

**DETEKSI PELANGGARAN LALU LINTAS SEPEDA MOTOR RODA
DUA SECARA REALTIME MENGGUNAKAN METODE *YOU ONLY
LOOK ONCE (YOLOv7)***

(SKRIPSI)

Oleh

**ASSYFA NAZIWA GANANDY
2017051046**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

**DETEKSI PELANGGARAN LALU LINTAS SEPEDA MOTOR RODA
DUA SECARA *REALTIME* MENGGUNAKAN METODE *YOU ONLY
LOOK ONCE (YOLOv7)***

Oleh

ASSYFA NAZIWA GANANDY

SKRIPSI

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA KOMPUTER**

Pada

**Jurusan Ilmu Komputer
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2026

ABSTRAK

DETEKSI PELANGGARAN LALU LINTAS SEPEDA MOTOR RODA DUA SECARA *REALTIME* MENGGUNAKAN METODE *YOU ONLY LOOK ONCE (YOLOv7)*

Oleh

ASSYFA NAZIWA GANANDY

Penelitian ini mengimplementasikan algoritma YOLOv7 dengan *backbone* ELAN untuk mendeteksi pelanggaran lalu lintas sepeda motor, secara spesifik pelanggaran *Nohelm* dan *Threeriders*, pada tiga skenario kepadatan lalu lintas, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Model dilatih dengan variasi parameter *learning rate* (0,01 dan 0,001) serta jumlah *epoch* (50, 100, dan 150). Hasil evaluasi menunjukkan performa optimal pada konfigurasi *epoch* 150 dengan *learning rate* 0,001, yang menghasilkan nilai *mean Average Precision* (mAP) mencapai 99,7% pada tingkat kepadatan rendah, 98,6% pada tingkat sedang, dan 99,6% pada tingkat tinggi. Meskipun performa pada tahap pelatihan sangat baik, pengujian pada data video lapangan yang melibatkan kendaraan bergerak dinamis menunjukkan tantangan dalam generalisasi model. Kendala yang ditemukan meliputi kegagalan deteksi (*missed detection*) pada kepadatan rendah dan sedang, serta munculnya *false positive* dan ketidakakuratan *bounding box* pada kepadatan tinggi. Temuan ini menegaskan bahwa meskipun model mampu bekerja secara *real-time* dan layak diintegrasikan pada sistem CCTV, diperlukan pengembangan lebih lanjut melalui diversifikasi dataset dinamis dan peningkatan kualitas anotasi agar sistem lebih adaptif terhadap variasi kondisi lalu lintas dunia nyata.

Kata Kunci: YOLOv7, *Three Riders*, *No Helmet*, Deteksi Pelanggaran, Generalisasi, Kepadatan Lalu Lintas.

ABSTRACT

REAL-TIME DETECTION OF TWO-WHEELED MOTORCYCLE TRAFFIC VIOLATIONS USING THE YOU ONLY LOOK ONCE (YOLOV7) METHOD

By

ASSYFA NAZIWA GANANDY

This study implements the YOLOv7 algorithm with an ELAN backbone to detect motorcycle traffic violations, specifically No Helmet and Three Riders violations, across three traffic density scenarios: low, medium, and high. The model was trained using variations of learning rate parameters (0.01 and 0.001) and epochs (50, 100, and 150). The evaluation results demonstrate optimal performance at 150 epochs with a learning rate of 0.001, yielding a mean Average Precision (mAP) of 99.7% for low density, 98.6% for medium density, and 99.6% for high density. While training performance was excellent, field testing on dynamic video data revealed challenges regarding model generalization. Identified issues include missed detections in low and medium density conditions, as well as false positives and inaccurate bounding box placement in high-density scenarios. These findings indicate that while the model functions in real-time and is suitable for CCTV-based integration, further development is required—specifically through dynamic dataset diversification and annotation optimization—to ensure the system remains robust against the complexities of real-world traffic conditions.

Keywords: *YOLOv7, Three Riders, No Helmet, Violation Detection, Generalization, Traffic Density.*

Judul Skripsi : **DETEKSI PELANGGARAN LALU LINTAS
SEPEDA MOTOR RODA DUA SECARA
REALTIME MENGGUNAKAN METODE
YOU ONLY LOOK ONCE (YOLOv7)**

Nama Mahasiswa : *Assyfa Naziwa Ganandy*

Nomor Pokok Mahasiswa : 2017051046

Program Studi : S1 Ilmu Komputer

Jurusan : Ilmu Komputer

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



MENYETUJUI
1. Komisi Pembimbing

Dr. rer. nat. Akmal Junaidi, M.Sc.
NIP. 19710129 1997021 001

Ridho Sholehurrohman, M.Mat.
NIP. 232111970128101

MENGETAHUI

2. Ketua Jurusan Ilmu Komputer

3. Ketua Prodi Ilmu Komputer

Dwi Sakethi, S.Si., M.Kom.
NIP. 19680611 1998021 001

Tristiyanto, S.Kom., M.I.S., Ph.D.
NIP. 198104142005011001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

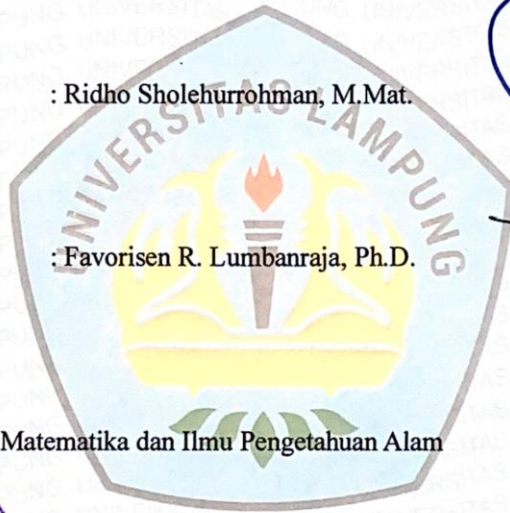
Ketua : Dr. rer. nat. Akmal Junaidi, M.Sc



Sekretaris : Ridho Sholehurrohman, M.Mat.



Penguji Utama : Favorisen R. Lumbanraja, Ph.D.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP. 19711001 200501 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **20 Januari 2026**

PERNYATAAN

Saya bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Assyfa Naziwa Ganandy

NPM : 2017051046

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “ **Deteksi Pelanggaran Lalu Lintas Sepeda Motor Roda Dua Secara *Realtime* Menggunakan Metode *You Only Look Once (YOLOv7)*** ” merupakan karya saya sendiri dan bukan karya orang lain. Semua tulisan yang tertuang di skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya tulis ilmiah Universitas Lampung. Apabila dikemudian hari terbukti skripsi saya merupakan hasil jiplakan atau dibuat orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi berupa pencabutan gelar yang saya terima.

Bandar Lampung, 20 Januari 2026
Penulis,



Assyfa Naziwa Ganandy
NPM. 2017051046

RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di Bandar Lampung pada tanggal 11 September 2002 sebagai anak terakhir dari pasangan Bapak Abdul Gani, S.Sos dan Ibu Abina Andriyani. Penulis telah menyelesaikan Pendidikan formal di SD Negeri 1 Sukarame Bandar Lampung pada tahun 2014. Kemudian melanjutkan di SMP Negeri 23 Bandar Lampung dan lulus pada tahun 2017, serta melanjutkan ke SMAN 4 Bandar Lampung dan lulus pada tahun 2020.

Pada tahun 2020 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Ilmu Komputer Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam universitas Lampung melalui jalur SBMPTN.

Selama menjadi mahasiswa di Ilmu Komputer, penulis aktif mengikuti berbagai kegiatan di antaranya sebagai berikut.

1. Menjadi Anggota Bidang Media dan Informasi Himpunan Mahasiswa Ilmu Komputer (Himakom) Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung tahun 2021-2022.
2. Menjadi Anggota Panitia Divisi Dana Usaha Pekan Raya Jurusan IX Himakom Pada tahun 2021.
3. Mengikuti Kursus Desain Interaksi UI/UX *Designer* Pemula Program KMMI tahun 2021.
4. Menjadi Anggota Panitia Divisi Kestari Pekan Raya Jurusan X Himakom Pada tahun 2022.
5. Mengikuti Kerja Praktik di Perkebunan Nusantara VII di bidang IT Tahun 2023.
6. Melaksanakan KKN di Desa Sripendowo Kecamatan Bangun Rejo, Kabupaten Lampung Tengah tahun 2023.

PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas ridho, rahmat, dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad Shallallahu Alaihi Wasallam yang menjadi teladan bagi umat manusia dalam menuntut ilmu dan menjalani kehidupan.

Kupersembahkan karya ini kepada:

Bunda dan Ayah, terima kasih atas doa, kasih sayang serta dukungan moril dan materi yang selalu diberikan dengan penuh keikhlasan. Terima kasih atas setiap pengorbanan, kepercayaan dan perjuangan yang menjadi kekuatanku hingga skripsi ini dapat terselesaikan. Terima kasih juga kepada kakak-kakakku tercinta yang senantiasa mendukung, menyemangati dan mendampingi penulis dalam setiap proses penyelesaian skripsi ini.

Serta untuk diriku sendiri, terima kasih telah bersabar, tetap kuat, dan terus berjuang hingga akhirnya mampu menyelesaikan skripsi ini dengan penuh keteguhan.

Almamater Tercinta Jurusan Ilmu Komputer dan Universitas Lampung

MOTTO

“Fa inna ma’al ‘usri yusra, inna ma’al ‘usri yusra.”

(Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan, sesungguhnya bersama
kesulitan ada kemudahan)

(Q.S. Al-Insyirah: 5–6)

“Success is not final, failure is not fatal: it is the courage to continue that counts.”

– Winston Churchill

“Lelah boleh, menyerah jangan. Karena setiap proses adalah bagian dari
pembentukan diri menjadi lebih kuat.”

– Assyfa

SANWACANA

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji dan syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Deteksi Pelanggaran Lalu Lintas Sepeda Motor Roda Dua Secara Realtime Menggunakan Metode You Only Look Once (YOLOv7)”** dengan lancar. Dalam proses penelitian dan penyusunan skripsi ini, saya memperoleh banyak bimbingan, dukungan, serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini saya menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua Orang Tua Tercinta, Ayahanda Abdul Gani, S.Sos dan Ibunda Abina Andriyani, atas dukungan, doa, serta kesabaran dalam membimbing dan membesarkan penulis. Terima kasih atas kerja keras, pengorbanan serta cinta dan kasih sayang yang tidak pernah putus sehingga penulis mampu menyelesaikan masa studi ini dengan baik.
2. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
3. Bapak Dwi Sakethi, S.Si., M.Kom., selaku Ketua Jurusan Ilmu Komputer FMIPA Universitas Lampung.
4. Ibu Yunda Heningtyas, M.Kom., selaku Sekretaris Jurusan Ilmu Komputer FMIPA Universitas Lampung.
5. Bapak Tristiyanto, S.Kom., M.I.S., Ph.D., selaku Kepala Program Studi S1 Ilmu Komputer FMIPA Universitas Lampung.
6. Bapak Prof. Admi Syarif, Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan arahan dan motivasi selama masa perkuliahan.
7. Bapak Dr. rer. nat. Akmal Junaidi, M.Sc, selaku Dosen Pembimbing I yang telah membimbing, memberikan arahan, masukan, serta motivasi dalam penyusunan skripsi ini.

8. Bapak Ridho Sholehurrohman, M.Mat., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, saran, dan dukungan dalam proses penyelesaian skripsi ini.
9. Bapak Favorisen R. Lumbanraja, Ph.D., selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun demi penyempurnaan skripsi ini.
10. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen serta Staf Jurusan Ilmu Komputer FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu, wawasan serta membantu segala urusan administrasi selama masa perkuliahan.
11. Seluruh kakakku tercinta, Bung, Idaman, Koko serta Mustika dan Ajeng yang selalu membantu dan menemani penulis, memberikan dukungan, doa, serta semangat hingga skripsi ini dapat terselesaikan.
12. Teman-teman seperjuangan kuliah "CCB", yaitu Nasywa, Mita, Jara, Wina, Nessa, Regita dan Sarah yang selalu memberikan dukungan, kebersamaan serta semangat selama masa perkuliahan dan penyusunan skripsi.
13. Sahabat semasa sekolah "Orang Sibuk", yaitu Alya, Dinsy, Miya, Nunci, Anez, Ine dan Syahilla yang selalu memberikan doa, dukungan dan semangat kepada penulis.
14. Seluruh teman-teman Jurusan Ilmu Komputer Universitas Lampung yang telah berjuang bersama selama masa studi.

Bandar Lampung, 4 Mei 2026
Penulis,

Assyfa Naziwa Ganandy
NPM. 2017051046

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR KODE PROGRAM	ix
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan.....	3
1.5. Manfaat.....	4
II. LANDASAN TEORI	5
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Lalu Lintas.....	6
2.2.1 Definisi Lalu Lintas.....	6
2.3 Pelanggaran Lalu Lintas	7
2.4 Pengolahan Citra dan Video	8
2.4.1 Pengolahan Citra Digital	8
2.4.2 Video Digital	10
2.5 <i>Resizing Image</i>	10
2.6 <i>Artificial Intelligence</i>	10
2.7 <i>Machine Learning</i>	11
2.8 <i>Deep Learning</i>	11
2.9 <i>Convolutional Neural Network (CNN)</i>	12
2.9.1 <i>Convolution Layer</i>	12
2.9.2 <i>Fully Connected Layer</i>	14

2.10	<i>YOLO</i>	14
2.10.1	<i>YOLOv7</i>	16
II.10.2	Arsitektur <i>E-ELAN</i> pada <i>YOLOv7</i>	18
2.11	Matrix Evaluasi	18
2.12	Perangkat Lunak Pendukung.....	19
2.12.1	Sistem Operasi Windows 11 Home Single Language 64-bit.....	19
2.12.2	<i>Kaggle</i>	20
2.12.3	<i>Python 3.11</i>	20
2.12.4	<i>Roboflow</i>	20
2.12.5	<i>Package</i>	21
III. METODE PENELITIAN		22
3.1	Waktu dan Tempat	22
3.1.1	Tempat Penelitian.....	22
3.1.2	Waktu Penelitian	22
3.2	Perangkat Peneitian	23
3.3	Tahapan Penelitian	24
3.3.1	Pengumpulan <i>Dataset</i>	24
3.3.2	<i>Pre-Processing</i>	25
3.3.3	<i>Training Model YOLOv7</i>	27
3.3.4	<i>Testing Model YOLOv7</i>	27
3.3.5	Evaluasi Hasil.....	28
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....		29
4.1	Pengumpulan <i>Dataset</i>	29
4.2	<i>Pre-processing data</i>	30
4.2.1	<i>Resizing Image</i>	31
4.2.2	Anotasi Data.....	32
4.3.2.1	Pembagian Data	35
4.3	<i>Hyperparameter Tunning</i>	35
4.4	<i>Training Model</i>	36
4.4.1	Hasil <i>Training Model</i>	37

4.5	<i>Testing Model</i>	48
4.6	Hasil <i>Testing Model YOLOv7</i>	48
4.6.1	Hasil <i>Testing Video 1</i>	49
4.6.2	Hasil <i>Testing Video 2</i>	51
4.7	Evaluasi Model YOLOv7	53
V. SIMPULAN DAN SARAN		53
5.1	Kesimpulan.....	53
5.2	Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA		46

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Komponen Lalu Lintas.	7
2. Pengolahan Citra Digital.....	9
3. Representasi Citra (Google).....	9
4. Keterkaitan AI, ML, DL.....	11
5. Arsitektur <i>CNN</i> (Maulana, et al., 2023)	12
6. Feature map (Reyes, 2013).	13
7. Fully <i>Connected Layer</i> (Sari, 2022).....	14
8. Arsitektur Metode YOLO (Chung et al., 2021).	15
9. Arsitektur YOLOv7 (Gelar Guntara, 2023).	17
10. Flowchart Alur Penelitian	24
11. Ilustrasi Pengambilan Data Jalan Gapura DPRD.....	30
12. Contoh Citra Hasil <i>Resizing</i>	31
13. Contoh Pemberian Label Kelas pada Citra	33
14. Contoh <i>Bounding box</i> Citra.....	34
15. Perbandingan <i>precision</i> , <i>recall</i> dan <i>mAP</i> pada tingkat kepadatan rendah.....	38
16. Nilai <i>Class_loss</i> dan <i>Obj_loss</i> kepadatan rendah.....	39
17. Visualisasi label dan prediksi hasil deteksi kepadatan rendah	40
18. Perbandingan <i>precision</i> , <i>recall</i> dan <i>mAP</i> pada tingkat kepadatan sedang.....	42
19. Nilai <i>Class_loss</i> dan <i>Obj_loss</i> kepadatan sedang	43
20. Visualisasi label dan prediksi hasil deteksi kepadatan sedang	44
21. Perbandingan <i>precision</i> , <i>recall</i> dan <i>mAP</i> pada tingkat kepadatan sedang	45
22. Nilai <i>Class_loss</i> dan <i>Obj_loss</i> kepadatan tinggi	46
23. Visualisasi hasil deteksi model (label vs prediksi).....	47
24. Hasil pengujian video pada kepadatan rendah (Video_1).....	50
25. Hasil pengujian video pada kepadatan sedang (Video_1).....	50
26. Hasil pengujian video pada kepadatan tinggi (Video_1)	51

27. Hasil pengujian video_2 kepadatan tinggi <i>epoch</i> 150 lrf 0,001	52
28. Sampel label Threerider dengan menggunakan helm (data <i>training</i>)	53
29. kesalahan deteksi pada label kelas <i>Nohelm</i>	55
30. Kesalahan deteksi pada label kelas <i>Threeriders</i>	55
31. Pengendara non-pelanggar terdeteksi sebagai pelanggar <i>threeriders</i>	56

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Penelitian Terdahulu	5
2. Alur Waktu Pengerjaan Penelitian	22
3. Data <i>Training</i>	29
4. <i>Hyperparameter Tunning</i>	36
5. Hasil <i>Training</i> Tingkat Rendah <i>learning rate</i> 0,01	38
6. Hasil <i>Training</i> Tingkat Sedang	41
7. Hasil <i>Training</i> Tingkat Tinggi.....	45

DAFTAR KODE PROGRAM

Kode Program	Halaman
1. <i>Resize Image</i>	31
2. <i>Training Model YOLOv7</i>	37
3. <i>Testing Model YOLOv7</i>	48

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kecelakaan lalu lintas selalu mengalami kenaikan setiap tahunnya, berdasarkan data yang didapatkan dari Badan Pusat Statistik angka kecelakaan tiap tahunnya selalu meningkat, mulai dari tahun 2018 angka kecelakaan sebesar 109.215 kejadian dan pada tahun 2019 naik menjadi 116.419 (Kardian, 2023). Pelanggaran lalu lintas merupakan suatu tindakan yang diperbuat oleh pengemudi yang sedang mengemudikan kendaraan umum atau kendaraan bermotor serta pejalan kaki yang bertentangan dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (Krisnani 2021).

Pelanggaran lalu lintas dapat terjadi di kota-kota besar di Indonesia, termasuk Kota Bandar Lampung. Pelanggaran lalu lintas sering kali dilakukan dengan sengaja atau dengan berpura-pura tidak mengetahui peraturan yang berlaku. Pada pelanggaran lalu lintas terdapat beberapa jenis pelanggaran umum yang kerap terjadi di jalan raya salah satunya yaitu, tidak memakai helm seri SNI dan mengendarai sepeda roda dua dengan bonceng tiga.

Seiring berkembangnya teknologi saat ini mempermudah manusia dalam melakukan pekerjaan, begitu pula halnya dalam mendeteksi tindakan pelanggaran lalu lintas agar mendapatkan hasil yang lebih valid dan efisien. Berdasarkan hal tersebut, terdapat sebuah gagasan dengan menggunakan metode *you only look once (YOLO)* yang menggabungkan teknologi *Artificial Intelligence (AI)* untuk mendeteksi dan klasifikasi pelanggaran lalu lintas secara *realtime* dengan bantuan kamera *CCTV* yang terdapat pada

sudut Kota Bandar Lampung seperti sistem E-Tilang yang digunakan oleh pihak DITLANTAS.

E-Tilang atau *Electronic Traffic Law Enforcement (ETLE)* adalah metode yang menggunakan teknologi dalam mencatat atau merekam pelanggaran lalu lintas secara elektronik yang menjadi sebuah inovasi dalam layanan publik di bidang lalu lintas (Lalu & Di, 2022). Pengoperasian *ETLE* sebagai alat pendukung penegakan lalu lintas memerlukan integrasi.

Penggunaan kamera untuk merekam pelanggaran secara elektronik dengan tujuan mengurangi pemerasan dan meningkatkan kedisiplinan berkendara serta meningkatkan efektivitas kinerja dalam memberikan pelayanan optimal. Penelitian ini berfokus pada pendeteksian pelanggaran lalu lintas sepeda motor roda dua secara *realtime* menggunakan metode *you only look once (YOLOv7)*.

Pada penelitian terdahulu membahas masalah deteksi pelanggaran lalu lintas menggunakan metode *YOLOv5* yang diteliti oleh (FAZRI, 2022). Dengan *YOLOv5* sebagai *object detection* yang menghasilkan performa nilai *mAP50* 74%. Pada metode *YOLOv7* dapat melakukan pendeteksian objek dengan cepat dan memproses gambar pada tingkat kecepatan 161 *fps* perdetik, jauh lebih cepat dari model yang terdahulu.

Metode *YOLOv7* dalam mendeteksi objek tidak memakan waktu yang cukup lama berbeda dengan *YOLOv8* yang memakan waktu cukup lama. Pada penelitian (Agarwal et al., 2023) membahas tentang *YOLOv7* dan *YOLOv8* dalam mendeteksi model *drone* dengan hasil penelitian pada akurasi antara metode *YOLOv7* menghasilkan 48,16% dan *YOLOv8* menghasilkan 50,16%.

Dikarenakan metode *YOLOv8* tidak mendukung dalam resolusi 1280px dan memakan waktu komputasi lebih lama dari model yang lain. Maka dalam hal ini, menurut saya metode *YOLOv7* lebih unggul dibandingkan metode *YOLO* versi lainnya.

Berdasarkan dengan penjelasan di atas, penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan metode *YOLOv7* untuk deteksi dan klasifikasi

pelanggaran lalu lintas sepeda motor roda dua secara *realtime*. Penelitian ini akan menggunakan dua jenis kelas yaitu, tidak menggunakan helm dan melakukan bonceng tiga dengan data yang didapatkan dari *CCTV* Kota Bandar Lampung secara *realtime* serta evaluasi hasil pengujian performa dilakukan dengan menghitung nilai *mAP*, *accuracy* dan *recall*.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana implementasi metodel *YOLOv7* dalam mendeteksi pelanggaran lalu lintas pengendara sepeda motor roda dua secara *realtime*.

1.3. Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan di atas, maka penelitian ini dibatasi pada:

1. Model ini dibuat menggunakan bahasa pemrograman *python*.
2. Model ini berfokus pada deteksi pelanggaran lalu lintas yang dilakukan oleh pengendara sepeda motor roda dua.
3. Terdapat dua jenis kelas yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu tidak menggunakan helm dan berboncengan tiga.
4. Data yang diperoleh dari *CCTV* jalan raya Kota Bandar Lampung yang dapat diakses melalui *website CCTV* Kota Bandar Lampung.
5. Data *CCTV* Kota Bandar Lampung dalam Jalan Gapura DPRD.

1.4. Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengimplementasi *YOLOv7* untuk mendeteksi pelanggaran lalu lintas pada pengendara sepeda motor roda dua.
2. Melakukan evaluasi kinerja model *YOLOv7* dalam mendeteksi pelanggaran lalu lintas pada pengendara sepeda motor roda dua.

1.5. Manfaat

Adapun manfaat yang bisa didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui hasil evaluasi kinerja pada model YOLOv7 dalam mendeteksi pelanggaran lalu lintas pada pengendara sepeda motor roda dua.
2. Sebagai rujukan Direktorat Lalu Lintas (DITLANTAS) guna meningkatkan efektivitas dan penindakan dalam pelanggaran lalu lintas.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian ini dibutuhkan penelitian terdahulu, sebagai berikut:

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

Judul	Objek	Pokok Pembahasan
Deteksi dan Pengenalan Jenis Pelanggaran Lalu Lintas Menggunakan Pengolahan Video Berbasis Metode <i>YOLOv5</i> (Ilham Fazri et al., 2022).	Helm, Lawan Arus, Lampu Merah.	Performa deteksi mencapai nilai <i>mAP50</i> sebesar 74% dengan <i>f1-Score</i> masing-masing 0,95 untuk pelanggaran menerobos lampu merah, 0,88 untuk tidak menggunakan helm dan 1,00 untuk melawan arus.
Analisis Deteksi Helm Pada Pengendara Bermotor untuk Mendeteksi Pelanggaran Lalu Lintas Menggunakan Metode <i>YOLOv4</i> (Nadia Hanifa, 2023).	Helm.	Deteksi helm pada pelanggaran lalu lintas menunjukkan evaluasi data yang baik dengan nilai <i>mAP</i> sebesar 75%. Konfigurasi terbaik diperoleh pada <i>YOLOv4</i> dengan <i>mAP</i> 99,668% sedangkan <i>YOLOv4-Tiny</i> mencapai 62,5%.
Deteksi Pelanggaran Lalu Lintas Tidak Menggunakan Helm dengan <i>YOLOv4</i> Pada Sistem <i>ETLE</i> (Rangari et al., 2022).	Lampu Lalu Lintas.	Perancangan <i>system</i> lampu lalu lintas menggunakan <i>YOLOv7</i> menunjukkan hasil 120% lebih baik dibandingkan <i>YOLO</i> versi sebelumnya dengan hasil 92% dalam pengelolaan dan pengendalian lampu lalu lintas.

Judul	Objek	Pokok Pembahasan
Identifikasi Pelat Nomor Kendaraan dalam Kondisi Kurang Cahaya Pelat Menggunakan Metode <i>YOLOv7</i> dan <i>OCR</i> (Muhammad Rizkiawan, 2023)	Pelat Nomor Kendaraan	Metode <i>YOLOv7</i> menunjukkan performa deteksi objek <i>realtime</i> dengan <i>Precision</i> 95,6%, <i>Recall</i> 99,1% dan <i>mAP</i> 98,8%. Pada tahap <i>OCR</i> , diperoleh hasil masing-masing untuk <i>EasyOCR</i> 35,65%, <i>KerasOCR</i> 52,5% dan <i>Pyresseract</i> 19,7%.
Deteksi Pelanggaran Lalu Lintas Sepeda Motor Roda Dua Secara <i>Realtime</i> Menggunakan Metode <i>YOLOv7</i>	Helm dan Bonceng Tiga	Penelitian ini membahas tentang deteksi pelanggaran lalu lintas pengendara roda dua dengan menggunakan metode <i>YOLOv7</i> secara <i>realtime</i> yang diambil dari <i>CCTV</i> Kota Bandar Lampung pada jalan Gapura DPRD.

2.2 Lalu Lintas

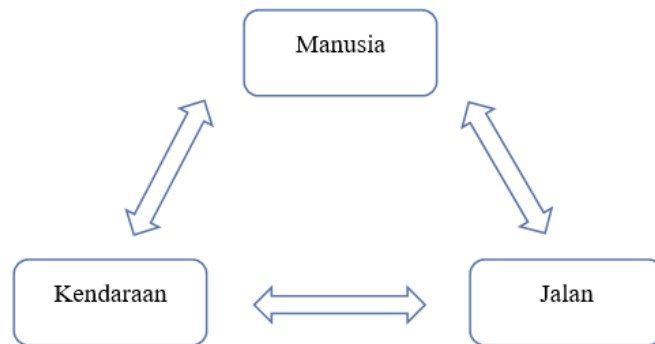
2.2.1 Definisi Lalu Lintas

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia, Lalu lintas merupakan berjalan bolak balik, hilir mudik, dan perihal perjalanan di jalan dan sebagainya serta berhubungan antara sebuah tempat dengan tempat lainnya. Sedangkan disebutkan dalam UU No. 22 Tahun 2009, lalu lintas di artikan sebagai gerak kendaraan dan orang di ruang lalu lintas jalan (Jiwangga, 2017).

Berdasarkan definisi tersebut, dapat disimpulkan bahwa lalu lintas merupakan prasarana jalan yang berperan sebagai media utama untuk mencapai tujuan tertentu, baik dengan menggunakan maupun tanpa menggunakan kendaraan atau alat pengangkut barang.

Dalam lalu lintas terdapat tiga komponen penting yaitu manusia sebagai pengguna, kendaraan dan jalan saling berinteraksi dalam pergerakan kendaraan yang memenuhi persyaratan oleh pengemudi

dalam peraturan perundangan lalu lintas. Berikut Gambar 1. Merupakan ilustrasi dari ketiga komponen dalam lalu lintas



Gambar 1. Komponen Lalu Lintas.

2.3 Pelanggaran Lalu Lintas

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) pelanggaran merupakan perbuatan melanggar suatu tindak pidana yang lebih ringan dari kejahatan. Sedangkan Menurut Ramdlon Naning, pelanggaran lalu lintas diartikan sebagai tindakan atau perbuatan yang tidak sesuai dengan ketentuan yang diatur dalam peraturan perundang-undangan di bidang lalu lintas.

Menurut para ahli, Pelanggaran adalah tindakan yang bersifat melawan hukum apabila hal tersebut hanya dapat diketahui berdasarkan ketentuan yang diatur dalam undang-undang (Pangestu, 2019).

Dari kedua definisi pelanggaran tersebut di atas maka dapat diartikan bahwa unsur-unsur pelanggaran ialah:

1. Adanya perbuatan yang bertentangan dengan perundang-undangan
2. Menimbulkan akibat hukum

Berdasarkan pengertian yang telah dikemukakan, pelanggaran dapat diartikan sebagai suatu perbuatan atau tindakan yang bertentangan dengan ketentuan peraturan perundang - undangan. Tindakan tersebut pada umumnya mengakibatkan sanksi hukum, baik berupa sanksi administratif, denda, maupun kurungan. Mengacu pada definisi pelanggaran dan pengertian lalu lintas, pelanggaran lalu lintas dapat dimaknai sebagai tindakan atau perbuatan yang dilakukan oleh pengemudi kendaraan umum, kendaraan bermotor,

maupun pejalan kaki yang tidak sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan lalu lintas yang berlaku.

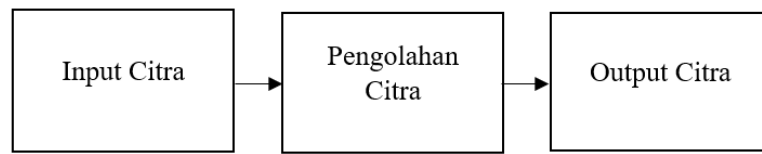
Ketertiban dalam berlalu lintas merupakan salah satu bentuk perwujudan disiplin nasional sekaligus cerminan budaya bangsa, sehingga setiap individu memiliki kewajiban untuk ikut serta mewujudkannya. Untuk mencegah terjadinya pelanggaran lalu lintas, masyarakat diharapkan memahami, melaksanakan, serta mematuhi seluruh peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Pada penelitian ini membahas dua jenis pelanggaran lalu lintas yang dilakukan oleh pengendara sepeda motor, yaitu tidak menggunakan helm dan berboncengan tiga. Berdasarkan ketentuan peraturan perundang-undangan, kedua pelanggaran tersebut diatur sebagai berikut: pertama, setiap pengendara atau penumpang sepeda motor yang tidak mengenakan helm standar nasional dikenai sanksi pidana kurungan paling lama 1 (satu) bulan atau denda paling banyak Rp250.000,00 sebagaimana tercantum dalam Pasal 291 ayat (1). Kedua, setiap orang yang mengemudikan sepeda motor tanpa kereta samping dan mengangkut penumpang lebih dari satu orang sebagaimana dimaksud dalam Pasal 106 ayat (9), diancam pidana kurungan paling lama 1 (satu) bulan atau denda paling banyak Rp250.000,00 sesuai ketentuan Pasal 106.

2.4 Pengolahan Citra dan Video

2.4.1 Pengolahan Citra Digital

Pengolahan Citra Digital merupakan sebuah teknik untuk memperbaiki suatu kualitas citra agar informasi yang menjadi lebih jelas dan mudah untuk diinterpretasi. Citra merupakan gambar diam (*image*) maupun gambar bergerak (*video*). Pengolahan Citra Digital menggunakan sebuah perangkat komputer yang dapat meningkatkan kontras, mengubah warna, serta merestorasi citra. Berikut gambaran sederhana dari proses pengolahan citra digital yang dapat ditemukan pada Gambar 2 di bawah ini (Halliwal, 2023)



Gambar 2. Pengolahan Citra Digital

Pengolahan Citra Digital dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis berdasarkan nilai *pixel*, yaitu (Sholehurrohman and Setiyono, 2021):

- Citra *Biner*, merupakan citra yang hanya memiliki dua nilai intensitas, yaitu hitam dan putih. Intensitas Hitam dengan nilai *pixel* 1 dan Intensitas Putih dengan nilai *pixel* 0.
- Citra *Grayscale (Black and White)*, merupakan citra yang hanya memiliki satu intensitas lapisan keabuan dengan nilai *pixel* rentang 0-255.
- Citra *RGB (Red, Green, Blue)*, merupakan citra yang memiliki tiga lapisan, yaitu *Red*, *Green*, dan *Blue*. Citra *RGB* masing-masing memiliki nilai intensitas *pixel* 0-255 yang menciptakan berbagai warna dan nuansa.

Suatu citra dengan matriks $M \times N$ dapat dinyatakan sebagai matriks berukuran $M - 1 \times N - 1$ yaitu (Sholehurrohman & Setiyono, 2021):

$$\begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & f(1 \dots, 1) & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix}$$



Gambar 3. Representasi Citra (Google).

2.4.2 Video Digital

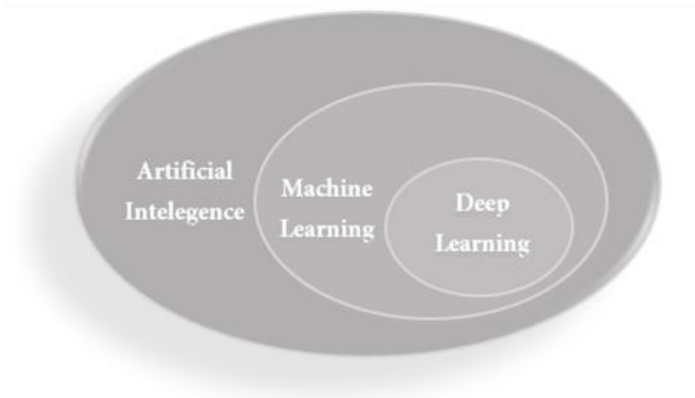
Video merupakan sebuah representasi citra yang direkam dengan sensor satuan waktu tertentu. Kemudian, hasil rekaman akan disimpan dalam format file digital dengan masing-masing video memiliki kecepatan antara 25-30 *frame per second (fps)* . Sedangkan video digital merupakan representasi kumpulan gambar yang memuat informasi seperti *frame rate*, *frame size* dan *frame per second (fps)*. Dalam video digital hampir semuanya menggunakan komposisi warna *RGB (Red, Green, Blue)* yang setiap gambarnya akan didigitalkan secara terpisah untuk setiap warnanya. (Sholehurrohman and Setiyono, 2021).

2.5 *Resizing Image*

Resizing Image merupakan langkah penting dalam pengolahan video digital yang digunakan untuk mengubah ukuran citra menjadi lebih besar atau menjadi lebih kecil dari ukuran asli citra tersebut. Tujuan dalam proses ini untuk mempermudah dan meringankan komputasi pada perangkat agar dapat memproses citra dengan kurun waktu singkat, terutama ketika melakukan metode deteksi (Ilyas, 2020). Proses ini dapat dilakukan secara *online* menggunakan berbagai perangkat lunak atau aplikasi. *Resize Image* dilakukan dengan alasan mengurangi rasio gambar, semakin kecil rasio gambar, semakin cepat waktu yang dibutuhkan dalam mengoptimasi citra pada resolusi, rasio aspek, dan ukuran citra.

2.6 *Artificial Intelligence*

Artificial Intelligence atau kecerdasan buatan merupakan kecerdasan yang dapat diperlihatkan oleh mesin. Kemampuan *Artificial Intelligence* saat ini sudah pada tahap dapat memahami bahasa manusia dan bersaing menyelesaikan sebuah *game* dengan tingkat kesulitan yang tinggi. *Artificial Intelligence* merupakan otak buatan yang dapat memproses apa yang kita lihat, seperti gambar dan video atau suara yang di dengar dari *microphone* atau data-data lain yang dapat dijadikan informasi untuk menentukan tindakan berikutnya seperti halnya manusia. (Assidiqi, 2023)



Gambar 4. Keterkaitan *AI*, *ML*, *DL*

2.7 *Machine Learning*

Machine Learning merupakan metode analisis yang membantu menangani data besar dengan cara mengembangkan algoritma komputer. Dengan menggunakan data, pembelajaran mesin memungkinkan komputer menemukan informasi yang tersembunyi tanpa program eksplisit saat mencarinya. *Machine Learning* merupakan cabang aplikasi dari *Artificial Intelligence* yang dalam pengembangan sebuah sistemnya dapat belajar sendiri tanpa harus berulang kali (Maulana, et al., 2023).

Dalam *Machine Learning*, aspek pembelajaran merujuk pada upaya algoritma untuk mengurangi tingkat kesalahan dan meningkatkan akurasi prediksi terhadap data yang diberikan selama proses pelatihan berlangsung (Jakhar & Kaur, 2020).

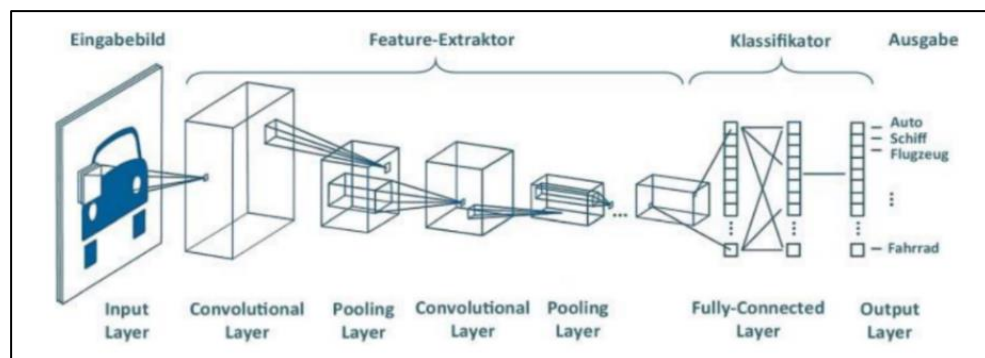
2.8 *Deep Learning*

Deep Learning merupakan sebuah teknik dalam *artificial intelligence* yang mengajarkan komputer atau mesin untuk memproses data seperti cara kerja otak manusia (Cahyani, 2023). *Deep Learning* dapat dijelaskan sebagai pemrosesan yang memanfaatkan jaringan syaraf tiruan untuk implementasi permasalahan dengan dataset yang besar. “*Deep*” yang memiliki arti mendalam adalah istilah teknis dan mengacu pada jumlah lapisan dalam jaringan syaraf tiruan. Setiap kali menerima informasi baru, otak akan memprosesnya dengan membandingkannya terhadap pengetahuan yang telah tersimpan sebelumnya guna membentuk pemahaman yang lebih jelas.

2.9 Convolutional Neural Network (CNN)

Convolutional Neural Network (CNN) merupakan salah satu algoritma dalam *Deep Learning* yang dirancang secara khusus untuk memproses dan menganalisis data visual, seperti citra dan video, sehingga mampu mengenali pola atau fitur yang terdapat di dalamnya. Penerapan *CNN* umumnya ditujukan pada data yang memiliki struktur dua dimensi, seperti gambar maupun suara, dengan memanfaatkan operasi konvolusi pada matriks untuk mengekstraksi fitur-fitur penting.

Operasi ini menggunakan bobot berbentuk empat dimensi yang terdiri atas sekumpulan *kernel* konvolusi, yang bekerja secara bertahap melalui beberapa lapisan untuk menghasilkan representasi data yang lebih abstrak dan bermakna bagi proses klasifikasi atau deteksi. *CNN* telah banyak diaplikasikan pada data citra dan video, seperti klasifikasi citra, identifikasi citra dan lain-lainnya (Suartika et al., 2016). Adapun berikut gambar ilustrasi *layer CNN* pada *JST*.



Gambar 5. Arsitektur *CNN* (Maulana, et al., 2023)

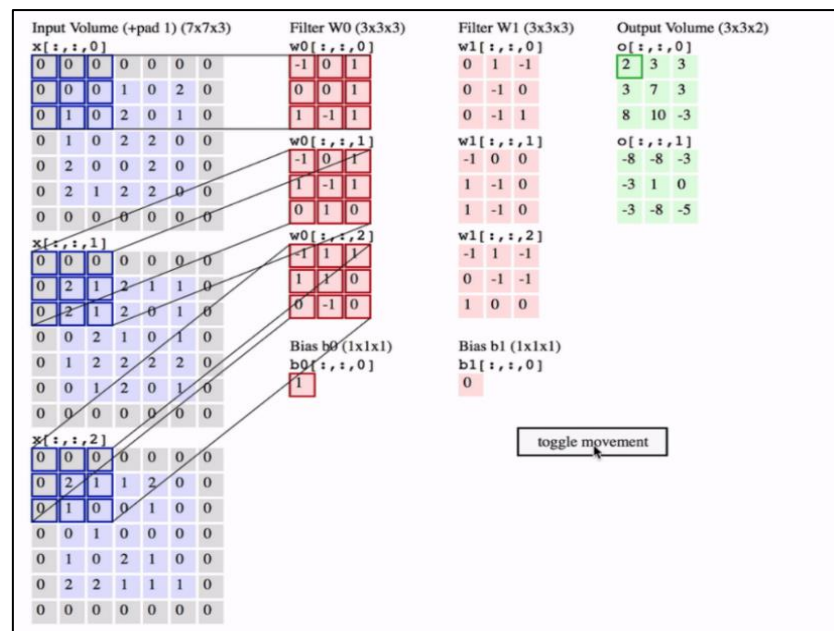
Berdasarkan Gambar 5. diatas, Arsitektur *CNN* terbagi menjadi dua bagian besar yaitu, *convolutional layer* dan *Fully Connected Layer* (Samuel sena, 2017).

2.9.1 Convolution Layer

Convolution Layer merupakan proses yang terdapat pada arsitektur *CNN*. Pada tahap ini, dilakukan operasi konvolusi pada *output* dari

layer sebelumnya. *Layer* tersebut merupakan proses utama yang mendasari jaringan arsitektur *CNN*. Konvolusi merupakan suatu istilah matematis yang berarti mengaplikasikan sebuah fungsi pada *output* fungsi lain secara berulang. Pada operasi konvolusi menggunakan dua fungsi argumen bernilai nyata yang merupakan fungsi *output* sebagai *feature map* dari *input* citra (Suartika, et al., 2016).

Convolutional Layer terdiri dari neuron yang tersusun sedemikian rupa sehingga membentuk sebuah filter dengan panjang dan tinggi. Dengan contoh, *layer* pertama pada *feature extraction layer* biasanya adalah *conv. Layer* dengan $5 \times 5 \times 3$ (panjang 5, tinggi 5, dan tebal/jumlah 3). Semua *layer* akan digeser ke seluruh bagian gambar dan setiap pergeseran akan dilakukan operasi yang bernama “dot” antara *input* dan nilai dari filter sehingga akan menghasilkan sebuah *output* atau biasa disebut sebagai *activation map* atau *feature map* (Wahyuni, e t al., 2022).

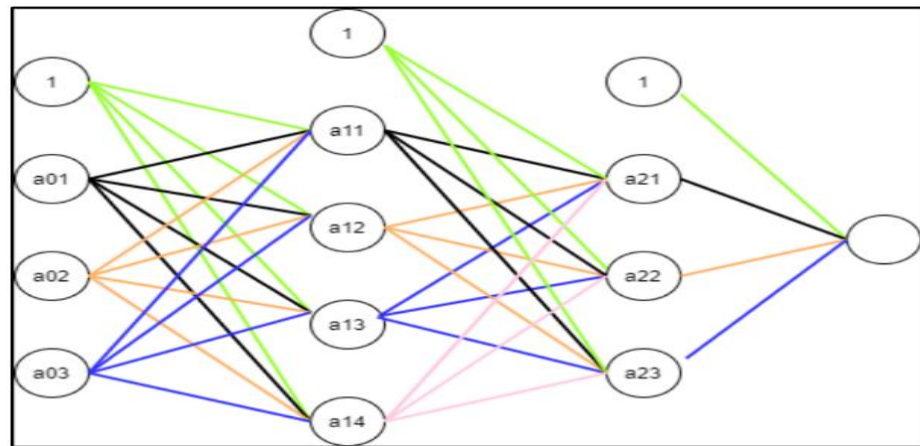


Gambar 6. *Feature map* (Reyes, 2013).

2.9.2 Fully Connected Layer

Fully Connected Layer merupakan sebuah lapisan di mana semua neuron aktivasi dari lapisan sebelumnya terhubung semua dengan neuron di lapisan selanjutnya sama seperti halnya dengan *neural network* biasa.

Perbedaan antara lapisan *fully-connected* dan lapisan konvolusi biasa adalah neuron di lapisan konvolusi terhubung hanya ke daerah tertentu pada *input*, sementara lapisan *fully-connected* memiliki neuron yang secara keseluruhan terhubung (Ariyanto, 2018). Pada Gambar 7. Terdapat layer pertama yang memiliki 3 fitur dan 4 unit aktivasi di *hidden layer* di berikutnya



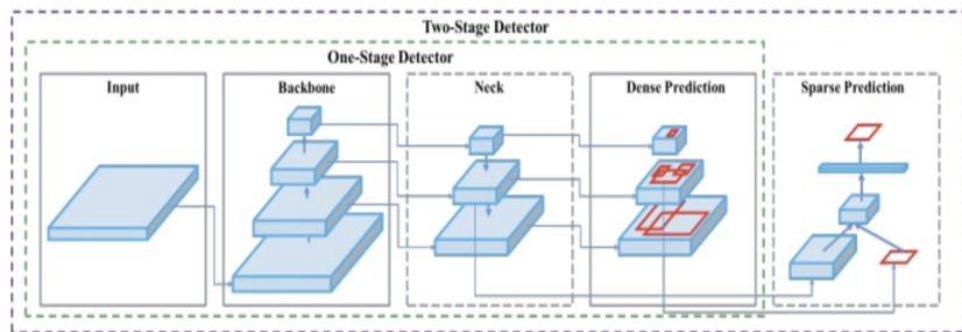
Gambar 7. *Fully Connected Layer* (Sari, 2022).

2.10 YOLO

Metode *You Only Look Once (YOLO)* adalah sebuah pendekatan deteksi objek secara *real-time* yang memanfaatkan algoritma berbasis *Convolutional Neural Network (CNN)* untuk mengidentifikasi dan mengenali objek dalam citra atau video yang diperkenalkan oleh Joseph Redmon pada tahun 2015.

Algoritma ini dikembangkan menggunakan algoritma dasar dari metode *Convolutional Neural Network* (Amwin, 2021). *Convolutional Neural Network* dalam memproses data yang akan dideteksi harus dilakukan beberapa kali dalam mengklasifikasi dan mengidentifikasi objek pada area tersebut, berbeda dengan *You Only Look Once* yang menyederhanakan proses

dengan menjalankan *CNN* satu kali (*one pass*) untuk keseluruhan gambar dengan membagi gambar menjadi *grid* dan langsung memprediksi kelas serta objek dan koordinat *bounding box* dari suatu objek dalam satu langkah saja sehingga membuat *YOLO* memiliki kecepatan deteksi yang baik. Berikut adalah Gambar arsitektur dari metodel *YOLO*.



Gambar 8. Arsitektur Metode YOLO (Chung et al., 2021).

Pada metode *YOLO*, arsitektur terdiri atas dua komponen utama, yaitu *Backbone* dan *Head*. Proses pendeteksian diawali dengan memasukkan citra atau video pada bagian *input*, yang kemudian diteruskan ke *Backbone*. *Backbone* berfungsi sebagai “tulang belakang” jaringan yang bertugas mengekstraksi fitur dan meningkatkan akurasi sebelum proses pendeteksian pada *Head*. Selanjutnya, terdapat *Neck* yang merupakan perpanjangan dari *Backbone* dan berperan dalam mengumpulkan *feature maps* dari berbagai tahap setelah *Backbone*. Bagian *Head* menjadi komponen inti pendeteksian pada *YOLO*, di mana pada penelitian ini digunakan *Head* dengan arsitektur *YOLO* versi 7 (Sudjana & Supeno, 2021).

Dalam mendeteksi objek, prediksi dilakukan dalam representasi *bounding box* dan *class label*. Penentuan *bounding box* melalui koordinat (x, y), tinggi (h) dan lebar (w) akan menghasilkan sedikit ketidakcocokan dengan objek aslinya (*ground truth*) (Pramestya, 2018). Dalam mengatasi masalah tersebut digunakan metode *IoU* (*Intersection Over Union*) yang terdapat matriks sesuai dengan batasan *bounding box* dan menentukan *bounding box* yang pas dari beberapa *bounding boxes* yang saling tumpang tindih. *IoU* digunakan untuk memvalidasi deteksi apakah hasil prediksi benar atau tidak.

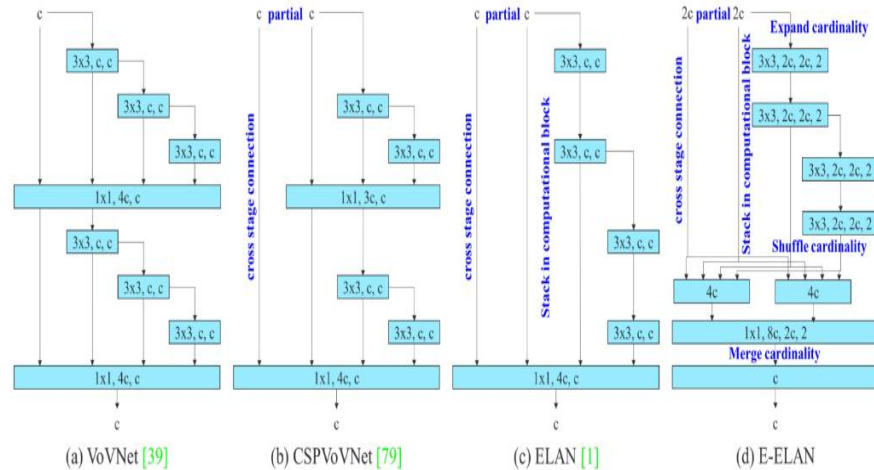
Tingkat akurasi deteksi objek pada *YOLO* dipengaruhi oleh nilai *Intersection over Union (IoU)* yang diperoleh. Semakin besar nilai *IoU* antara *bounding box* prediksi dan *ground truth*, maka semakin baik kualitas deteksinya. Nilai *IoU* tersebut umumnya dibandingkan dengan ambang batas tertentu. Pada penelitian ini, digunakan nilai ambang batas *IoU* sebesar 0,65 untuk menentukan apakah suatu deteksi dikategorikan sebagai benar (*True Positive*) atau salah (*False Positive*) (Zophie & Himawan Triharminto, 2023).

Dalam praktiknya, evaluasi kinerja deteksi objek sering kali menggunakan metrik *mAP (Mean Average Precision)* yang mempertimbangkan *Precision* dan *Recall* dari hasil deteksi, dimana *IoU* berperan penting dalam menentukan metrik ini. Misalnya, *mAP@0.5* menunjukkan bahwa prediksi dianggap benar jika $IoU \leq 0.5$. Pada penerapan *YOLOv7* dalam penelitian ini, penggunaan *IoU* menjadi landasan dalam mengevaluasi kesesuaian deteksi pelanggaran lalu lintas seperti pengendara tanpa helm (*Nohelm*) atau pelanggaran jumlah penumpang (*Threeriders*).

2.10.1 YOLOv7

YOLOv7 merupakan detektor objek nyata waktu tunggal tahap (*single stage*) yang diperkenalkan pada tahun 2017. *YOLOv7* merupakan model terbaru dari keluarga *YOLO*. Pada model *YOLO*, bingkai gambar difiturkan melalui tulang belakang (*backbone*). Fitur-fitur ini digabungkan dan dicampur di leher (*neck*), dan kemudian dilewatkan ke kepala (*head*) jaringan untuk memprediksi lokasi dan kelas objek di sekitar kotak pembatas yang harus digambar (Sovit rath et al., 2022).

Pada model *YOLOv7* ini memproses gambar pada resolusi 608 x 608 *pixel*, yang lebih tinggi dibandingkan dengan resolusi pada model *YOLO* sebelumnya (Gelar Guntara, 2023).



Gambar 9. Arsitektur *YOLOv7* (Gelar Guntara, 2023).

Pada gambar arsitektur *YOLOv7* di atas merupakan backbone yang digunakan pada *YOLOv7*, sebagai berikut penjelasan dari setiap lapisan:

- VoVNet (Volume CNNs for Object Recognition)* : merupakan sebuah arsitektur jaringan saraf tiruan yang bertujuan untuk membuat *DenseNet* lebih efisien dengan menggabungkan semua fitur hanya sekali pada peta fitur terakhir.
- CSPVoVNet* : Desain *CSPVoVNet* merupakan variasi dari model jaringan sebelumnya. Pada model jaringan ini menganalisis jalur gradien untuk memungkinkan bobot lapisan yang berbeda mempelajari fitur yang lebih beragam.
- ELAN (Efficient Layer Aggregation Network)* : merupakan sebuah jaringan yang digunakan dalam deteksi objek *YOLOv7*. *ELAN* digunakan untuk menggabungkan fitur dari berbagai layer dalam jaringan tiruan untuk meningkatkan akurasi deteksi objek.
- E-ELAN (Extended Elan)* : merupakan singkatan dari blok komputasi. Model ini memungkinkan untuk belajar secara lebih efektif dengan tetap mempertahankan *route gradient* asli menggunakan “*expand, shuffle, dan merge cardinality*”

II.10.2 Arsitektur *E-ELAN* pada *YOLOv7*

YOLOv7 mengadopsi arsitektur *E-ELAN* (*Exended Efficient Layer Aggregation Network*) sebagai bagian dari struktur backbone-nya. *E-ELAN* merupakan pengembangan dari arsitektur *ELAN* yang sebelumnya digunakan pada *YOLOv6*. Tujuan utama *E-ELAN* adalah untuk meningkatkan kemampuan model dalam mempelajari fitur representasi tanpa memperbesar kompleksitas model secara signifikan. Arsitektur ini memanfaatkan teknik seperti *expand*, *shuffle*, dan *merge cardinality* agar proses propagasi informasi antar *layer* menjadi lebih efisien. Dengan menggabungkan fitur dari berbagai kedalaman jaringan, *E-ELAN* mampu menjaga gradien stabilitas dan meningkatkan akurasi deteksi. Struktur ini juga memungkinkan *YOLOv7* untuk melakukan pelatihan *multi-task* secara efisien tanpa mengorbankan kecepatan inferensi. Penggunaan *E-ELAN* pada *YOLOv7* menjadikan model ini unggul dalam mendeteksi objek kecil maupun besar secara konsisten dan presisi tinggi.

2.11 Matrix Evaluasi

Pada penelitian ini, evaluasi kinerja model dalam mendeteksi objek pelanggaran dilakukan menggunakan metrik *mAP*, *precision* dan *recall*. *Mean Average Precision (mAP)* digunakan sebagai evaluasi akhir dalam mengukur performa model secara keseluruhan, karena mampu merepresentasikan keseimbangan antara ketepatan dan kelengkapan hasil deteksi yang dihasilkan oleh model.

Nilai *mAP* diperoleh dari rata-rata nilai *AP* pada setiap kelas objek. *AP* dihitung berdasarkan luas area di bawah kurva *precision-recall* yang dihasilkan dari berbagai nilai *confidence score*. Perhitungan *mAP* dinyatakan sebagai berikut:

$$mAP = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n AP_i \quad (1)$$

Keterangan :

n = Jumlah Kelas

AP_i = Nilai *Average Precision* pada kelas ke- i

Selain itu, digunakan metrik *precision* dan *recall* untuk mengevaluasi kinerja model secara lebih rinci. *Precision* menunjukkan Tingkat ketepatan model dalam memprediksi objek positif, sedangkan *recall* menunjukkan kemampuan model dalam mendeteksi seluruh objek yang sebenarnya ada. Nilai *precision* dan *recall* dinyatakan sebagai berikut

$$precision = \frac{TP}{TP+FP} \times 100\% \quad (2)$$

$$recall = \frac{TP}{TP+FN} \times 100\% \quad (3)$$

Dalam proses evaluasi, nilai *precision* dan *recall* diperoleh berdasarkan tingkat kesesuaian antara hasil prediksi dengan *ground truth* yang diukur menggunakan *Intersection Over Union*. Nilai *IoU* tersebut digunakan untuk mengelompokkan hasil deteksi ke dalam kategori *True Positive*, *false Positive*, dan *False Negative*, yang kemudian menjadi dasar dalam perhitungan *precision*, *recall* dan *mAP*.

2.12 Perangkat Lunak Pendukung

2.12.1 Sistem Operasi Windows 11 Home Single Language 64-bit

Sistem Operasi merupakan perangkat lunak yang menghubungkan pengguna dengan perangkat keras komputer serta mengelola seluruh sumber daya sistem. Sistem operasi menyediakan layanan dan antarmuka bagi pengguna untuk menjalankan program atau aplikasi dengan mudah. Selain itu, sistem operasi berfungsi sebagai platform utama yang mendukung eksekusi seluruh perangkat lunak dalam pengolahan data, pelatihan model, dan pengujian model, sehingga proses penelitian dapat dilakukan secara terintegrasi dan efisien

Sistem Operasi berfungsi sebagai platform utama yang menyediakan lingkungan eksekusi bagi seluruh perangkat lunak yang digunakan. Lingkungan ini mendukung pelaksanaan proses pengolahan data, pelatihan model, serta pengujian model secara terintegrasi dan efisien.

2.12.2 *Kaggle*

Kaggle merupakan platform berbasis cloud yang dikembangkan oleh *Google LLC*, menyediakan lingkungan komputasi daring terpadu untuk pengembangan, pelatihan, dan pengujian model Machine Learning. Platform ini mendukung penggunaan *GPU*, khususnya *NVIDIA Tesla T4*, yang mampu mempercepat proses komputasi secara signifikan, terutama pada tahap pelatihan model yang memerlukan kapasitas pemrosesan besar.

Selain itu, *Kaggle* menyediakan fasilitas penyimpanan data, pengelolaan kode, serta dokumentasi eksperimen, sehingga memungkinkan peneliti untuk melakukan eksperimen secara sistematis, memantau kinerja model secara *real-time*, dan menjaga konsistensi hasil penelitian dari tahap pengembangan hingga evaluasi. Pemanfaatan *Kaggle* memungkinkan seluruh proses penelitian berjalan lebih efisien, terstruktur, dan optimal.

2.12.3 *Python 3.11*

Python merupakan bahasa pemrograman yang digunakan sebagai bahasa utama dalam penelitian ini. Versi yang digunakan adalah 3.11, yang dipilih karena menyediakan dukungan luas terhadap berbagai pustaka (*library*) yang diperlukan dalam pengembangan *Machine Learning* dan *Deep Learning*. *Python* memfasilitasi integrasi berbagai *library* seperti *OpenCV* dan *Tensorflow*, serta mendukung pemrosesan *GPU* untuk mempercepat komputasi pada pelatihan model *YOLOv7*. Dengan fleksibilitas dan kompatibilitasnya, *Python* memungkinkan peneliti menulis skrip yang efisien, mengelola *dataset*, dan menjalankan eksperimen secara terstruktur, sehingga seluruh proses pengembangan dan evaluasi model dapat berjalan optimal.

2.12.4 *Roboflow*

Roboflow adalah platform berbasis web yang digunakan untuk pengelolaan *dataset* dalam penelitian *computer vision*. Platform ini mendukung seluruh tahap pengolahan data, mulai dari pengumpulan

dataset, anotasi objek menggunakan *bounding box*, pembagian *dataset*, hingga konversi ke format yang sesuai untuk model *YOLOv7*. Selain itu, *Roboflow* memungkinkan penerapan teknik pra-pemrosesan, sehingga *dataset* menjadi lebih siap untuk pelatihan model. Dengan kemampuannya yang komprehensif, *Roboflow* mempermudah peneliti dalam menyiapkan *dataset* berkualitas tinggi dan meningkatkan efisiensi proses pengembangan model deteksi objek.

2.12.5 *Package*

a. *OpenCV 4.12*

OpenCV adalah pustaka (*library*) *open-source* yang berfokus pada pengolahan citra dan visi komputer. *Library* ini menyediakan berbagai fungsi untuk menangani gambar dan video, termasuk deteksi objek, pengenalan wajah, transformasi citra, resizing, dan analisis video. Dalam penelitian ini, *OpenCV* digunakan untuk mempersiapkan citra sebelum pelatihan model *YOLOv7*, memastikan setiap citra sesuai standar input model dan mendukung proses deteksi objek secara akurat.

b. *Tensorflow 2.14.0*

Tensorflow adalah *framework Deep Learning open-source* yang digunakan untuk merancang, melatih, dan mengevaluasi model *YOLOv7*. Versi 2.14.0 dipilih karena stabil, kompatibel dengan Python 3.11, dan mendukung eksekusi *GPU*, sehingga mempercepat proses pelatihan model. Dengan *Tensorflow*, peneliti dapat membangun arsitektur jaringan saraf tiruan, memonitor proses pelatihan secara *real-time*, dan mengevaluasi performa model secara sistematis sehingga menghasilkan model deteksi objek yang optimal dan dapat diandalkan.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

3.1.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Lab. Komputasi dasar Jurusan Ilmu Komputer, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung yang beralamat di Jl. Prof. Dr. Ir. Sumantri Brojonegoro No.1, Gedong Meneng, Kec. Rajabasa, Kota Bandar Lampung.

3.1.2 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada awal semester genap sampai akhir semester genap dengan perkiraan waktu Bulan Desember 2023 hingga Bulan Juni 20256

Tabel 2. Alur Waktu Pengerjaan Penelitian

Kegiatan	2023	2024			2025			2026
	Des	Jan	Feb	Mar – Des	Jan - Juni	Juli	Agt – Des	Jan
Identifikasi Masalah & Penulisan Bab 1-3	■	■	■					
Pengumpulan Data			■					
Implementasi Model				■				
Pelatihan & Pengujian Model					■			
Penulisan Bab 4-5						■	■	
Evaluasi + Revisi						■	■	■

3.2 Perangkat Peneitian

3.3.3 Perangkat Keras (*Hardware*)

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan di bawah berikut.

Perangkat	Spesifikasi
<i>Lenovo Ideapad Slim 3</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Processor : AMD Ryzen 3 3250U • Penyimpanan : SSD 256GB • RAM : 8 GB • GPU : AMD Radeon^(TM) Graphics

3.3.4 Perangkat Lunak (*Software*)

Perangkat lunak yang digunakan dalam proses penelitian ini yaitu:

1. Sistem Operasi Windows 11 Home Single Language 64-bit

Pada penelitian ini, Sistem operasi digunakan sebagai platform utama untuk menjalankan seluruh perangkat lunak secara terintegrasi dan efisien.

2. *Kaggle*

Pada penelitian ini, *kaggle* dimanfaatkan sebagai platform komputasi daring untuk pengembangan, pelatihan dan pengujian model *Machine Learning* dengan dukungan *GPU NVIDIA Tesla T4*, serta memfasilitasi pengelolaan kode dan penyimpanan hasil eksperimen.

3. Python 3.11

Python adalah Bahasa pemrograman yang digunakan dalam penelitian ini. Versi *Python* yang digunakan adalah 3.11. *Python* dipilih untuk menulis skrip penelitian serta menjalankan *library machine learning* dan *deep learning* yang diperlukan dalam implementasi *YOLOv7*.

4. *Roboflow*

Pada penelitian ini, *Roboflow* digunakan untuk mengelola dataset seperti anotasi *image*, sehingga tahap pra-pemrosesan data dapat berjalan lebih efisien dan terstandarisasi.

5. Packages

a. OpenCV 4.12

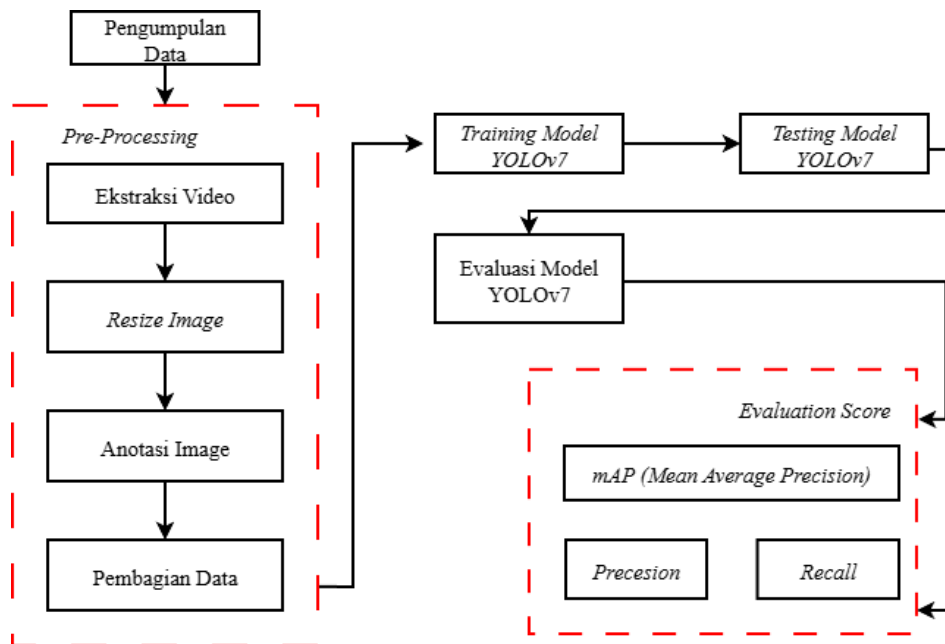
Pada penelitian ini, *OpenCV* digunakan untuk pengolahan citra dan video, termasuk *resize* dan transformasi citra sebelum pelatihan model.

b. Tensorflow 2.14.0

TensorFlow versi 2.14.0 dimanfaatkan dalam penelitian ini, sebagai *framework Deep Learning* untuk merancang, melatih dan mengevaluasi model deteksi objek *YOLOv7* secara optimal.

3.3 Tahapan Penelitian

Desain struktur metodologi penelitian Implementasi Metode *You Only Look Once (YOLOv7)* Pada deteksi dan klasifikasi pelanggaran lalu lintas sepeda motor roda menggunakan *website CCTV* Kota Bandar Lampung yang ditunjukkan pada Gambar 11 sebagai berikut.



Gambar 10. Flowchart Alur Penelitian

3.3.1 Pengumpulan Dataset

Pengumpulan *dataset* dalam penelitian ini diperoleh melalui *website CCTV* Kota Bandar Lampung. Video *CCTV* pada ruas jalan direkam untuk digunakan sebagai data penelitian, dengan lokasi pengambilan

data berada di Jalan Gapura DPRD dan sudut kamera *CCTV* mengarah dari depan. Data diambil dengan tiga skenario tingkat kepadatan lalu lintas, yaitu rendah (lenggang), sedang (kepadatan menengah), dan tinggi (ramai). Tingkat rendah mencerminkan kondisi lalu lintas dengan jumlah kendaraan sekitar 7 unit, tingkat sedang sekitar 9 kendaraan, dan tingkat tinggi melibatkan ≥ 11 unit atau lebih kendaraan.

Pembagian skenario ini bertujuan untuk mengevaluasi performa deteksi objek pada berbagai variasi kepadatan lalu lintas. Dalam kaitannya dengan prinsip dasar karakteristik lalu lintas, seperti *volume* (jumlah kendaraan yang melintasi titik tertentu dalam satuan waktu) dan kepadatan (jumlah kendaraan per satuan panjang jalan), penerapan ketiga skenario tersebut diharapkan dapat memberikan analisis yang lebih menyeluruh terhadap kinerja sistem deteksi di berbagai kondisi kepadatan jalan.

3.3.2 *Pre-Processing*

Pre-processing adalah tahapan proses yang dilakukan untuk mempersiapkan data dan memastikan kualitas data siap untuk diolah ke proses selanjutnya. Tahap ini terdiri dari dua proses utama, yaitu *resize image* dan anotasi *image*. Setelah data siap digunakan, dilakukan proses pembagian data menjadi tiga bagian yaitu, *train data*, *valid data*, dan *test data* (Nurrohman, 2023).

a. Ekstraksi Video Ke *Image*

Pada tahapan pertama, dilakukan ekstraksi video ke dalam bentuk gambar. Video yang akan diekstraksi sebelumnya direkam terdahulu melalui *website CCTV* Kota Bandar Lampung yang kemudian akan dipisah menjadi beberapa frame gambar dengan membaginya menurut *fps*.

b. *Resize Image*

Proses *resize* citra dilakukan untuk menyesuaikan dimensi gambar agar seragam dan kompatibel dengan spesifikasi *input* model,

sehingga proses ekstraksi fitur dapat berlangsung secara optimal. Pada tahap ini, ukuran citra diubah menjadi 640×640 piksel sesuai dengan konfigurasi input model YOLOv7, sehingga seluruh citra memiliki ukuran yang konsisten untuk diproses oleh model.

c. Anotasi *Image*

Pada tahapan ini, dilakukan proses pemberian label kelas objek pada citra yang ingin dikenali. Proses anotasi ini memanfaatkan platform *Roboflow*, yang memungkinkan penandaan kelas objek pada gambar secara manual untuk meningkatkan efisiensi. Anotasi yang tepat sangat penting, karena kualitas label secara langsung memengaruhi kemampuan model dalam mempelajari pola dan karakteristik objek target. Proses ini mencakup penentuan batas (*bounding box*) yang presisi sesuai dengan posisi dan bentuk objek pada citra. Dengan demikian, data yang telah dianotasi akan memiliki akurasi tinggi dan dapat mendukung proses pelatihan model deteksi objek secara optimal.

d. Pembagian Dataset

Setelah proses anotasi, tahap selanjutnya adalah membagi dataset menjadi tiga bagian, yaitu data *training*, *testing*, dan validasi, dengan rasio pembagian 80:10:10. Data *training* digunakan untuk melatih model agar mampu mengenali pola objek berdasarkan label yang telah diberikan. Data validasi berfungsi untuk memantau kinerja model selama proses pelatihan dan mencegah terjadinya *overfitting*, sedangkan data *testing* digunakan untuk mengevaluasi performa akhir model terhadap data yang belum pernah dilihat sebelumnya. Pembagian dataset ini bertujuan memastikan representasi yang merata dari berbagai variasi data pada setiap subset, sehingga hasil evaluasi lebih objektif dan mencerminkan kemampuan model dalam menghadapi kondisi nyata.

3.3.3 *Training Model YOLOv7*

Tahap *training* merupakan proses utama dimana model mempelajari pola dari dataset yang telah disiapkan untuk mengoptimalkan kemampuannya dalam mendeteksi dan mengenali kelas objek pada citra.

Pada pelatihan model *YOLOv7*, data latih digunakan untuk mengoptimalkan bobot model, sementara data validasi digunakan secara berkala untuk mengevaluasi performa dan mencegah *overfitting*. Evaluasi ini memungkinkan pemantauan terhadap efektivitas model selama proses pelatihan berlangsung.

Dalam proses *training*, kinerja pelatihan sangat dipengaruhi oleh *Hyperparameter* seperti ukuran *batch*, jumlah *epoch*, dan nilai *learning rate*. Penyesuaian nilai-nilai ini bertujuan untuk memperoleh keseimbangan antara kecepatan konvergensi dan akurasi prediksi model secara keseluruhan.

3.3.4 *Testing Model YOLOv7*

Tahap *testing* merupakan proses pengujian model dengan menggunakan *dataset* yang telah disiapkan pada tahap sebelumnya dan tidak digunakan selama proses pelatihan. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa akhir model dalam mengidentifikasi dan mengklasifikasikan objek pada data baru yang belum pernah dilihat sebelumnya.

Berbeda dengan proses pelatihan yang membutuhkan waktu dan komputasi yang tinggi karena melibatkan pembaruan bobot secara berulang, proses pengujian bersifat lebih efisien karena model hanya melakukan inferensi berdasarkan parameter yang telah dilatih sebelumnya.

Tahapan ini merupakan fase akhir dalam keseluruhan rangkaian proses penelitian, yang berfungsi untuk menilai efektivitas model

serta menjadi dasar dalam melakukan evaluasi terhadap keberhasilan metode yang telah diterapkan pada setiap tahap sebelumnya.

3.3.5 Evaluasi Hasil

Tahap evaluasi hasil merupakan proses akhir yang bertujuan menilai kinerja model dalam mendeteksi objek setelah melalui tahapan pelatihan dan pengujian, menggunakan *hyperparameter* yang telah ditetapkan sebelumnya. Proses ini mengukur tingkat akurasi dan konsistensi model dalam melakukan deteksi objek pada data uji.

Penilaian kinerja dilakukan menggunakan sejumlah metrik evaluasi, seperti *precision*, *recall*, dan *mean average precision (mAP)*, yang masing-masing berfungsi sebagai indikator keberhasilan model dalam mengidentifikasi objek secara tepat. Selain itu, evaluasi ini juga menjadi acuan untuk menentukan potensi peningkatan model pada penelitian selanjutnya.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, implementasi metode YOLOv7 dalam mendeteksi pelanggaran lalu lintas sepeda motor secara real-time telah berhasil dilakukan dengan performa optimal pada konfigurasi epoch 150 dan learning rate 0,001. Model menghasilkan nilai mAP hingga 0,997, precision hingga 0,998, dan recall hingga 1,000 pada berbagai tingkat kepadatan lalu lintas, yang menunjukkan kemampuan deteksi yang sangat baik pada tahap pelatihan.

Meskipun demikian, pada pengujian video lapangan masih ditemukan kendala dalam aspek generalisasi, seperti missed detection, false positive, serta ketidakakuratan bounding box. Hal ini menunjukkan bahwa performa model masih dipengaruhi oleh variasi kondisi nyata di lapangan. Oleh karena itu, diperlukan peningkatan variasi dan kualitas data pelatihan agar sistem dapat bekerja lebih optimal dan konsisten dalam implementasi di lingkungan sebenarnya. Selain itu, penambahan data dengan kondisi yang lebih beragam seperti sudut kamera, cuaca, dan pencahayaan berbeda sangat diperlukan untuk meningkatkan kemampuan generalisasi model. Upaya ini diharapkan dapat mengurangi kesalahan deteksi dan meningkatkan stabilitas performa pada skenario dunia nyata.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, terdapat beberapa rekomendasi yang dapat diambil untuk pengembangan lebih lanjut:

1. Menambahkan jumlah kelas pelanggaran lalu lintas, seperti melawan arah, tidak memiliki spion, tidak melewati batas *zebra cross*, melanggar marka jalan dan menggunakan jalan trotoar bagi jalur pejalan kaki di tepi

jalan. Tujuannya agar model lebih kuat dan tidak mudah gagal pada kondisi nyata

2. Menambahkan variasi dataset yang mencakup berbagai kondisi yang lebih tinggi termasuk kondisi pencahayaan berbeda, sudut kamera bervariasi serta kondisi cuaca
3. Mengembangkan sistem berbasis *android* yang mampu mendeteksi objek secara *real-time*, agar hasil deteksi bisa langsung digunakan dalam sistem peringatan atau penegakan hukum otomatis

DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal, K., Sanyo, A., Bakshi, S., Vinay, M., & (2023). Performance Analysis Of YOLOv7 And YOLOv8 Models For Drone Detection. *2023 International*
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10276343/>
- Amwin, A. (2021). Deteksi Dan Klasifikasi Kendaraan Berbasis Algoritma You Only Look Once (YOLO). *Universitas Islam Indonesia*, 1–60.
<https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/34154>
- Assidiqi, M. R. (2023). *Jumlah Pengunjung Di Museum Lampung Menggunakan Webcam Berbasis Algoritma YOLOv5 (You Only Look Once Versi Lima) (Skripsi) Oleh Muhammad Rafly Assidiqi. 5.*
- Barokah Asmarahman Takarob. (2022). Deteksi dan Identifikasi Rambu-Rambu Lalu Lintas berbasis Algoritma You Only Look Once (YOLO). *Universitas Muhammadiyah Jakarta*, 1–46. <http://repository.umj.ac.id/11987/>
- Cahyani, P. A. (2023). Sistem Perhitungan Kendaraan Menggunakan Algoritma YOLOv5 Dan Deepsort. *Laporan Proyek Akhir ,Universitas Lampung, Bandar Lampung.*
- Chung, S., Shek, K., Butterfield, J., & Murphy, A. (2021). Current State Of The Art In Object Detection For Autonomous Systems. *Imc37, September.*
- Fazri, I. (2022). *Deteksi Dan Pengenalan Jenis Pelanggaran Lalu Lintas Menggunakan Pengolahan Video Berbasis Metode YOLO (You Only Look Once*
<https://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/212830>

- García Reyes, L. E. (2013). Cara Kerja Artificial Neural Network. *Journal Of Chemical Information And Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Gelar Guntara, R. (2023). Pemanfaatan Google Colab Untuk Aplikasi Pendeteksian Masker Wajah Menggunakan Algoritma *Deep Learning YOLOv7*. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Informasi Bisnis*, 5(1), 55–60. <https://doi.org/10.47233/jteksis.v5i1.750>
- Halliwal, A. A. (2023). *Sistem Pendeteksi Dan Penghitung Polen Hidup Dan Mati Pada Tanaman Kelapa Sawit Menggunakan Algoritma YOLO V5 Berbasis Digilib.Unila.Ac.Id*. <http://digilib.unila.ac.id/id/eprint/72618>
- Ilyas, M. (2020). *Deteksi Pelanggaran Berkendara Dengan Metode YOLO (You Only Look Once)*. <https://elibrary.unikom.ac.id/id/eprint/4108/>
- Jiwangga, A. S. (2017). *Analisis Faktor Pengaruh Kenyamanan Kendaraan Bermotor (Studi Kasus: Jl. Brigjen Katamso, Purwokerto)*. 3, 4–14.
- Lalu, P., & Di, L. (2022). *Universitas Islam Riau*.
- Maulana, E., Setianingsih, C., & (2023). Sistem Deteksi Pelanggaran Kelebihan Penumpang Pada Kendaraan Sepeda Motor Roda Dua Menggunakan Algoritma *Faster Rcn*. *Eproceedings* 10(1), 807–814. <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/19472>
- Nurfauziah, R., & Krisnani, H. (2021). Perilaku Pelanggaran Lalu Lintas Oleh Remaja Ditinjau Dari Perspektif Konstruksi Sosial. *Jurnal Kolaborasi Resolusi Konflik*, 3(1), 75. <https://doi.org/10.24198/jkrk.v3i1.31975>
- Nurrohman, H. F. (2023). *Klasifikasi Jenis Kanker Kulit Berdasarkan Citradermoskopi Menggunakan Metode YOLO (You Only Lookonce)*.
- Pangestu, R. A. (2019). *Tinjauan Yuridis Sosiologis Tentang Diskresi Kepolisian Malang Kota Terhadap Pelanggaran Lalu Lintas Yang Dilakukan*. Universitas Muhammadiyah Malang.
- Pramestya, R. H. (2018). *Deteksi Dan Klasifikasi Kerusakan Jalan Aspal*

- Menggunakan Metode *YOLO* Berbasis Citra Digital. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 91. [Http://Repository.Its.Ac.Id/59044/1/06111650010019-Master_Thesis.Pdf](http://Repository.Its.Ac.Id/59044/1/06111650010019-Master_Thesis.Pdf)
- Santoso, A., & Ariyanto, G. (2018). Implementasi *Deep Learning* Berbasis Keras Untuk Pengenalan Wajah. *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, 18(1), 15–21. [Https://Doi.Org/10.23917/Emitor.V18i01.6235](https://doi.org/10.23917/Emitor.V18i01.6235)
- Sari, Y. (2022). *Klasifikasi Jenis Kelamin Menggunakan Metode Convolutional Neural Network (Cnn) Dengan Data Wajah Manusia (Skripsi)*. 14–15.
- Sholehurrohman, R., & Setiyono, B. (2021). *Pengembangan YOLOv3 Dengan Fitur Ekstraktor Mobilenetv2 Untuk Deteksi Dan Klasifikasi Kendaraan Bergerak*.
- Sudjana, A. W., & Supeno, H. (2021). Implementasi *Deep Learning* Untuk Object Detection Menggunakan Algoritma *YOLO* (You Only Look Once) Pada Rambu Lalu Lintas Di Indonesia. *Universitas Pasundan*, 1–8.
- Suryanto, A. W., & Kardian, A. R. (2023). Deteksi Pelanggaran Lalu Lintas Tidak Menggunakan Helm Dengan *YOLO V4* Pada Sistem Etle. *Jurnal Teknik Komputer Amik Bsi*. [Https://Ejournal.Bsi.Ac.Id/Ejournal/Index.Php/Jtk/Article/View/14798](https://ejournal.bsi.ac.id/ejournal/index.php/jtk/article/view/14798)
- Zophie, J., & Himawan Triharminto, H. (2023). 9. Implementasi Algoritma You Only Look Once (*YOLO*) Menggunakan Web Camera Untuk Mendeteksi Objek Statis Dan Dinamis. *Tni Angkatan Udara*, 1(1), 98–109. [Https://Doi.Org/10.62828/Jpb.V1i1.50](https://doi.org/10.62828/Jpb.V1i1.50)