



**Institut Teknologi Nasional Malang**

**SKRIPSI – TEKNIK ELEKTRONIKA KENDALI DAN INSTRUMENTASI  
IMPLEMENTASI PENGOLAHAN CITRA MENGGUNAKAN  
KAMERA UNTUK SISTEM DETEKSI OKUPANSI DI  
LABORATORIUM OTOMASI INDUSTRI**

Fadhil Al Munir  
NIM 2212022

Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. Eng. Aryunto Soetedjo, ST., MT.  
Dr. Eng. I Komang Somawirata, ST., MT.

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Nasional Malang  
Juli 2026



**Institut Teknologi Nasional Malang**

**SKRIPSI – TEKNIK ELEKTRONIKA KENDALI DAN  
INSTRUMENTASI**

**IMPLEMENTASI PENGOLAHAN CITRA MENGGUNAKAN  
KAMERA UNTUK SISTEM DETEKSI OKUPANSI DI  
LABORATORIUM OTOMASI INDUSTRI**

Fadhil Al Munir  
NIM 2212022

Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. Eng. Aryuanto Soetedjo, ST., MT.  
Dr. Eng. I Komang Somawirata, ST., MT.

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Nasional Malang  
Juli 2026

**IMPLEMENTASI PENGOLAHAN CITRA MENGGUNAKAN  
KAMERA UNTUK SISTEM DETEKSI OKUPANSI  
DI LABORATORIUM OTOMASI INDUSTRI**

**SKRIPSI**

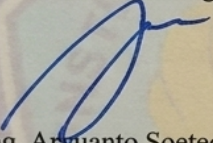
**Fadhil Al Munir**  
**2212022**

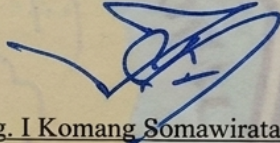
Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Program Studi Teknik Elektro S-1  
Peminatan Teknik Elektronika Kendali dan Instrumentasi  
Institut Teknologi Nasional Malang

Diperiksa dan Disetujui

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

  
Prof. Dr. Eng. Aryuanto Soetedjo, ST., MT.  
NIP. Y. 1030800417

  
Dr. Eng. I Komang Somawirata, ST., MT.  
NIP. P. 1030100361

Mengetahui:

Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1

  
Dr. Irmalia Suryani Faradisa, ST., MT.  
NIP. P. 1030000365

MALANG  
Juli, 2026

## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Nama : Fadhil Al Munir  
NIM : 2212022  
Program Studi : Teknik Elektro S-1  
Jurusan/peminatan : Elektronika Kendali dan Instrumentasi  
ID KTP / Paspor : 3519122101030001  
Alamat : Jl. Mundu RT.13 RW.04 Desa Sugihwaras Kec.  
Saradan Kab. Madiun  
Judul Skripsi : Implementasi Pengolahan Citra Menggunakan  
Kamera Untuk Sistem Deteksi Okupansi di  
Laboratorium Otomasi Industri

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang saya buat merupakan hasil karya sendiri bukan hasil plagiarisme dari orang lain. Dalam skripsi ini tidak memuat karya orang lain kecuali dicantumkan sumber yang digunakan sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Apabila ternyata di dalam skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiarisme, maka saya bersedia skripsi ini di gugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (S-1) di batalkan, serta di proses sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Malang, 13 Agustus 2026

Yang Membuat Pernyataan



Fadhil Al Munir

NIM. 2212022

## **ABSTRAK**

# **IMPLEMENTASI PENGOLAHAN CITRAMENGGUNAKAN KAMERA UNTUK SISTEM DETEKSI OKUPANSI DI LABORATORIUM OTOMASI INDUSTRI**

**Fadhil Al Munir, NIM : 2212022**

**Dosen Pembimbing I : Prof. Dr. Eng. Aryuanto Soetedjo, ST., MT.**

**Dosen Pembimbing II : Dr. Eng. I Komang Somawirata, ST., MT.**

Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem deteksi okupansi ruangan berbasis computer vision menggunakan kamera pada perangkat Raspberry Pi 5 di Laboratorium Otomasi Industri Institut Teknologi Nasional Malang. Sistem memanfaatkan algoritma YOLOv11n untuk mendeteksi manusia serta algoritma SORT dan ByteTrack untuk melacak objek dan menghitung jumlah orang yang masuk maupun keluar ruangan menggunakan metode line crossing. Model dioptimalkan ke format NCNN agar mampu berjalan lebih efisien pada perangkat dengan sumber daya terbatas. Pengujian dilakukan pada tiga skenario video dengan karakteristik pencahayaan dan sudut pandang yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi SORT dengan model NCNN menghasilkan F1-Score sebesar 97,58% dan Precision 100%, sedangkan nilai MOTA tertinggi sebesar 95,27% diperoleh SORT dengan model .pt. Pada evaluasi okupansi, ByteTrack mencapai akurasi penghitungan 100% pada dua skenario pengujian. Selain itu, model NCNN mampu mencapai kecepatan inferensi sekitar 12–14 FPS pada Raspberry Pi 5, sehingga sistem terbukti mampu mendeteksi, melacak, dan menghitung okupansi secara akurat serta efisien untuk mendukung implementasi smart laboratory.

Kata Kunci: *Deteksi Okupansi, YOLOv11n, Raspberry Pi 5, SORT, ByteTrack*

## **ABSTRACT**

# **IMPLEMENTATION OF IMAGE PROCESSING USING A CAMERA FOR OCCUPATION DETECTION SYSTEM IN AN INDUSTRIAL AUTOMATION LABORATORY**

**Fadhil Al Munir, NIM : 2212022**

**Supervisor I : Prof. Dr. Eng. Aryunto Soetedjo, ST., MT.**

**Supervisor II : Dr. Eng. I Komang Somawirata, ST., MT.**

This study develops a computer vision-based room occupancy detection system using a camera on a Raspberry Pi 5. The system employs YOLOv11n for human detection and SORT and ByteTrack for object tracking and occupancy counting using a line-crossing method. The model is optimized into the NCNN format to improve inference efficiency on resource-constrained devices. Performance was evaluated using three video scenarios with different lighting conditions and camera viewpoints. Experimental results show that SORT with the NCNN model achieved an F1-score of 97.58% and 100% precision, while the highest MOTA of 95.27% was obtained by SORT with the PyTorch model. For occupancy evaluation, ByteTrack achieved 100% counting accuracy in two testing scenarios. In addition, the NCNN model processed videos at approximately 12–14 FPS on the Raspberry Pi 5, demonstrating that the proposed system can accurately and efficiently perform detection, tracking, and occupancy counting to support smart laboratory implementation

**Keywords:** *Occupancy Detection, YOLOv11n, Raspberry Pi 5, SORT, ByteTrack*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT karena atas karunia kuasaNya, penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri, ITN Malang. Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih memiliki kekurangan. Karenanya, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dalam rangka pembelajaran terus-menerus. Banyak pihak yang telah membantu dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Eng. Aryunto Soetedjo, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing 1 yang selalu membimbing dengan penuh kesabaran.
2. Bapak Dr. Eng. I Komang Somawirata, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing 2 yang selalu membimbing dengan penuh kesabaran.
3. Ibu Dr. Irmalia Suryani Faradisa, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Elektro ITN Malang
4. Bapak dan Ibu Dosen Elektro S1 yang senantiasa membantu setiap kesulitan yang penulis temui.
5. Kedua orang tua penulis, atas cinta dan dukungan dalam bentuk moril dan materiil yang telah diberikan kepada penulis.
6. Klub sepak bola Chelsea FC, sebagai tim favorit yang sudah penulis tonton sedari kecil dan yang membuat penulis terdorong untuk mengerjakan skripsi.

Dan semua pihak yang telah membantu dalam penulisan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Akhir kata, penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat yang seluas-luasnya bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Malang, Juli 2026

Penulis

## Daftar Isi

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| KATA PENGANTAR.....                                              | i  |
| Daftar Isi.....                                                  | ii |
| Daftar Gambar.....                                               | v  |
| Daftar Tabel.....                                                | vi |
| BAB I PENDAHULUAN.....                                           | 1  |
| 1.1 Latar Belakang.....                                          | 1  |
| 1.2 Rumusan Masalah.....                                         | 3  |
| 1.3 Tujuan Penelitian.....                                       | 4  |
| 1.4 Batasan Masalah.....                                         | 4  |
| 1.5 Sistematika Penulisan.....                                   | 4  |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....                                     | 7  |
| 2.1 Penelitian Terdahulu.....                                    | 7  |
| 2.2 Raspberry Pi 5.....                                          | 9  |
| 2.3 Ultralytics YOLOv11n (You Only Look Once versi 11 Nano)..... | 10 |
| 2.4 Normalized Convolutional Neural Network (NCNN).....          | 10 |
| 2.5 SORT.....                                                    | 11 |
| 2.6 ByteTrack.....                                               | 12 |
| 2.7 OpenCV.....                                                  | 12 |
| 2.8 Laptop.....                                                  | 13 |
| 2.9 Python.....                                                  | 13 |
| 2.10 Thonny IDE.....                                             | 14 |
| 2.11 Data Logging (CSV).....                                     | 15 |
| 2.12 Confusion Matrix.....                                       | 15 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....                               | 17 |



|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| 3.1 Rancangan Sistem.....                       | 17 |
| 3.1.1 Gambaran Keseluruhan Sistem.....          | 17 |
| 3.1.2 Alur Kerja Sistem.....                    | 18 |
| 3.2 Sistem Perangkat Keras.....                 | 19 |
| 3.2.1 Pengambilan Data.....                     | 19 |
| 3.2.2 Spesifikasi Komponen Pemrosesan Data..... | 19 |
| 3.3 Perancangan Sistem Perangkat Lunak.....     | 20 |
| 3.3.1 Pendeteksian objek.....                   | 20 |
| 3.3.2 Pelacakan Objek.....                      | 21 |
| 3.3.3 Counter Object dan Data Logging.....      | 25 |
| 3.4 Flowchart Keseluruhan Sistem.....           | 27 |
| 3.4.1 Flowchart Algoritma Deteksi.....          | 29 |
| 3.4.2 Flowchart Pelacakan Objek.....            | 31 |
| 3.4.3 Flowchart Perhitungan Objek.....          | 32 |
| 3.5 Skema pengujian.....                        | 33 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....                | 37 |
| 4.1 Pengumpulan Dataset.....                    | 37 |
| 4.2 Pengolahan Dataset.....                     | 37 |
| 4.2.1 Preprocessing Dataset.....                | 37 |
| 4.2.2 Augmentasi Dataset.....                   | 37 |
| 4.3 Model.....                                  | 41 |
| 4.3.1 Uji Performa Pre-Trained YOLO11n.....     | 41 |
| 4.3.2 Transfer Learning Model.....              | 42 |
| 4.3.3 Optimalisasi Format Model.....            | 43 |
| 4.4 Evaluasi Kinerja Sistem Deteksi.....        | 44 |
| 4.4.1 Footage Video 1.....                      | 45 |

|                                                      |     |
|------------------------------------------------------|-----|
| 4.4.2 Footage Video 2.....                           | 55  |
| 4.4.3 Footage Video 3.....                           | 64  |
| 4.5 Evaluasi Kinerja Sistem Pelacakan.....           | 80  |
| 4.5.1 Footage Video 1.....                           | 80  |
| 4.5.2 Footage Video 2.....                           | 82  |
| 4.5.3 Footage Video 3.....                           | 83  |
| 4.6 Evaluasi Kinerja Sistem Okupansi.....            | 84  |
| 4.6.1 Footage Video 1.....                           | 85  |
| 4.6.2 Footage Video 2.....                           | 103 |
| 4.6.3 Footage Video 3.....                           | 115 |
| 4.7 Evaluasi Kinerja Sistem Pada Raspberry Pi 5..... | 139 |
| 4.7.1 Footage Video 1.....                           | 140 |
| 4.7.2 Footage Video 2.....                           | 140 |
| 4.7.3 Footage Video 3.....                           | 141 |
| BAB V Kesimpulan.....                                | 143 |
| 5.1 Kesimpulan.....                                  | 143 |
| 5.2 Saran.....                                       | 143 |
| Daftar Pustaka.....                                  | 145 |

## Daftar Gambar

|                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1 Raspberry PI 5.....                                                                                  | 9  |
| Gambar 2.2 NCNN Logo.....                                                                                       | 10 |
| Gambar 2.3 Hasil perbandingan waktu inferensi dari berbagai model<br>dan format menggunakan Raspberry Pi 5..... | 11 |
| Gambar 2.4 OpenCV Logo.....                                                                                     | 12 |
| Gambar 2.5 Laptop.....                                                                                          | 13 |
| Gambar 2.6 Python Logo.....                                                                                     | 13 |
| Gambar 2.7 Thonny IDE Logo.....                                                                                 | 14 |
| Gambar 2.8 CSV Logo.....                                                                                        | 15 |
| Gambar 3. 1 Diagram blok keseluruhan sistem.....                                                                | 17 |
| Gambar 3. 2 Blok diagram Computer Vision.....                                                                   | 18 |
| Gambar 3. 3 Konfigurasi raspberry pi dengan modul pi camera.....                                                | 19 |
| Gambar 3. 4 Urutan pinout module pi camera.....                                                                 | 19 |
| Gambar 3. 5 Implementasi pelacakan SORT.....                                                                    | 22 |
| Gambar 3. 6 Implementasi Pelacakan ByteTrack.....                                                               | 25 |
| Gambar 3. 7 Contoh Hasil Implementasi.....                                                                      | 25 |
| Gambar 3. 8 Flowchart Keseluruhan Sistem.....                                                                   | 27 |
| Gambar 3. 9 Flowchart Algoritma Deteksi.....                                                                    | 29 |
| Gambar 3. 10 Flowchart Pelacakan Objek.....                                                                     | 31 |
| Gambar 3. 11 Flowchart Perhitungan Objek.....                                                                   | 32 |
| Gambar 4. 1 Augmentasi Dataset dengan metode kecerahan<br>(kiri) dan +20% (kanan).....                          | 38 |
| Gambar 4. 2 Augmentasi Dataset dengan metode blur.....                                                          | 39 |
| Gambar 4. 3 Augmentasi Dataset dengan metode Noise.....                                                         | 39 |
| Gambar 4. 4 Augmentasi Dataset dengan metode exposure -20%<br>(kiri) dan +20%(kanan).....                       | 40 |
| Gambar 4. 5 Hasil training dataset YOLO11n.....                                                                 | 43 |

## Daftar Tabel

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 3. 1 Spesifikasi Raspberry Pi 5.....                                     | 19 |
| Tabel 3. 2 Spesifikasi Sandisk Ultra 16 GB MicroSD .....                       | 20 |
| Tabel 4. 1 Jumlah total augmentasi dataset .....                               | 40 |
| Tabel 4. 2 Performa Pre-Trained YOLO11n dengan dataset lapangan....            | 41 |
| Tabel 4. 3 Hasil evaluasi deteksi video 1 kombinasi ByteTrack (.ncnn).....     | 45 |
| Tabel 4. 4 Confusion Matrix video 1 kombinasi ByteTrack (.ncnn).....           | 47 |
| Tabel 4. 5 Hasil evaluasi deteksi video 1 kombinasi ByteTrack+(.pt)....        | 47 |
| Tabel 4. 6 Confusion Matrix video 1 kombinasi ByteTrack (.pt).....             | 49 |
| Tabel 4. 7 Hasil evaluasi deteksi video 1 kombinasi SORT (.ncnn).....          | 50 |
| Tabel 4. 8 Confusion Matrix video 1 kombinasi SORT (.ncnn).....                | 52 |
| Tabel 4. 9 Hasil evaluasi deteksi video 1 kombinasi SORT (.pt).....            | 52 |
| Tabel 4. 10 Confusion Matrix video 1 kombinasi SORT (.pt).....                 | 54 |
| Tabel 4. 11 Hasil rekapitulasi confusion matrix video 1 .....                  | 55 |
| Tabel 4. 12 Hasil evaluasi deteksi video 2 kombinasi ByteTrack<br>(.ncnn)..... | 55 |
| Tabel 4. 13 Confusion Matrix video 2 kombinasi ByteTrack (.ncnn).....          | 57 |
| Tabel 4. 14 Hasil evaluasi deteksi video 2 kombinasi ByteTrack (.pt)....       | 57 |
| Tabel 4. 15 Confusion Matrix video 2 kombinasi ByteTrack (.pt).....            | 59 |
| Tabel 4. 16 Hasil evaluasi deteksi video 2 kombinasi SORT (.ncnn).....         | 59 |
| Tabel 4. 17 Confusion Matrix video 2 kombinasi SORT (.ncnn).....               | 61 |
| Tabel 4. 18 Hasil evaluasi deteksi video 2 kombinasi SORT (.pt).....           | 61 |
| Tabel 4. 19 Confusion Matrix video 2 kombinasi SORT (.pt).....                 | 63 |
| Tabel 4. 20 Hasil rekapitulasi perhitungan confusion matrix video 2 .....      | 63 |
| Tabel 4. 21 Hasil evaluasi deteksi video 3 kombinasi ByteTrack<br>(.ncnn)..... | 64 |
| Tabel 4. 22 Confusion matrix video 2 kombinasi ByteTrack (.ncnn).....          | 67 |
| Tabel 4. 23 Hasil evaluasi deteksi video 3 kombinasi ByteTrack<br>(.pt).....   | 68 |
| Tabel 4. 24 Confusion matrix video 3 kombinasi ByteTrack (.pt).....            | 71 |
| Tabel 4. 25 Hasil evaluasi deteksi video 3 kombinasi SORT (.ncnn).....         | 72 |
| Tabel 4. 26 Confusion matrix video 3 kombinasi SORT (.ncnn).....               | 75 |
| Tabel 4. 27 Hasil evaluasi deteksi video 3 kombinasi SORT (.pt).....           | 76 |
| Tabel 4. 28 Confusion matrix video 3 kombinasi SORT (.pt).....                 | 79 |
| Tabel 4. 29 Hasil rekapitulasi perhitungan confusion matrix video 3 .....      | 79 |
| Tabel 4. 30 Hasil evaluasi sistem pelacakan pada video 1 .....                 | 80 |
| Tabel 4. 31 Hasil evaluasi sistem pelacakan pada video 2 .....                 | 82 |
| Tabel 4. 32 Hasil evaluasi sistem pelacakan pada video 3 .....                 | 83 |

|                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabel 4. 33 Hasil evaluasi okupansi video 1 kombinasi ByteTrack<br>(.ncnn)..... | 85  |
| Tabel 4. 34 Hasil data logging CSV video 1 kombinasi ByteTrack<br>(.ncnn).....  | 89  |
| Tabel 4. 35 Hasil evaluasi okupansi video 1 kombinasi ByteTrack<br>(.pt).....   | 89  |
| Tabel 4. 36 Hasil data logging CSV video 1 kombinasi ByteTrack<br>(.pt).....    | 93  |
| Tabel 4. 37 Hasil evaluasi okupansi video 1 kombinasi SORT<br>(.ncnn).....      | 93  |
| Tabel 4. 38 Hasil data logging CSV video 1 kombinasi SORT<br>(.ncnn).....       | 97  |
| Tabel 4. 39 Hasil evaluasi okupansi video 1 kombinasi SORT (.pt).....           | 98  |
| Tabel 4. 40 Hasil data logging CSV video 1 kombinasi SORT (.pt).....            | 102 |
| Tabel 4. 41 Hasil rekapitulasi perhitungan okupansi video 1.....                | 102 |
| Tabel 4. 42 Hasil evaluasi okupansi video 2 kombinasi ByteTrack<br>(.ncnn)..... | 103 |
| Tabel 4. 43 Hasil data logging CSV video 2 kombinasi ByteTrack<br>(.ncnn).....  | 105 |
| Tabel 4. 44 Hasil evaluasi okupansi video 2 kombinasi ByteTrack<br>(.pt).....   | 106 |
| Tabel 4. 45 Hasil data logging CSV video 2 kombinasi ByteTrack<br>(.pt).....    | 108 |
| Tabel 4. 46 Hasil evaluasi okupansi video 2 kombinasi SORT<br>(.ncnn).....      | 109 |
| Tabel 4. 47 Hasil data logging CSV video 2 kombinasi SORT<br>(.ncnn).....       | 111 |
| Tabel 4. 48 Hasil evaluasi okupansi video 2 kombinasi SORT (.pt).....           | 112 |
| Tabel 4. 49 Hasil data logging CSV video 2 kombinasi SORT (.pt).....            | 114 |
| Tabel 4. 50 Hasil rekapitulasi perhitungan okupansi pada video 2.....           | 115 |
| Tabel 4. 51 Hasil evaluasi okupansi video 3 kombinasi ByteTrack<br>(.ncnn)..... | 115 |
| Tabel 4. 52 Hasil data logging CSV video 3 kombinasi ByteTrack<br>(.ncnn).....  | 120 |
| Tabel 4. 53 Hasil evaluasi okupansi video 3 kombinasi Bytetrack<br>(.pt).....   | 121 |
| Tabel 4. 54 Hasil data logging CSV video 3 kombinasi ByteTrack<br>(.pt).....    | 126 |
| Tabel 4. 55 Hasil evaluasi okupansi kombinasi SORT (.ncnn).....                 | 127 |

|                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabel 4. 56 Hasil data logging CSV video 3 kombinasi SORT<br>(.ncnn)..... | 132 |
| Tabel 4. 57 Hasil evaluasi okupansi video 3 kombinasi SORT (.pt).....     | 133 |
| Tabel 4. 58 Hasil data logging video 3 kombinasi SORT (.pt).....          | 138 |
| Tabel 4. 59 Hasil rekapitulasi perhitungan okupansi pada video 3.....     | 139 |
| Tabel 4. 60 Hasil evaluasi kinerja Raspberry Pi 5 pada video 1.....       | 140 |
| Tabel 4. 61 Hasil evaluasi kinerja Raspberry Pi 5 pada video 2.....       | 140 |
| Tabel 4. 62 Hasil evaluasi kinerja Raspberry Pi 5 pada video 3.....       | 141 |