi Konvolusi 1D	36
Gambar 3.1 Tahapan Penelitian	54
Gambar 3.2 Alur Tahapan <i>Preprocessing</i> Sinyal ECG	59
Gambar 3.3 Perbedaan Raw Sinyal dan Sinyal Hasil <i>Preprocessing</i>	60
Gambar 4.1 Kurva <i>Training</i> dan <i>Validation</i> Model E4	77
Gambar 4.2 Perbedaan Akurasi <i>Intra-patient</i> vs <i>Inter-patient</i>	78
Gambar 4.3 Pengaruh Kedalaman Jaringan	80
Gambar 4.4 Pengaruh <i>Kernel size</i>	82
Gambar 4.5 Perbandingan <i>F1-score</i>	84
Gambar 4.6 <i>Confusion matrix</i> Model E4	86
Gambar 4.7 Uji Signifikansi	87



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Kartu Asistensi	100
Lampiran 2. Lampiran Submit Naskah Artikel Jurnal	102
Lampiran 3. Curriculum Vitae	103
Lampiran 4. Tanda Terima BNSP.....	104

