UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Klasifikasi Motor Imagery Berbasis Functional Connectivity EEG: PLV/wPLI + Graph Features untuk BCI
Indira Adella Ryta, Ir. Noor Akhmad Setiawan, S.T., M.T., Ph.D., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN i
SUSUNAN DEWAN PENGUJI ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
HALAMAN PERSEMBAHAN iv
KATA PENGANTAR v
DAFTAR ISI vii
DAFTAR TABEL x
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR SINGKATAN xiii
INTISARI xiv
ABSTRACT xv
BAB I Pendahuluan 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Batasan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 5
1.6 Sistematika Penulisan 5
BAB II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori 7
2.1 Tinjauan Pustaka 7
2.1.1 *Brain-Computer Interface* Berbasis *Motor Imagery* 7
2.1.2 Ekstraksi Fitur MI-EEG 7
2.1.3 Fitur Graf untuk MI-EEG 8
2.1.4 Aplikasi *Machine Learning* Klasik pada Klasifikasi MI-EEG 9
2.2 Dasar Teori 10
2.2.1 *Electroencephalography* (EEG) 11
2.2.2 *Brain-Computer Interface* (BCI) 12
2.2.3 Dataset BCI Competition IV 2a 13
2.2.4 *Motor Imagery* (MI) dan Ritme Sensorimotor 14
2.2.5 Prapemrosesan Isyarat 15
2.2.5.1 *Band-Pass Filtering* 15
2.2.5.2 *Independent Component Analysis* (ICA) 16
2.2.5.3 *Common Average Reference* (CAR) 16
2.2.6 Konektivitas Fungsional (*Functional Connectivity*) 17
2.2.6.1 *Phase Locking Value* (PLV) 17
2.2.6.2 *Weighted Phase Lag Index* (wPLI) 18

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Klasifikasi Motor Imagery Berbasis Functional Connectivity EEG: PLV/wPLI + Graph Features untuk BCI
Indira Adella Ryta, Ir. Noor Akhmad Setiawan, S.T., M.T., Ph.D., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.2.7 Metrik Teori Graf (*Graph Features*) 19
2.2.7.1 Metrik Topologi Global 19
2.2.7.2 Metrik Topologi Lokal 21
2.2.8 *Feature Selection* 22
2.2.8.1 *Multi-Band Feature Fusion* 22
2.2.8.2 Uji Statistik Kruskal-Wallis 23
2.2.9 *Support Vector Machine* (SVM) 23
2.2.9.1 *Hyperplane* dan Margin Keputusan 23
2.2.9.2 *Soft Margin* 24
2.2.9.3 Fungsi *Kernel* 25
2.2.9.4 Strategi Klasifikasi Multi-Kelas (*One-vs-One*) 26
2.2.10 Validasi *Within-Subject* dan Variabilitas Antar-Subjek 27
2.2.10.1 Variabilitas Antar-Subjek 27
2.2.10.2 Validasi *Within-Subject* 27
2.2.11 Metrik Evaluasi Performa 28
2.2.11.1 Akurasi 28
2.2.11.2 *Cohen's Kappa* (k-score) 28
2.2.11.3 *Macro-Averaged F1-Score* 29
2.2.11.4 Uji Signifikansi Statistik 29
2.2.11.5 Uji Mann-Whitney U 30
2.2.11.6 Koreksi *False Discovery Rate* Benjamini-Hochberg 30
2.3 Analisis Perbandingan Metode 31
2.4 Pertanyaan Tugas Akhir 32
BAB III Metode Penelitian 33
3.1 Alat dan Bahan Tugas Akhir 33
3.1.1 Alat Tugas Akhir 33
3.1.2 Bahan Tugas Akhir 33
3.2 Metode yang Digunakan 34
3.2.1 Akuisisi Data dan Struktur *Dataset* 36
3.2.2 Praproses Isyarat 37
3.2.3 Perhitungan Konektivitas Fungsional 39
3.2.4 Ekstraksi Fitur Teori Graf 41
3.2.5 Konstruksi Tugas Klasifikasi Biner (*One-vs-One*) 42
3.2.6 Seleksi Fitur dan Klasifikasi 42
3.2.7 Skema Validasi dan Metrik Evaluasi 43
3.2.8 Analisis *Connectome* Diskriminatif 44
3.3 Alur Tugas Akhir 45
BAB IV Hasil dan Pembahasan 47
4.1 Hasil Praproses Isyarat 47

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Klasifikasi Motor Imagery Berbasis Functional Connectivity EEG: PLV/wPLI + Graph Features untuk BCI
Indira Adella Ryta, Ir. Noor Akhmad Setiawan, S.T., M.T., Ph.D., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.2 Hasil dan Analisis Konektivitas Fungsional 48
4.2.1 Nilai dan Matriks Konektivitas 48
4.2.2 Konektivitas per Kelas (*Cue*) 50
4.2.3 Matriks Konektivitas per Kelas dan Matriks Selisih 50
4.2.4 Visualisasi Jaringan Otak 52
4.2.5 Validasi Neurofisiologis: Topografi Tangan Kiri vs Tangan Kanan 53
4.2.6 *Connectome* Diskriminatif Tingkat Koneksi 54
4.2.7 Pola Diskriminatif Keenam Pasangan Biner 56
4.3 Hasil dan Analisis Fitur Teori Graf 60
4.3.1 Metrik Graf yang Paling Diskriminatif 62
4.4 Hasil Klasifikasi Biner 63
4.4.1 Perbandingan PLV dan wPLI 63
4.4.2 Kontribusi Pita Frekuensi (*Multi-Band*) 68
4.4.3 Analisis Performa per Subjek 69
4.5 Pembahasan 70
4.5.1 Efektivitas PLV dibandingkan wPLI 70
4.5.2 Interpretasi Pola Jaringan Konektivitas Sensorimotor 71
4.5.3 Manfaat *Multi-Band Fusion* 72
4.5.4 Perbandingan Langsung Representasi Fitur 73
4.5.5 Konsistensi Performa pada Skema *Within-Subject* 75
4.6 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu 76
4.7 Keterkaitan dengan Tujuan dan Latar Belakang Penelitian 77
4.8 Keterbatasan Penelitian 78
BAB V Kesimpulan dan Saran 79
5.1 Kesimpulan 79
5.2 Saran 80
DAFTAR PUSTAKA 81
LAMPIRAN L-1
L.1 Gambar Pendukung L-1
L.2 Konfigurasi dan Hyperparameter Sistem L-5