UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Evaluasi Akurasi Model Fusi Kamera-LiDAR Berbasis CLOCs Terhadap Sensor Tunggal Untuk Deteksi Objek
3D Pada Dataset Lokal Yogyakarta**
Syauqi Ikhlasun Nadhif, Dr. Dyah Aruming Tyas, S.Si.;Oskar Natan, S.ST., M.Tr.T., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....i
HALAMAN PENGESAHAN.....iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....iv
KATA PENGANTAR.....v
DAFTAR ISI.....vii
DAFTAR GAMBAR.....xi
DAFTAR TABEL.....xiii
INTISARI.....xv
ABSTRACT.....xvi
BAB I PENDAHULUAN.....1
1.1 Latar Belakang.....1
1.2 Rumusan Masalah.....4
1.3 Tujuan Penelitian.....4
1.4 Manfaat Penelitian.....5
1.5 Batasan Masalah.....5
1.6 Metodologi Penelitian.....7
1.7 Sistematika Penulisan.....8
BAB II PENELITIAN TERKAIT.....9
2.1 Fusi Level Fitur LiDAR-Kamera.....9
2.2 Fusi Level Akhir (Late Fusion).....11
2.3 Detektor 3D Berbasis LiDAR dan Transfer Learning.....12
2.4 Deteksi Objek 2D Berbasis Kamera.....13
2.5 Deployment pada Perangkat Edge.....13
2.6 Posisi Penelitian.....14
BAB III METODE DAN RANCANGAN PENELITIAN.....18
3.1 Alat dan Bahan.....18
3.1.1 Perangkat keras.....18
3.1.2 Perangkat lunak.....19
3.2 Pembangunan Dataset UGM.....19

Evaluasi Akurasi Model Fusi Kamera-LiDAR Berbasis CLOCs Terhadap Sensor Tunggal Untuk Deteksi Objek
3D Pada Dataset Lokal Yogyakarta
Syauqi Ikhlasun Nadhif, Dr. Dyah Aruming Tyas, S.Si.;Oskar Natan, S.ST., M.Tr.T., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.2.1 Konfigurasi dan kalibrasi sensor....19
3.2.2 Ketersediaan data, sinkronisasi, dan seleksi frame....20
3.2.3 Pelabelan bounding box 3D....21
3.2.4 Pembagian dan karakteristik dataset....23
3.3 Arsitektur Pipeline Fusi....25
3.3.1 Gambaran umum....25
3.3.2 Komponen 1: PointPillars (detektor 3D)....26
3.3.3 Komponen 2: YOLO26 (detektor 2D)....27
3.3.4 Komponen 3: CLOCs (lapisan fusi)....27
3.4 Alur Pelatihan Model....28
3.4.1 Tahap 1: fine-tuning PointPillars....29
3.4.2 Tahap 2: pelatihan YOLO26....29
3.4.3 Tahap 3: pelatihan CLOCs....30
3.5 Evaluasi....31
3.6 Deployment pada NVIDIA Jetson AGX Orin....33
3.7 Bagan Alir Penelitian....34
BAB IV IMPLEMENTASI....36
4.1 Pembuatan Environment....36
4.2 Implementasi Penyiapan Dataset Lokal....37
4.2.1 Konversi dan pengorganisasian data....38
4.2.2 Kalibrasi kamera-LiDAR....38
4.2.3 Pelabelan bounding box 3D dengan CVAT....40
4.2.4 Pembersihan ground truth dan pembatasan kelas....41
4.2.5 Pembagian data dan basis data augmentasi....42
4.3 Implementasi Detektor 3D PointPillars....44
4.3.1 Arsitektur model....44
4.3.2 Mekanisme anchor dan fungsi loss....46
4.3.3 Konfigurasi model....47
4.3.4 Fine-tuning dari bobot KITTI....48
4.4 Implementasi Detektor 2D YOLO26....50
4.5 Implementasi Lapisan Fusi CLOCs....51

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Evaluasi Akurasi Model Fusi Kamera-LiDAR Berbasis CLOCs Terhadap Sensor Tunggal Untuk Deteksi Objek
3D Pada Dataset Lokal Yogyakarta**
Syauqi Ikhlasun Nadhif, Dr. Dyah Aruming Tyas, S.Si.;Oskar Natan, S.ST., M.Tr.T., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.5.1 Penyiapan kandidat 3D pra-NMS....52
4.5.2 Penyiapan kandidat 2D....52
4.5.3 Asosiasi kandidat dan pelatihan jaringan fusi....52
4.6 Implementasi Ekspor Model dan Deployment....55
4.6.1 Ekspor model ke ONNX....55
4.6.2 Pembangunan engine TensorRT pada Jetson....57
4.6.3 Pipeline fusi penuh pada Jetson....59
4.7 Pengujian Implementasi dan Pelacakan Kesalahan....60
4.7.1 Metrik dan protokol evaluasi....60
4.7.2 Pelacakan kesalahan....60
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN....62
5.1 Rancangan Eksperimen....62
5.2 Karakteristik Dataset dan Ground Truth....63
5.3 Hasil Pelatihan Model....64
5.3.1 Pelatihan detektor 3D PointPillars....64
5.3.2 Pelatihan detektor 2D YOLO26....65
5.3.3 Pelatihan lapisan fusi CLOCs....65
5.4 Hasil Pengujian dan Analisis....66
5.4.1 Sensor tunggal LiDAR: domain gap, scratch, dan fine-tuning....66
5.4.2 Performa detektor 2D (YOLO-only)....67
5.4.3 Kontribusi fusi CLOCs terhadap sensor tunggal LiDAR....68
5.4.4 Analisis skala skor keyakinan fusi CLOCs....75
5.4.5 Analisis per-kelas dan per-ambang IoU....76
5.4.6 Studi ablasi dan uji sensitivitas....77
5.4.7 Evaluasi kualitatif lintas-domain....78
5.4.8 Hasil deployment ke perangkat edge....80
5.4.9 Perbandingan dengan penelitian terdahulu....85
5.5 Pembahasan Umum....86
BAB VI SIMPULAN DAN SARAN....88
6.1 Simpulan....88
6.2 Saran....90

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Evaluasi Akurasi Model Fusi Kamera-LiDAR Berbasis CLOCs Terhadap Sensor Tunggal Untuk Deteksi Objek
3D Pada Dataset Lokal Yogyakarta**
Syauqi Ikhlasun Nadhif, Dr. Dyah Aruming Tyas, S.Si.;Oskar Natan, S.ST., M.Tr.T., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR PUSTAKA.....91
LAMPIRAN.....94
Lampiran A Konfigurasi Model PointPillars.....94
Lampiran B Potongan Kode Program Utama.....97
Lampiran C Tabel Hasil Lengkap.....98
Lampiran D Dokumentasi Pelabelan dan Kalibrasi.....101
Lampiran E Repositori Kode dan Rilis Dataset.....102