

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>ix</b>
<b>INTISARI.....</b>	<b>x</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>12</b>
1.1 Latar Belakang.....	12
1.2 Rumusan Masalah.....	15
1.3 Batasan Masalah.....	15
1.4 Tujuan Penelitian.....	16
1.5 Manfaat Penelitian.....	16
1.6 Sistematika Penulisan.....	16
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>18</b>
<b>BAB III LANDASAN TEORI.....</b>	<b>36</b>
3.1 Machine Learning.....	36
3.2 Preprocessing Data.....	37
3.3 Kuantisasi.....	38
3.4 Deep Learning.....	41
3.5 Convolutional Neural Network.....	41
3.5.1 Feature Extraction Layer.....	41
3.5.2 Convolutional Layer.....	42
3.5.3 Convolutional Operation.....	42
3.5.4 Rectified Linear Unit (ReLU).....	42
3.5.5 Pooling.....	42
3.5.6 Stride.....	43
3.5.7 Classification Layer.....	43
3.5.8 Fully-connected Layer.....	43
3.5.9 Softmax.....	44
3.6 Vision Transformer.....	44
3.7 YOLO.....	46
3.8 Penggunaan Memori.....	48



3.9 Akurasi.....	49
<b>BAB IV METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>50</b>
4.1 Deskripsi Umum Penelitian.....	50
4.2 Tahapan Penelitian.....	50
4.3 Penerapan Metode Penelitian.....	52
4.4 Evaluasi Model.....	53
<b>BAB V IMPLEMENTASI.....</b>	<b>54</b>
5.1 Persiapan Dataset.....	54
5.2 Implementasi Vision Transformer.....	56
5.3 Implementasi YOLOv5.....	63
5.4 Implementasi YOLOv8.....	63
5.5 Implementasi Post-Training Quantization.....	64
5.5.1 Implementasi PTQ pada ViT.....	65
5.5.2 Implementasi PTQ pada YOLO.....	74
<b>BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>84</b>
6.1 Komputasi Penelitian.....	84
6.2 Skenario Pengujian.....	85
6.2.1 Pengujian Pengaruh Model dan Hyperparameter.....	85
6.2.2 Pengujian Pengaruh Kuantisasi.....	87
6.3 Hasil dan Analisis Pengujian Pengaruh Model dan Hyperparameter.....	87
6.3.1 Hasil Pengujian terhadap Ukuran Model.....	87
6.3.2 Hasil Pengujian terhadap Learning Rate.....	89
6.3.3 Hasil Pengujian terhadap Optimizer.....	90
6.3.4 Hasil Pengujian terhadap Batch Size.....	91
6.3.5 Hasil Pengujian terhadap Jumlah Epochs.....	92
6.4 Hasil dan Analisis Pengujian Pengaruh Kuantisasi.....	93
<b>BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>101</b>
7.1 Kesimpulan.....	101
7.2 Saran.....	101
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>103</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pipeline Standard Post-Training Quantization (Nagel et al., 2020).....	18
Gambar 2.2 Pipeline Standard Quantization-Aware Training (Nagel et al., 2020).....	19
Gambar 3.1 Overview Preprocessing Data (Agrawal, 2015).....	37
Gambar 3.2 Overview Kuantisasi (Nagel et al., 2021).....	39
Gambar 3.3 Proses PTQ (Gholami et al., 2021).....	40
Gambar 3.5 Arsitektur Vision Transformer (Han et al., 2023).....	44
Gambar 3.6 Perkembangan Transformers (Han et al., 2023).....	45
Gambar 3.7 Visualisasi Model YOLO (Balakrishnan et al., 2022).....	47
Gambar 4.1 Eksperimen Vision Transformer dan YOLO dengan PTQ.....	50
Gambar 4.2 Tahapan Penelitian.....	52
Gambar 4.3 Penerapan Proses PTQ.....	53
Gambar 5.1 Library untuk Vision Transformer.....	57
Gambar 5.2 Augmentasi Data.....	58
Gambar 5.3 Dataset CIFAR-100.....	59
Gambar 5.4 Model Vision Transformer.....	59
Gambar 5.5 Konfigurasi Training.....	60
Gambar 5.6 Variabel Training.....	61
Gambar 5.7 Variabel Validasi.....	62
Gambar 5.8 Menyimpan Checkpoint.....	63
Gambar 5.9 Library untuk YOLOv5.....	63
Gambar 5.10 Library untuk YOLOv8.....	64
Gambar 5.11 Proses Training YOLOv8.....	64
Gambar 5.12 Impor Library.....	65
Gambar 5.13 Warnings & Logger.....	66
Gambar 5.14 Konfigurasi Data dan Model ViT.....	67
Gambar 5.15 Konfigurasi Parameter.....	67
Gambar 5.16 Fungsi load_model dan print_size_of_model.....	68
Gambar 5.17 Ekspor Model ViT ONNX.....	69
Gambar 5.18 Post-Training Quantization.....	71
Gambar 5.19 Cek Model dan Komparasi Ukuran Model ViT.....	71
Gambar 5.20 Fungsi Evaluasi Model.....	72
Gambar 5.21 Fungsi Evaluasi Model bagian Kedua.....	73
Gambar 5.22 Fungsi Menghitung Waktu Evaluasi.....	74
Gambar 5.23 Konfigurasi Data dan Model YOLOv5.....	75



<b>Gambar 5.24 Konfigurasi Data dan Model YOLOv8.....</b>	<b>76</b>
<b>Gambar 5.25 Memuat Model YOLO.....</b>	<b>76</b>
<b>Gambar 5.26 Ekspor Model YOLO ONNX.....</b>	<b>77</b>
<b>Gambar 5.27 Fungsi Preprocessing Data.....</b>	<b>78</b>
<b>Gambar 5.28 Fungsi Kalibrasi Data.....</b>	<b>79</b>
<b>Gambar 5.29 Preprocessing dan Kuantisasi Model YOLO.....</b>	<b>80</b>
<b>Gambar 5.30 Komparasi Ukuran Model YOLO.....</b>	<b>80</b>
<b>Gambar 5.31 Fungsi Evaluasi Model.....</b>	<b>81</b>
<b>Gambar 5.32 Fungsi Evaluasi Model bagian Kedua.....</b>	<b>83</b>
<b>Gambar 5.33 Fungsi Menghitung Waktu Evaluasi.....</b>	<b>83</b>
<b>Gambar 6.1 Perbandingan Ukuran Model dalam satuan MB.....</b>	<b>94</b>
<b>Gambar 6.2 Perbandingan Akurasi Model dalam satuan MB.....</b>	<b>96</b>
<b>Gambar 6.3 Perbandingan Waktu Evaluasi Model ViT dalam satuan detik.....</b>	<b>97</b>
<b>Gambar 6.3 Perbandingan Waktu Evaluasi Model YOLOv5 dalam satuan detik.....</b>	<b>98</b>
<b>Gambar 6.3 Perbandingan Waktu Evaluasi Model YOLOv8 dalam satuan detik.....</b>	<b>100</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hasil Kuantisasi Metode PTQ (Nagel et al., 2020).....	19
Tabel 2.2 Hasil Kuantisasi Metode QAT (Nagel et al., 2020).....	19
Tabel 2.3 Perbandingan Uniform Quantization dan Non-Uniform Quantization pada pendekatan granularitas tunggal (Baghbanbashi et al., 2023).....	21
Tabel 2.4 Perbandingan Uniform Quantization dan Non-Uniform Quantization pada pendekatan granularitas campuran (Baghbanbashi et al., 2023).....	21
Tabel 2.5 Perbandingan Akurasi PTQ Standard dan PTQ4ViT 6-bit dan 8-bit (Yuan et al., 2021).....	23
Tabel 2.6 Korelasi Penelitian Terdahulu.....	27
Tabel 3.1 Arsitektur YOLO.....	46
Tabel 5.1 Kelas CIFAR10.....	54
Tabel 5.2 Kelas dan Superkelas CIFAR100.....	55
Tabel 5.3 CIFAR100 Dictionary.....	56
Tabel 5.4 Klasifikasi Model Vision Transformer (Steiner et al., 2021).....	57
Tabel 5.5 Klasifikasi Model YOLOv5 (Jocher, 2020).....	63
Tabel 5.6 Klasifikasi Model YOLOv8 (Jocher et al., 2023).....	64
Tabel 6.1 Pengujian Ukuran Model.....	85
Tabel 6.2 Pengujian Kuantisasi.....	87
Tabel 6.3 Parameter Inisial.....	88
Tabel 6.4 Hasil Pengujian Ukuran Model.....	88
Tabel 6.5 Learning Rate.....	89
Tabel 6.6 Hasil Pengujian Learning Rate.....	89
Tabel 6.7 Optimizer.....	90
Tabel 6.8 Hasil Pengujian Optimizer.....	91
Tabel 6.9 Hasil Pengujian Batch Size.....	92
Tabel 6.10 Hasil Pengujian Epoch.....	93
Tabel 6.11 Model Hasil Pengujian.....	93
Tabel 6.12 Perbandingan Ukuran Model Terkuantisasi.....	94
Tabel 6.13 Perbandingan Akurasi Evaluasi Model Terkuantisasi.....	95
Tabel 6.14 Perbandingan Waktu Evaluasi Model ViT Terkuantisasi.....	96
Tabel 6.15 Perbandingan Waktu Evaluasi Model YOLOv5 Terkuantisasi.....	98
Tabel 6.16 Perbandingan Waktu Evaluasi Model YOLOv8 Terkuantisasi.....	99