

**KLASIFIKASI JENIS GERAKAN TANGAN BERBASIS
SINYAL *SURFACE ELECTROMYOGRAPHY* DENGAN 1
DIMENSIONAL CONVOLUTIONAL NEURAL
NETWORK**



**PROGRAM STUDI ILMU KOMPUTER
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS PENDIDIKAN GANESHA
2025**



**KLASIFIKASI JENIS GERAKAN TANGAN BERBASIS
SINYAL *SURFACE ELECTROMYOGRAPHY* DENGAN 1
DIMENSIONAL CONVOLUTIONAL NEURAL
NETWORK**



NI WAYAN YULYA WIANI

NIM 2329101042

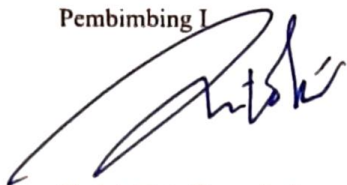
**PROGRAM STUDI ILMU KOMPUTER
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS PENDIDIKAN GANESHA
2025**

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tesis oleh Ni Wayan Yulya Wiani ini telah diperiksa dan disetujui untuk Mengikuti Ujian Tesis

Singaraja, 14 Juli 2025

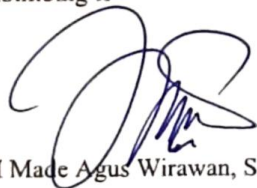
Pembimbing I



Kadek Yota Ernanda Aryanto, S.Kom., M.T., Ph.D.

NIP. 197803242005011001

Pembimbing II



Dr. I Made Agus Wirawan, S.Kom., M.Cs.

NIP. 198408272008121001

LEMBAR PERSETUJUAN PENGUJI

Tesis oleh Ni Wayan Yulya Wiani ini telah dipertahankan di depan tim penguji dan dinyatakan diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Komputer di Program Studi Ilmu Komputer, Program Pascasarjana, Universitas Pendidikan Ganesha.

Disetujui pada tanggal: 28 Juli 2025

Oleh
Tim Penguji

....., Ketua (Dr. I Made Gede Sunarya, S.Kom., M.Cs)
NIP 198307252008011008

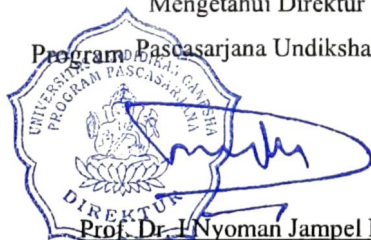
....., Anggota (Made Windu Antara Kesiman, S.T., M.Sc., Ph.D.)
NIP 198211112008121001

....., Anggota (Prof. Dr. Gede Indrawan, S.T., M.T.)
NIP 197601022003121001

....., Anggota (Dr. I Made Agus Wirawan, S.Kom., M.Cs)
NIP 198408272008121001

....., Anggota (Kadek Yota Ernanda Aryanto, S.Kom., M.T., Ph.D.)
NIP 197803242005011001

Mengetahui Direktur
Program Pascasarjana Undiksha,



Prof. Dr. I Nyoman Jampel M.Pd.
NIP. 195910101986031003

LEMBAR PERNYATAAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis yang saya susun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Magister Komputer dari Program Pascasarjana Universitas Pendidikan Ganesha seluruhnya merupakan hasil karya saya sendiri. Bagian-bagian tertentu dalam penulisan tesis yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas dan sesuai dengan norma, kaidah, serta etika akademis.

Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian tesis ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiat dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya sandang dan sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku di wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia.

Singaraja, 28 Juli 2025

Yang memberi pernyataan,

(Ni Wayan Yulya Wiani)

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas anugerah-Nya, sehingga tesis yang berjudul “Klasifikasi Jenis Gerakan Tangan Berbasis Sinyal Surface Electromyography Dengan 1 Dimensional Convolutional Neural Network”, dapat diselesaikan sesuai dengan yang direncanakan.

Tesis ini ditulis untuk memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Komputer Program Pascasarjana Universitas Pendidikan Ganesha pada Program Studi Ilmu Komputer. terselesaikannya tesis ini telah banyak memperoleh uluran tangan dari berbagai pihak. Untuk itu, izinkan penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan kepada pihak-pihak berikut.

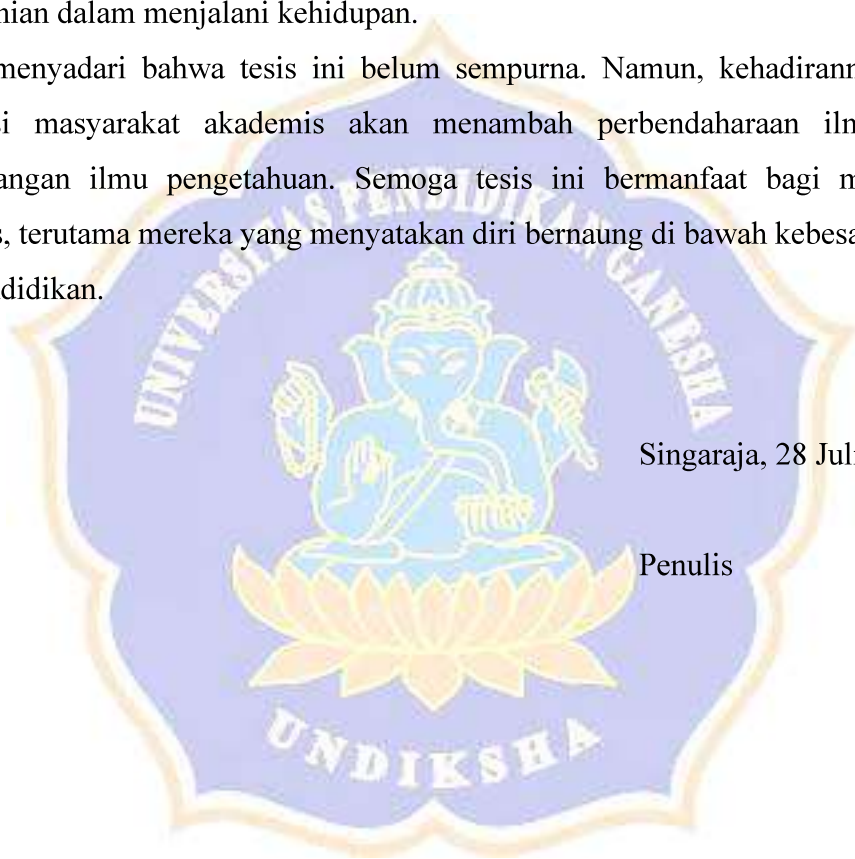
1. Bapak Kadek Yota Ernanda Aryanto, S.Kom., M.T., Ph.D, sebagai pembimbing I yang telah dengan sabar membimbing, mengarahkan, dan memberikan motivasi yang demikian bermakna, sehingga penulis mampu melewati berbagai hambatan dalam perjalanan studi dan penyelesaian tesis ini.
2. Bapak Dr. I Made Agus Wirawan, S.Kom., M.Cs. sebagai pembimbing II, yang dengan gaya dan pola komunikasi yang khas, telah melecut semangat, motivasi, dan harapan penulis selama penelitian dan penulisan naskah laporan tesis ini, sehingga tesis ini dapat terwujud dengan baik sesuai harapan.
3. Bapak Made Windu Antara Kesiman, S.T., M.Sc., Ph.D dan Prof. Dr. Gede Indrawan, S.T., M.T sebagai penguji yang telah banyak memberikan masukan-masukan yang bermanfaat untuk penyempurnaan tesis ini.
4. Koordinator Program Studi Ilmu Komputer, Bapak dan Ibu dosen beserta staf yang telah memberikan pelajaran kepada Penulis selama mengikuti pendidikan di Program Studi Ilmu Komputer Universitas Pendidikan Ganesha serta membantu dan memotivasi penulis selama penyusunan tesis ini.
5. Direktur Program Pascasarjana Universitas Pendidikan Ganesha dan staf, yang telah banyak membantu selama penulis menyelesaikan tesis ini.
6. Rektor Universitas Pendidikan Ganesha, yang telah memberikan bantuan secara moral dan memfasilitasi berbagai kepentingan penulis dalam menyelesaikan tesis ini.

7. Segenap keluarga tercinta, Bapak, Ibu, dan saudara yang telah banyak membantu memberikan semangat dan motivasi serta dukungan moril dan materiil dalam penulisan tesis ini.

8. Seluruh rekan, teman dan pihak yang tidak dapat Penulis sebutkan satu-per satu atas bantuan secara langsung maupun tidak langsung dalam penulisan tesis ini.

Semoga semua bantuan yang telah mereka berikan dalam menyelesaikan studi ini, mereka diberkati imbalan yang sepadan oleh Tuhan Yang Maha Esa, kesehatan, dan keharmonian dalam menjalani kehidupan.

Penulis menyadari bahwa tesis ini belum sempurna. Namun, kehadirannya dalam konstelasi masyarakat akademis akan menambah perbendaharaan ilmu dalam perkembangan ilmu pengetahuan. Semoga tesis ini bermanfaat bagi masyarakat akademis, terutama mereka yang menyatakan diri bernaung di bawah kebesaran panji-panji pendidikan.



Singaraja, 28 Juli 2025

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PENGUJI	v
LEMBAR PERNYATAAN	vi
PRAKATA	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah	3
1.3. Batasan Penelitian	3
1.4. Rumusan Masalah	3
1.5. Tujuan Penelitian	4
1.6. Manfaat Penelitian	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA	5
2.1. Electromyography	5
2.1.1 Aplikasi Pengenalan Pola Dengan EMG dan <i>Machine Learning</i>	6
2.1.2 Sendi Pergelangan Tangan	7
2.2. Pengenalan Gerakan Tangan	8
2.3. CNN Classifier	10

2.4.	Evaluasi Kinerja	15
2.5.	Kajian Penelitian yang Relevan.....	18
2.5.1	Pengenalan Gerakan Tangan pada Rehabilitasi Stroke.....	18
2.5.2	Pengenalan Gerakan Berbasis Sinyal EMG.....	19
2.6.	Kerangka Berpikir	25
BAB III METODE PENELITIAN.....		27
3.1.	Desain Metode Penelitian.....	27
3.2.	Dataset	28
3.3.	Pre-Processing	32
3.4.	Pembagian Data.....	36
3.5.	Ekstraksi Fitur dan Klasifikasi	37
3.5.1	Skenario Pertama	38
3.5.2	Skenario Kedua	41
3.5.3	Skenario Ketiga.....	43
3.6.	Performa Klasifikasi.....	43
3.7.	Evaluasi arsitektur	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		46
4.1.	Pre-Processing	46
4.2.	Pelabelan.....	48
4.3.	Pembagian Data.....	48
4.4.	Pelatihan Model.....	49
4.4.1	Skenario Pertama	50
4.4.2	Skenario Kedua	57
4.4.3	Skenario Ketiga.....	63

4.4.4	Pelatihan Dengan Arsitektur 1D CNN Pada Sinyal Biomedis	68
4.5.	Analisis Variabilitas Antar-Fold Berdasarkan Confusion Matrix	72
4.6.	Pengaruh Pre-processing Terhadap Performa Model	74
4.7.	Pengujian Model	76
4.8.	Perbandingan Hasil Dengan Penelitian Sebelumnya	78
4.9.	Pelatihan dan Pengujian Model Dengan Jumlah Data Yang Berbeda	80
4.10.	Simulasi Penggunaan Model Dengan Dataset Yang Berbeda	85
BAB V SIMPULAN DAN SARAN		87
5.1.	Simpulan	87
5.2.	Saran	88
DAFTAR PUSTAKA		89
LAMPIRAN		93



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis Gerakan Pergelangan Tangan dan Otot yang Berperan	7
Tabel 2.2 Kajian Literatur Pengenalan Gerakan Tangan	20
Tabel 2.3 Kajian Literatur Pengenalan Gerakan Tangan Berbasis Sinyal sEMG.....	25
Tabel 3.1 Demografi Data Subjek.....	28
Tabel 3.2 Deskripsi Dataset	29
Tabel 3.3 Parameter Lapisan Konvolusi Model 1 untuk Skenario Pertama	39
Tabel 3.4 Parameter Lapisan Konvolusi Model 2 untuk Skenario Pertama	39
Tabel 3.5 Parameter Lapisan Konvolusi Model 3 untuk Skenario Pertama	40
Tabel 3.6 Parameter Lapisan Konvolusi Model A untuk Skenario Kedua	41
Tabel 3.7 Parameter Lapisan Konvolusi Model B untuk Skenario Kedua	42
Tabel 3.8 Parameter Lapisan Konvolusi Model C untuk Skenario Kedua	42
Tabel 3.9 Visualisasi Confusion Matrix.....	43
Tabel 3.10 Kriteria <i>Cost and Benefit</i>	44
Tabel 4.1 Label untuk Masing-Masing Gerakan.....	48
Tabel 4.2 Rincian Masing-Masing Lapisan 1D CNN.....	50
Tabel 4.3 <i>Hyperparameter Tuning</i> Pada Skenario Pertama	51
Tabel 4.4 Hasil Pelatihan Skenario Pertama	52
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Normalisasi <i>Cost Benefit</i> Skenario Pertama	56
Tabel 4.6 Rincian Blok Konvolusi Pada Skenario Kedua	57
Tabel 4.7 Hasil Pelatihan Skenario Kedua.....	58
Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Normalisasi Cost-Benefit Skenario Kedua	62
Tabel 4.9 Hasil Pelatihan Skenario Ketiga	64
Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Normalisasi <i>Cost-Benefit</i> Skenario Ketiga.....	68
Tabel 4.11 <i>Hyperparameter Tuning</i> Pelatihan Model Acuan	68
Tabel 4.12 Hasil Pelatihan Model Acuan dan Model Usulan	69
Tabel 4.13 Hasil Pengujian Model.....	76
Tabel 4.14 Perbandingan Hasil dengan Penelitian Terdahulu	79
Tabel 4.15 Perbandingan Jumlah Data yang Digunakan	80

Tabel 4.16 Hasil Pelatihan Model Dengan Jumlah Data yang Berbeda	81
Tabel 4.17 Hasil Prediksi Model Dengan Data Baru.....	86



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sinyal EMG dengan 4 Channel	6
Gambar 2.2 Arsitektur 1D CNN Krishnapriya et al. (2023)	12
Gambar 2.3 Arsitektur 1D CNN Ahmed et al. (2023)	13
Gambar 2.4 Arsitektur yang Diusulkan	14
Gambar 2.5 Ilustrasi <i>Confusion Matrix</i> untuk <i>Binary Classification</i>	15
Gambar 2.6 Ilustrasi <i>Confusion Matrix</i> untuk <i>Multiclass Classification</i>	16
Gambar 2.7 Kerangka Berpikir	26
Gambar 3.1 Diagram Blok Penelitian	27
Gambar 3.2 Gerakan Tangan yang Dilakukan	29
Gambar 3.3 Peletakan Elektroda	30
Gambar 3.4 Timeline Perekaman Sinyal Semg	31
Gambar 3.5 Tahap Pre-processing	32
Gambar 3.6 Ilustrasi Penambahan Sampel.....	35
Gambar 3.7 Arsitektur 1D CNN	38
Gambar 3.8 Rancangan Skenario Pelatihan Arsitektur.....	38
Gambar 4.1 Filtered sEMG Signal untuk Subjek 02.....	46
Gambar 4.2 Sinyal sEMG Subjek 02 (Repetisi Pertama) setelah Pre-Processing	47
Gambar 4.3 Ilustrasi <i>K-Fold Cross Validation</i>	49
Gambar 4.4 Perbandingan Performa Validasi Model Skenario Pertama	53
Gambar 4.5 Perbandingan Performa <i>Training</i> dan Validasi Skenario Pertama.....	54
Gambar 4.6 Perubahan Nilai Loss Model Skenario Pertama.....	55
Gambar 4.7 Perubahan Nilai Akurasi Model Skenario Pertama.....	55
Gambar 4.8 Perbandingan Performa Validasi Model Pada Skenario Kedua.....	59
Gambar 4.9 Perbandingan Performa Training dan Validasi Skenario Kedua	60
Gambar 4.10 Perubahan Nilai Loss Model Skenario Kedua	61
Gambar 4.11 Perubahan Nilai Akurasi Model Skenario Kedua	61
Gambar 4.12 Model Usulan	63
Gambar 4.13 Perbandingan Performa Validasi Model Pada Skenario Ketiga	65

Gambar 4.14 Perbandingan Performa Training dan Validasi Skenario Ketiga	66
Gambar 4.15 Perubahan Nilai Loss Model Skenario Ketiga	66
Gambar 4.16 Perubahan Nilai Akurasi Model Skenario Ketiga	67
Gambar 4.17 Perbandingan Performa Validasi Model	70
Gambar 4.18 Perubahan Nilai Loss Model	71
Gambar 4.19 Perubahan Nilai Akurasi Model	71
Gambar 4.20 Confusion Matrix Dengan Performa Validasi Terbaik	73
Gambar 4.21 Confusion Matrix Dengan Performa Validasi Terbaik	74
Gambar 4.22 Perbandingan Akurasi Pelatihan Model Dengan dan Tanpa Transformasi Hilbert	75
Gambar 4.23 Confusion Matrix Hasil Uji Model	77
Gambar 4.24 Perbandingan Performa Model Berdasarkan Jumlah Data	83
Gambar 4.25 Perbandingan Hasil Uji Berdasarkan Jumlah Data	84
Gambar 4.26 Simulasi Menggunakan Antarmuka Gradio	85



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Performa Akurasi Model 1	93
Lampiran 2 Performa Loss Model 1	93
Lampiran 3 Performa Akurasi Model 2	94
Lampiran 4 Performa Loss Model 2	94

