

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
INTISARI.....	xii
<i>ABSTRACT</i> .....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Penelitian .....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	12
3.1 Analisis Sistem.....	12
3.1.1 Analisis Kebutuhan Resolusi Temporal Sistem.....	14
3.1.2 Analisis Distribusi Jarak.....	14
3.1.3 Analisis Korelasi antara Dimensi Box dengan Jarak .....	15
3.1.4 Peran Evaluasi Deteksi terhadap Estimasi Jarak.....	16
3.1.5 Keterbatasan Generalisasi Kamera.....	17
3.2 Alat dan Bahan .....	18
3.3 Tahapan Penelitian .....	20
3.4 Rancangan Sistem .....	21
3.4.1 Pengumpulan dan Pemrosesan Dataset.....	24
3.4.2 Pembaruan Prediction Head.....	27
3.4.3 Pembaruan Loss Function .....	29
3.4.4 Pelatihan Model.....	31

3.5	Pengujian Sistem .....	34
3.5.1	Evaluasi Deteksi Objek .....	34
3.5.2	Evaluasi Estimasi Jarak .....	35
3.5.3	Evaluasi Performa Single Board Computer .....	36
BAB IV IMPLEMENTASI .....		37
4.1	Pembuatan Environment .....	37
4.2	Implementasi Model Estimasi Jarak .....	38
4.2.1	Prediction Head .....	38
4.2.2	Loss Function .....	42
4.3	Pelatihan Model.....	45
4.3.1	Mempersiapkan Dataset .....	45
4.3.2	Konfigurasi Pelatihan .....	46
4.3.3	Augmentasi Data .....	48
4.4	Pengujian Model .....	52
4.4.1	Metrik Evaluasi .....	52
4.4.2	Visualisasi Prediksi Jarak.....	54
4.5	Implementasi Deployment .....	55
4.5.1	Konversi Model YOLO.....	56
4.5.2	Pengujian <i>Benchmark</i> Komputasi .....	57
4.5.3	Pengujian Inferensi.....	58
4.6	Dokumentasi Kode Sumber .....	60
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....		61
5.1	Hasil Pelatihan Model .....	61
5.2	Hasil Pengujian Model .....	63
5.2.1	Performa Estimasi Jarak berdasarkan Kelasnya.....	66
5.2.2	Pengaruh Jauh dan Dekat Jarak terhadap Akurasi .....	68
5.2.3	<i>Ablation Study</i> Fitur Geometrik .....	70
5.2.4	Pengujian Performa Model pada Single Board Computer .....	72
5.2.5	Pengaruh Cabang Estimasi Jarak terhadap Performa Komputasi .....	73
5.2.6	Perbandingan dengan Penelitian Lain .....	75

BAB VI SIMPULAN DAN SARAN.....	78
6.1 Kesimpulan.....	78
6.2 Saran.....	79
DAFTAR PUSTAKA .....	80

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 3.1</b> Grafik Perbandingan Latensi terhadap Akurasi Model dari YOLOv5 hingga YOLO11 (Sumber: ultralytics.com).....	12
<b>Gambar 3.2</b> Grafik Perbandingan Banyaknya Objek terhadap Jarak.....	15
<b>Gambar 3.3</b> Tahapan Penelitian.....	20
<b>Gambar 3.4</b> Diagram Blok Rancangan Sistem Estimasi Jarak Berbasis YOLO11 .....	22
<b>Gambar 3.5</b> Diagram Arsitektur YOLO11 secara Umum (Hidayatullah et al., 2025) .....	23
<b>Gambar 3.6</b> Sampel Gambar dari Dataset KITTI beserta Labelnya dalam Format KITTI dan YOLO11-dist .....	25
<b>Gambar 3.7</b> Arsitektur <i>Prediction Head</i> pada Model Estimasi Jarak Berbasis YOLO11.....	28
<b>Gambar 3.8</b> Alur Perhitungan Loss pada YOLO11-dist .....	29
<b>Gambar 3.9</b> Skema Pelatihan Model dalam Dua Tahap.....	32
<b>Gambar 4.1</b> Contoh Keluaran Perintah Verifikasi GPU CUDA .....	38
<b>Gambar 4.2</b> Kode Definisi Blok <i>cv2</i> , <i>cv3</i> , dan <i>DFL</i> .....	39
<b>Gambar 4.3</b> Kode Definisi Blok <i>Class Embed</i> , <i>Geometry Embed</i> , dan <i>cv4</i> .....	40
<b>Gambar 4.4</b> Kode Esktraksi Fitur Dimensi <i>Bounding Box</i> dan Penggabungan dengan Fitur dari <i>Neck</i> .....	41
<b>Gambar 4.5</b> Kode Implementasi Perhitungan Keempat Komponen Loss pada Model Estimasi Jarak .....	43
<b>Gambar 4.6</b> Kode Implementasi Perhitungan Loss Jarak Rerata .....	44
<b>Gambar 4.7</b> Struktur Folder Dataset untuk Pelatihan Model YOLO11 .....	45
<b>Gambar 4.8</b> Kode Konversi Format Label dari KITTI ke YOLO11-dist.....	46
<b>Gambar 4.9</b> Kode Konfigurasi Pelatihan (a) serta Setup Pelatihan Model pada Tahap 1 (b) dan Tahap 2 (c).....	47
<b>Gambar 4.10</b> Pengaruh Augmentasi Geometrik (a) dan <i>Spatial Mixing</i> (b) terhadap Visual Gambar .....	51

<b>Gambar 4.11</b> Kode Program Penonaktifkan Beberapa Augmentasi Data pada Pelatihan Tahap 2.....	52
<b>Gambar 4.12</b> Kode Definisi Variabel Tensor untuk Metrik Estimasi Jarak.....	53
<b>Gambar 4.13</b> Kode Perhitungan Metrik Estimasi Jarak .....	54
<b>Gambar 4.14</b> Kode Implementasi Visualisasi <i>Bird's Eye View</i> (BEV).....	55
<b>Gambar 4.15</b> Foto Raspberry Pi 5 beserta Webcam yang Digunakan .....	56
<b>Gambar 4.16</b> Hasil <i>Benchmark</i> Model YOLO11n pada Raspberry Pi 5 dalam Berbagai Jenis Format (Sumber: ultralytics.com).....	57
<b>Gambar 4.17</b> Kode Konversi Model PyTorch ke Format NCNN .....	57
<b>Gambar 4.18</b> Kode Program Pengujian Benchmark Komputasi terhadap Model58	
<b>Gambar 4.19</b> Kode Program Inferensi Model YOLO11-dist.....	59
<b>Gambar 5.1</b> Grafik Perubahan Loss pada Pelatihan Tahap 1 (a) dan Tahap 2 (b) .....	62
<b>Gambar 5.2</b> Grafik Perubahan mAP, MAE, dan MRE pada Pelatihan Tahap 1 (a) dan Tahap 2 (b) .....	64
<b>Gambar 5.3</b> Beberapa Gambar Hasil Inferensi beserta BEV-nya dari Model YOLO11n-dist .....	66
<b>Gambar 5.5</b> Perbandingan Hasil Inferensi YOLO11n-dist (atas) dengan Dist-YOLO (bawah).....	77

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Korelasi dengan Penelitian Terdahulu .....	8
<b>Tabel 3.1</b> Nilai Korelasi antara Dimensi <i>Bounding Box</i> dengan Jarak Objek.....	16
<b>Tabel 3.2</b> Alat dan Bahan Penelitian .....	18
<b>Tabel 3.3</b> Spesifikasi Laptop .....	19
<b>Tabel 3.4</b> Spesifikasi Komputer Desktop .....	19
<b>Tabel 4.1</b> <i>Packages</i> Dependensi Ultralytics Esensial beserta Versinya.....	37
<b>Tabel 4.2</b> Nilai <i>Gain</i> Default untuk Keempat Komponen Loss .....	44
<b>Tabel 4.3</b> Konfigurasi Augmentasi Data pada Pelatihan Tahap 1 dan Tahap 2... 50	
<b>Tabel 5.1</b> Hasil Validasi Model pada Tahap Pelatihan dan Epoch Tertentu.....	64
<b>Tabel 5.2</b> Hasil Validasi Model Deteksi Jarak pada Pelatihan Tahap 2.....	67
<b>Tabel 5.3</b> Hasil Estimasi Jarak dalam Berbagai Interval.....	70
<b>Tabel 5.4</b> Pengaruh Berbagai Jenis Fitur Masukan terhadap Hasil Estimasi Jarak .....	71
<b>Tabel 5.5</b> Hasil <i>Benchmark</i> Model YOLO11n-dist pada Raspberry Pi 5 dalam Berbagai Jenis Format.....	73
<b>Tabel 5.6</b> Perbandingan Kebutuhan Komputasi Model YOLO11n dalam format NCNN dengan/tanpa Estimasi Jarak.....	74
<b>Tabel 5.7</b> Perbandingan Hasil Estimasi Jarak dengan Penelitian Sebelumnya ....	75