

**PERBANDINGAN KINERJA METODE
YOLO V7, SSD, RETINANET, DAN SCALED YOLO V4
UNTUK DETEKSI OBJEK KERUSAKAN PADA PERMUKAAN JALAN**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian dari
Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Komputer
Program Studi Ilmu Komputer



Oleh
Ade Prianto
NIM 1700502

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN ILMU KOMPUTER
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKAN DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
BANDUNG
2023**

**PERBANDINGAN KINERJA METODE
YOLO V7, SSD, RETINANET, DAN SCALED YOLO V4
UNTUK DETEKSI OBJEK KERUSAKAN PADA PERMUKAAN JALAN**

Oleh

Ade Prianto

NIM 1700502

Sebuah Skripsi yang Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Komputer di Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu
Pengetahuan Alam

© Ade Prianto

Universitas Pendidikan Indonesia

Januari 2023

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian, dengan dicetak ulang, di fotokopi, atau cara lainnya tanpa izin dari penulis.

ADE PRIANTO

1700502

**PERBANDINGAN KINERJA METODE
YOLO V7, SSD, RETINANET, DAN SCALED YOLO V4
UNTUK DETEKSI OBJEK KERUSAKAN PADA PERMUKAAN JALAN**

DISETUJUI DAN DISAHKAN OLEH PEMBIMBING:

Pembimbing I,



Dr. Muhammad Nursalman, M.T.

NIP. 197909292006041002

Pembimbing II,



Erna Piantari, S.Kom., M.T.

NIP. 920171219890224201

Mengetahui,

Ketua Departemen Pendidikan Ilmu Komputer



Dr. Rani Megasari, S.Kom., M.T.

NIP. 198705242014042002

PERBANDINGAN KINERJA METODE YOLO V7, SSD, RETINANET, DAN SCALED YOLO V4 UNTUK DETEKSI OBJEK KERUSAKAN PADA PERMUKAAN JALAN

Oleh

Ade Prianto — adeprianto21@upi.edu

1700502

ABSTRAK

Jalan merupakan salah satu aspek penting yang sangat dibutuhkan dalam kemajuan suatu daerah di berbagai aspek baik dari segi ekonomi, sosial, dan politik. Jalan yang terus menerus dilalui oleh volume lalu lintas kendaraan yang tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada permukaan jalan tersebut. Pengidentifikasian jenis kerusakan jalan secara otomatis merupakan hal yang perlu dilakukan dalam upaya penanganan kerusakan jalan. Dari permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk membangun model pendeteksi kerusakan pada permukaan jalan menggunakan metode *You Only Look Once* (YOLO) v7. Selain itu, pada penelitian ini juga diimplementasikan beberapa metode objek deteksi lainnya yaitu *Single Shot Detector* (SSD), RetinaNet dan Scaled YOLOv4 untuk memperoleh gambaran perbandingan kinerja YOLOv7 dengan model SSD, RetinaNet dan Scaled YOLOv4. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model YOLOv7 merupakan model deteksi terbaik dibandingkan model lainnya dengan nilai AP@0.5 sebesar 70.8% dengan kecepatan deteksi sebesar 23.07 *millisecond* per gambar. Model Scaled YOLOv4 mendapatkan nilai AP@0.5 sebesar 60.2% dengan kecepatan deteksi sebesar 38.43 *millisecond* per gambar. Model RetinaNet mendapatkan nilai AP@0.5 sebesar 56.8% dengan kecepatan deteksi sebesar 99.48 *millisecond* per gambar dan model SSD mendapatkan nilai AP@0.5 sebesar 41.2% dengan kecepatan deteksi sebesar 23.8 *millisecond* per gambar.

Kata Kunci : *Deep Learning, Object Detection, YOLOv7, SSD, RetinaNet, Scaled YOLOv4.*

PERFORMANCE COMPARISON OF YOLO V7, SSD, RETINANET, AND SCALED YOLO V4 METHODS FOR DAMAGE OBJECT DETECTION ON ROAD SURFACE

Arranged by

Ade Prianto — adeprianto21@upi.edu

1700502

ABSTRACT

Road is one of the most important aspects that is needed in the development of an area in various aspects both in terms of economic, social and political. Roads that are continuously traversed by high volumes of vehicle traffic can cause damage to the road surface. Identifying the type of road damage automatically is something that needs to be done in an effort to deal with road damage. From these problems, this study aims to build a damage detection model on the road surface using the You Only Look Once (YOLO) v7 method. In addition, this study also implemented several other object detection methods, namely Single Shot Detector (SSD), RetinaNet and Scaled YOLOv4 to obtain a comparison of the performance of YOLOv7 with SSD, RetinaNet and Scaled YOLOv4 models. The results showed that the YOLOv7 model is the best detection model compared to other models with AP@0.5 value of 70.8% with prediction speed of 23.07 milliseconds per image. The Scaled YOLOv4 model gets AP@0.5 value of 60.2% with a prediction speed of 38.43 milliseconds per image. The RetinaNet model gets AP@0.5 value of 56.8% with a prediction speed of 99.48 milliseconds per image and the SSD model gets AP@0.5 value of 41.2% with a prediction speed of 23.8 milliseconds per image.

Keywords: Deep Learning, Object Detection, YOLOv7, SSD, RetinaNet, Scaled YOLOv4.

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
<i>ABSTRACT</i>	ii
KATA PENGANTAR	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	6
1.5 Batasan Masalah	6
1.6 Sistematika Penulisan	7
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	9
2.1 Peta Literatur	9
2.2 Penelitian Terkait	9
2.3 Kerusakan Jalan	13
2.3.1 Jenis Kerusakan Jalan	13
2.4 <i>Computer Vision</i>	17
2.5 <i>Object Detection</i>	18
2.6 Evaluasi <i>Object Detection</i>	22
2.7 <i>Machine Learning</i>	28
2.8 <i>Artificial Neural Network (ANN)</i>	29
2.9 <i>Deep Learning</i>	31

2.10	<i>Convolutional Neural Network (CNN)</i>	33
2.11	Transfer Learning	37
2.12	<i>Single Shot Detector (SSD)</i>	39
2.13	RetinaNet	40
2.14	<i>You Only Look Once (YOLO)</i>	42
2.14.1	YOLOv1.....	44
2.14.2	YOLOv2.....	45
2.14.3	YOLOv3.....	45
2.14.4	YOLOv4.....	46
2.14.5	Scaled YOLOv4	48
2.14.6	YOLOv7.....	49
BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN	55
3.1	Desain Penelitian	55
3.1.1	Analisis Permasalahan	55
3.1.2	Studi Literatur	56
3.1.3	Pengumpulan Data	56
3.1.4	Praproses Data.....	56
3.1.5	Perancangan Model.....	57
3.1.6	Eksperimen.....	60
3.1.7	Analisis dan Evaluasi Hasil.....	60
3.1.8	Penarikan Kesimpulan	61
3.2	Lingkungan Komputasi	61
BAB 4	PEMBAHASAN DAN HASIL PENELITIAN	63
4.1	Pembangunan Data.....	63
4.1.1	Pengumpulan Data	63
4.1.2	Pra Proses Data	65

4.2	Perancangan Model	79
4.2.1	YOLOv7.....	79
4.2.2	<i>Single Shot Detector (SSD)</i>	84
4.2.3	RetinaNet.....	92
4.2.4	Scaled YOLOv4	98
4.3	Eksperimen	102
4.3.1	Eksperimen Pelatihan YOLOv7.....	102
4.3.2	Eksperimen Pelatihan SSD	102
4.3.3	Eksperimen Pelatihan RetinaNet.....	103
4.3.4	Eksperimen Pelatihan Scaled YOLOv4	103
4.4	Hasil Eksperimen	104
4.4.1	Hasil Eksperimen Pelatihan YOLOv7	107
4.4.2	Hasil Eksperimen Pelatihan SSD	111
4.4.3	Hasil Eksperimen Pelatihan RetinaNet	115
4.4.4	Hasil Eksperimen Pelatihan Scaled YOLOv4	119
4.5	Evaluasi dan Analisis	123
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	133
5.1	Kesimpulan.....	133
5.2	Saran	135
	DAFTAR PUSTAKA	136

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Literatur Penelitian	9
Gambar 2.2 Retak Kulit Buaya (<i>Alligator Cracking</i>)	14
Gambar 2.3 Keriting (<i>Corrugation</i>).....	14
Gambar 2.4 Amblas (<i>Depression</i>).....	15
Gambar 2.5 Lubang (<i>Potholes</i>).....	16
Gambar 2.6 Retak Memanjang (<i>Longitudinal Cracking</i>)	16
Gambar 2.7 Retak Melintang (<i>Transversal Cracking</i>)	17
Gambar 2.8 Perbedaan antara <i>classification</i> dan <i>object detection</i> (Fernandes Ramos et al., 2021).....	19
Gambar 2.9 <i>Region Proposal</i>	20
Gambar 2.10 <i>Feature Extraction</i>	21
Gambar 2.11 <i>Non-Max Supression</i> (NMS).....	21
Gambar 2.12 <i>Intersection over Union</i> (Zulkiflie, 2021).....	23
Gambar 2.13 Contoh kurva <i>precision recall</i>	23
Gambar 2.14 Ilustrasi deteksi objek.....	25
Gambar 2.15 Grafik interpolasi nilai <i>precision</i> dan <i>recall</i>	27
Gambar 2.16 Model <i>neuron</i> McCulloch dan Pitts (Mehlig, 2019).....	30
Gambar 2.17 Arsitektur Jaringan <i>Backpropagation</i> (Ayu, 2019).....	31
Gambar 2.18 Hubungan <i>Deep Learning</i> dengan <i>Machine Learning</i> (Pramestya, 2018)	32
Gambar 2.19 Komponen <i>Convolutional Neural Network</i> (Voulodimos et al., 2018)	33
Gambar 2.20 Bagian kecil dinamakan <i>feature</i>	34
Gambar 2.21 Hasil <i>filter</i>	34
Gambar 2.22 Proses <i>Max Pooling</i>	35
Gambar 2.23 Konversi 2D <i>feature map</i> menjadi 1D <i>feature vector</i>	36
Gambar 2.24 Ilustrasi <i>pretrained as a feature extractor</i> (Hosna et al., 2022).....	38
Gambar 2.25 Ilustrasi <i>fine-tuning</i> (Elgendy, 2020)	39
Gambar 2.26 Arsitektur model <i>Single Shot Detector</i> (Wei Liu et al., 2016).....	39
Gambar 2.27 Arsitektur model RetinaNet (Lin et al., 2017)	42
Gambar 2.28 <i>Road map object detection</i> (Zou et al., 2019)	43

Gambar 2.29 Ilustrasi cara kerja YOLO (Redmon et al., 2015)	44
Gambar 2.30 Arsitektur model YOLOv1 (Redmon et al., 2015)	45
Gambar 2.31 Arsitektur model YOLOv3	46
Gambar 2.32 Arsitektur model YOLOv4 (S. Wang et al., 2021)	47
Gambar 2.33 Arsitektur PAN (Liu et al., 2018).....	48
Gambar 2.34 Arsitektur PAN menggunakan konsep CSP (C.-Y. Wang et al., 2020)	49
Gambar 2.35 Arsitektur ELAN (C.-Y. Wang, Liao, et al., 2022).....	50
Gambar 2.36 Representasi kombinasi <i>explicit knowledge</i> dan <i>implicit knowledge</i> (C.-Y. Wang et al., 2021).....	51
Gambar 2.37 (A) arsitektur ResNet. (B) arsitektur RepVGG saat <i>training</i> . (C) arsitektur RepVGG saat <i>inference</i> . (Ding et al., 2021).....	53
Gambar 2.38 <i>Module level re-parameterized</i> (Ding et al., 2021).....	53
Gambar 2.39 Arsitektur YOLOv7	54
Gambar 3.1 Desain Penelitian.....	55
Gambar 3.2 Arsitektur YOLOv7 yang digunakan pada penelitian.....	58
Gambar 4.1 Sebagian data dari data kerusakan pada permukaan jalan dari Dinas Bina Marga dan Penataan Ruang Provinsi Jawa Barat	63
Gambar 4.2 Kode program untuk mengunduh gambar kerusakan	64
Gambar 4.3 Contoh gambar kerusakan permukaan jalan	64
Gambar 4.4 Proses <i>Padding</i>	66
Gambar 4.5 Matriks gambar sebelum proses <i>padding</i>	67
Gambar 4.6 Matriks gambar setelah proses <i>padding</i>	67
Gambar 4.7 Kode program untuk melakukan proses <i>padding</i>	68
Gambar 4.8 Proses <i>Resizing</i>	70
Gambar 4.9 Kode program untuk melakukan proses <i>resizing</i>	70
Gambar 4.10 Contoh anotasi objek menggunakan format YOLO.....	72
Gambar 4.11 Contoh anotasi objek menggunakan format PASCAL VOC.....	72
Gambar 4.12 Proses pelabelan objek pada gambar.....	73
Gambar 4.13 Konfigurasi dataset pada YOLOv7	79
Gambar 4.14 Konfigurasi struktur model YOLOv7	82
Gambar 4.15 Konfigurasi <i>hyperparameter</i> YOLOv7	83

Gambar 4.16 Perintah untuk mengunduh bobot <i>pretrained</i> “yolov7_training.pt”	83
Gambar 4.17 Perintah untuk melakukan proses pelatihan model YOLOv7	84
Gambar 4.18 Perintah untuk melakukan proses deteksi objek pada YOLOv7 menggunakan <i>file</i> bobot hasil pelatihan	84
Gambar 4.19 Kode program untuk membuat <i>label map</i>	85
Gambar 4.20 Perintah untuk membuat <i>tf-record</i>	85
Gambar 4.21 Perintah untuk mengunduh bobot <i>pretrained</i> “ssd_mobilenet_v2_320x320_coco17_tpu-8”	86
Gambar 4.22 Konfigurasi <i>pipeline</i> model SSD	90
Gambar 4.23 Perintah untuk melakukan proses pelatihan model SSD	90
Gambar 4.24 Kode program untuk melakukan deteksi objek pada SSD menggunakan <i>file</i> bobot hasil pelatihan	91
Gambar 4.25 Perintah untuk mengunduh bobot <i>pretrained</i> “ssd_resnet50_v1_fpn_640x640_coco17_tpu-8”	92
Gambar 4.26 Konfigurasi <i>pipeline</i> model RetinaNet	96
Gambar 4.27 Perintah untuk melakukan proses pelatihan model RetinaNet	96
Gambar 4.28 Kode program untuk melakukan deteksi objek pada RetinaNet menggunakan <i>file</i> bobot hasil pelatihan	98
Gambar 4.29 Konfigurasi dataset pada Scaled YOLOv4	99
Gambar 4.30 Konfigurasi struktur model Scaled YOLOv4	100
Gambar 4.31 Konfigurasi <i>hyperparameter</i> Scaled YOLOv4	101
Gambar 4.32 Perintah untuk melakukan proses pelatihan model Scaled YOLOv4	101
Gambar 4.33 Perintah untuk melakukan proses deteksi objek pada Scaled YOLOv4 menggunakan <i>file</i> bobot hasil pelatihan	102
Gambar 4.34 Performa setiap model YOLOv7 pada AP@0.5	108
Gambar 4.35 Performa setiap model SSD pada AP@0.5	112
Gambar 4.36 Performa setiap model RetinaNet pada AP@0.5	116
Gambar 4.37 Performa setiap model Scaled YOLOv4 pada AP@0.5	120
Gambar 4.38 Performa model setiap metode pada AP@0.5	124
Gambar 4.39 Rata-rata waktu deteksi setiap model pada NVIDIA Tesla V100	129

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perhitungan IoU kotak prediksi terhadap <i>ground truth</i>	25
Tabel 2.2 Perhitungan <i>precision</i> dan <i>recall</i>	26
Tabel 3.1 Arsitektur YOLOv7 yang digunakan pada penelitian	57
Tabel 3.2 Arsitektur SSD yang digunakan pada penelitian	59
Tabel 3.3 Arsitektur RetinaNet yang digunakan pada penelitian	59
Tabel 3.4 Arsitektur Scaled YOLOv4 yang digunakan pada penelitian	60
Tabel 4.1 Atribut tinggi dan lebar gambar kerusakan permukaan jalan yang diunduh dari Dinas Bina Marga dan Penataan Ruang Provinsi Jawa Barat.....	65
Tabel 4.2 Atribut tinggi dan lebar gambar kerusakan permukaan jalan yang telah dilakukan proses <i>padding</i>	69
Tabel 4.3 Atribut tinggi dan lebar gambar kerusakan permukaan jalan yang telah dilakukan proses <i>resizing</i>	71
Tabel 4.4 Atribut anotasi objek kerusakan dalam format YOLO	74
Tabel 4.5 Atribut anotasi objek kerusakan dalam format PASCAL VOC	74
Tabel 4.6 Gambar deteksi manual hasil pelabelan objek kerusakan.....	75
Tabel 4.7 Pembagian data <i>train</i> dan data <i>test</i>	78
Tabel 4.8 <i>Tuning hyperparameter</i> YOLOv7	102
Tabel 4.9 <i>Tuning hyperparameter</i> SSD	103
Tabel 4.10 <i>Tuning hyperparameter</i> RetinaNet	103
Tabel 4.11 <i>Tuning hyperparameter</i> Scaled YOLOv4.....	104
Tabel 4.12 Sampel gambar untuk pengujian.....	105
Tabel 4.13 Penilaian performa untuk setiap model YOLOv7	107
Tabel 4.14 Penilaian <i>precision</i> , <i>recall</i> , dan <i>F1-score</i> untuk setiap model YOLOv7	107
Tabel 4.15 Hasil deteksi model YOLOv7 terbaik terhadap sampel gambar.....	109
Tabel 4.16 Penilaian performa untuk setiap model SSD	111
Tabel 4.17 Penilaian <i>precision</i> , <i>recall</i> , dan <i>F1-score</i> untuk setiap model SSD..	111
Tabel 4.18 Hasil deteksi model SSD terbaik terhadap sampel gambar	113
Tabel 4.19 Penilaian performa untuk setiap model RetinaNet	115
Tabel 4.20 Penilaian <i>precision</i> , <i>recall</i> , dan <i>F1-score</i> untuk setiap model RetinaNet	115

Tabel 4.21 Hasil deteksi model RetinaNet terbaik terhadap sampel gambar	117
Tabel 4.22 Penilaian performa untuk setiap model Scaled YOLOv4.....	119
Tabel 4.23 Penilaian <i>precision</i> , <i>recall</i> , dan <i>F1-score</i> untuk setiap model Scaled YOLOv4.....	119
Tabel 4.24 Hasil deteksi model Scaled YOLOv4 terbaik terhadap sampel gambar	121
Tabel 4.25 Perbandingan kinerja model YOLOv7, SSD, RetinaNet dan Scaled YOLOv4.....	123
Tabel 4.26 Perbandingan penilaian <i>precision</i> , <i>recall</i> , dan <i>F1-Score</i> model YOLOv7, SSD, RetinaNet dan Scaled YOLOv4	123
Tabel 4.27 Hasil deteksi model YOLOv7, SSD, RetinaNet dan Scaled YOLOv4	126
Tabel 4.28 Analisis arsitektur setiap model	130

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A. G., Fitriani, N., Kustija, J., & Kustiawan, I. (2010). *APLIKASI ALGORITMA FEED FORWARD BACKPROPAGATION PADA SISTEM KEAMANAN AKSES MENGGUNAKAN SIDIK JARI*.
- Aditya Rosyady, P., Fajri Rahani, F., & Raditya Cahya Baswara, A. (2021). *AMARTO (DAMAGED ROAD DETECTOR): PURWARUPA SISTEM DETEKSI DAN ANALISATOR KERUSAKAN JALAN RAYA KOTA YOGYAKARTA BERBASIS CITRA DIGITAL DAN GPS* (Vol. 17).
- Ale, L., Zhang, N., & Li, L. (2019). Road Damage Detection Using RetinaNet. *Proceedings - 2018 IEEE International Conference on Big Data, Big Data 2018*, 5197–5200. <https://doi.org/10.1109/BigData.2018.8622025>
- Arya, D., Maeda, H., Ghosh, S. K., Toshniwal, D., & Sekimoto, Y. (2021). RDD2020: An annotated image dataset for automatic road damage detection using deep learning. *Data in Brief*, 36. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.107133>
- Ayu, F. (2019). Implementasi Jaringan Saraf Tiruan Untuk Menentukan Kelayakan Proposal Tugas Akhir. *IT JOURNAL RESEARCH AND DEVELOPMENT*, 3(2), 44–53. [https://doi.org/10.25299/itjrd.2019.vol3\(2\).2271](https://doi.org/10.25299/itjrd.2019.vol3(2).2271)
- Badan Pusat Statistik. (2019). *Badan Pusat Statistik*. <https://www.bps.go.id/indicator/17/513/1/jumlah-kecelakaan-korban-mati-luka-berat-luka-ringan-dan-kerugian-materi.html>
- Bochkovski, A., Wang, C.-Y., & Liao, H.-Y. M. (2020). *YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection*. <http://arxiv.org/abs/2004.10934>
- Brownlee, J. (2016). *Master Machine Learning Algorithms Discover How They Work and Implement Them From Scratch*. <http://MachineLearningMastery.com>
- Cahyono, S. D. (2012). Pengaruh Beban Lalu Lintas Terhadap Kerusakan pada Jalan Raya Ngawi-Caruban. *Jurnal Teknik Sipil*, 13(1), 66–73.

- Cholissodin, I., Sutrisno, Andy Soebroto, A., Hasanah, U., & Inggir Febiola, Y. (2019). *Buku Ajar AI, Machine Learning & Deep Learning*. <https://www.researchgate.net/publication/348003841>
- D. Forsyth, & J. Ponce. (2012). *Computer Vision - A Modern Approach*.
- Dalianis, H. (2018). Evaluation Metrics and Evaluation. In *Clinical Text Mining* (pp. 45–53). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-78503-5_6
- Detik. (2021). *Duh! Jalan Rusak Jadi Penyebab Banyak Kecelakaan Lalu Lintas di Jakarta*. <https://oto.detik.com/berita/d-5624401/duh-jalan-rusak-jadi-penyebab-banyak-kecelakan-lalu-lintas-di-jakarta>
- Dewi, I. A., Kristiana, L., Darlis, A. R., & Dwiputra, R. F. (2019). Deep Learning RetinaNet based Car Detection for Smart Transportation Network. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 7(3), 570. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v7i3.570>
- Ding, X., Zhang, X., Ma, N., Han, J., Ding, G., & Sun, J. (2021). *RepVGG: Making VGG-style ConvNets Great Again*. <http://arxiv.org/abs/2101.03697>
- Elgendy, M. (2019). *Grokking Deep Learning for Computer Vision*. www.manning.com
- Elgendy, M. (2020). *Deep Learning for Vision Systems*. Manning Publications.
- Fernandes Ramos, R., Strauhs, M., Neto, S. V., Paulino de Lira, A. R., Cepeda, M. A. F. S., Guaycuru de Carvalho, L. F., Marques de Oliveira Moita, J. V., & Caprace, J.-D. (2021, November 3). *A Review of Deep Learning Application for Computational Vision within the Maritime Industry*. <https://doi.org/10.17648/sobena-hidroviario-2021-137507>
- Gorach, T. (2008). Deep Convolutional Neural Networks - A Review. *International Research Journal of Engineering and Technology*. www.irjet.net
- Guo, G., & Zhang, Z. (2022). Road damage detection algorithm for improved YOLOv5. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-19674-8>

- Handoyo, T. (2011). *Aplikasi Fuzzy C-Means Untuk Pengelompokan Dan Klasifikasi Kerusakan Jalan*.
- He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2014). *Spatial Pyramid Pooling in Deep Convolutional Networks for Visual Recognition*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10578-9_23
- Hosna, A., Merry, E., Gyalmo, J., Alom, Z., Aung, Z., & Azim, M. A. (2022). Transfer learning: a friendly introduction. *Journal of Big Data*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s40537-022-00652-w>
- Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2011). *Buku Manual Pemeliharaan Rutin Untuk Jalan Nasional dan Jalan Propinsi, Jilid I: Metode Survei (No: 001-01/M/BM/2011)*.
- Kesuma D., R., & Hasdyna, N. (2020). *Machine Learning* (S. S. M. Si. Dr. Fajriana, Ed.). Unimal Press.
- Kompas TV. (2021). *Ada 8 Kecelakaan Akibat Jalan Rusak, 6 Pengendara Tewas*. <https://www.kompas.tv/article/139153/ada-8-kecelakaan-akibat-jalan-rusak-6-pengendara-tewas>
- Kurrahman, T. (2021). *ANALISA KERUSAKAN JALAN BERDASARKAN METODE BINA MARGA. 17*. <https://doi.org/10.37303/sistem.v17i1.206>
- Lasarus, R., Lalamentik, L. G. J., & Waani, J. E. (2020). ANALISA KERUSAKAN JALAN DAN PENANGANANNYA DENGAN METODE PCI (PAVEMENT CONDITION INDEX)(Studi Kasus: Ruas Jalan Kauditan (by pass)–Airmadidi; STA 0+ 770–STA 3+ 770). *Jurnal Sipil Statik*, 8(4).
- Lee, Y., Hwang, J., Lee, S., Bae, Y., & Park, J. (2019). *An Energy and GPU-Computation Efficient Backbone Network for Real-Time Object Detection*. <http://arxiv.org/abs/1904.09730>
- Li, D., Chen, Q., & Yao, A. (2020). *Learning to Learn Parameterized Classification Networks for Scalable Input Images*. <https://github.com/d-li14/SAN>.

- Li, L., Fang, B., & Zhu, J. (2022). Performance Analysis of the YOLOv4 Algorithm for Pavement Damage Image Detection with Different Embedding Positions of CBAM Modules. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(19). <https://doi.org/10.3390/app121910180>
- Lin, T.-Y., Dollár, P., Girshick, R., He, K., Hariharan, B., & Belongie, S. (2016). *Feature Pyramid Networks for Object Detection*. <http://arxiv.org/abs/1612.03144>
- Lin, T.-Y., Goyal, P., Girshick, R., He, K., & Dollár, P. (2017). *Focal Loss for Dense Object Detection*. <http://arxiv.org/abs/1708.02002>
- Lin, T.-Y., Maire, M., Belongie, S., Bourdev, L., Girshick, R., Hays, J., Perona, P., Ramanan, D., Zitnick, C. L., & Dollár, P. (2014). *Microsoft COCO: Common Objects in Context*. <http://arxiv.org/abs/1405.0312>
- Lingjing Kong, Guowei Huang, Keke Wu, Qi Tang, & Suying Ye. (2018). *Comparison of Internet Traffic Identification on Machine Learning Methods*.
- Liu, S., Qi, L., Qin, H., Shi, J., & Jia, J. (2018). *Path Aggregation Network for Instance Segmentation*. <http://arxiv.org/abs/1803.01534>
- Mehlig, B. (2019). *Machine learning with neural networks*. <https://doi.org/10.1017/9781108860604>
- Mubarak, H. (2016). Analisa Tingkat Kerusakan Perkerasan Jalan Dengan Metode Pavement Condition Index (Pci) Studi Kasus: Jalan Soekarno Hatta Sta. 11+ 150 sd 12+ 150. *Jurnal Saintis*, 16(1), 94–109.
- Padilla, R., Netto, S. L., da Silva, E. A. B., & Netto, S. L. (2020). *A Survey on Performance Metrics for Object-Detection Algorithms Lanterna para Deficientes Visuais (A Device for Helping Blind People) View project A Survey on Performance Metrics for Object-Detection Algorithms*. <https://doi.org/10.1109/IWSSIP48289.2020>
- Pakpahan, I. B., & Dewi, I. C. (2021). Pendeteksian Lubang Pada Jalanan Menggunakan Metode SSD-MobileNet. *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)*, 11(2), 213. <https://doi.org/10.22146/ijeis.60157>

- Pham, V., Pham, C., & Dang, T. (2020). *Road Damage Detection and Classification with Detectron2 and Faster R-CNN*. <http://arxiv.org/abs/2010.15021>
- Pramestya, R. H. (2018). *Deteksi dan klasifikasi kerusakan jalan aspal menggunakan metode yolo berbasis citra digital*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Purno, A., & Wibowo, W. (2016). Implementasi Teknik Computer Vision Dengan Metode Colored Markers Trajectory Secara Real Time. In *Jurnal Teknik Informatika* (Vol. 8, Issue 1).
- Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2015). *You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection*. <http://arxiv.org/abs/1506.02640>
- Redmon, J., & Farhadi, A. (2016). *YOLO9000: Better, Faster, Stronger*. <http://arxiv.org/abs/1612.08242>
- Redmon, J., & Farhadi, A. (2018). *YOLOv3: An Incremental Improvement*. <http://arxiv.org/abs/1804.02767>
- Sandler, M., Howard, A., Zhu, M., Zhmoginov, A., & Chen, L.-C. (2018). *MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks*. <http://arxiv.org/abs/1801.04381>
- Shahin, M. Y. (2005). *Pavement management for airports, roads, and parking lots*. <https://doi.org/10.1007/b101538>
- Shanmugaman, R. (2018). *Deep Learning for Computer Vision: Expert techniques to train advanced neural networks using TensorFlow and Keras*.
- Suryadharma, H., & Susanto, B. (1999). *Rekayasa Jalan Raya*. Penerbit Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Suryowinoto, A., & Hamid, A. (2017). *PENGGUNAAN PENGOLAHAN CITRA DIGITAL DENGAN ALGORITMA EDGE DETECTION DALAM MENGIDENTIFIKASI KERUSAKAN KONTUR JALAN*.
- Syah, H. I., Pradana, F., & Priyambadha, B. (2019). *Pengembangan Sistem Pelaporan Kerusakan Jalan Otomatis Berbasis Sistem Embedded* (Vol. 3, Issue 3). <http://j-ptiik.ub.ac.id>

- Szegedy, C., Liu, W., Jia, Y., Sermanet, P., Reed, S., Anguelov, D., Erhan, D., Vanhoucke, V., & Rabinovich, A. (2014). *Going Deeper with Convolutions*. <http://arxiv.org/abs/1409.4842>
- Szeliski, R. (2010). *Computer Vision: Algorithms and Applications*. <http://szeliski.org/Book/>.
- Tedeschi, A., & Benedetto, F. (2017). A Real-Time Automatic Pavement Crack and Pothole Recognition System for Mobile Android-Based Devices. *Advanced Engineering Informatics*, 32, 11–25. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2016.12.004>
- Voulodimos, A., Doulamis, N., Doulamis, A., & Protopapadakis, E. (2018). Deep Learning for Computer Vision: A Brief Review. In *Computational Intelligence and Neuroscience* (Vol. 2018). Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2018/7068349>
- Wang, C.-Y., Bochkovskiy, A., & Liao, H.-Y. M. (2020). *Scaled-YOLOv4: Scaling Cross Stage Partial Network*. <http://arxiv.org/abs/2011.08036>
- Wang, C.-Y., Bochkovskiy, A., & Liao, H.-Y. M. (2022). *YOLOv7: Trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for real-time object detectors*. <http://arxiv.org/abs/2207.02696>
- Wang, C.-Y., Liao, H.-Y. M., & Yeh, I.-H. (2022). *Designing Network Design Strategies Through Gradient Path Analysis*. <http://arxiv.org/abs/2211.04800>
- Wang, C.-Y., Liao, H.-Y. M., Yeh, I.-H., Wu, Y.-H., Chen, P.-Y., & Hsieh, J.-W. (2019). *CSPNet: A New Backbone that can Enhance Learning Capability of CNN*. <http://arxiv.org/abs/1911.11929>
- Wang, C.-Y., Yeh, I.-H., & Liao, H.-Y. M. (2021). *You Only Learn One Representation: Unified Network for Multiple Tasks*. <http://arxiv.org/abs/2105.04206>
- Wang, S., Zhao, J., Ta, N., Zhao, X., Xiao, M., & Wei, H. (2021). A real-time deep learning forest fire monitoring algorithm based on an improved Pruned + KD model. *Journal of Real-Time Image Processing*, 18(6), 2319–2329. <https://doi.org/10.1007/s11554-021-01124-9>

- Wei Liu, Dragomir Anguelov, Dumitru Erhan, Christian Szegedy, Scott Reed, Cheng-Yang Fu, & Alexander C. Berg. (2016). *SSD: Single Shot MultiBox Detector* (B. Leibe, J. Matas, N. Sebe, & M. Welling, Eds.; Vol. 9905). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-46448-0>
- Wicaksono, D., Fathurochman, R. A., Riyanto, B., & Wicaksono, Y. I. (2014). Analisis Kecelakaan Lalu Lintas (Studi Kasus-Jalan Raya Ungaran-Bawen). *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 3(2), 345–355.
- Wiley, V., & Lucas, T. (2018). Computer Vision and Image Processing: A Paper Review. *International Journal of Artificial Intelligence Research*, 2(1), 22. <https://doi.org/10.29099/ijair.v2i1.42>
- Wira, J., & Putra, G. (2017). *Pengenalan Konsep Pembelajaran Mesin dan Deep Learning* (1.4).
- Yudaningrum, F. (2017). IDENTIFIKASI JENIS KERUSAKAN JALAN (Studi Kasus Ruas Jalan Kedungmundu-Meteseh). In *TEKNIKA: Vol. XII* (Issue 2).
- Zhao, Z.-Q., Zheng, P., Xu, S., & Wu, X. (2018). *Object Detection with Deep Learning: A Review*. <http://arxiv.org/abs/1807.05511>
- Zou, Z., Shi, Z., Guo, Y., & Ye, J. (2019). *Object Detection in 20 Years: A Survey*. <http://arxiv.org/abs/1905.05055>
- Zulkiflie, M. A. (2021). *Implementasi Algoritma Object Detection YOLOv4 dan Euclidian Distance Dalam Mendeteksi Pelanggaran Social Distancing*.