

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR SINGKATAN	xi
INTISARI	xii
ABSTRACT	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 LANDASAN TEORI	6
2.1 Tinjauan Pustaka	6
2.2 Dasar Teori	12
2.2.1 Computer Vision dan Convolutional Neural Network	12
2.2.2 YOLOv8	13
2.2.3 Kalman Filter	18
2.2.4 Intersection over Union (IoU)	19
2.2.5 Multiple Object Tracking (MOT) dan MOTA	20
2.2.6 ByteTrack	21
2.2.7 BoT-SORT	23
2.2.8 Camera Motion Compensation (CMC)	28

2.2.9	K-Means Clustering dalam Pengelompokan Warna Jersey	29
2.2.10	Metrik Evaluasi Pelacakan	30
2.2.11	Metrik Evaluasi Komputasi	32
2.2.12	Arsitektur Worker pada Sistem Pelacakan	34
 BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		35
3.1	Pendekatan Penelitian	35
3.2	Tahapan Penelitian	35
3.3	Dataset dan Sumber Data	36
3.3.1	Distribusi Kelas Dataset	38
3.3.2	Contoh Anotasi Data	39
3.4	Pra-pemrosesan Data	40
3.5	Pelatihan Model Deteksi dengan YOLOv8	41
3.6	Penerapan Algoritma Pelacak	44
3.6.1	Penerapan Algoritma ByteTrack	45
3.6.2	Penerapan Algoritma BoT-SORT	45
3.7	Evaluasi dan Analisis Kinerja	46
3.7.1	Metode Evaluasi	46
3.7.2	Deskripsi Metrik Evaluasi	46
3.7.3	Proses Perbandingan Kinerja Pelacak	47
3.7.4	Komparasi ByteTrack dan BoT-SORT	47
3.7.5	Evaluasi Komputasi Algoritma Pelacak	48
3.8	Implementasi Sistem pada Worker	50
3.9	Arsitektur dan Tahapan Worker	51
3.9.1	Pengujian Fungsional Worker	53
3.9.2	Arsitektur Sistem Keseluruhan	54
 BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		56
4.1	Analisis Model Deteksi YOLOv8	56
4.1.1	Arsitektur YOLOv8	56
4.1.2	Spesifikasi Model dan Hyperparameter	56
4.1.3	Proses Pelatihan	57
4.1.4	Hasil Pelatihan dan Evaluasi Awal	57
4.2	Penerapan Algoritma Pelacak	59
4.2.1	Penerapan Algoritma ByteTrack	59
4.2.2	Penerapan Algoritma BoT-SORT	59
4.3	Evaluasi Sistem Pelacakan	59
4.3.1	Metode Evaluasi	59

4.3.2	Hasil Evaluasi Kuantitatif	62
4.3.3	Evaluasi Komputasi Pelacak	62
4.3.4	Analisis Hasil Evaluasi	65
4.3.5	Kesimpulan Komparasi Pelacak	66
4.4	Implementasi Worker Analisis Video	68
4.4.1	Struktur dan Fungsi Utama Worker	68
4.4.2	Kesimpulan Implementasi Worker	72
4.4.3	Peran Worker dalam Sistem	72
4.4.4	Output Implementasi	73
4.4.5	Hasil Prediksi dan Evaluasi Deteksi Warna Tim	73
4.4.6	Pengujian Sistem Worker	77
4.5	Diskusi Hasil	79
BAB 5 PENUTUP		82
5.1	Kesimpulan	82
5.2	Saran	83
DAFTAR PUSTAKA		84

DAFTAR GAMBAR

2.1	Diagram alur kerja umum CNN dalam pengolahan gambar [1].....	13
2.2	Arsitektur YOLOv8 yang terdiri atas tiga komponen utama: <i>Backbone</i> , <i>Neck</i> , serta <i>Head</i> yang melakukan prediksi <i>anchor-free</i> . [2].....	14
2.3	Ilustrasi proses Non-Maximum Suppression (NMS) dalam sistem deteksi. [3].....	16
2.4	Ilustrasi perhitungan <i>Confidence Score</i> pada YOLO sebagai hasil kali antara probabilitas objek dan nilai IoU.....	17
2.5	Diagram alur Kalman Filter: prediksi keadaan (state prediction), estimasi kovarians kesalahan, koreksi berdasarkan pengukuran, dan pembaruan state. [4].....	18
2.6	Alur kerja algoritma ByteTrack. [5].....	22
2.7	Alur kerja BoT-SORT yang mencakup kompensasi gerak kamera dan integrasi fitur ReID dalam proses asosiasi.....	24
2.8	Diagram pipeline FastReID [6].....	28
3.1	Tahapan penelitian berbasis siklus hidup end-to-end pembelajaran mesin [7].....	36
3.2	Contoh frame dataset pertandingan bola basket dengan anotasi bounding box untuk objek pemain, wasit, ring, dan bola. Sumber: <i>Roboflow Universe</i> [8]......	37
3.3	Distribusi kelas dalam dataset basket.....	39
3.4	Contoh anotasi data pada frame video basket menggunakan Roboflow. ...	40
3.5	Pipeline pra-pemrosesan data sebelum pelatihan YOLOv8.....	41
3.6	Arsitektur ringkas YOLOv8.....	42
3.7	Penerapan algoritma pelacakan ByteTrack dan BoT-SORT berbasis deteksi YOLOv8.	44
3.8	Flowchart tahapan eksekusi worker pada sistem deteksi dan pelacakan video bola basket.....	52
3.9	Arsitektur sistem deteksi dan pelacakan bola basket berbasis YOLOv8, ByteTrack, dan BoT-SORT.....	54
4.1	Contoh hasil inferensi YOLOv8 pada frame pertandingan bola basket....	58
4.2	Perbandingan efisiensi komputasi antara ByteTrack dan BoT-SORT.	65
4.3	Contoh hasil pelacakan dengan ByteTrack pada pertandingan bola basket. 66	66
4.4	Hasil pelacakan menggunakan BoT-SORT dengan kemampuan re-identifikasi saat occlusion.	66

4.5	Cuplikan hasil JSON pelacakan pemain.....	74
4.6	Visualisasi hasil pelacakan pemain dan bola pada frame ke-10.	75
4.7	Visualisasi hasil pelacakan pemain dan bola pada frame ke-100.	75
4.8	Cuplikan hasil JSON deteksi tembakan.....	76
4.9	Hasil visualisasi deteksi tembakan pada frame ke-180.	76
4.10	Contoh kasus kesalahan pelacakan akibat perubahan deteksi visual	80
4.11	Kesalahan identifikasi pemain	81
4.12	Contoh <i>ID switch</i> pada proses pelacakan pemain	81

DAFTAR TABEL

2.1	Rangkuman Penelitian Terkait Deteksi dan Pelacakan Objek.....	8
3.1	Distribusi kelas dalam dataset <i>AI Sports Analytics System</i>	38
4.1	Konfigurasi Hyperparameter Pelatihan YOLOv8m	56
4.2	Hasil evaluasi model YOLOv8 pada data validasi.....	58
4.3	Perbandingan performa pelacakan antara ByteTrack dan BoT-SORT	62
4.4	Perbandingan beban komputasi antara ByteTrack dan BoT-SORT.....	64

DAFTAR SINGKATAN

Notasi / Singkatan	Arti
AI	<i>Artificial Intelligence</i> (Kecerdasan Buatan)
ML	<i>Machine Learning</i> (Pembelajaran Mesin)
CNN	<i>Convolutional Neural Network</i>
YOLO	<i>You Only Look Once</i> , model deteksi objek satu tahap
MOTA	<i>Multiple Object Tracking Accuracy</i> , akurasi pelacakan multi-objek
IDF1	<i>Identification F1 Score</i> , stabilitas identitas objek
FPS	<i>Frames Per Second</i> , kecepatan pemrosesan video
FP	<i>False Positive</i> , deteksi salah terhadap objek
FN	<i>False Negative</i> , objek yang tidak terdeteksi
IDSW	<i>Identity Switch</i> , perubahan ID pada objek yang sama
IoU	<i>Intersection over Union</i> , tingkat tumpang tindih deteksi dan referensi
ROI	<i>Region of Interest</i> , area yang dianalisis dalam gambar
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i> , format penyimpanan data
S3	<i>Simple Storage Service</i> , penyimpanan berkas berbasis awan