

## DAFTAR ISI

Halaman Judul	ii
Lembar Pengesahan Proposal Tesis	iii
Halaman Pernyataan	iv
Halaman Persembahan	v
Prakata	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
INTISARI	xvii
ABSTRACT	xviii
<b>I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Keaslian Penelitian	4
1.7 Metodologi Penelitian	4
1.8 Sistematika Penulisan	5
<b>II TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>7</b>
<b>III DASAR TEORI</b>	<b>12</b>
3.1 Huruf Hijaiah	12
3.2 <i>Automatic Speech Recognition (ASR)</i>	13
3.2.1 <i>Mel Frequency Cepstral Coefficient (MFCC)</i>	13

3.2.2	<i>Delta</i>	16
3.2.3	<i>Delta-Delta</i>	16
3.2.4	<i>Cepstral Mean Normalization (CMN)</i>	16
3.3	Jaringan Saraf Tiruan	17
3.3.1	Fungsi aktivasi	19
3.3.2	Fungsi biaya	19
3.3.3	<i>Softmax layer</i>	20
3.3.4	<i>Gradient descent</i>	21
3.3.5	<i>Mini-batch gradient descent</i>	22
3.3.6	<i>Adaptive gradient</i>	23
3.4	Deep Learning	23
3.5	<i>Convolutional Neural Network (CNN)</i>	23
3.5.1	<i>Local receptive fields</i>	24
3.5.2	<i>Shared weights</i>	25
3.5.3	<i>Feature maps</i>	26
3.5.4	<i>Pooling layer</i>	26
3.6	Regularisasi	27
3.6.1	<i>L2 regularization</i>	27
3.6.2	<i>Dropout</i>	28
3.7	<i>Feature Selection</i>	28
3.7.1	<i>Variance threshold</i>	29
3.7.2	<i>Fisher-Markov Selector</i>	29
3.8	<i>Cross-Validation</i>	31
3.8.1	S-fold cross-validation	31
3.8.2	Stratified cross-validation	32
<b>IV ANALISIS DAN RANCANGAN</b>		<b>33</b>
4.1	Gambaran Umum Sistem	33
4.2	Analisis Data	34
4.2.1	Subjek	34
4.2.2	Lingkungan perekaman	35
4.2.3	Alat perekam	35
4.2.4	Metode perekaman	35
4.2.5	Karakteristik data	35
4.3	Praproses Data	36

4.3.1	Pengurangan derau	37
4.3.2	Segmentasi data suara	38
4.3.3	Ekstraksi fitur	41
4.3.4	Penyusunan data	42
4.3.5	Pembagian data	42
4.4	Rancangan Eksperimen	44
4.4.1	Tahapan pencarian model	44
4.4.2	Pencarian parameter terbaik	45
4.5	Rancangan Pelatihan	47
4.5.1	Arsitektur <i>Convolutional Neural Network</i> sebagai <i>classifier</i>	47
4.5.2	Arsitektur <i>Convolutional Neural Network</i> sebagai <i>feature extractor</i>	48
4.5.3	Arsitektur <i>Convolutional Neural Network</i> dengan <i>feature selection</i>	50
4.5.4	Inisialisasi bobot dan bias	51
4.5.5	Parameter pelatihan	51
4.5.6	Regularisasi	51
4.5.7	Seleksi Fitur	52
4.6	Rancangan Pengujian	52
4.6.1	Pengujian waktu	52
4.6.2	Pengujian akurasi	53
<b>V</b>	<b>IMPLEMENTASI</b>	<b>54</b>
5.1	Spesifikasi <i>Hardware</i> Dan <i>Software</i>	54
5.2	Implementasi Praproses Data	54
5.2.1	Pengurangan derau	55
5.2.2	Segmentasi data suara	55
5.2.3	Ekstraksi fitur	56
5.2.4	Penyusunan dan serialisasi	57
5.3	Implementasi Arsitektur	58
5.3.1	Arsitektur <i>Convolutional Neural Network</i>	59
5.4	Implementasi <i>Fisher-Markov Selector</i>	63
5.5	Implementasi <i>Variance Threshold</i>	64
5.6	Implementasi Proses Pelatihan	65
5.6.1	Pembagian data	65

5.6.2	Cross-Validation	65
5.6.3	Normalisasi	66
5.6.4	Algoritma pelatihan	67
5.7	Implementasi Proses Evaluasi	69
5.8	Implementasi Penyimpanan Hasil	70
5.8.1	Penyimpanan plot hasil <i>cross-validation</i>	70
5.8.2	Penyimpanan model	71
5.8.3	Penyimpanan catatan eksperimen	71
<b>VI HASIL DAN PEMBAHASAN</b>		<b>73</b>
6.1	Eksperimen model CNN	73
6.2	Eksperimen model CNN sebagai <i>feature extractor</i>	76
6.3	Eksperimen model CNN dengan <i>feature selection</i>	77
6.3.1	<i>Fisher-Markov Selector</i>	78
6.3.2	<i>Variance Threshold</i>	80
6.4	Waktu Pencarian Parameter	81
6.5	Evaluasi Model	82
6.6	Analisis dan Pembahasan	83
6.6.1	Analisis overfitting	84
6.6.2	Analisis hasil model terbaik	87
<b>VII KESIMPULAN DAN SARAN</b>		<b>94</b>
7.1	Kesimpulan	94
7.2	Saran	94
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		<b>96</b>
<b>A Formulir Akuisisi Data</b>		<b>100</b>

## DAFTAR TABEL

2.1	Tinjauan pustaka	10
3.1	Table makhrajul huruf	12
4.1	Karakteristik huruf yang diujikan dalam penelitian beserta indeks	34
4.2	Susunan huruf yang dilafalkan subjek	36
4.3	Ringkasan kegunaan masing-masing partisi data	44
4.4	Contoh nilai parameter terbaik hasil <i>cross-validation</i>	46
4.5	Contoh himpunan nilai parameter	46
6.1	Arsitektur yang diujikan pada tahap pertama	73
6.2	Himpunan nilai masing-masing parameter arsitektur yang diujikan tahap pertama	74
6.3	Tiga terbaik model CNN1 dengan parameternya	75
6.4	Tiga terbaik model CNN2 dengan parameternya	75
6.5	Tiga terbaik model CNN1FC1 dengan parameternya	75
6.6	Tiga terbaik model CNN2FC1 dengan parameternya	76
6.7	Arsitektur atau model yang diujikan pada tahap kedua	77
6.8	Himpunan nilai masing-masing parameter arsitektur yang diujikan tahap kedua	77
6.9	Tiga terbaik model CNN-M dengan parameternya	77
6.10	Arsitektur atau model yang diujikan pada tahap ketiga	78
6.11	Nilai masing-masing parameter arsitektur yang diujikan tahap ketiga	78
6.12	Himpunan nilai parameter eksperimen dengan <i>Fisher-Markov Selector</i>	79
6.13	Himpunan nilai parameter dengan rentangan yang lebih detail	79
6.14	Tiga terbaik model CNN dengan <i>Fisher-Markov Selector</i>	80
6.15	Himpunan nilai parameter eksperimen dengan <i>Variance Threshold</i>	80
6.16	Himpunan nilai parameter dengan rentangan yang lebih detail	80
6.17	Tiga terbaik model CNN dengan <i>Variance Threshold</i>	81
6.18	Waktu yang dibutuhkan masing-masing model dalam pencarian parameter	81
6.19	Pengelompokan huruf yang memiliki kemiripan	84

6.20 Perbandingan 75 <i>epoch</i> dan 25 <i>epoch</i> CNN2	85
6.21 Model terbaik keseluruhan	87
6.22 Parameter model-model terbaik	87
6.23 Model CNN-F dan CNN-V dengan nilai parameter sama	89

## DAFTAR GAMBAR

3.1	Arsitektur ASR	13
3.2	Contoh arsitektur jaringan saraf tiruan	18
3.3	Sebuah neuron pada <i>hidden layer</i> terkoneksi pada sebuah area kecil neuron input	25
3.4	Penggeseran satu piksel <i>local receptive fields</i> ke kanan untuk mencari nilai neuron kedua	25
3.5	Contoh pemetaan <i>input layer</i> ke tiga <i>feature map</i> . Masing-masing <i>feature map</i> memiliki kernel yang dengan nilai berbeda	26
3.6	Contoh proses <i>pooling</i> dengan area <i>pooling</i> ukuran 2 x 2	27
3.7	Ilustrasi dropout yang menonaktifkan neuron pada hidden layer	28
3.8	Ilustrasi <i>S-Fold</i> membagi data menjadi S=4 bagian	31
4.1	Alur umum pemrosesan data dan sistem	33
4.2	Sampel acak masing-masing huruf dengan skala yang sama	36
4.3	Perbedaan sinyal audio yang telah melalui reduksi derau	37
4.4	Proses segmentasi dengan konvolusi sinyal	38
4.5	Rekaman س dengan terpisah antara derau, konsonan, dan vokal	40
4.6	Salah satu data dengan skala pemotongan yang sama dengan Gambar 4.2	40
4.7	Diagram alir proses ekstraksi fitur	42
4.8	Ilustrasi pembagian keseluruhan data	43
4.9	Tahapan penelitian berdasarkan model	44
4.10	Diagram alir proses eksperimen	45
4.11	CNN dengan 1 <i>convolutional layer</i>	48
4.12	CNN dengan 2 <i>convolutional layer</i>	48
4.13	CNN dengan 1 <i>convolutional layer</i> dan 1 fully-connected layer	48
4.14	CNN dengan 2 <i>convolutional layer</i> dan 1 fully-connected layer	48
4.15	Ilustrasi proses transfer fitur dari CNN ke MLP	49
4.16	CNN 1 layer transfer fitur ke MLP	50
4.17	CNN 2 layer transfer fitur ke MLP	50
4.18	CNN 1 layer dan 1 fully-connected layer transfer fitur ke MLP	50
4.19	Ilustrasi proses konvolusi beserta reduksi dimensi	50
5.1	Proses pemotongan data suara dengan lebar tetap	55

5.2	Proses menghitung total kekuatan yang dihasilkan	56
5.3	Proses ekstraksi fitur	56
5.4	Proses menghitung delta	57
5.5	Proses normalisasi dengan CMN	57
5.6	Proses penyusunan data sebelum disimpan	58
5.7	Proses serialisasi	58
5.8	Class CNN dengan 1 <i>convolutional layer</i>	60
5.9	Class CNN dengan 2 <i>convolutional layer</i>	61
5.10	Class CNN dengan 1 <i>convolutional layer</i> dan tambahan 1 fully-connected layer	62
5.11	Class CNN dengan 2 <i>convolutional layer</i> dan tambahan 1 fully-connected layer	63
5.12	Fungsi untuk menghitung <i>Fisher-Markov Selector</i>	64
5.13	Fungsi untuk menghitung <i>Fisher-Markov Selector</i>	65
5.14	Proses pembagian data latih dan tes	65
5.15	Pendefinisian <i>Stratified K-Fold</i>	66
5.16	Iterasi sebanyak fold dengan nilai indeks data yang akan digunakan	66
5.17	Inisialisasi arsitektur	66
5.18	Inisialisasi arsitektur	67
5.19	Proses <i>forward</i> dan <i>backward propagation</i> saat <i>cross-validation</i>	68
5.20	Proses validasi dengan data validasi $x_{test}$	68
5.21	Inisialisasi model dan normalisasi data untuk pengujian	69
5.22	Implementasi proses evaluasi	70
5.23	Proses penyimpanan plot hasil validasi	71
5.24	Proses penyimpanan model	71
5.25	Proses penyimpanan catatan atau <i>log</i>	72
6.1	Hasil plot nilai eror data validasi CNN1FC1	74
6.2	Hasil plot nilai eror data validasi CNN2	74
6.3	Confusion Matrix Fis#3	82
6.4	Confusion Matrix VT#2	83
6.5	Hasil plot nilai eror data validasi CNN2	84
6.6	Hasil softmax tiap kelas pada data validasi, model dengan 25 epoch	86
6.7	Hasil softmax tiap kelas pada data validasi, model dengan 75 epoch	86
6.8	Plot nilai algoritma <i>Fisher-Markov Selector</i> dan <i>Variance Threshold</i>	90

6.9	Plot nilai algoritma <i>Fisher-Markov Selector</i>	90
6.10	Plot nilai algoritma <i>Variance Threshold</i>	91
6.11	Plot nilai fitur terurut algoritma <i>Fisher-Markov Selector</i>	92
6.12	Plot nilai fitur terurut algoritma <i>Variance Threshold</i>	92
6.13	Visualisasi pemotongan masing-masing algoritma berdasarkan model terbaik	93