DAFTAR ISI

BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang Masalah 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 3
1.6 Tahapan Penelitian 3
1.7 Sistematika Penulisan 4
BAB II TINJAUAN LITERATUR 5
2.1 Retina dan Pembuluh Darah Retina 6
2.2 Citra Fundus 7
2.3 Pengolahan Citra Digital 8
2.3.1 Konsep Ruang Warna RGB 8
2.3.2 Konversi Citra ke *Grayscale* 9
2.3.3 Normalisasi Citra 9
2.3.4 Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) 10
2.3.5 *Gamma correction* 11
2.3.6 Normalisasi Nilai Piksel ke Rentang 0-1 12
2.3.7 Transformasi *Flip* 12
2.3.8 Transformasi Rotasi 13
2.4 Fungsi Dolph-Chebyshev 14
2.5 U-Net 15
2.6 Metrik Evaluasi 18
2.6.1 *Sensitivity* dan *Precision* 18
2.6.2 *Dice* dan *Jaccard* 19
2.6.3 *Connectivity*, *Area*, dan *Length* 20
2.7 Penelitian Sebelumnya 21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 27
3.1 Pengumpulan *Dataset* Drive 28
3.2 Persiapan *Dataset* 29
3.3 Pra-pemrosesan Data 31
3.3.1 Konversi RGB Menjadi *Grayscale* 32
3.3.2 Normalisasi *Dataset* 32
3.3.3 Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) 33
3.3.4 *Gamma correction* 34
3.3.5 Normalisasi Nilai Piksel 35
3.4 Ekstraksi Patch 35
3.4.1 Pembacaan dan Persiapan Data 36
3.4.2 Ekstraksi Patch Data Pelatihan 37
3.4.3 Ekstraksi Patch Data Pengujian 38
3.5 Perancangan dan Implementasi Model 38
3.5.1 Penggunaan Arsitektur U-Net 39

3.5.2 Modul Atensi Berbasis Filter Dolph-Chebyshev (DGEM) 44
3.5.3 Integrasi DGEM ke dalam U-Net 49
3.6 Pelatihan Model 53
3.6.1 Data Masukan Pelatihan 55
3.6.2 Augmentasi Data Pelatihan 55
3.6.3 Pembentukan Mini-Batch 56
3.6.4 *Forward Ppagnation* dan Perhitungan *Loss* 56
3.6.5 Backpropagation dan Optimasi AdamW 57
3.6.6 Scheduler dan Early Stopping 57
3.6.7 Perhitungan Jumlah Iterasi Maksimum 57
3.6.8 Ringkasan Parameter Pelatihan 58
3.7 Pengujian Model 58
3.7.1 Data Masukan Pelatihan 59
3.7.2 Augmentasi Data Pelatihan 60
3.7.3 Pembentukan Mini-Batch 61
3.7.4 *Forward Ppagnation* dan Perhitungan *Loss* 61
3.7.5 Backpropagation dan Optimasi AdamW 61
3.8 Evaluasi Kinerja Model 62
3.8.1 Evaluasi Segmentasi 62
3.8.2 Evaluasi Geometris Pembuluh Darah 63
3.9 Analisis dan Perbandingan Model 64
BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN 66
4.1 Implementasi 66
4.1.1 Kesesuaian Implementasi dengan Rancangan Bab III 67
4.1.2 Konfigurasi Implementasi dan Pengujian 67
4.1.3 Implementasi Pra-pemrosesan Citra 68
4.1.4 Implementasi Ekstraksi Patch 69
4.1.5 Implementasi Augmentasi Data 69
4.1.6 Implementasi *Baseline* U-Net 70
4.1.7 Implementasi U-Net + DGEM 71
4.1.8 Implementasi Pelatihan Model 72
4.1.9 Implementasi Pengujian dan Rekonstruksi Hasil Segmentasi 73
4.1.10 Implementasi Evaluasi Model 74
4.2 Hasil 75
4.2.1 Hasil Eksekusi Program 75
4.2.2 Visualisasi Proses Pengujian pada Program 76
4.2.3 Hasil Confusion Matrix 80
4.2.4 Perhitungan Manual Metrik Evaluasi 81
4.2.5 Hasil Evaluasi Segmentasi 82
4.2.6 Hasil Evaluasi Geometris 81
4.2.7 Analisis Selisih Performa Model 83
4.3 Pembahasan 84
4.3.1 Pembahasan Metrik Segmentasi 84
4.3.2 Pembahasan Metrik Geometris 85

4.3.3 Pengaruh DGEM terhadap *Skip connection* U-Net 85
4.3.4 Keterkaitan Hasil dengan Rumusan Masalah dan Tujuan Penelitian 86
BAB V PENUTUP 87
5.1 Kesimpulan 87
5.2 Saran 87
DAFTAR PUSTAKA 88

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 State of the Art (SOTA) 21
Tabel 2.2 Lanjutan State of the Art (SOTA) 22
Tabel 2.3 Lanjutan State of the Art (SOTA) 23
Tabel 2.4 Lanjutan State of the Art (SOTA) 24
Tabel 3.1 Tabel pembagian Dataset DRIVE 29
Tabel 3.2 Perbandingan alur baseline U-Net dan U-Net + DGEM 53
Tabel 3.3 Parameter pelatihan 58
Tabel 3.4 Rancangan Evaluasi Segmentasi Model 63
Tabel 3.5 Rancangan Evaluasi Geometris Pembuluh Darah 64
Tabel 3.6 Rancangan analisis perbandingan baseline U-Net dan U-Net + DGEM 65
Tabel 4.1 Kesesuaian rancangan Bab III dengan implementasi Bab IV 67
Tabel 4.2 Konfigurasi implementasi dan pengujian model 67
Tabel 4.3 Lanjutan Konfigurasi implementasi dan pengujian model 68
Tabel 4.4 Confusion matrix hasil pengujian model 80
Tabel 4.5 Hasil evaluasi segmentasi baseline U-Net dan U-Net + DGEM 81
Tabel 4.6 Hasil evaluasi geometris pembuluh darah 82
Tabel 4.7 Analisis perbandingan baseline U-Net dan U-Net + DGEM 82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Anatomi fundus retina 5
Gambar 2.2 Contoh citra fundus retina (Staal et al. 2004) 6
Gambar 2.3 Arsitektur U-Net (Ronneberger, Fischer, and Brox 2015) 16
Gambar 3.1 Tahapan Pelaksanaan Penelitian dan Tahap Pengembangan Model 28
Gambar 3.2 Contoh *Dataset* DRIVE 29
Gambar 3.3 Tabel pembagian *Dataset* DRIVE 29
Gambar 3.4 Proses *Dataset* DRIVE menjadi *Dataset* berbasis HDF5 30
Gambar 3.5 *Input* dan lima tahapan pra-pemrosesan citra fundus retina 32
Gambar 3.6 Flowchart CLAHE 34
Gambar 3.7 Arsitektur *baseline* U-Net pada penelitian 39
Gambar 3.8 Arsitektur internal Dolph Geometric Enhancement Module (DGEM) 44
Gambar 3.9 Integrasi Modul DGEM pada Arsitektur U-Net 51
Gambar 3.10 Perbandingan alur *baseline* U-Net dan UNet + DGEM 55
Gambar 3.11 Alur pelatihan model pada penelitian 56
Gambar 3.12 Parameter pelatihan 59
Gambar 3.13 Lanjutan Parameter pelatihan 60
Gambar 3.14 Flowchart pengujian model 61
Gambar 3.15 Flowchart evaluasi kinerja model 64
Gambar 4.1 Kurva ROC hasil pengujian *baseline* U-Net dan U-Net + DGEM 78
Gambar 4.2 Kurva *Precision*-Recall hasil pengujian *baseline* U-Net dan UNet + DGEM. 78
Gambar 4.3 Ringkasan keluaran performa program pada hasil pengujian 78
Gambar 4.4 Tampilan awal program sebelum berkas citra dimasukkan 79
Gambar 4.5 Tampilan *Input* citra fundus, *ground truth*, dan *mask* FOV pada program 80
Gambar 4.6 Visualisasi pra-pemrosesan citra fundus pada program 80
Gambar 4.7 Hasil segmentasi *baseline* U-Net dan U-Net + DGEM 81
Gambar 4.8 Tampilan evaluasi kuantitatif per citra pada *Area* FOV manual 81
Gambar 4.9 Peta kesalahan spasial *baseline* U-Net dan UNet + DGEM 82
Gambar 4.10 Keterangan warna peta evaluasi spasial 82