

## DAFTAR ISI

|  |              |
|--|--------------|
| <b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....          | <b>iii</b>   |
| <b>PERNYATAAN</b> .....                  | <b>iv</b>    |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....              | <b>v</b>     |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                  | <b>vii</b>   |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....               | <b>xi</b>    |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                | <b>xv</b>    |
| <b>INTISARI</b> .....                    | <b>xvii</b>  |
| <b>ABSTRACT</b> .....                    | <b>xviii</b> |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....           | <b>19</b>    |
| 1.1 Latar Belakang.....                  | 19           |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                | 21           |
| 1.3 Batasan Masalah .....                | 21           |
| 1.4 Tujuan Penelitian.....               | 22           |
| 1.5 Manfaat Penelitian.....              | 22           |
| 1.6 Metodologi Penelitian .....          | 23           |
| 1.7 Sistematika Penulisan.....           | 23           |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....     | <b>25</b>    |
| <b>BAB III LANDASAN TEORI</b> .....      | <b>37</b>    |
| 3.1 Darah .....                          | 37           |
| 3.1.1 Sel Darah Putih.....               | 37           |
| 3.2 Leukemia .....                       | 40           |
| 3.2.1 Acute Myeloid Leukemia .....       | 41           |
| 3.3 Citra Digital.....                   | 42           |
| 3.4 CNN.....                             | 43           |
| 3.4.1 Fungsi Aktivasi.....               | 43           |
| 3.4.2 Loss Function .....                | 43           |
| 3.4.3 Hyperparameter .....               | 44           |
| 3.4.4 Optimizer .....                    | 44           |
| 3.5 MobileNetV4.....                     | 45           |
| 3.5.1 Universal Inverted Bottleneck..... | 45           |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.5.2 Mobile MQA (Multi-Head Query Attention)..... | 46        |
| 3.5.3 Struktur Jaringan MobileNetV4 .....          | 46        |
| 3.6 RepViT .....                                   | 47        |
| 3.6.1 Metodologi: Mondernisasi MobileNetV3 .....   | 48        |
| 3.6.2 Desain Block RepVit.....                     | 49        |
| 3.6.3 Desain Macro dan Micro RepVit.....           | 50        |
| 3.7 Efficientnet .....                             | 52        |
| 3.7.1 Masalah Penskalaan Model Konvensional .....  | 53        |
| 3.7.2 <i>Compound Scaling</i> .....                | 53        |
| 3.7.3 Arsitektur Dasar: Efficientnet-B0.....       | 54        |
| 3.8 Unet .....                                     | 54        |
| 3.8.1 Struktur U-Net .....                         | 55        |
| 3.8.2 Skip Connections.....                        | 56        |
| 3.9 <i>Perfomance Metrics</i> .....                | 56        |
| 3.9.1 Confusion Matrix untuk Segmentasi .....      | 57        |
| 3.9.2 Precission and Recall.....                   | 57        |
| 3.9.3 Average Precision (AP).....                  | 57        |
| 3.9.4 Mean Average Precision (mAP).....            | 58        |
| 3.9.5 F-1 Score.....                               | 58        |
| 3.9.6 Intersection Over Union (IoU) .....          | 58        |
| 3.9.7 Dice Coefficient.....                        | 59        |
| 3.9.8 Frame Per Second (FPS).....                  | 60        |
| 3.10PyTorch .....                                  | 60        |
| 3.11Open Neural Network Exchange (ONNX).....       | 60        |
| 3.12TensorRT .....                                 | 61        |
| 3.13Single Board Computer .....                    | 61        |
| <b>BAB IV METODE PENELITIAN .....</b>              | <b>62</b> |
| 4.1 Analisis Sistem .....                          | 62        |
| 4.1.1 Alur Kerja Penelitian.....                   | 63        |
| 4.2 Rancangan Sistem .....                         | 63        |
| 4.2.1 Akuisisi Data .....                          | 64        |

|   |            |
|---|------------|
| 4.2.2 Anotasi dan Penyesuaian Nama Kelas Dataset .....                          | 64         |
| 4.2.3 Pre-Processing Dataset .....  | 66         |
| 4.2.4 Pelatihan Model.....  | 67         |
| 4.2.5 Model Deployment .....  | 68         |
| 4.3 Prosedur dan Pengumpulan Data.....  | 70         |
| 4.3.1 Alat dan Bahan .....  | 70         |
| 4.3.2 Pengumpulan Data.....   | 72         |
| 4.4 Arsitektur Model Segmentasi.....  | 78         |
| 4.4.1 U-NetV2 + MobileNetV4.....  | 78         |
| 4.4.2 U-NetV2 + EfficientNet-B4 .....   | 79         |
| 4.4.3 U-NetV2 + RepVit .....  | 80         |
| 4.5 Pengujian Sistem .....  | 81         |
| <b>BAB V IMPLEMENTASI.....</b>  | <b>82</b>  |
| 5.1 Pembuatan Dataset .....   | 82         |
| 5.1.1 Akuisisi Data .....   | 82         |
| 5.1.2 Anotasi Data .....  | 83         |
| 5.1.3 Penggabungan Data .....   | 86         |
| 5.1.4 Pembuatan Mask Untuk Training.....  | 88         |
| 5.2 Implementasi Model U-Net.....   | 89         |
| 5.2.1 Pelatihan Model.....  | 89         |
| 5.2.2 Pengujian Model.....  | 92         |
| 5.3 Perbandingan Format Model .....   | 97         |
| 5.4 Implementasi <i>Deployment</i> dan Ekspor Model .....                       | 97         |
| 5.5 Implementasi Multiproses .....  | 102        |
| <b>BAB VI HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>                              | <b>104</b> |
| 6.1 Hasil Pelatihan Model U-Net .....   | 104        |
| 6.1.1 Hasil Pelatihan EfficientNet-B4 .....                                     | 108        |
| 6.1.2 Hasil Pelatihan RepViT-M1.5 .....   | 115        |
| 6.2 Hasil Pengujian Pada Data Testing .....                                     | 122        |
| 6.2.1 Analisis Hasil Pengujian Pada Data Testing Model<br>EfficientNet-B4 ..... | 125        |

|  |            |
|--|------------|
| 6.2.2 Analisis Hasil Pengujian Pada Data Testing Model RepViT-M1.5.....  | 126        |
| 6.3 Hasil Pengujian Pada Dataset Uji.....                                | 127        |
| 6.3.1 Analisis Hasil Pengujian Dataset Uji 1 .....                       | 127        |
| 6.3.2 Analisis Hasil Pengujian Dataset Uji 2 .....                       | 130        |
| 6.3.3 Analisis Hasil Pengujian Dataset Uji 3 .....                       | 133        |
| 6.3.4 Model Akhir Untuk Deployment Pada Jetson Orin .....                | 137        |
| 6.4 Hasil Deployment Pada Single Board Computer .....                    | 138        |
| 6.4.1 Perbandingan Format Model Pada Single Board Computer.....          | 139        |
| 6.4.2 Pengujian Inferensi Video Pada Jetson Orin .....                   | 140        |
| 6.4.3 Pengujian Inferensi Video Dengan Multiproses Pada Jetson Orin..... | 144        |
| 6.5 Perbandingan Dengan Penelitian Sebelumnya.....                       | 148        |
| <b>BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>                                | <b>150</b> |
| 7.1 Kesimpulan.....  | 150        |
| 7.2 Saran .....  | 150        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>  | <b>152</b> |

## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| Gambar 3.1 Jenis-jenis sel darah putih (Mescher, 2013).....  | 38 |
| Gambar 3.2 Darah tampak melalui mikroskop (Mescher, 2013).....   | 39 |
| Gambar 3.3 Grafik Perbandingan Akurasi vs. Latensi (Wang et al., 2024). .....  | 48 |
| Gambar 3.4 Diagram Alir proses Modernisasi dari makalah RepViT (Wang et al., 2024). .....  | 48 |
| Gambar 3.5 Perbandingan Desain Blok (a) MobileNet Block dan (b) RepViT Block dari makalah RepViT (Wang et al., 2024)Diagram Alir proses Modernisasi dari makalah RepViT (Wang et al., 2024). ..... | 49 |
| Gambar 3.6 ilustrasi perubahan desain makro dari makalah RepViT (Wang et al., 2024). .....   | 50 |
| Gambar 3.7 Perbandingan Akurasi vs. Parameter/FLOPs (Tan and Le, 2019)....   | 52 |
| Gambar 3.8 <i>Scaling Up a Baseline Model with Different Network Width (w), Depth (d), and Resolution (r) Coefficients</i> .....   | 53 |
| Gambar 3.9 Arsitektur U-Net (Ronneberger et al., 2015).....  | 55 |
| Gambar 3.10 Confusion Matrix .....   | 57 |
| Gambar 3.11 Ilustrasi IoU pada ground truth dan prediction box .....   | 59 |
| Gambar 4.1 Alur Kerja Penelitian.....  | 63 |
| Gambar 4.2 Flowchart Sistem.....   | 64 |
| Gambar 4.3 Flowchart Pembuatan Mask .....  | 66 |
| Gambar 4.4 Flowchart Pelatihan Model .....   | 68 |
| Gambar 4.5 <i>Flowchart</i> Konversi Model .....   | 69 |
| Gambar 4.5 <i>Flowchart</i> Multiproses .....  | 70 |
| Gambar 4.4 Arsitektur Model Segmentasi.....  | 78 |
| Gambar 4.5 Arsitektur Model Segmentasi Encoder MobileNetV4 .....   | 78 |

|   |     |
|---|-----|
| Gambar 4.6 Arsitektur Model Segmentasi Encoder EfficientNet-B4.....           | 79  |
| Gambar 4.7 Arsitektur Model Segmentasi Encoder EfficientNet-B4.....           | 80  |
| Gambar 5.1 Dataset Publik <i>AML Cytomorphology LMU</i> .....                 | 82  |
| Gambar 5.2 Dataset Pathological Klinik Dokter Sardjito.....                   | 83  |
| Gambar 5.3 Anotasi dataset AML-LMU pada Roboflow.....                         | 83  |
| Gambar 5.4 Augmentasi Data AML-LMU Roboflow.....                              | 84  |
| Gambar 5.5 Anotasi Pada Data Klinik Dokter Sardjito.....                      | 85  |
| Gambar 5.6 Augmentasi Pada Data Klinik Dokter Sardjito.....                   | 86  |
| Gambar 5.7 Hasil Penggabungan Data.....                                       | 87  |
| Gambar 5.8 Contoh Gambar Dataset Uji 1.....                                   | 93  |
| Gambar 5.9 Contoh Gambar Dataset Uji 2.....                                   | 94  |
| Gambar 5.10 Grafik Perbandingan Histogram Warna Pada Dataset Uji.....         | 96  |
| Gambar 5.11 Perintah menginstal conda virtual environment.....                | 98  |
| Gambar 5.12 List library yang digunakan.....                                  | 99  |
| Gambar 5.13 Program Utama Segmentasi.....                                     | 100 |
| Gambar 6.1 Perbandingan FPS antar Model.....                                  | 105 |
| Gambar 6.2 Perbandingan Mean IoU antar Model.....                             | 105 |
| Gambar 6.3 Perbandingan Precision antar Model.....                            | 106 |
| Gambar 6.4 Perbandingan Recall antar Model.....                               | 107 |
| Gambar 6.5 Kurva Loss Pelatihan EfficientNet-B4 (320×320).....                | 108 |
| Gambar 6.6 Kurva IoU Pelatihan EfficientNet-B4 (320×320).....                 | 109 |
| Gambar 6.7 Kurva Dice Score Pelatihan EfficientNet-B4 (320×320).....          | 109 |
| Gambar 6.8 Kurva Dice Score Perkelas Pelatihan EfficientNet-B4 (320×320)..... | 110 |
| Gambar 6.9 Kurva Loss Pelatihan EfficientNet-B4 (256×256).....                | 112 |

|   |     |
|---|-----|
| Gambar 6.10 Kurva IoU Pelatihan EfficientNet-B4 (256×256) .....                   | 112 |
| Gambar 6.11 Kurva Dice Score Pelatihan EfficientNet-B4 (256×256).....             | 113 |
| Gambar 6.12 Kurva Dice Score Perkelas Pelatihan EfficientNet-B4 (256×256)         | 113 |
| Gambar 6.13 Kurva Loss Pelatihan RepViT-M1.5 (320×320).....                       | 116 |
| Gambar 6.14 Kurva IoU Pelatihan RepViT-M1.5 (320×320).....                        | 116 |
| Gambar 6.15 Kurva Dice Score Pelatihan RepViT-M1.5 (320×320).....                 | 117 |
| Gambar 6.16 Kurva Dice Score Perkelas Pelatihan RepViT-M1.5 (320×320)..           | 117 |
| Gambar 6.17 Kurva Loss Pelatihan RepViT-M1.5 (256×256).....                       | 119 |
| Gambar 6.18 Kurva IoU Pelatihan RepViT-M1.5 (256×256).....                        | 120 |
| Gambar 6.19 Kurva Dice Score Pelatihan RepViT-M1.5 (256×256).....                 | 120 |
| Gambar 6.20 Kurva Dice Score Perkelas Pelatihan RepViT-M1.5 (256×256)..           | 121 |
| Gambar 6.21 Grafik Perbandingan Precision antar Model .....                       | 123 |
| Gambar 6.22 Grafik Perbandingan Recall antar Model.....                           | 124 |
| Gambar 6.23 Grafik Perbandingan FPS antar Model .....                             | 124 |
| Gambar 6.24 Grafik Perbandingan mean IoU antar Model .....                        | 125 |
| Gambar 6.25 Hasil Segmentasi <i>Dataset</i> Uji 1 Model EfficientNet-B4-320.....  | 128 |
| Gambar 6.26 Hasil Segmentasi <i>Dataset</i> Uji 1 Model RepViT-M1.5-320 .....     | 129 |
| Gambar 6.27 Hasil Segmentasi <i>Dataset</i> Uji 1 Model EfficientNet-B4-256 ..... | 129 |
| Gambar 6.28 Hasil Segmentasi <i>Dataset</i> Uji 2 Model EfficientNet-B4-320.....  | 132 |
| Gambar 6.29 Hasil Segmentasi <i>Dataset</i> Uji 2 Model RepViT-M1.5-320.....      | 132 |
| Gambar 6.30 Hasil Segmentasi <i>Dataset</i> Uji 3 Model EfficientNet-B4-256.....  | 132 |
| Gambar 6.31 Hasil Segmentasi <i>Dataset</i> Uji 3 Model EfficientNet-B4-320.....  | 135 |
| Gambar 6.32 Hasil Segmentasi <i>Dataset</i> Uji 3 Model RepViT-M1.5-320.....      | 135 |
| Gambar 6.33 Hasil Segmentasi <i>Dataset</i> Uji 3 Model EfficientNet-B4-256.....  | 135 |

|   |     |
|---|-----|
| Gambar 6.34 Hasil Inferensi Video Model EfficientNet-B4 .....             | 142 |
| Gambar 6.35 Hasil Inferensi Video Model RepViT .....                      | 143 |
| Gambar 6.36 Hasil Inferensi Video Multiproses Model EfficientNet-B4 ..... | 146 |
| Gambar 6.37 Hasil Inferensi Video Multiproses Model RepViT .....          | 147 |

## DAFTAR TABEL

|  |     |
|--|-----|
| Tabel 2.1 Korelasi Penelitian .....  | 30  |
| Tabel 3.1 Jumlah dan persentase jenis sel darah putih (Mescher, 2013) .....                        | 32  |
| Tabel 3.2 Jumlah dan persentase jenis sel darah putih (Khoury et al., 2022) .....                  | 35  |
| Tabel 3.3 Struktur Jaringan MobileNetV4 .....  | 40  |
| Tabel 3.4 Arsitektur Baseline EfficientNet-B0 .....  | 49  |
| Tabel 3.5 Struktur Jaringan U-net .....  | 51  |
| Tabel 4.1 Alat-Alat Kebutuhan Sistem .....   | 71  |
| Tabel 4.2 Spesifikasi HPC Kaggle .....   | 71  |
| Tabel 4.3 Spesifikasi Laptop .....   | 71  |
| Tabel 4.4 Spesifikasi NVIDIA Jetson Orin .....   | 71  |
| Tabel 4.5 Library yang digunakan .....   | 72  |
| Tabel 4.6 Class Training Data Segmentasi Sel Darah Putih .....                                     | 73  |
| Tabel 4.7 Rencana Pengujian Sistem .....   | 81  |
| Tabel 6.1 Hasil Evaluasi Performa Model .....  | 104 |
| Tabel 6.2 Hasil Evaluasi Performa Model EfficientNet-B4 Input Size 320x320                         | 110 |
| Tabel 6.3 Hasil Evaluasi Performa Tiap Kelas Model EfficientNet-B4 Input Size<br>320x320 .....     | 111 |
| Tabel 6.4 Hasil Evaluasi dan Metrik EfficientNet-B4 pada Validasi Set (256×256)<br>.....           | 114 |
| Tabel 6.5 Hasil Evaluasi dan Metrik EfficientNet-B4 Per Kelas pada Validasi Set<br>(256×256) ..... | 114 |
| Tabel 6.6 Hasil Evaluasi dan Metrik RepViT-M1.5 pada Validasi Set (320×320)<br>.....               | 118 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabel 6.7 Hasil Evaluasi dan Metrik RepViT-M1.5 Per Kelas pada Validasi Set (320×320)..... | 118 |
| Tabel 6.8 Hasil Evaluasi dan Metrik RepViT-M1.5 pada Validasi Set (256×256) .....          | 121 |
| Tabel 6.9 Hasil Evaluasi dan Metrik RepViT-M1.5 Per Kelas pada Validasi Set (256×256)..... | 122 |
| Tabel 6.10 Hasil Evaluasi Akhir Model pada Data Test Set.....                              | 123 |
| Tabel 6.11 Hasil Evaluasi Akhir Model pada Dataset Uji 1 .....                             | 128 |
| Tabel 6.12 Hasil Evaluasi Akhir Model pada Dataset Uji 2 .....                             | 132 |
| Tabel 6.13 Hasil Evaluasi Akhir Model pada Dataset Uji 3 .....                             | 134 |
| Tabel 6.14 Hasil Pengujian Perbandingan Format Model .....                                 | 139 |
| Tabel 6.15 Hasil Pengujian Pada Inferensi Video .....                                      | 141 |
| Tabel 6.16 Hasil Pengujian Pada Inferensi Video Dengan Multiproses .....                   | 145 |
| Tabel 6.17 Perbandingan Hasil Dengan Penelitian Sebelumnya .....                           | 149 |