

ABSTRAK

Abstrak – *Diabetic Retinopathy* (DR) adalah penyakit mata yang disebabkan oleh diabetes melitus atau penyakit gula. Jika DR dideteksi sejak dini, maka kebutaan dapat dicegah. *Ophthalmologist* atau ahli mata biasanya menentukan tingkat keparahan DR dari citra *fundus* retina. Pemeriksaan citra *fundus* retina dengan seksama merupakan tugas yang memakan waktu dan membutuhkan *ophthalmologist* yang berpengalaman. Namun komputer yang sudah di-*training* untuk mengenali tingkat keparahan DR dapat mendiagnosis dan memberikan hasil secara *real-time*. Salah satu pendekatan algoritma untuk *training* komputer mengenali suatu citra adalah *deep learning Convolutional Neural Network* (CNN). CNN memungkinkan komputer untuk mempelajari fitur citra fundus retina secara otomatis. Biasanya sebelum *training* model CNN akan dilakukan *preprocessing* terhadap citra *fundus* retina. Pada studi ini dilakukan empat *preprocessing* pada dataset “APTOS 2019 Blindness Detection”. Dari keempat *preprocessing* yang diuji, *preprocessing* dengan *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* yang diikuti *unsharp masking* pada *channel* hijau citra *fundus* retina memberikan hasil terbaik dengan akurasi 78,79%, presisi 82,97%, *recall* 74,64%, dan AUC 95,81%. Adapun arsitektur CNN yang digunakan adalah Inception v3.

Kata kunci: *Convolutional Neural Network*, *Diabetic Retinopathy*, Inception v3, klasifikasi, *transfer learning*

ABSTRACT

Abstract—Diabetic retinopathy (DR) is eye diseases caused by diabetic mellitus or sugar diseases. If DR is detected in early stages, the blindness that follow can be prevented. Ophthalmologists or eye clinicians usually decide the stage of DR from retinal fundus images. Careful examination of retinal fundus images is a time consuming task and require experienced clinicians or ophthalmologist but a computer which has been trained to recognize the DR stages can diagnose and give result in real-time manner. One approach of algorithms to train a computer to recognize an image is deep learning Convolutional Neural Network (CNN). CNN allows a computer to learn the features of an image, in our case is retinal fundus image, automatically. Preprocessing is usually done before a CNN model is trained. In this study, four preprocessing were carried out on “APTOS 2019 Blindness Detection” dataset. Of the four preprocessing tested, preprocessing with Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization followed by unsharp masking on the green channel of the retinal fundus image give the best results with an accuracy of 78.79%, 82.97% precision, 74.64% recall, and 95.81% AUC. The CNN architecture used is Inception v3.

Keywords: classification; Convolutional Neural Network; Diabetic Retinopathy; Inception v3; transfer learning



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS LAPORAN PENELITIAN	ii
PERNYATAAN PUBLIKASI LAPORAN PENELITIAN	iii
PRAKATA	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR SINGKATAN	xvi
DAFTAR ISTILAH	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	18
1.1 Latar Belakang dan Motivasi	19
1.2 Rumusan Masalah	21
1.3 Tujuan Penelitian	21
1.4 Ruang Lingkup	22
1.5 Sistematika Penyajian	22
BAB 2 LANDASAN TEORI	25
2.1 <i>Convolutional Neural Network</i>	26
2.1.1 Lapisan <i>Convolutional</i>	28
2.1.2 Lapisan <i>Pooling</i>	31
2.1.3 Fungsi Aktivasi	31
2.1.4 Lapisan <i>Fully Connected</i>	32
2.2 Inception v3	35

2.2.1 Modul Inception v3	36
2.2.2 <i>Grid Size Reduction</i>	38
2.3 <i>Transfer Learning</i>	39
2.4 Metrik Pengukuran.....	41
BAB 3 TINJAUAN PUSTAKA	43
3.1 Penelitian Klasifikasi DR dengan <i>Deep Learning</i> CNN.....	43
3.2 Rangkuman Tinjauan Pustaka.....	54
BAB 4 METODOLOGI PENELITIAN.....	57
4.1 Hipotesis Penelitian.....	57
4.2 <i>Pipeline</i> Penelitian	57
4.3 Dataset.....	60
4.4 <i>Preprocessing</i> Dataset.....	61
4.4.1 Menghapus Duplikasi Citra.....	62
4.4.2 Mengubah Ukuran Citra.....	63
4.4.3 <i>Preprocessing</i> Ben Graham	64
4.4.4 <i>Preprocessing</i> Nakhon.....	66
4.4.5 <i>Preprocessing</i> Ramasubramanian.....	66
4.4.6 <i>Preprocessing Enhanced Green</i>	67
4.5 Augmentasi	69
4.6 <i>Training</i> Model	70
4.6.1 Pemilihan Arsitektur <i>Classifier</i>	74
4.6.2 <i>End to End Learning</i>	79
4.6.3 <i>Transfer Learning</i> – Pengujian Pengaruh <i>Preprocessing</i>	79
4.6.4 <i>Transfer Learning</i> – <i>Fine Tuning</i> n Blok Inception v3.....	81
BAB 5 HASIL DAN DISKUSI	83
5.1 <i>Exploratory Data Analysis</i>	83

5.2 Hasil <i>Preprocessing</i>	84
5.2.1 Menghapus Duplikasi Citra.....	85
5.2.2 Mengubah Ukuran Citra.....	86
5.2.3 <i>Preprocessing</i> Ben Graham	86
5.2.4 <i>Preprocessing</i> Nakhon	87
5.2.5 <i>Preprocessing</i> Ramasubramanian	89
5.2.6 <i>Preprocessing Enhanced Green</i>	90
5.3 Augmentasi	92
5.3.1 Visualisasi Augmentasi.....	95
5.4 Hasil <i>training</i> model	97
5.4.1 Pemilihan Arsitektur <i>Classifier</i>	98
5.4.2 End to end learning	99
5.4.3 Pengaruh <i>Preprocessing</i> Terhadap Performa Model	101
5.4.3.1 <i>Training Classifier</i>	102
5.4.3.2 <i>Fine Tuning</i>	103
5.4.4 Fine Tuning <i>n</i> block inception	105
5.4.5 Komparasi PNG dan JPEG	106
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN	109
6.1 Kesimpulan	109
6.2 Saran.....	110
DAFTAR PUSTAKA	111
LAMPIRAN A DAFTAR PACKAGE DALAM ENVIRONMENT PYTHON	115
LAMPIRAN B SPESIFIKASI HARDWARE.....	119
RIWAYAT HIDUP PENULIS	120

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Tingkat keparahan DR	19
Gambar 2.1 <i>Semantic</i> gap manusia dengan komputer. [16].....	26
Gambar 2.2 CNN mengekstrak fitur citra secara hierarki [19].....	27
Gambar 2.3 Arsitektur sederhana dari CNN [20]	28
Gambar 2.4 Operasi <i>convolution</i> bersifat 3D [19]	28
Gambar 2.5 Operasi <i>convolution</i> dengan <i>stride</i> 1, <i>kernel</i> 3×4 [19].....	30
Gambar 2.6 Operasi <i>convolution</i> dengan <i>zero-padding</i> dan <i>kernel</i> 3×3 [21]....	30
Gambar 2.7 Operasi <i>pooling</i> dengan menggunakan <i>kernel</i> berukuran 2x2 [22] ..	31
Gambar 2.8 Karakter fungsi aktivasi [19].....	32
Gambar 2.9 Lapisan <i>convolution</i> yang diikuti lapisan <i>fully connected</i> [23].....	33
Gambar 2.10 Kiri: Dua layer <i>neural network</i> tanpa <i>dropout</i> . Kanan: dua lapisan <i>neural network</i> dengan <i>dropout</i> 50% [16]	33
Gambar 2.11 Modul Inception [24]	36
Gambar 2.12 Modul Inception A [11].....	37
Gambar 2.13 Modul Inception B [11].....	37
Gambar 2.14 Modul Inception C [11].....	38
Gambar 2.15 Grid size reduction [11]	38
Gambar 2.16 Komponen penyusun Inception v3 [26].....	39
Gambar 2.17 Ilustrasi proses <i>transfer learning</i> [7].....	40
Gambar 2.18 Percobaan Jason Yosinski [7]	41
Gambar 2.19 Confusion matrix [28]	42
Gambar 3.1 Arsitektur Harry Pratt [31]	44
Gambar 3.2 Arsitektur yang digunakan oleh Quang H. Nguyen [37]	53
Gambar 4.1 Diagram alir penelitian.....	59
Gambar 4.2 Contoh citra <i>fundus</i> retina beserta dengan labelnya.....	61
Gambar 4.3 Diagram alir <i>preprocessing</i>	62
Gambar 4.4. Contoh gambar duplikasi dengan label yang berbeda.....	63
Gambar 4.5 Citra sebelum dan sesudah ukuran diubah	64
Gambar 4.6 <i>Preprocessing</i> Ben Graham	66
Gambar 4.7 <i>Preprocessing</i> Nakhon Ratchasima	66

Gambar 4.8 Preprocessing Ramasubramanian dan Selvaperumal	67
Gambar 4.9 Preprocessing Enhanced Green (G, G, G).....	68
Gambar 4.10 Preprocessing Enhanced Green (0,G,0)	69
Gambar 4.11 Citra <i>training</i> dengan augmentasi	70
Gambar 4.12 Dua bagian utama Arsitektur Inception v3	70
Gambar 4.13 Arsitektur <i>classifier</i> yang dipakai oleh Zhentao Gao dan default pada <i>library</i> Keras	76
Gambar 4.14 Arsitektur <i>classifier</i> dari <i>library</i> Fastai	77
Gambar 4.15 Arsitektur <i>classifier</i> yang dimodifikasi dari Fastai	78
Gambar 4.16 <i>Training</i> model dengan pendekatan <i>transfer learning</i>	80
Gambar 4.17 Fine Tune n-block Inception v3 [38].....	82
Gambar 5.1 Jumlah citra dari setiap kelas DR	83
Gambar 5.2 Citra <i>fundus</i> retina dari setiap kelas DR	84
Gambar 5.3 Contoh gambar duplikasi dengan label yang sama	85
Gambar 5.4 Contoh gambar duplikasi dengan label yang berbeda.....	85
Gambar 5.5 Hasil <i>preprocessing</i> mengubah ukuran citra.....	86
Gambar 5.6 <i>Preprocessing</i> Ben Graham	87
Gambar 5.7 Hasil <i>preprocessing</i> Nakhon	89
Gambar 5.8 Hasil <i>preprocessing</i> Ramasubramanian	90
Gambar 5.9 Hasil <i>preprocessing enhanced green</i>	92
Gambar 5.10 Grafik nilai akurasi tanpa augmentasi.....	93
Gambar 5.11 Grafik nilai loss tanpa augmentasi	93
Gambar 5.12 Grafik nilai akurasi dengan augmentasi	94
Gambar 5.13 Grafik nilai loss dengan augmentasi	94
Gambar 5.14 Citra tanpa augmentasi	95
Gambar 5.15 Citra dengan augmentasi rotasi 10°.....	95
Gambar 5.16 Citra dengan augmentasi pergeseran di sumbu <i>x</i> dan <i>y</i>	96
Gambar 5.17 Citra dengan augmentasi <i>shear</i>	96
Gambar 5.18 Selisih citra asli dengan citra augmentasi <i>shear</i>	97
Gambar 5.19 Citra dengan augmentasi zoom 90% - 110%	97
Gambar 5.20 Citra dengan augmentasi flipping horizontal dan vertikal	97
Gambar 5.21 Grafik nilai akurasi dari tiga arsitektur <i>classifier</i>	99

Gambar 5.22 Grafik nilai loss dari tiga arsitektur <i>classifier</i>	99
Gambar 5.23 Grafik nilai akurasi model <i>end to end learning</i>	100
Gambar 5.24 Grafik nilai loss model <i>end to end learning</i>	101
Gambar 5.25 Grafik nilai akurasi <i>training classifier</i>	103
Gambar 5.26 Grafik nilai akurasi fine tuning	105
Gambar 5.27 Akurasi model dengan <i>fine tuning</i> n-blok Inception v3	106
Gambar 5.28 Artifak pada citra JPEG akibat kompresi	106
Gambar 5.29 Grafik akurasi <i>training classifier</i> untuk file format yang berbeda	108
Gambar 5.30 Grafik akurasi fine tuning untuk file format yang berbeda	108



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Arsitektur CNN Darshit Doshi [32]	45
Tabel 3.2 Hasil Percobaan Darshit Doshi [32].....	45
Tabel 3.3 Hasil Percobaan Maria A. Bravo [8].....	46
Tabel 3.4 Hasil Percobaan Saboorah Mohammadian [10].....	47
Tabel 3.5 Arsitektur CNN Yuping Jiang [33].....	48
Tabel 3.6 Arsitektur yang digunakan oleh Gabriel Garcia [34].....	49
Tabel 3.7 Hasil <i>training</i> model Gabriel Garcia [34]	49
Tabel 3.8 Arsitektur SI2DRNet-v1 [3].....	50
Tabel 3.9 Hyperparameter yang digunakan oleh Xiaoliang Wang [25]	51
Tabel 3.10 Rangkuman Tinjauan Pustaka.....	54
Tabel 4.1 Label untuk citra sesuai dengan tingkat DR	60
Tabel 4.2. Jumlah citra sebelum dan setelah menghapus duplikasi.....	63
Tabel 4.3 Hyperparameter umum yang dipakai setiap <i>training</i> model.....	72
Tabel 4.4 Bobot dari setiap kelas DR	73
Tabel 4.5 Hyperparameter yang digunakan selama <i>training</i> untuk memilih <i>classifier</i>	75
Tabel 4.6 Hyperparameter khusus <i>training</i> model <i>end to end learning</i>	79
Tabel 4.7 <i>Hyperparameter</i> khusus <i>training</i> model <i>transfer learning</i>	80
Tabel 4.8 <i>Hyperparameter</i> khusus untuk <i>fine tuning</i> n blok Inception	82
Tabel 5.1 Jumlah Citra Sebelum dan Setelah Menghapus Duplikasi	86
Tabel 5.2 Performa model tanpa dan dengan augmentasi.....	94
Tabel 5.3 Performa akurasi <i>classifier</i> yang ditambahkan pada bagian akhir Inception v3.....	98
Tabel 5.4 Performa model <i>end to end learning</i>	100
Tabel 5.5 Metrik hasil <i>training classifier</i>	102
Tabel 5.6 F1 Score <i>training classifier</i>	103
Tabel 5.7 Metrik hasil <i>fine tuning</i>	104
Tabel 5.8 F1 Score <i>fine tuning</i>	104
Tabel 5.9 Performa Model yang di- <i>training</i> sebanyak n-blok Inception v3.....	105
Tabel 5.10 Hasil evaluasi model PNG & JPEG setelah <i>training classifier</i>	107

Tabel 5.11 Hasil evaluasi model PNG & JPEG setelah fine tuning dua block Inception.....	107
---	-----



DAFTAR SINGKATAN

ADAM	<i>Adaptive Moment Estimation</i>
ACC	<i>Accuracy</i>
ANN	<i>Artificial Neural Network</i>
AUC	<i>Area Under ROC Curve</i>
CNN	<i>Convolutional Neural Network</i>
DL	<i>Deep Learning</i>
DR	<i>Diabetic Retinopathy</i>
FCN	<i>Fully Convolutional Network</i>
GPU	<i>Graphical Processing Unit</i>
ML	<i>Machine Learning</i>
NN	<i>Neural Network</i>
NPDR	<i>Non-Proliferative Diabetic Retinopathy</i>
PDR	<i>Proliferative Diabetic Retinopathy</i>
ReLU	<i>Rectifier Linear Unit</i>
ROC	<i>Receiver Operating Characteristic</i>
SGDM	<i>Stochastic Gradient Distance with Momentum</i>
SVM	<i>Support Vector Machine</i>

DAFTAR ISTILAH

<i>Computer vision</i>	<i>Computer vision</i> adalah suatu bidang ilmu komputer dengan metode tertentu untuk membuat komputer dapat memahami makna dari citra yang diterimanya.
<i>Convolutional Neural Network</i>	<i>Neural network</i> yang menggunakan operasi <i>convolution</i> untuk mengekstrak fitur dari data <i>input</i> .
<i>Diabetic retinopathy</i>	Penyakit mata yang disebabkan oleh penyakit gula darah.
<i>End to end learning</i>	Metode <i>training</i> model <i>deep learning</i> di mana bobot diinisialisasi secara acak lalu diperbaharui melalui proses <i>backpropagation</i> pada suatu domain data.
<i>Hand engineered features</i>	Fitur dari sebuah subjek penelitian yang diperoleh dengan teknik-teknik tertentu.
<i>Hyperparameter</i>	Nilai-nilai yang digunakan dan ditentukan sebelum <i>training</i> sebuah model <i>Neural Network</i>
<i>Transfer learning</i>	Metode <i>deep learning</i> di mana bobot inisial diambil dari hasil <i>training neural network</i> pada suatu domain data.

