

**IMPLEMENTASI METODE LONG SHORT-TERM MEMORY UNTUK
PENGENALAN POLA IMAJINASI UCAPAN PENGANGGE SUARA
AKSARA BALI PADA SINYAL ELECTROENCEPHALOGRAM**

OLEH

I DEWA GEDE MAHESTA PARAWANGSA

NIM 2115091105



**PROGRAM STUDI SISTEM INFORMASI
JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNIK DAN KEJURUAN
UNIVERSITAS PENDIDIKAN GANESHA
SINGARAJA**

2025



**IMPLEMENTASI METODE LONG SHORT-TERM MEMORY UNTUK
PENGENALAN POLA IMAJINASI UCAPAN PENGANGGE SUARA AKSARA BALI
PADA SINYAL ELECTROENCEPHALOGRAM**

SKRIPSI

**Diajukan kepada
Universitas Pendidikan Ganesha
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam Menyelesaikan
Program Sarjana Komputer**



**Oleh
I Dewa Gede Mahesta Parawangsa
NIM 2115091105**

**PROGRAM STUDI SISTEM INFORMASI
JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNIK DAN KEJURUAN
UNIVERSITAS PENDIDIKAN GANESHA
SINGARAJA**

2025

SKRIPSI

DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI TUGAS DAN MEMENUHI SYARAT-SYARAT UNTUK MENCAPAI GELAR SARJANA KOMPUTER



Pembimbing I	Dr. I Made Agus Wirawan, S.Kom., M.Cs. NIP.198408272008121001
Pembimbing II	Ir. Made Windu Antara Kesiman, S.T., M.Sc., Ph.D. NIP.198211112008121001



- UU ITE No. 11 Tahun 2008 Pasal 5 Ayat 1 "Informasi Elektronik dan/atau hasil cetaknya merupakan alat bukti hukum yang sah"
- Dokumen ini telah ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang diterbitkan BSrE - BSSN, validitas dokumen elektronik ini bisa dicek menggunakan aplikasi mobile VeryDS oleh BSrE
- Cetakan dokumen ini merupakan salinan dari file dokumen bertandatangan elektronik yang keabsahannya dapat diakses melalui scan QRCode yang terdapat pada sertifikat ini.

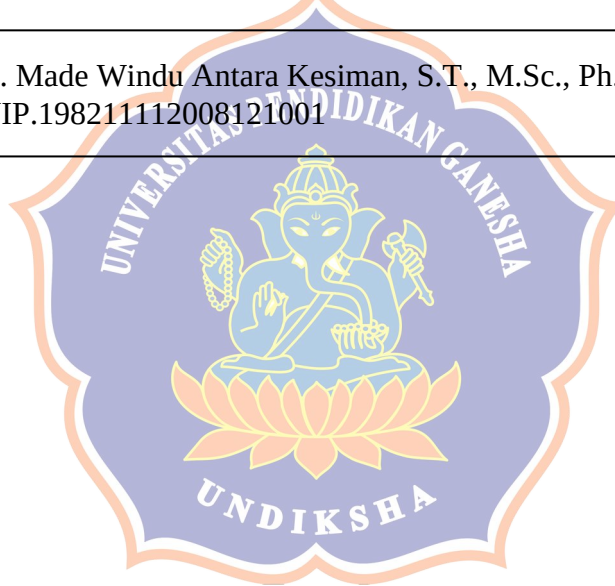


**Balai Besar
Sertifikasi
Elektronik**

Skripsi oleh I Dewa Gede Mahesta Parawangsa ini
telah dipertahankan di depan dewan penguji
Pada tanggal 24 November 2025

Dewan Penguji

Ketua	Ir. I Made Dendi Maysanjaya, S.Pd., M.Eng. NIP.199005152019031008
Anggota	Ir. Kadek Teguh Dermawan, S.Pd., M.Kom. NIP.199406132025061003
Anggota	Dr. I Made Agus Wirawan, S.Kom., M.Cs. NIP.198408272008121001
Anggota	Ir. Made Windu Antara Kesiman, S.T., M.Sc., Ph.D. NIP.198211112008121001



- UU ITE No. 11 Tahun 2008 Pasal 5 Ayat 1 "Informasi Elektronik dan/atau hasil cetaknya merupakan alat bukti hukum yang sah"
- Dokumen ini telah ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang diterbitkan BSrE - BSSN, validitas dokumen elektronik ini bisa dicek menggunakan aplikasi mobile VeryDS oleh BSrE
- Cetakan dokumen ini merupakan salinan dari file dokumen bertandatangan elektronik yang keabsahannya dapat diakses melalui scan QRCode yang terdapat pada sertifikat ini.



**Balai Besar
Sertifikasi
Elektronik**

Diterima oleh Panitia Ujian Fakultas Teknik dan Kejuruan
Universitas Pendidikan Ganesha
guna memenuhi syarat-syarat untuk mencapai gelar Sarjana Komputer

Menyetujui

Ketua Ujian	Made Windu Antara Kesiman, S.T., M.Sc., Ph.D. NIP.198211112008121001
Sekretaris Ujian	Ir. I Made Dendi Maysanjaya, S.Pd., M.Eng. NIP.199005152019031008



- UU ITE No. 11 Tahun 2008 Pasal 5 Ayat 1 "Informasi Elektronik dan/atau hasil cetaknya merupakan alat bukti hukum yang sah"
- Dokumen ini telah ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang diterbitkan BSrE - BSSN, validitas dokumen elektronik ini bisa dicek menggunakan aplikasi mobile VeryDS oleh BSrE
- Cetakan dokumen ini merupakan salinan dari file dokumen bertandatangan elektronik yang keabsahannya dapat diakses melalui scan QRCode yang terdapat pada sertifikat ini.



**Balai Besar
Sertifikasi
Elektronik**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa karya tulis yang berjudul "Implementasi Metode Long Short-Term Memory Untuk Pengenalan Pola Imajinasi Ucapan Pengangge Suara Aksara Bali Pada Sinyal Electroencephalogram" beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya orisinal saya sendiri. Saya menjamin tidak melakukan tindakan plagiarisme maupun pengutipan yang bertentangan dengan kaidah dan etika keilmuan yang berlaku di masyarakat akademik. Apabila di kemudian hari terbukti ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya ini, atau terdapat klaim dari pihak lain atas keaslian karya ini, saya bersedia menerima sanksi dan menanggung segala risiko sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Singaraja, 20 November 2025

Yang Membuat pernyataan




Dewa Gede Mahesta Parawangsa
NIM 2115091105

KATA PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya dedikasikan kepada:

ORANG TUA TERCINTA

(I Dewa Gede Parwata S.S dan Desak Nyoman Trisna Dewi)

yang senantiasa menjadi suporter utama. Atas doa yang tak henti-hentinya, dukungan yang tak tergantikan, serta pemenuhan setiap kebutuhan pendidikan, saya akhirnya berhasil menyelesaikan studi ini.

SAUDARA TERKASIH

(Dewa Ayu Bramestya Iswari, I Dewa Gede Rai Dharmajaya dan Dewa Ayu Diwya Prabandini)

Terima kasih atas semangat, dukungan, dan bantuan dalam berbagai bentuk yang sangat berarti bagi saya selama proses penyusunan skripsi ini.

DOSEN PEMBIMBING SKRPSI

(Bapak Dr. I Made Agus Wirawan, S.Kom., M.Cs. dan Ir. Made Windu Antara Kesiman, S.T., M.Sc., Ph.D.)

Saya menyampaikan apresiasi setinggi-tingginya atas kesabaran, arahan, dan ilmu berharga yang diberikan sehingga penelitian dan penulisan skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

JAJARAN DOSEN SISTEM INFORMASI

Terima kasih atas ilmu, bimbingan, serta kesempatan yang telah diberikan sejak awal perkuliahan hingga akhir studi. Seluruh pengalaman akademik tersebut sangat memperkaya proses belajar saya.

MOTTO

**“IT’S ALMOST IMPOSSIBLE
UNTIL IT’S DONE”**



PRAKATA

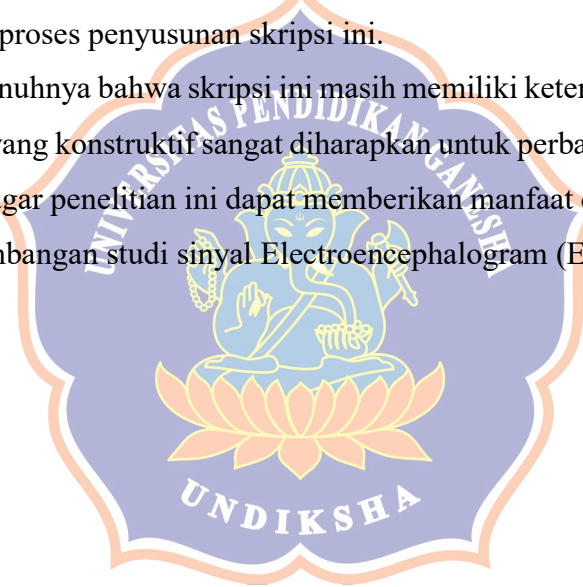
Penulis memanjatkan puji syukur setinggi-tingginya ke hadapan Tuhan Yang Maha Esa atas berkat rahmat serta karunia-Nya, skripsi dengan judul “IMPLEMENTASI METODE LONG SHORT-TERM MEMORY UNTUK PENGENALAN POLA IMAJINASI UCAPAN PENGANGGE SUARA AKSARA BALI PADA SINYAL ELECTROENCEPHALOGRAM” ini dapat terselesaikan dengan baik. Skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan dalam mencapai gelar akademik Sarjana Komputer pada Universitas Pendidikan Ganesha.

Selanjutnya, dalam menyusun laporan skripsi ini, penulis mendapat banyak dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. I Wayan Lasmawan, M.Pd. selaku Rektor Universitas Pendidikan Ganesha, yang selalu memotivasi dan mendukung akademik dengan baik.
2. Prof. Dr. Gede Rasben Dantes, S.T., M.T.I., selaku Wakil Rektor Bidang Akademik dan Kerja Sama, Universitas Pendidikan Ganesha, yang selalu memotivasi dan mendukung aktivitas akademik dengan baik.
3. Dr. Kadek Rihendra Dantes, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik dan Kejuruan yang telah memberikan fasilitas dengan baik hingga studi ini dapat diselesaikan dengan baik.
4. Made Windu Antara Kesiman, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Wakil Dekan Bidang Akademik dan Kerjasama sekaligus Pembimbing II, yang telah memberikan nasihat, motivasi, serta dorongan bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
5. Dr. Putu Hendra Suputra, S.Kom., M.Cs. selaku Ketua Jurusan Teknik Informatika yang telah memfasilitasi kebutuhan administrasi yang berkaitan dengan jurusan dalam penulisan skripsi ini.
6. Ir. I Made Dendi Maysanjaya, S.Pd., M.Eng selaku Koordinator Program Studi sekaligus Dosen Penguji I, yang telah memfasilitasi kebutuhan administrasi yang berkaitan dengan jurusan sekaligus memberikan petunjuk serta saran dalam penulisan skripsi ini.
7. Dr. I Made Agus Wirawan, S.Kom., M.Cs. selaku Pembimbing I, yang telah bersedia memberikan waktunya untuk membimbing, menasihati, serta memotivasi penulis selama seluruh rangkaian penyusunan skripsi ini.

8. Ir. Kadek Teguh Dermawan, S.Pd., M.Kom selaku Penguji II, yang telah memberi ilmu, mengarahkan, serta memotivasi penulis selama seluruh rangkaian penyusunan skripsi ini.
9. Kedua orang tua serta saudara penulis yang selalu mendoakan dan mengarahkan energinya untuk mendukung aktivitas akademik penulis hingga skripsi ini dapat terselesaikan.
10. Rekan-rekan SIFORS 2021 yang telah memberikan semangat selama proses menyelesaikan studi.
11. Teman-teman yang selalu hadir mendukung penulis diantaranya Rama, Yoga, Surya, Wibhi, dan lain-lain yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.
12. Terakhir, I Dewa Gede Mahesta Parawangsa atau penulis sendiri, yang pantang menyerah dan tetap belajar meskipun beberapa kali melakukan kesalahan dan menemui kendala selama proses penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, segala kritik dan saran yang konstruktif sangat diharapkan untuk perbaikan di masa mendatang. Besar harapan penulis agar penelitian ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi akademis, khususnya bagi pengembangan studi sinyal Electroencephalogram (EEG).



Singaraja, 20 November 2025

Penulis

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	vii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II KAJIAN TEORI	5
2.1 Kajian Pustaka	5
2.2 Landasan Teori.....	11
2.2.1 Imagined Spelling Aksara Bali	11
2.2.2 Electroencephalogram.....	12
2.2.3 Pre-processing Sinyal EEG.....	13
2.2.4 Ekstraksi Fitur.....	13
2.2.5 Long Short-Term Memory.....	14
2.2.6 Evaluasi Model	17
2.2.7 Implementasi Model berbasis Aplikasi Web	20
BAB III METODE PENELITIAN	25
3.1 Jenis Penelitian	25
3.2 Dataset Penelitian	25
3.3 Spesifikasi Lingkungan kerja (Pengembangan)	29
3.4 Tahapan Penelitian.....	31
1. Data Acquisition.....	32
2. Preprocessing	32
3. Feature Extraction	34
4. Classification.....	34
5. Evaluation	36
6. Saving Model	41

7. Planning	41
8. Designing	41
9. Coding.....	51
10. Testing.....	52
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	58
4. 1. Hasil.....	58
4.1.1 Pengembangan Model.....	58
4.1.2 Implementasi & Integrasi Model	82
4. 2. Pembahasan	103
BAB V PENUTUP.....	112
5. 1 Kesimpulan.....	112
5. 2 Saran	112
DAFTAR PUSTAKA.....	114
LAMPIRAN.....	119
Lampiran 1. Riwayat Hidup.....	120
Lampiran 2. Hasil Data 2D	121
Lampiran 3. Hasil Blackbox Testing.....	122
Lampiran 4. Hasil Whitebox Testing.....	132
Lampiran 5. Formulir dan Hasil dari System Usability Scale.....	135
Lampiran 6. Dokumentasi System Usability Scale.....	136



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kajian Pustaka.....	8
Tabel 3. 1 Dataset Penelitian.....	25
Tabel 3. 2 Data Total Eksperimen Satu Partisipan.....	27
Tabel 3. 3 Spesifikasi Perangkat Lingkungan Kerja.....	30
Tabel 3. 4 Karakteristik Frekuensi pada Sinyal EEG	33
Tabel 3. 5 Perhitungan nilai Precision dan Recall	36
Tabel 3. 6 Skenario Uji arsitektur model LSTM.....	37
Tabel 3. 7 Data Kriteria Penentuan Arsitektur	38
Tabel 3. 8 Identifikasi Aktor	42
Tabel 3. 9 Pengujian Fungsionalitas Sistem secara umum	52
Tabel 3. 10 Skenario Pengujian Load Testing.....	54
Tabel 3. 11 Pertanyaan Standar SUS.....	55
Tabel 3. 12 Contoh Perhitungan Skor SUS.....	56
Tabel 4. 1 Hasil Pemrosesan pada Model 1A	59
Tabel 4. 2 Hasil Pemrosesan pada Model 1B	61
Tabel 4. 3 Hasil Pemrosesan pada Model 1C	63
Tabel 4. 4 Hasil Awal Skenario Pertama.....	65
Tabel 4. 5 Hasil Peringkat Normalisasi Skenario Pertama	66
Tabel 4. 6 Hasil Pemrosesan pada Model 2A	66
Tabel 4. 7 Hasil Pemrosesan pada Model 2B	68
Tabel 4. 8 Hasil Pemrosesan pada Model 2C	70
Tabel 4. 9 Hasil Awal Skenario Kedua.....	72
Tabel 4. 10 Hasil Peringkat Normalisasi Skenario Kedua	73
Tabel 4. 11 Hasil Pemrosesan pada Model 3A	74
Tabel 4. 12 Hasil Pemrosesan pada Model 3B	75
Tabel 4. 13 Hasil Pemrosesan pada Model 3C	77
Tabel 4. 14 Hasil awal Skenario Ketiga.....	79
Tabel 4. 15 Hasil Peringkat Normalisasi Skenario Ketiga.....	80
Tabel 4. 16 Spesifikasi Model 3C	80
Tabel 4. 17 Hasil Studi Komparasi	81
Tabel 4. 18 Hasil Blackbox Testing pada Halaman Build Model	87
Tabel 4. 19 Hasil Blackbox Testing pada Halaman Prediksi	88

Tabel 4. 20 Hasil Blackbox Testing pada Sidebar.....	89
Tabel 4. 21 Hasil Whitebox Testing pada Preprocessing	90
Tabel 4. 22 Hasil White box Testing pada Training	94
Tabel 4. 23 Hasil Whitebox Testing pada Prediksi	97
Tabel 4. 24 Hasil Whitebox Testing pada Model State Management	98
Tabel 4. 25 Performa Skenario 1 Load Testing.....	100
Tabel 4. 26 Performa Skenario 2 Load Testing.....	100
Tabel 4. 27 Performa Skenario 3 Load Testing.....	101
Tabel 4. 28 Ringkasan Hasil Load Testing.....	101
Tabel 4. 29 Hasil Pengujian System Usability Scale	103



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Imagined Spelling.	12
Gambar 2. 2 Penelitian EEG	12
Gambar 2. 3 Arsitektur LSTM.....	15
Gambar 2. 4 Arsitektur LSTM pada penelitian Agarwal dan Kumar (2022).....	17
Gambar 2. 5 Ilustrasi K-Fold Cross Validation.....	18
Gambar 2. 6 Sistem Usability Scale Score	23
Gambar 3. 1 Ilustrasi Skema Pembagian Data Train dan Data Test	26
Gambar 3. 2 Posisi 16 Channel Elektrode	27
Gambar 3. 3 Data Signal EEG untuk Partisipan P01	29
Gambar 3. 4 Alur Penelitian.....	31
Gambar 3. 5 Ilustrasi Segmentasi pada Channel EEG.....	32
Gambar 3. 6 Ilustrasi Dekomposisi pada Channel EEG	33
Gambar 3. 7 Ilustrasi Proses Klasifikasi Sinyal EEG dengan Metode LSTM.....	34
Gambar 3. 8 Ilustrasi Skenario Struktur Model LSTM	35
Gambar 3. 9 Skenario Uji arsitektur model LSTM.....	38
Gambar 3. 10 Ilustrasi Studi Komparasi Ekstraksi fitur dan Model Klasifikasi	40
Gambar 3. 11 Use Case Diagram.....	43
Gambar 3. 12 Activity Diagram Training Model.....	44
Gambar 3. 13 Activity Diagram Prediksi Aksara Bali.....	45
Gambar 3. 14 Alur Integrasi Sistem dari Training ke Prediksi	46
Gambar 3. 15 Halaman Utama Sistem.....	47
Gambar 3. 16 Halaman Build Model.....	48
Gambar 3. 17 Halaman Prediksi Aksara Bali	49
Gambar 3. 18 Sidebar Sistem.....	50
Gambar 3. 19 Halaman Informasi Sistem.....	51
Gambar 4. 1 Hasil Preprocess, Feature Extraction. & Baseline Reduction	58
Gambar 4. 2 Komparasi performa arsitektur Model 1A antar partisipan.	61
Gambar 4. 3 Komparasi performa arsitektur Model 1B antar partisipan.	63
Gambar 4. 4 Komparasi performa arsitektur Model 1C antar partisipan.	65
Gambar 4. 5 Komparasi performa arsitektur Model 2A antar partisipan.	68
Gambar 4. 6 Komparasi performa arsitektur Model 2B antar partisipan.	70
Gambar 4. 7 Komparasi performa arsitektur Model 2C antar partisipan.	72

Gambar 4. 8 Komparasi performa arsitektur Model 3A antar partisipan.	75
Gambar 4. 9 Komparasi performa arsitektur Model 3B antar partisipan.	77
Gambar 4. 10 Komparasi performa arsitektur Model 3C antar partisipan.	79
Gambar 4. 11 Implementasi Halaman Utama	82
Gambar 4. 12 Implementasi Halaman Build Model	83
Gambar 4. 13 Implementasi Halaman Balinese Script Prediction.....	84
Gambar 4. 14 Implementasi Halaman Informasi Sistem	85
Gambar 4. 15 Implementasi Sidebar.....	86
Gambar 4. 16 Ilustrasi Arsitektur Model 3C.....	107
Gambar 4. 17 Ilustrasi Pola Sinyal EEG Tanpa Relative Difference.....	108
Gambar 4. 18 Ilustrasi Pola Sinyal EEG dengan Relative Difference.....	108



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Riwayat Hidup.....	120
Lampiran 2. Hasil Data 2D	121
Lampiran 3. Hasil Blackbox Testing.....	122
Lampiran 4. Hasil Whitebox Testing	132
Lampiran 5. Formulir dan Hasil dari System Usability Scale	135
Lampiran 6. Dokumentasi System Usability Scale.....	136

