

HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR SINGKATAN	x
INTISARI	xi
ABSTRACT	xii
BAB I Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori	6
2.1 Tinjauan Pustaka	6
2.1.1 Estimasi dan Klasifikasi Beban Kognitif	6
2.1.2 Transformasi Time Series menjadi Representasi 2D	6
2.1.3 Penerapan CNN dan Transfer Learning untuk Data 2D	7
2.2 Dasar Teori	10
2.2.1 Beban Kognitif	10
2.2.2 NASA-TLX	11
2.2.3 Gerakan Mata Manusia	15
2.2.4 <i>Eye Tracking</i>	16
2.2.5 Fitur Gerakan Mata	17
2.2.5.1 Kedipan Mata (<i>Blink</i>)	17
2.2.5.2 Arah Pandang (<i>Gaze</i>)	17
2.2.5.3 Diameter Pupil	18
2.2.6 Transformasi Satu Dimensi (1D) menjadi Dua Dimensi (2D)	18
2.2.6.1 Representasi <i>Time Series</i> sebagai Citra	18
2.2.6.2 <i>Recurrence Plot</i> (RP)	19
2.2.7 Kecerdasan Buatan (AI)	21
2.2.8 <i>Deep Learning</i> (DL)	21
2.2.9 <i>Convolutional Neural Network</i> (CNN)	22

2.2.9.1	<i>Input Image</i>	23
2.2.9.2	<i>Convolution Layer</i>	23
2.2.9.3	<i>Pooling Layer</i>	25
2.2.9.4	<i>Fully Connected Layer</i>	26
2.2.9.5	<i>Activation Function</i>	27
2.2.9.6	<i>Output layer</i>	27
2.2.9.7	<i>Loss Function</i>	28
2.2.10	<i>Transfer Learning dan Arsitektur Model</i>	28
2.2.10.1	<i>Transfer Learning</i>	28
2.2.10.2	InceptionV3	29
2.2.10.3	ResNet50	29
2.2.10.4	DenseNet121	30
2.2.10.5	EfficientNet-B0	31
2.2.11	<i>Hyperparameter dan Optimasi</i>	31
2.2.11.1	<i>Hyperparameter pada CNN</i>	32
2.2.11.2	Teknik Augmentasi Citra	34
2.2.11.3	<i>Class Balancing</i>	34
2.2.12	Evaluasi Model	34
2.2.12.1	Evaluasi Performa Model	35
2.2.12.2	Metrik Evaluasi	36
2.2.13	Uji Statistik	38
2.2.13.1	Pengujian Hipotesis Statistik	38
2.2.13.2	Uji Normalitas Data	38
2.2.13.3	Uji Statistik Parametrik dan Non-Parametrik	39
BAB III Metode Penelitian		40
3.1	Alat dan Bahan	40
3.1.1	Alat	40
3.1.1.1	Perangkat Keras	40
3.1.1.2	Perangkat Lunak	40
3.1.2	Bahan	41
3.2	Alur Tugas Akhir	43
3.2.1	Transformasi Data 1D ke 2D	44
3.2.2	<i>Preprocessing</i> Data Citra RP	44
3.2.3	Proses Pembelajaran Model	45
3.2.4	Evaluasi Kinerja Model	45
3.2.5	Analisis Perbandingan Model	46
3.3	Metode yang Digunakan	46
3.3.1	Dataset	46
3.3.2	Transformasi Sinyal 1D menjadi Representasi 2D	47

3.3.3	Pembentukan <i>Recurrence Plot</i>	48
3.3.4	Pembagian Data dan <i>Labeling Dataset</i>	53
3.3.5	Arsitektur Model CNN dan <i>Transfer Learning</i>	54
3.3.6	<i>Pre-processing</i> Citra dan Augmentasi	56
3.3.7	<i>Hyperparameter, Loss Function, dan Optimizer</i>	58
3.3.8	Evaluasi Model	59
3.3.8.1	Protokol Evaluasi (Langkah demi Langkah)	59
3.3.8.2	Metrik Evaluasi	60
3.3.8.3	Kriteria Keberhasilan	60
BAB IV Hasil dan Pembahasan		62
4.1	Hasil Transformasi <i>Recurrence Plot</i> (RP)	62
4.1.1	Representasi Visual Citra <i>Recurrence Plot</i>	62
4.1.2	Distribusi Data Citra <i>Recurrence Plot</i>	65
4.2	Evaluasi Performa Model Klasifikasi	66
4.2.1	Kurva Evaluasi Pelatihan dan Validasi	66
4.2.2	<i>Confusion Matrix</i>	69
4.2.3	Rata-rata <i>F1-Score</i>	73
4.2.4	Analisis Komparatif Kinerja Model	75
4.3	Perbandingan Kinerja Model	76
4.3.1	Uji Statistik	76
4.3.1.1	Uji Perbandingan <i>Gaze</i> (X dan Y)	76
4.3.1.2	Uji Perbandingan Model <i>Pretrained CNN</i>	78
4.4	Diskusi	81
4.4.1	Dominasi Sinyal <i>Gaze</i> Horizontal	81
4.4.2	Analisis Keunggulan DenseNet121	82
4.4.3	Perbandingan Hasil Penelitian dengan Hasil Terdahulu	83
4.4.4	Implikasi dan Keterbatasan Penelitian	84
BAB V Kesimpulan dan Saran		89
5.1	Kesimpulan	89
5.2	Saran	90
DAFTAR PUSTAKA		92
LAMPIRAN		L-1
L.1	<i>Source Code</i> Transformasi Sinyal <i>Gaze</i> Menjadi <i>Recurrence Plot</i>	L-1
L.2	<i>Source Code Training Loop</i> dan Evaluasi Model DenseNet-121	L-3
L.3	<i>Source Code Training Loop</i> dan Evaluasi Model EfficientNet-B0	L-8
L.4	<i>Source Code Training Loop</i> dan Evaluasi Model InceptionV3	L-9
L.5	<i>Source Code Training Loop</i> dan Evaluasi Model ResNet50	L-11

Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian	9
Tabel 2.2	Definisi Faktor Penilaian NASA-TLX	12
Tabel 2.3	Indikator Pembobotan Kuesioner NASA-TLX	13
Tabel 2.4	Pemberian <i>Rating</i> NASA-TLX	14
Tabel 2.5	Kategori Skor NASA-TLX	15
Tabel 2.6	Ilustrasi sederhana dari <i>Confusion Matrix</i>	37
Tabel 3.1	<i>Labeling</i> berdasarkan skor NASA-TLX.....	53
Tabel 3.2	Distribusi jumlah data per kelas sebelum transformasi ke citra RP ...	54
Tabel 3.3	Perbandingan Arsitektur CNN yang Digunakan	55
Tabel 3.4	Konfigurasi <i>Pre-processing</i> dan Augmentasi Citra	57
Tabel 3.5	Konfigurasi Model CNN	59
Tabel 4.1	Distribusi jumlah citra per kelas setelah transformasi ke RP.....	65
Tabel 4.2	Distribusi jumlah citra kombinasi (horizontal + vertikal)	66
Tabel 4.3	Rata-rata <i>F1-Score</i> untuk <i>gaze</i> Horizontal (X).....	73
Tabel 4.4	Rata-rata <i>F1-Score</i> untuk <i>gaze</i> Vertikal (Y).....	74
Tabel 4.5	Rata-rata <i>F1-Score</i> untuk <i>gaze</i> Kombinasi (X-Y)	74
Tabel 4.9	Hasil Penelitian dengan Studi Sebelumnya pada Dataset COLET	84
Tabel 4.6	Hasil Test Model pada <i>Gaze</i> Horizontal (X)	86
Tabel 4.7	Hasil Test Model pada <i>Gaze</i> Vertikal (Y)	87
Tabel 4.8	Hasil Test Model pada <i>Gaze</i> kombinasi (X-Y)	88
Tabel 1	Hasil Validasi Model pada <i>Gaze</i> Horizontal X.....	L-13
Tabel 2	Hasil Validasi Model pada <i>Gaze</i> Vertikal Y.....	L-14
Tabel 3	Hasil Validasi Model pada <i>gaze</i> Kombinasi.....	L-15

Gambar 2.1	Ilustrasi Skematik Beban Kognitif [1]	11
Gambar 2.2	Dua jenis <i>Eye tracker</i> yang umum digunakan. (a) <i>Head Mounted</i> [2] dan (b) <i>Remote</i> [3].	16
Gambar 2.3	Visualisasi hasil <i>gaze</i> . (a) <i>Gaze</i> satu pengguna. (b) <i>Gaze</i> ambigu akibat akumulasi data dari banyak pengguna. [4].	17
Gambar 2.4	Citra hasil transformasi RP (a) sinyal ECG dan (b) sinyal EEG [5]	19
Gambar 2.5	Lapisan-lapisan pada <i>deep learning</i>	22
Gambar 2.6	Contoh Arsitektur CNN untuk Klasifikasi citra.	22
Gambar 2.7	Perhitungan Utama yang Dilakukan Pada Setiap Langkah <i>Convolution Layer</i> [6].	25
Gambar 2.8	Tiga Jenis Utama dari Operasi <i>Pooling</i> [6].	26
Gambar 2.9	<i>Fully Connected Layer</i> [6].	27
Gambar 2.10	Struktur Jaringan InceptionV3 [7].	29
Gambar 2.11	Blok Residual Fondasi ResNet [8].	30
Gambar 2.12	<i>Layers</i> Arsitektur Densenet121 [9].	30
Gambar 2.13	Ilustrasi jaringan saraf tanpa <i>dropout</i> (kiri) dan dengan <i>dropout</i> (kanan). <i>Dropout</i> menonaktifkan neuron secara acak selama pelatihan untuk mencegah <i>overfitting</i> dan meningkatkan generalisasi model.	33
Gambar 2.14	Ilustrasi dari <i>5 Fold Cross Validation</i> dengan blok berwarna putih mewakili fold pengujian pada setiap langkah [10].	35
Gambar 2.15	Ilustrasi dari <i>10 Fold Cross Validation</i> dengan blok berwarna biru mewakili fold pengujian pada setiap langkah [11].	36
Gambar 3.16	Contoh percobaan dalam tugas CAPTCHA. Partisipan diminta memilih kotak-kotak yang mengandung objek <i>pouffe</i> [12].	41
Gambar 3.17	Representasi grafis eksperimen [12].	42
Gambar 3.18	Diagram alur tugas akhir	43
Gambar 4.19	Contoh citra RP dari <i>gaze</i> horizontal (X) untuk tiga kelas beban kognitif	63
Gambar 4.20	Contoh citra RP dari <i>gaze</i> horizontal (Y) untuk tiga kelas beban kognitif	64
Gambar 4.21	Plot <i>TrainAcc</i> , <i>ValAcc</i> , dan <i>ValLoss</i> untuk <i>gaze</i> horizontal (X). ...	67
Gambar 4.22	Plot <i>TrainAcc</i> , <i>ValAcc</i> , dan <i>ValLoss</i> untuk <i>gaze</i> vertikal (Y).	68
Gambar 4.23	Plot <i>TrainAcc</i> , <i>ValAcc</i> , dan <i>ValLoss</i> untuk <i>gaze</i> kombinasi (X-Y).	69
Gambar 4.24	<i>Confusion Matrix</i> untuk <i>Gaze</i> Horizontal (X).	70
Gambar 4.25	<i>Confusion Matrix</i> untuk <i>Gaze</i> Vertikal (Y).	71
Gambar 4.26	<i>Confusion Matrix</i> untuk <i>Gaze</i> Kombinasi (X-Y).	72
Gambar 4.27	Hasil Uji Normalitas pada <i>Gaze</i> (X dan Y)	77
Gambar 4.28	Hasil <i>Wilcoxon Signed-Rank Test</i> terhadap Akurasi Klasifikasi Sinyal <i>Gaze</i> X dan Y	78
Gambar 4.29	Hasil Uji Normalitas pada Akurasi Tiap Model <i>Pretrained</i> CNN.	79
Gambar 4.30	Hasil <i>Friedman Test</i>	80

DAFTAR SINGKATAN

1D	=	Satu Dimensi
2D	=	Dua Dimensi
COLET	=	<i>Cognitive Workload Estimation Based on Eye Tracking</i>
CNN	=	<i>Convolutional Neural Network</i>
DL	=	<i>Deep Learning</i>
DTETI	=	Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi
RP	=	<i>Recurrence Plot</i>