

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PENGUJI	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
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	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori	6
2.1 Tinjauan Pustaka	6
2.1.1 Tren Klasifikasi MI-EEG dengan Teknik <i>Deep Learning</i>	6
2.1.2 <i>Attention-based Temporal Convolutional Network (ATCNet)</i>	7
2.1.2.1 <i>Convolutional Block (CV)</i>	8
2.1.2.2 <i>Convolutional-based Sliding Window (SW)</i>	9
2.1.2.3 <i>Attention Block (AT)</i>	10
2.1.2.4 <i>Temporal Convolutional Block (TC)</i>	12
2.1.3 EEGNet	13
2.1.4 Efek Normalisasi Data untuk Adaptasi Domain pada Data EEG	16
2.2 Dasar Teori	18
2.2.1 <i>Brain-Computer Interface (BCI)</i>	18
2.2.2 Electroencephalogram	18
2.2.3 Imajinasi Motorik	19
2.2.4 <i>Deep Learning</i>	19
2.2.5 <i>Convolutional Neural Network</i>	20
2.2.5.1 <i>Convolutional Layer</i>	21
2.2.5.2 <i>Pooling Layer</i>	21

2.2.5.3	<i>Fully Connected Layer</i>	22
2.2.6	<i>Confusion Matrix</i>	22
2.2.7	<i>Data Scaling</i>	23
2.2.7.1	<i>Data Normalization</i>	23
2.2.7.2	<i>Data Standarization</i>	23
2.3	Analisis Perbandingan Metode	24
2.4	Pertanyaan Penelitian	25
BAB III Metode Penelitian.....		26
3.1	Alat dan Bahan Tugas Akhir	26
3.1.1	Alat Tugas Akhir	26
3.1.2	Bahan Tugas Akhir.....	27
3.2	Metode yang Digunakan.....	27
3.3	Alur Tugas Akhir	27
3.3.1	Studi Literatur	27
3.3.2	Koleksi <i>Dataset</i>	29
3.3.3	Praproses <i>Dataset</i>	30
3.3.3.1	Penskalaan Data	31
3.3.4	Pembangunan Model yang Dibandingkan	32
3.3.5	Pelatihan dan Pengujian Model dengan <i>Dataset</i>	33
3.3.6	Perbandingan Kinerja Klasifikasi dan Analisis	34
BAB IV Hasil dan Pembahasan.....		37
4.1	Pengolahan Data	37
4.2	Hasil Pengujian Model ATCNet.....	40
4.3	Hasil Pengujian EEGNet	42
4.4	Perbandingan Strategi Penskalaan Data pada ATCNet dan EEGNet	43
4.5	Perbandingan Kedua Model, ATCNet dan EEGNet.....	44
4.6	Perbandingan Efisiensi Komputasi Model	45
4.7	Perbandingan Kinerja Model dalam Penelitian dengan Artikel Publikasi ATCNet.....	47
BAB V Kesimpulan dan Saran.....		50
5.1	Kesimpulan.....	50
5.2	Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA.....		51
LAMPIRAN		L-1
L.1	<i>Kode Sumber</i>	L-1
L.1.1	Kode Sumber untuk Praproses Data.....	L-1
L.1.2	Kode Sumber untuk Blok <i>Attention</i>	L-4
L.1.3	Kode Sumber untuk Model ATCNet dan EEGNet	L-9
L.1.4	Kode Sumber untuk Menjalankan Model	L-15

L.2	<i>Log Pengujian Model</i>	L-25
L.2.1	<i>Log ATCNet dengan Standarisasi Data</i>	L-25
L.2.2	<i>Log ATCNet dengan Normalisasi Data</i>	L-27
L.2.3	<i>Log ATCNet tanpa Penskalaan Data</i>	L-30
L.2.4	<i>Log EEGNet dengan Standarisasi Data</i>	L-32
L.2.5	<i>Log EEGNet dengan Normalisasi Data</i>	L-34
L.2.6	<i>Log EEGNet tanpa Penskalaan Data</i>	L-37
L.3	<i>Screenshot Proses Pelatihan Model</i>	L-39
L.4	<i>Matriks Konfusi Evaluasi Model</i>	L-41
L.4.1	<i>Matriks Konfusi ATCNet</i>	L-41
L.4.2	<i>Matriks Konfusi EEGNet</i>	L-42
L.5	<i>Plot EEG Empat Kelas Data Trial</i>	L-44

Tabel 2.1	Penelitian pada data BCI Comp. IV 2a dengan <i>Cross-Session (subject-dependant)</i> , Rerata % (Std %) [1]	17
Tabel 3.1	Arsitektur ATCNet (Versi Sederhana)	36
Tabel 3.2	Arsitektur EEGNet	36
Tabel 4.1	Deskripsi tipe peristiwa pada Kompetisi BCI IV 2a [2]	37
Tabel 4.2	Event Data Table	38
Tabel 4.3	Perbandingan akurasi (Acc%) dan <i>k-score</i> untuk ATCNet tanpa penskalaan data, dengan standarisasi, dan dengan normalisasi, untuk setiap subjek.	40
Tabel 4.4	Perbandingan akurasi (Acc%) dan <i>k-score</i> untuk EEGNet tanpa penskalaan data, dengan standarisasi, dan dengan normalisasi, untuk setiap subjek.	43
Tabel 4.5	Perbandingan kinerja ATCNet dan EEGNet dengan keduanya tanpa penggunaan penskalaan data.	45
Tabel 4.6	Waktu pelatihan model untuk setiap subjek pada ATCNet.	46
Tabel 4.7	Waktu pelatihan model untuk setiap subjek pada EEGNet.	47
Tabel 4.8	Perbandingan kinerja ATCNet dalam Tugas Akhir ini dengan hasil kinerja ATCNet pada artikel proposal model ATCNet.	48

Gambar 2.1	Gambar komponen model ATCNet [3]	7
Gambar 2.2	Blok CV melakukan encode spasio-temporal melalui tiga lapisan konvolusi. Blok CV menerima isyarat MI-EEG dan output sebuah sekuensi sementara dengan elemen T_C . Setiap elemen adalah ukuran vektor F_2 [3]	9
Gambar 2.3	Interaksi kueri dan kunci dalam membuat <i>pooling attention</i> yang melakukan seleksi bias nilai-nilai di dalamnya. [3]	10
Gambar 2.4	Visualisasi kerja <i>Scaled Dot-Product Attention</i> (kiri) dan <i>Multi-Head Attention</i> (kanan) [4].	11
Gambar 2.5	Arsitektur dari TCN yang terdiri dari dua blok residual [3].	12
Gambar 2.6	Visualisasi sebuah blok TCN, 2 blok residual, ukuran kernel = 4, dan jumlah filter = 32. Output dari blok residual pertama adalah input keduanya. RFS untuk TCN nantinya 19 [3].	13
Gambar 2.7	Visualisasi keseluruhan Arsitektur EEGNet. Garis mendenotasi konektivitas kernel konvolusi antara input dan output yang disebut peta fitur. Jaringan dimulai dengan konvolusi sementara (kolom kedua) untuk mempelajari frekuensi filter, lalu menggunakan konvolusi <i>depthwise</i> (kolom tengah), yang terhubung ke setiap peta fitur secara individu, untuk mempelajari frekuensi khusus filter spasial. Konvolusi <i>separable</i> (kolom keempat) adalah kombinasi dari konvolusi <i>depthwise</i> , yang mempelajari ringkasan sementara untuk setiap peta fitur secara individu, diikuti dengan konvolusi <i>pointwise</i> , yang mempelajari bagaimana mengoptimalkan pergabungan peta fitur bersama [5]	14
Gambar 2.8	Visualisasi Arsitektur EEGNet, di mana C = jumlah saluran, T = jumlah titik waktu, F_1 = jumlah filter sementara, D = jumlah filter spasial, F_2 = jumlah filter <i>pointwise</i> , dan N = jumlah kelas [5]	15
Gambar 2.9	Contoh Matriks Konfusi [6]	22
Gambar 3.1	Diagram Alur Tugas Akhir.	28
Gambar 3.2	Skema waktu <i>dataset</i>	29
Gambar 3.3	Skema waktu <i>dataset</i>	30
Gambar 4.1	Kiri: Montase elektroda sesuai dengan sistem internasional 10-20. Kanan: Montase elektroda untuk tiga monopolar saluran EOG [2]	39
Gambar 4.2	Sampel satu sesi subjek 1	39
Gambar 4.3	Sampel semua sesi untuk subjek 1	39
Gambar 4.4	Visualisasi akurasi ATCNet ketiga strategi setiap subjek.	41
Gambar 4.5	Visualisasi akurasi ATCNet ketiga strategi setiap subjek.	44
Gambar 1	ATCNet tanpa penskalaan data	L-41
Gambar 2	ATCNet dengan standarisasi data	L-41
Gambar 3	ATCNet dengan normalisasi data	L-42
Gambar 4	EEGNet tanpa penskalaan data	L-42
Gambar 5	EEGNet dengan standarisasi data	L-43



UNIVERSITAS
GADJAH MADA

Studi Perbandingan Metode Pengklasifikasi dan Dampak Penskalaan Data pada Motor Imagery Berbasis EEG

Rasyidan Akbar Fayrussani, Ir. Noor Akhmad Setiawan, S.T., M.T., Ph.D., IPM. ; Prof. Ir. Selo, S.T., M.T., M. Sc., Ph.D.

Universitas Gadjah Mada, 2023 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

Gambar 6	EEGNet dengan normalisasi data	L-43
Gambar 7	A01T all class	L-44
Gambar 8	A02T all class	L-44
Gambar 9	A03T all class	L-45
Gambar 10	A04T all class	L-45
Gambar 11	A05T all class	L-46
Gambar 12	A06T all class	L-46
Gambar 13	A07T all class	L-47
Gambar 14	A08T all class	L-47
Gambar 15	A09T all class	L-48