

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN TIM PEMBIMBING.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN TIM PENGUJI .....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iv
PRAKATA.....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN .....	xiii
ABSTRAK .....	xiv
ABSTRACT.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Penelitian .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Keaslian dan Kontribusi Penelitian.....	3
1.6 Manfaat Penelitian .....	5
1.7 Sistematika Penulisan .....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI .....	7
2.1 Tinjauan Pustaka.....	7
2.2 Landasan Teori .....	10
2.2.1 Sinyal <i>Electromyography</i> (EMG) .....	10
2.2.1.1 Asal Fisiologis dan Pembentukan Sinyal EMG .....	11
2.2.1.2 Karakteristik Amplitudo dan Frekuensi Sinyal EMG.....	12
2.2.1.3 Sumber <i>Noise</i> dan Artefak pada Sinyal EMG .....	12
2.2.1.4 Implikasi Karakteristik EMG terhadap Pengolahan Sinyal	13
2.2.2 <i>Convolutional Neural Network</i> (CNN) .....	13
2.2.2.1 Fondasi Historis CNN.....	14
2.2.2.2 Arsitektur Umum CNN .....	14
2.2.2.3 Operasi Konvolusi pada CNN 1D .....	15
2.2.2.4 Padding dan Dimensi Keluaran .....	15
2.2.2.5 Pooling dan Reduksi Dimensi .....	15
2.2.2.6 Flatten dan Fully Connected Layer.....	16
2.2.2.7 Fungsi Aktivasi.....	16
2.2.2.8 Regularisasi dengan Dropout .....	16
2.2.2.9 Backpropagation dan Optimisasi .....	16
2.2.3 <i>Support Vector Machine</i> (SVM).....	16

2.2.3.1	Konsep Dasar Support Vector Machine .....	16
2.2.3.2	Keterbatasan Pemisahan Linear dan Motivasi Kernel .....	17
2.2.3.3	Formulasi Soft-Margin SVM .....	17
2.2.3.4	Formulasi Dual dan Kernel Trick .....	17
2.2.3.5	Kernel Radial Basis Function (RBF) .....	18
2.2.3.6	Parameter SVM–RBF dan Model Selection .....	18
2.2.3.7	Fungsi Keputusan SVM–RBF .....	18
2.2.3.8	Keunggulan SVM–RBF .....	18
2.2.4	<i>k-Nearest Neighbour</i> (k-NN) .....	19
2.2.4.1	Konsep Dasar <i>k-Nearest Neighbour</i> .....	19
2.2.4.2	Representasi Data dan Notasi .....	19
2.2.4.3	Pengukuran Jarak ( <i>Distance Metric</i> ) .....	19
2.2.4.4	Minkowski Distance .....	20
2.2.4.5	Penentuan Tetangga Terdekat .....	20
2.2.4.6	Majority Voting .....	20
2.2.4.7	Distance-Weighted Voting .....	20
2.2.4.8	Parameter <i>k</i> dan Kompleksitas .....	21
2.2.5	<i>Linear Discriminant Analysis</i> (LDA) .....	21
2.2.5.1	Representasi Data dan Notasi .....	21
2.2.5.2	Matriks Variansi Antar Kelas ( <i>Between-Class Scatter Matrix</i> ) .....	22
2.2.5.3	Matriks Variansi Dalam Kelas ( <i>Within-Class Scatter Matrix</i> ) .....	22
2.2.5.4	Kriteria Fisher dan Formulasi Optimisasi LDA .....	22
2.2.5.5	Pembentukan Ruang Dimensi Rendah .....	23
2.2.5.6	Class-Independent dan Class-Dependent LDA .....	23
2.2.6	<i>Recurrent Neural Network</i> (RNN) dan <i>Long Short-Term Memory</i> (LSTM) .....	23
2.2.6.1	<i>Recurrent Neural Network</i> (RNN) .....	23
2.2.6.2	<i>Long Short-Term Memory</i> (LSTM) .....	24
2.2.6.3	Formulasi Matematis LSTM .....	24
2.2.6.4	Interpretasi LSTM terhadap Sinyal EMG .....	25
2.2.6.5	Hubungan <i>Recurrent Neural Network</i> (RNN) dan <i>Long Short-Term Memory</i> (LSTM) .....	25
2.2.7	<i>Gated Recurrent Unit</i> (GRU) .....	26
2.2.7.1	Formulasi Matematis GRU .....	26
2.2.8	Analisis Statistik Performa Model .....	27
2.2.8.1	Uji Normalitas dalam Evaluasi Performa Model .....	27
2.2.8.2	Uji Normalitas Shapiro–Wilk .....	27
2.2.8.3	Uji Friedman .....	28
2.2.8.4	Uji Lanjutan Post-hoc Nemenyi .....	29
2.2.8.5	Kendall’s W ( <i>Coefficient of Concordance</i> ) .....	29



2.2.9	<i>Fitness Function</i> .....	30
2.3	Karakteristik Sinyal EMG <i>Class CNP</i> dan <i>Class Healthy</i> .....	31
2.3.0.1	Karakteristik Sinyal EMG Berdasarkan Fitur Domain Waktu.....	31
2.3.0.2	Karakteristik Sinyal EMG Berdasarkan Fitur Domain Frekuensi .....	32
2.3.0.3	Perbedaan CNP dan Sehat Berdasarkan Parameter Jaringan Otot .....	32
2.4	Metrik Performa .....	33
2.4.0.1	<i>Accuracy</i> .....	33
2.4.0.2	<i>Sensitivity</i> .....	34
2.4.0.3	<i>Specificity</i> .....	34
2.4.0.4	AUC .....	34
2.5	Pertanyaan Penelitian.....	34
2.6	Hipotesis.....	35
BAB III	METODE PENELITIAN .....	36
3.1	Alat dan Bahan.....	36
3.2	Data .....	36
3.3	Perancangan Sistem.....	36
3.3.1	Diagram Sistem .....	36
3.3.2	Arsitektur Sistem <i>Hybrid CNN</i> .....	38
3.3.3	<i>System Flowchart</i> .....	40
3.3.3.1	<i>Flowchart of Hybrid CNN with Machine Learning</i> .....	40
3.3.3.2	<i>Flowchart of Hybrid CNN with Deep Learning</i> .....	42
3.3.4	Parameter SVM, KNN, LDA, dan NCA .....	44
3.3.5	Parameter LSTM.....	45
3.3.6	Parameter GRU .....	46
3.3.7	Parameter RNN.....	46
BAB IV	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	49
4.1	Hasil Performa <i>Hybrid CNN</i> dan SVM.....	49
4.2	Hasil Performa <i>Hybrid CNN</i> dan KNN.....	50
4.3	Hasil Performa <i>Hybrid CNN</i> dan LDA .....	51
4.4	Hasil Performa <i>Hybrid CNN</i> dan LSTM .....	52
4.5	Hasil Performa <i>Hybrid CNN</i> dan RNN .....	53
4.6	Hasil Performa <i>Hybrid CNN</i> dan GRU .....	54
4.7	Hasil Perbandingan Metode Usulan dengan Metode Penelitian Sebelumnya ( <i>Machine Learning only vs CNN-Machine Learning</i> ) .....	55
4.8	Analisis Kinerja Model .....	58
4.8.1	Analisis Statistik .....	58
4.8.1.1	Shapiro-Wilk .....	58
4.8.1.2	Friedman Test .....	59
4.8.1.3	<i>Mean Rank</i> .....	59

4.8.1.4	Kendall's W .....	60
4.8.1.5	Post-hoc Nemenyi .....	60
4.8.2	Analisis <i>Fitness Function</i> .....	62
4.8.2.1	Mean per Metric per Model .....	64
4.8.2.2	Normalized Metrics (0-1).....	64
4.8.2.3	Fitness Score .....	64
4.8.2.4	Fitness Ranking .....	65
4.8.3	Analisis Teknis Antar Metode .....	65
4.8.3.1	Perbandingan Hasil Performa <i>Hybrid CNN - Machine Learning</i> dengan <i>CNN end-to-end</i> .....	65
4.8.3.2	Perbandingan Hasil Performa <i>Hybrid CNN - Machine Learning</i> dengan <i>Hybrid CNN - Deep Learning</i> .....	67
4.8.3.3	Generalisasi Metode Terbaik dan Batasannya .....	70
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	73
5.1	Kesimpulan .....	73
5.2	Saran.....	73
	DAFTAR PUSTAKA .....	74
	LAMPIRAN .....	L-1
	Lampiran 1: Algoritma .....	L-1