

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian dan pengembangan sistem CCTV monitoring berbasis teknologi Computer Vision dan Deep Learning yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan penting. Sistem berhasil mengimplementasikan teknologi Faster R-CNN dengan ResNet- 50 FPN backbone untuk deteksi objek manusia dengan tingkat akurasi yang sangat baik, mencapai F1-Score sebesar 95.5% dengan nilai precision 95.8% dan recall 95.2%. Hasil ini menunjukkan keseimbangan optimal antara kemampuan deteksi yang tepat dan kemampuan menangkap semua objek yang relevan. Aplikasi web berbasis Flask mampu memberikan pengalaman monitoring real-time dengan kecepatan pemrosesan 5.6 FPS menggunakan akselerasi GPU, dilengkapi dengan live video feed, overlay deteksi, dan update data instan melalui teknologi SocketIO.

Arsitektur sistem yang modular dengan pemisahan yang jelas antara Input Layer, Processing Layer, Output Layer, dan Storage Layer memungkinkan sistem untuk mudah dikembangkan dan dipelihara. Penggunaan pola MVC dan threading architecture memastikan sistem dapat beroperasi secara concurrent dan efisien. Sistem terbukti robust dalam berbagai kondisi operasional, dengan akurasi deteksi yang stabil pada kondisi pencahayaan normal hingga terang, meskipun mengalami penurunan pada kondisi gelap. Algoritma tracking berdasarkan jarak Euclidean menunjukkan track consistency sebesar 92.7% dengan ID switch rate rendah (3.2%) dan akurasi penentuan arah pergerakan mencapai 90%. Penggunaan akselerasi GPU CUDA memberikan peningkatan performa sebesar 41% dibandingkan pemrosesan CPU.

Sistem menyediakan interface yang user-friendly dengan panduan penggunaan komprehensif dan fitur konfigurasi visual yang fleksibel. Perbandingan dengan metode baseline menunjukkan sistem memiliki akurasi signifikan lebih tinggi (F1-Score: 95.5% vs 80.1% vs 68.0%) dengan

false alarm rate rendah (4.1%). Sistem menunjukkan adaptabilitas baik terhadap berbagai tingkat kepadatan dan konsistensi tracking yang baik dengan average track length 28 frames.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis performa sistem yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk pengembangan lebih lanjut dan implementasi sistem. Untuk peningkatan teknis, sistem dapat dikembangkan dengan mengintegrasikan model deteksi yang lebih modern seperti YOLO v8 atau EfficientDet untuk meningkatkan kecepatan processing tanpa mengurangi akurasi. Implementasi algoritma tracking yang lebih sophisticated seperti DeepSORT dapat mengurangi ID switch rate dan meningkatkan kontinuitas tracking. Pengembangan sistem machine learning untuk automatic parameter tuning berdasarkan kondisi lingkungan juga akan meningkatkan adaptabilitas sistem.

Dari segi user interface dan experience, sistem memerlukan dashboard analytics yang lebih komprehensif dengan visualisasi data yang lebih rich dan heatmap untuk analisis pola traffic. Pengembangan mobile application untuk monitoring remote dan implementasi responsive web design akan meningkatkan aksesibilitas sistem. Multi-language support dan documentation yang lebih comprehensive juga diperlukan untuk adoption yang lebih luas. Optimisasi performa dapat dicapai melalui implementasi microservices architecture untuk better scalability and load balancing mechanism untuk multiple camera support. Integrasi dengan edge computing dan pengembangan lightweight models untuk resource-constrained environments akan memperluas aplikabilitas sistem. Database optimization dengan data partitioning and indexing strategies diperlukan untuk large-scale deployment.

Untuk implementasi praktis, sistem memerlukan enhancement dalam aspek security dengan end-to-end encryption and role-based access control yang lebih granular. Pengembangan comprehensive testing framework and continuous integration pipeline akan meningkatkan quality

assurance. Implementasi centralized logging system dan alerting mechanism diperlukan untuk proactive monitoring.

Penelitian lanjutan dapat diarahkan pada integrasi multi-modal sensing dengan thermal camera atau depth sensors untuk enhanced detection capability. Pengembangan behavioral analytics untuk anomaly detection dan crowd flow analysis akan menambah value sistem. Eksplorasi federated learning dan privacy- preserving techniques juga menjadi area yang menarik untuk dikembangkan.