

**PENERAPAN KNOWLEDGE DISTILLATION PADA YOLOV5
UNTUK DETEKSI RAMBU LALU LINTAS INDONESIA**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai derajat Sarjana
Program Studi Informatika



disusun oleh

MUHAMMAD ZHILLAN ZAINI

20.11.3678

Kepada

**FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS AMIKOM YOGYAKARTA
YOGYAKARTA**

2024

**PENERAPAN KNOWLEDGE DISTILLATION PADA YOLOV5
UNTUK DETEKSI RAMBU LALU LINTAS INDONESIA**

SKRIPSI

untuk memenuhi salah satu syarat mencapai derajat Sarjana
Program Studi Informatika



disusun oleh

MUHAMMAD ZHILLAN ZAINI

20.11.3678

Kepada

**FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS AMIKOM YOGYAKARTA
YOGYAKARTA
2024**

HALAMAN PERSETUJUAN

SKRIPSI

**PENERAPAN KNOWLEDGE DISTILLATION PADA YOLOV5 UNTUK
DETEKSI RAMBU LALU LINTAS INDONESIA**

yang disusun dan diajukan oleh

MUHAMMAD ZHILLAN ZAINI

20.11.3678

telah disetujui oleh Dosen Pembimbing Skripsi
pada tanggal 18 Desember 2024

Dosen Pembimbing,



Theopilus Bayu Sasongko, S.Kom., M.Eng
NIK. 190302375

HALAMAN PENGESAHAN
SKRIPSI
PENERAPAN KNOWLEDGE DISTILLATION PADA YOLOV5 UNTUK
DETEKSI RAMBU LALU LINTAS INDONESIA

yang disusun dan diajukan oleh

MUHAMMAD ZHILLAN ZAINI

20.11.3678

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal 18 Desember 2024

Susunan Dewan Penguji

Nama Penguji

Tanda Tangan

Ainul Yaqin, S.Kom., M.Kom.
NIK. 190302255

Nila Feby Puspitasari, S.Kom, M.Cs
NIK. 190302161

Theopilus Bayu Sasongko, S.Kom., M.Eng
NIK. 190302375



Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer
Tanggal 18 Desember 2024

DEKAN FAKULTAS ILMU KOMPUTER



Hanif Al Fatta, S.Kom., M.Kom., Ph.D.
NIK. 190302096

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini,

Nama mahasiswa : Muhammad Zhillan Zaini
NIM : 20.11.3678

Menyatakan bahwa Skripsi dengan judul berikut:

PENERAPAN KNOWLEDGE DISTILLATION PADA YOLOV5 UNTUK DETEKSI RAMBU LALU LINTAS INDONESIA

Dosen Pembimbing : Theopilus Bayu Sasongko, S.Kom.,M.Eng

1. Karya tulis ini adalah benar-benar ASLI dan BELUM PERNAH diajukan untuk mendapatkan gelar akademik, baik di Universitas AMIKOM Yogyakarta maupun di Perguruan Tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan dan penelitian SAYA sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan dari Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan disebutkan dalam Daftar Pustaka pada karya tulis ini.
4. Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab SAYA, bukan tanggung jawab Universitas AMIKOM Yogyakarta.
5. Pernyataan ini SAYA buat dengan sesungguhnya, apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka SAYA bersedia menerima SANKSI AKADEMIK dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Perguruan Tinggi.

Yogyakarta, 18 Desember 2024

Yang Menyatakan,



Muhammad Zhillan Zaini

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur, karya ini saya persembahkan kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa, atas limpahan rahmat, kekuatan, dan kesabaran yang diberikan sepanjang proses penulisan skripsi ini. Tanpa bimbingan, kekuatan, dan kasih-Nya, semua ini tidak akan mungkin terselesaikan.
2. Dosen pembimbing yang terhormat, Bapak Theopilus Bayu Sasongko, S.Kom.,M.Eng terima kasih atas bimbingan, ilmu, dan waktu yang telah Bapak berikan. Bimbingan serta arahan Bapak menjadi petunjuk bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini.
3. Almamater tercinta, Universitas Amikom Yogyakarta, tempat saya menempa ilmu dan mengembangkan diri. Terima kasih telah menyediakan lingkungan yang mendukung untuk belajar, berkarya, dan bertumbuh. Semoga apa yang saya hasilkan dapat menjadi kontribusi kecil untuk kejayaan almamater dan manfaat bagi masyarakat luas.

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi Informatika di Fakultas Ilmu Komputer Universitas Amikom Yogyakarta. Dalam penyusunan skripsi ini, penulis mendapatkan banyak bimbingan, dukungan, dan bantuan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Theopilus Bayu Sasongko, S.Kom.,M.Eng selaku pembimbing yang dengan sabar memberikan arahan dan masukan berharga, kedua orang tua dan keluarga yang sangat penulis cintai atas doa dan dukungan yang tidak ada henti, serta rekan-rekan seperjuangan yang selalu memberikan dukungan, berbagi ilmu, wawasan, dan kerja sama selama proses penyusunan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Yogyakarta, 18 Desember 2024

Muhammad Zhillan Zaini

DAFTAR ISI

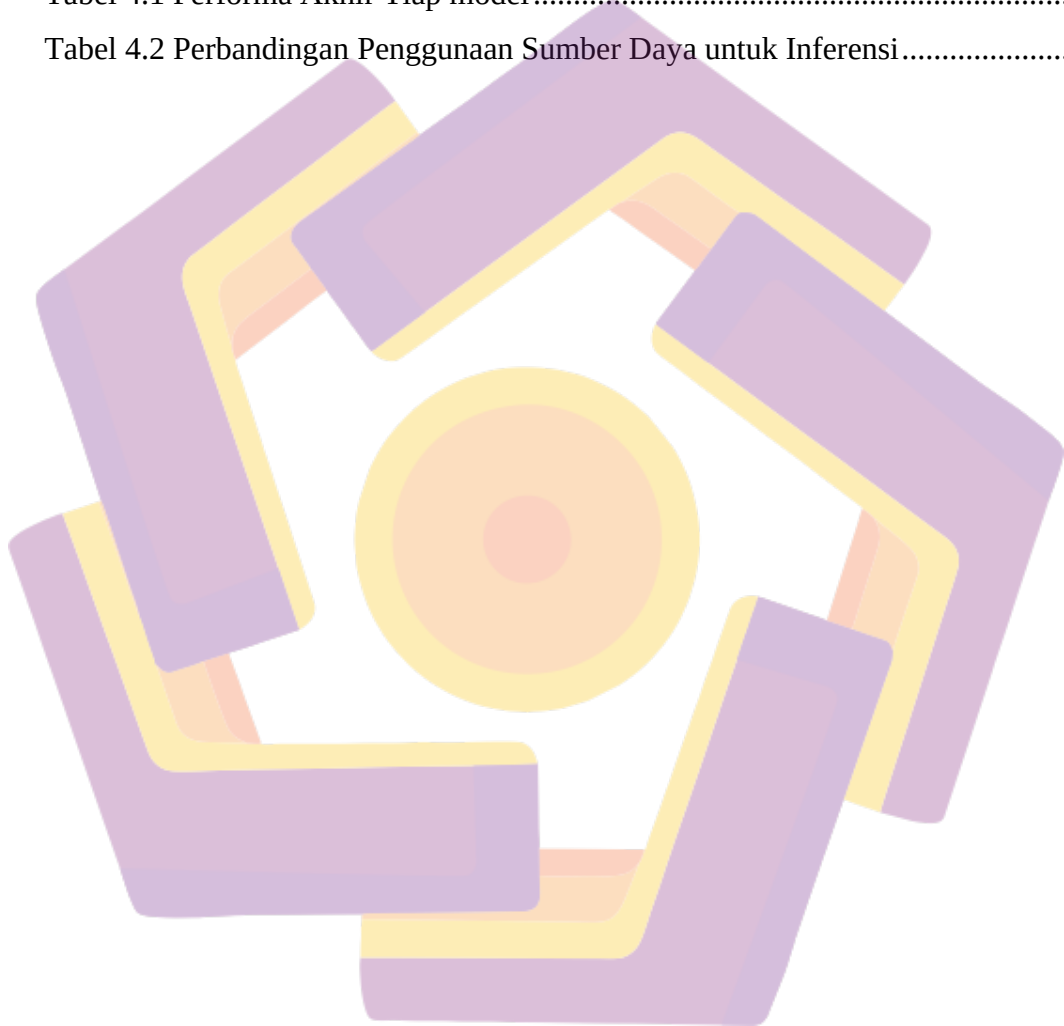
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN	xiii
DAFTAR ISTILAH.....	xiv
INTISARI	xv
<i>ABSTRACT</i>	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Studi Literatur	5

2.2	Dasar Teori	12
2.2.1	Artificial Intelligence (AI)	12
2.2.2	Machine Learning (ML).....	12
2.2.3	Deep Learning (DL).....	13
2.2.4	Convolutional Neural Network (CNN).....	14
2.2.4.1	Convolutional Layer	14
2.2.4.2	Pooling Layer	16
2.2.4.3	Fully Connected Layer	17
2.2.4.4	Activation Functions	18
2.2.5	Deteksi Objek.....	19
2.2.6	You Only Look Once v5 (YOLOv5).....	19
2.2.7	Model Compression	21
2.2.8	Knowledge Distillation (KD).....	21
2.2.8.1	Fine-Grained Feature Imitation.....	22
2.2.9	Metrik Evaluasi	25
2.2.10	Rambu Lalu Lintas.....	27
BAB III METODE PENELITIAN		28
3.1	Objek Penelitian	28
3.2	Alur Penelitian.....	28
3.2.1	Pengumpulan Data	28
3.2.2	Data Preprocessing.....	29
3.2.3	Augmentasi Data.....	31
3.2.4	Training Model	32
3.2.5	Evaluasi dan Pengujian	34
3.3	Antarmuka Sederhana	34

3.4	Alat dan Bahan	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		36
4.1	Pelatihan Model.....	36
4.1.1	Proses Kompresi Model	37
4.2	Hasil dan Evaluasi Model	46
4.3	Pengujian Deteksi dan Efisiensi.....	51
4.4	Web Application Deteksi Rambu Lalu Lintas	53
4.4.1	Tampilan Utama.....	53
4.4.2	Tampilan Deteksi	53
BAB V PENUTUP		55
5.1	Kesimpulan.....	55
5.2	Saran.....	55
REFERENSI		56
LAMPIRAN.....		60

DAFTAR TABEL

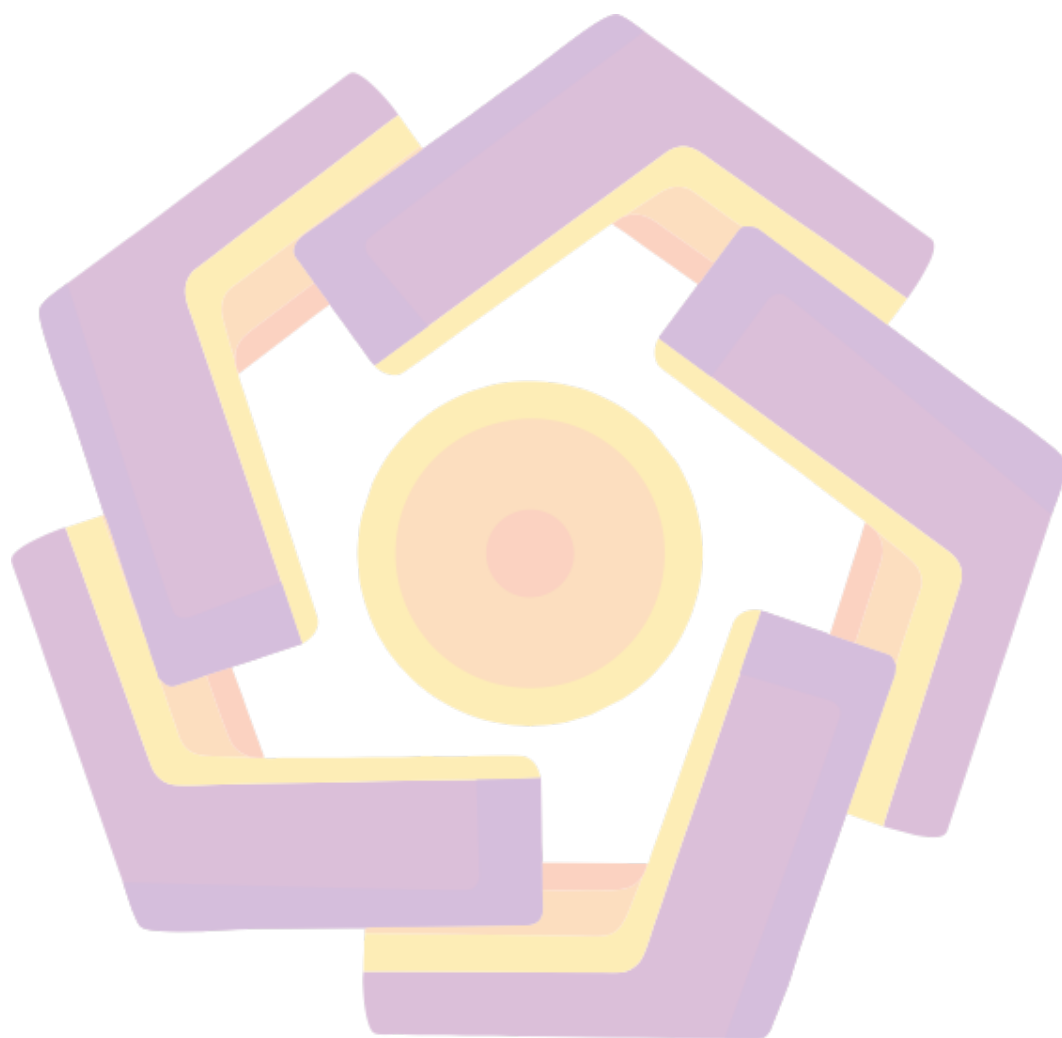
Tabel 2.1 Keaslian Penelitian	10
Tabel 3.1 Kategori dan Kelas Dataset.....	29
Tabel 3.2 Spesifikasi Perangkat	35
Tabel 4.1 Performa Akhir Tiap model	50
Tabel 4.2 Perbandingan Penggunaan Sumber Daya untuk Inferensi.....	52



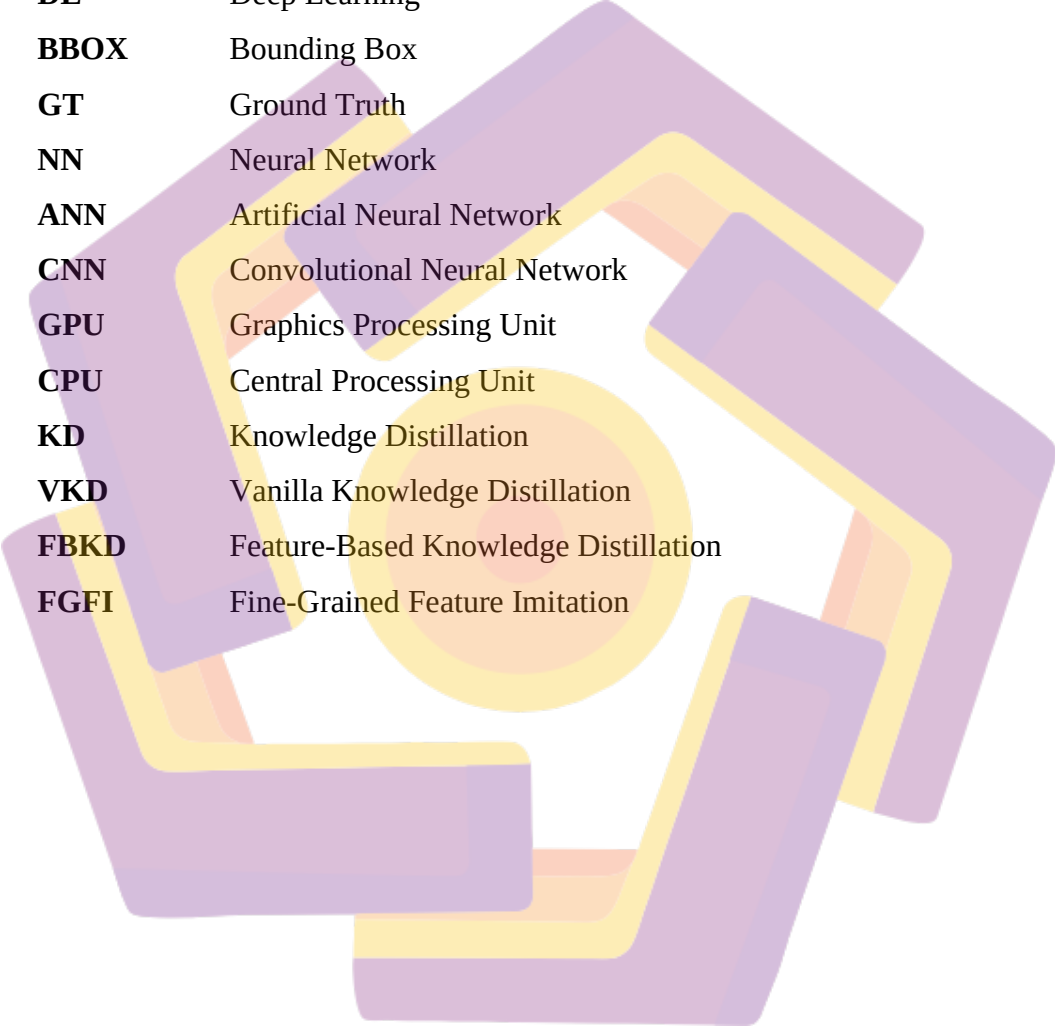
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perbedaan Machine Learning dan Deep Learning	13
Gambar 2.2 Arsitektur CNN	14
Gambar 2.3 Kernel Melakukan Operasi Konvolusi.....	15
Gambar 2.4 Max Pooling dengan Stride=2.....	16
Gambar 2.5 Flattening	17
Gambar 2.6 Fully Connected Layer	17
Gambar 2.7 Performa Variasi YOLO Pada COCO	20
Gambar 2.8 Arsitektur YOLOv5	20
Gambar 2.9 Metode Fine-Grained Feature Imitation.....	23
Gambar 2.10 Imitation Mask	23
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian	28
Gambar 3.2 Sampel Data Training	29
Gambar 3.3 Alur Preprocessing	30
Gambar 3.4 Pembagian Dataset	31
Gambar 3.5 Hasil Augmentasi	32
Gambar 3.6 Alur Pelatihan Model	33
Gambar 3.7 Mockup Web Application	35
Gambar 4.1 API Download Dataset.....	36
Gambar 4.2 Perintah Pelatihan Model Teacher	36
Gambar 4.3 Perintah Pelatihan Model Student.....	37
Gambar 4.4 Grafik Training loss	46
Gambar 4.5 Grafik Validation Loss	47
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan mAP@0.5	48
Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Precision	49
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Recall	50
Gambar 4.9 Perbandingan Deteksi Tiap Model.....	51
Gambar 4.10 Tampilan Utama Aplikasi Web.....	53
Gambar 4.11 Tampilan Hasil Deteksi.....	54

DAFTAR LAMPIRAN

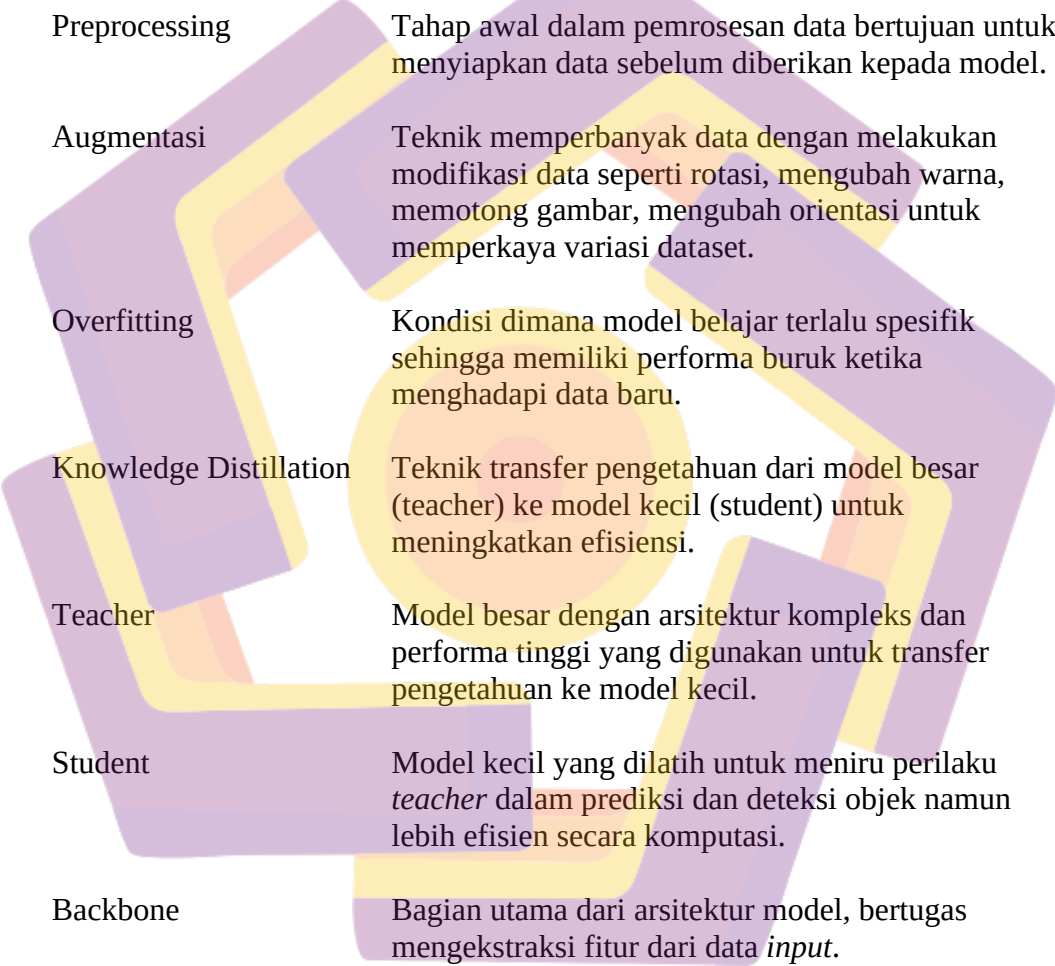


DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN



YOLO	You Only Look Once
AI	Artificial Intelligence
ML	Machine Learning
DL	Deep Learning
BBOX	Bounding Box
GT	Ground Truth
NN	Neural Network
ANN	Artificial Neural Network
CNN	Convolutional Neural Network
GPU	Graphics Processing Unit
CPU	Central Processing Unit
KD	Knowledge Distillation
VKD	Vanilla Knowledge Distillation
FBKD	Feature-Based Knowledge Distillation
FGFI	Fine-Grained Feature Imitation

DAFTAR ISTILAH



YOLOv5	Model Deep Learning dikembangkan oleh ultralytics untuk deteksi objek yang cepat dan efisien.
Computer Vision	Cabang dari kecerdasan buatan yang berfokus pada analisis gambar dan video untuk mendapatkan informasi visual dunia nyata.
Preprocessing	Tahap awal dalam pemrosesan data bertujuan untuk menyiapkan data sebelum diberikan kepada model.
Augmentasi	Teknik memperbanyak data dengan melakukan modifikasi data seperti rotasi, mengubah warna, memotong gambar, mengubah orientasi untuk memperkaya variasi dataset.
Overfitting	Kondisi dimana model belajar terlalu spesifik sehingga memiliki performa buruk ketika menghadapi data baru.
Knowledge Distillation	Teknik transfer pengetahuan dari model besar (teacher) ke model kecil (student) untuk meningkatkan efisiensi.
Teacher	Model besar dengan arsitektur kompleks dan performa tinggi yang digunakan untuk transfer pengetahuan ke model kecil.
Student	Model kecil yang dilatih untuk meniru perilaku teacher dalam prediksi dan deteksi objek namun lebih efisien secara komputasi.
Backbone	Bagian utama dari arsitektur model, bertugas mengekstraksi fitur dari data input.
Bounding Boxes	Kotak pembatas yang berfungsi menunjukkan lokasi objek yang terdeteksi pada gambar.
Anchor	Bounding boxes yang telah ditentukan diawal, untuk membantu model memprediksi lokasi objek.
Epoch	Satu iterasi penuh dimana seluruh dataset dipelajari oleh model.

INTISARI

Rambu lalu lintas merupakan bagian penting dalam memastikan keselamatan berkendara. Karena rambu lalu lintas menjadi media pemberi informasi terkait kondisi jalan, serta acuan pengambilan keputusan dalam perjalanan. Dalam sistem kendaraan pintar, rambu lalu lintas merupakan komponen penting karena sistem ini bergantung pada kemampuan mendeteksi dan mengenali rambu. Namun dalam penerapannya, ditemui tantangan yaitu keterbatasan daya komputasi dan memori pada perangkat seperti *edge-device* atau *mobile*. Maka dari itu diperlukan adanya model yang efisien namun tetap mampu menunjukkan performa dan akurasi yang baik. Penelitian ini memiliki tujuan untuk menerapkan teknik kompresi model yaitu *knowledge distillation* pada model algoritma YOLOv5 untuk deteksi rambu lalu lintas Indonesia. Teknik ini pada dasarnya adalah konsep yang menggunakan model besar (*teacher*) untuk men-transfer pengetahuan ke model kecil (*student*). Hasil penelitian menunjukkan model student hasil pelatihan dengan teknik *knowledge distillation* mampu menampilkan performa yang baik dan hampir menyamai performa model *teacher*. Pada proses evaluasi model, didapatkan *mean Average Precision* (mAP@0.5) sebesar 0.953 pada 25 kelas rambu lalu lintas. Dalam segi efisiensi, model student hanya membutuhkan 0.029 detik untuk inferensi pada 12 gambar. Hasil temuan penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi model YOLOv5 dan teknik *knowledge distillation* berpotensi menjadi solusi optimal pada sistem dengan sumber daya terbatas untuk deteksi rambu lalu lintas di Indonesia.

Kata kunci: Deteksi Objek, YOLOv5, *Knowledge Distillation* (KD), *Computer Vision*.

ABSTRACT

Traffic signs are an important part of ensuring safe driving. Because it is a medium that provide information related to road conditions, plus as a reference for decisions making while driving. In smart vehicle systems, traffic signs are crucial because these systems rely on the ability to detect and recognize signs. However, during implementation, there are challenges such as limited computing power and memory on devices such as edge-device or mobile. Therefore, there is a need for an efficient model with good performance and accuracy. This research aims to apply a model compression technique, namely knowledge distillation, to the YOLOv5 algorithm for detecting Indonesian traffic signs. This technique concept basically uses a large model (teacher) to transfer knowledge to a small model (student). The research results show that the student model trained using the knowledge distillation technique demonstrates good performance, nearly matching that of the teacher model. In the evaluation process, the mean Average Precision (mAP@0.5) of 0.953 was obtained on 25 classes of traffic signs. In terms of efficiency, the student model only requires 0.029 seconds for inference on 5 images. The findings of this research indicate that the combination of the YOLOv5 model and the knowledge distillation technique can potentially be an optimal solution for systems with limited resources for Indonesian traffic sign detection.

Keyword: Computer Vision; Knowledge Distillation; Object Detection; Traffic Sign; YOLO