

07/S/TEKKOM-KCBR/PK.03.08/10/JULI/2024

**PERANCANGAN MODEL SISTEM DETEKSI DAN ESTIMASI JARAK
SPEED BUMP UNTUK KENDARAAN OTONOM MENGGUNAKAN
ALGORITMA *DEEP LEARNING***

SKRIPSI

diajukan untuk memenuhi sebagian syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Komputer



Oleh
Rahmawati
NIM 2008187

**PROGRAM STUDI TEKNIK KOMPUTER
KAMPUS UPI DI CIBIRU
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
2024**

HALAMAN HAK CIPTA

**PERANCANGAN MODEL SISTEM DETEKSI DAN ESTIMASI JARAK
SPEED BUMP UNTUK KENDARAAN OTONOM MENGGUNAKAN
ALGORITMA *DEEP LEARNING***

Oleh

Rahmawati

NIM 2008187

Sebuah Skripsi yang Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S1 Teknik Komputer

© Rahmawati

Universitas Pendidikan Indonesia

Juli 2024

Hak Cipta dilindungi undang-undang

Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian, dengan cara dicetak
ulang, difoto kopi atau dengan cara lain tanpa seizin penulis

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

RAHMAWATI

**PERANCANGAN MODEL SISTEM DETEKSI DAN ESTIMASI JARAK
SPEED BUMP UNTUK KENDARAAN OTONOM MENGGUNAKAN
ALGORITMA *DEEP LEARNING***

disetujui dan disahkan oleh pembimbing:

Pembimbing I



Dr. Eng. Munawir, S.Kom., M.T.

NIP. 20200819851205101

Pembimbing II

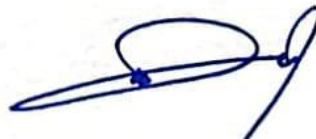


Muhammad Taufik, S.Tr.Kom., M.T.I.

NIP. 920200819940117101

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Komputer



Deden Pradeka, S.T., M.Kom.

NIP. 920200419890816101

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN BEBAS PLAGIARISME

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “Perancangan Model Sistem Deteksi dan Estimasi Jarak *Speed Bump* untuk Kendaraan Otonom Menggunakan Algoritma *Deep Learning*” ini beserta dengan isinya adalah benar-benar karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung resiko/sanksi apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini.

Bandung, Juli 2024

Yang membuat pernyataan,



Rahmawati

NIM. 2008187

HALAMAN UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT. yang telah memberikan rahmat dan ridho-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Perancangan Model Sistem Deteksi dan Estimasi Jarak *Speed Bump* untuk Kendaraan Otonom Menggunakan Algoritma *Deep Learning*” ini dengan lancar. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Komputer.

Selama penyusunan skripsi ini terdapat begitu banyak pihak-pihak yang terlibat untuk membantu penulis. Oleh karena itu, penulis sampaikan ucapan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada pihak-pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung. Penulis ucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. H. M. Solehuddin, M.Pd., M.A. selaku Rektor Universitas Pendidikan Indonesia;
2. Bapak Prof. Dr. Deni Darmawan, M.Si., M.Kom., MCE selaku Direktur Kampus UPI di Cibiru;
3. Bapak Deden Pradeka, S.T., M.Kom. selaku kepala program studi Teknik Komputer;
4. Bapak Dr. Eng. Munawir, S.Kom., M.T. selaku dosen pembimbing akademik dan dosen pembimbing skripsi pertama yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan penelitian skripsi dan membantu dalam administrasi perkuliahan selama 4 tahun ini;
5. Bapak Muhammad Taufik, S.Tr.Kom., M.T.I. selaku dosen pembimbing skripsi kedua yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing dan memberikan pengarahan serta masukan kepada penulis mengenai penelitian skripsi ini;
6. Bapak Arief Suryadi Satyawan M.T., D.Eng. selaku dosen pembimbing di BRIN yang telah meluangkan waktu untuk membimbing dan memberikan keberanian kepada penulis untuk mengambil topik penelitian ini;
7. Seluruh dosen Teknik Komputer yang telah mengajarkan banyak ilmu baru kepada penulis selama mengenyam pendidikan di kampus ini;

8. Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) yang telah menyediakan fasilitas penelitian baik sarana maupun prasarana, perangkat keras maupun perangkat lunak, baik secara materi maupun non materi, serta yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melakukan penelitian di bawah naungannya sehingga penelitian ini bisa selesai;
9. Semua anggota keluarga, Mamah, Bapak, dan satu adik saya, Dinda, yang selalu memberikan dukungan baik moril, materil, maupun spiritual kepada penulis selama penelitian ini sehingga skripsi ini dapat selesai;
10. Iwan Setiawan, Tiari Dhiya Maharani, Tiara Afriani, Anisa Nur Syafia, Nazwa Putri Nadhipa, Naziva Septian, Haryanto Hidayat, dan Ivan Rajwa Naufal yang telah membantu penulis dalam pengambilan data dan pengujian model di lapangan;
11. Kanal Youtube Code with Aarohi yang telah memberikan video-video tutorial yang sangat bermanfaat dan membantu penelitian penulis;
12. Teman-teman seangkatan yang telah berjuang bersama-sama untuk kemajuan program studi Teknik Komputer;
13. Keluarga KAAH dan keenam teman *online* saya yang selalu kebersamai selama masa-masa perkuliahan sampai dengan penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan namun berkat dukungan dari berbagai pihak di atas, penulis yakin skripsi ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan. Ucapan terima kasih yang teramat dalam, penulis persembahkan kepada berbagai pihak yang telah membantu dan berkontribusi dalam kesuksesan penelitian skripsi ini. Semoga semua kebaikan dari berbagai pihak yang terlibat dapat dibalas dengan balasan yang setimpal oleh Allah SWT.

Bandung, Juli 2024

Rahmawati

NIM. 2008187

PERANCANGAN MODEL SISTEM DETEKSI DAN ESTIMASI JARAK *SPEED BUMP* UNTUK KENDARAAN OTONOM MENGGUNAKAN ALGORITMA *DEEP LEARNING*

Rahmawati

2008187

ABSTRAK

Sistem deteksi *speed bump* merupakan komponen penting yang harus dimiliki oleh kendaraan otonom level 3 dan 4, sesuai instruksi dari US National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). Berbagai metode telah dikembangkan untuk sistem deteksi *speed bump*, termasuk penggunaan sensor ultrasonik dan algoritma *deep learning* seperti CNN, YOLOv2, dan YOLOv5. Namun, metode-metode ini masih memiliki beberapa kekurangan, seperti jarak deteksi yang terlalu dekat, kecepatan pemrosesan model yang lambat, dan nilai mAP yang kurang dari 90%. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk merancang model sistem deteksi dan estimasi jarak *speed bump* untuk kendaraan otonom menggunakan algoritma *deep learning*. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah AI Project Cycle. Dataset yang digunakan merupakan dataset kustom yang disusun berdasarkan aturan *speed bump* yang berlaku di Indonesia. Model yang dikembangkan menggunakan arsitektur YOLOv8n dan metode pengukuran jarak menggunakan konsep *stereo vision* dengan kamera *stereo*. Model hasil pelatihan memiliki mAP sebesar 92,5%. Model diimplementasikan pada Jetson Nano dengan dukungan GPU dengan kecepatan komputasi mencapai 3-4 FPS. Hasil pengujian menunjukkan model dapat mendeteksi dan mengukur jarak *speed bump* pada siang hari dengan jarak maksimal 20 meter, namun menjadi terbatas ketika malam hari. Rata-rata nilai *error* pengukuran estimasi jarak mencapai 0,41-0,891 meter. Intensitas cahaya terbukti mempengaruhi kinerja model dalam mendeteksi dan mengukur jarak *speed bump*.

Kata Kunci: *Deep Learning*, Deteksi Objek, Estimasi Jarak, *Speed Bump*, YOLOv8

DESIGNING A SPEED BUMP DETECTION AND DISTANCE ESTIMATION SYSTEM MODEL FOR AUTONOMOUS VEHICLES USING DEEP LEARNING ALGORITHMS

Rahmawati

2008187

ABSTRACT

A speed bump detection system is an important component for level 3 and 4 autonomous vehicles, as instructed by the US National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). Various methods have been developed for speed bump detection systems, including the use of ultrasonic sensors and deep learning algorithms such as CNN, YOLOv2, and YOLOv5. However, these methods still have some shortcomings, such as too close detection distance, slow model processing speed, and mAP value less than 90%. Therefore, this research was conducted to design a speed bump detection and distance estimation system model for autonomous vehicles using deep learning algorithms. The research method used in this research is AI Project Cycle. The dataset used is a custom dataset compiled based on the speed bump rules applicable in Indonesia. The model developed uses the YOLOv8n architecture and the distance measurement method uses the concept of stereo vision with a stereo camera. The trained model has a mAP of 92.5%. The model is implemented on Jetson Nano with GPU support with computational speed reaching 3-4 FPS. The test results show that the model can detect and measure the distance of speed bumps during the day with a maximum distance of 20 meters, but it becomes limited at night. The average error value of distance estimation measurement reaches 0.41-0.891 meters. Light intensity is proven to affect the model's performance in detecting and measuring speed bump distance.

Keyword: Distance Estimation, Deep Learning, Object Detection, Speed Bump, YOLOv8

DAFTAR ISI

HALAMAN HAK CIPTA	i
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN BEBAS PLAGIARISME.....	iii
HALAMAN UCAPAN TERIMA KASIH	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Penelitian.....	1
1.2. Rumusan Masalah Penelitian	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	5
1.5. Batasan Penelitian	5
1.6. Struktur Organisasi Penelitian.....	6
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	7
2.1 Landasan Teori	7
2.1.1. <i>Machine Learning</i>	7
2.1.2. <i>Deep Learning</i>	8
2.1.3. Deteksi Objek.....	12
2.1.4. Kendaraan Otonom	13
2.1.5. <i>Speed Bump</i>	14
2.1.6. <i>Stereo Vision</i>	15
2.1.7. Mask R-CNN	17
2.1.8. YOLO.....	18
2.1.9. Intel RealSense <i>Camera</i>	20

2.1.10.	Metrik Evaluasi	21
2.2	Kerangka Pemikiran	23
BAB III METODE PENELITIAN.....		25
3.1.	Objek Penelitian	25
3.2.	Metode Penelitian.....	25
3.2.1	<i>Problem Scoping</i>	26
3.2.2	<i>Data Acquisition</i>	26
3.2.3	<i>Data Exploration</i>	31
3.2.4	<i>Modelling</i>	32
3.2.5	<i>Evaluation</i>	33
3.2.6	<i>Deployment</i>	33
BAB IV TEMUAN DAN PEMBAHASAN		35
4.1	Model Deteksi <i>Speed Bump</i> Menggunakan Algoritma <i>Deep Learning</i> .	35
4.1.1.	Mask R-CNN	35
4.1.2.	YOLOv4 Tiny	42
4.1.3.	YOLOv8.....	47
4.2	Estimasi Jarak.....	60
4.3	Implementasi Model Deteksi dan Estimasi Jarak <i>Speed Bump</i> pada Jetson Nano	62
BAB V SIMPULAN, IMPLIKASI, DAN REKOMENDASI		78
5.1.	Simpulan.....	78
5.2.	Implikasi.....	78
5.3.	Rekomendasi	79
DAFTAR PUSTAKA		81
LAMPIRAN.....		84

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ringkasan Penelitian Terdahulu	11
Tabel 2.2 <i>Confusion Matrix</i>	22
Tabel 3. 1 Skenario Pengambilan Data	29
Tabel 4.1 YOLOv8 <i>Pre-trained Model</i>	50
Tabel 4.2 <i>Hyperparameter Tuning</i>	52
Tabel 4.3 Performa Model Hasil <i>Tuning</i>	53
Tabel 4.4 <i>Hyperparameter Tuning Final</i>	54
Tabel 4.5 Performa Model <i>Final</i>	54
Tabel 4.6 Komparasi Model.....	59
Tabel 4.7 Perbandingan Kecepatan Model Deteksi <i>Speed Bump</i>	65
Tabel 4.8 Hasil Pengujian Model pada Siang Hari	69
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Model pada Malam Hari tanpa Penerangan dari Kendaraan	70
Tabel 4.10 Hasil Pengujian Model pada Malam Hari dengan Penerangan dari Kendaraan	71
Tabel 4.11 Hasil Pengujian Estimasi Jarak pada Siang Hari	73
Tabel 4.12 Hasil Pengujian Estimasi Jarak pada Malam Hari tanpa Penerangan dari Kendaraan	73
Tabel 4.13 Hasil Pengujian Estimasi Jarak pada Malam Hari dengan Penerangan dari Kendaraan	74
Tabel 4.14 Jarak Aman Kendaraan Otonom	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perbedaan <i>Machine Learning</i> dan <i>Deep Learning</i>	8
Gambar 2.2 Arsitektur <i>Deep Learning</i>	9
Gambar 2.3 <i>Speed Bump</i>	15
Gambar 2.4 Cara Kerja Kamera <i>Stereo</i>	16
Gambar 2.5 Ilustrasi Perhitungan Jarak pada Kamera <i>Stereo</i>	16
Gambar 2.6 Arsitektur Mask R-CNN	17
Gambar 2.7 Cara Kerja YOLO	19
Gambar 2.8 Arsitektur YOLOv8.....	20
Gambar 2.9 Intel RealSense <i>Depth Camera D450 Series</i>	21
Gambar 2.10 Intel RealSense <i>Depth Camera D455</i>	21
Gambar 2.11 Desain Penelitian.....	24
Gambar 3.1 AI Project Cycle	25
Gambar 3.2 Alur Pengerjaan.....	26
Gambar 3.3 Ilustrasi Pengambilan Video ketika Siang dan Malam Hari tanpa Penerangan.....	28
Gambar 3.4 Ilustrasi Pengambilan Video ketika Malam Hari dengan Penerangan	28
Gambar 3.5 Pengambilan Video pada (a) Siang Hari dan (b) Malam Hari	28
Gambar 3.6 Pengambilan Video pada Malam Hari (a) tanpa Penerangan dan (b) dengan Penerangan.....	29
Gambar 4.1 <i>Folder VIA</i>	36
Gambar 4.2 <i>VIA Home</i>	36
Gambar 4.3 Pilih Bentuk Anotasi di VIA	36
Gambar 4.4 Penamaan <i>Project</i> dan Tambah Data	37
Gambar 4. 5 Atribut Anotasi.....	37
Gambar 4.6 Anotasi Gambar.....	38
Gambar 4.7 Ekspor <i>File</i> Hasil Anotasi	38
Gambar 4.8 <i>File JSON</i> Hasil Anotasi	39
Gambar 4.9 Pengujian Model Mask R-CNN pada Gambar dalam <i>Dataset</i>	41
Gambar 4.10 Pengujian Model Mask R-CNN pada Gambar Data Baru	41
Gambar 4.11 Grafik Performa Model Mask R-CNN.....	42

Gambar 4.12 <i>File</i> TXT YOLO Darknet.....	42
Gambar 4.13 Buat <i>Dataset</i> Baru di Roboflow	43
Gambar 4.14 Ekspor <i>Dataset</i> ke YOLO Darknet	43
Gambar 4.15 <i>Dataset</i> YOLO Darknet	44
Gambar 4.16 Performa YOLOv4-Tiny	45
Gambar 4.17 Tes Model YOLOv4-Tiny.....	46
Gambar 4.18 Kotak Deteksi ketika tidak ada <i>Speed Bump</i>	46
Gambar 4.19 Kotak Deteksi ketika ada <i>Speed Bump</i>	47
Gambar 4.20 Ekspor <i>Dataset</i> ke YOLOv8	47
Gambar 4.21 <i>File</i> TXT YOLOv8.....	48
Gambar 4.22 Tambah <i>Dataset</i> dan GPU di Kaggle.....	49
Gambar 4.23 Performa Model YOLOv8n dengan <i>Optimizer</i> RAdam	56
Gambar 4.24 Performa Model YOLOv8n dengan <i>Optimizer</i> SGD.....	56
Gambar 4.25 <i>Confusion Metrics</i> Model YOLOv8n dengan <i>Optimizer</i> RAdam... 57	
Gambar 4.26 <i>Confusion Metrics</i> Model YOLOv8n dengan <i>Optimizer</i> SGD.....	57
Gambar 4.27 Pengujian Model Deteksi <i>Speed Bump</i> pada Data Baru secara Statis	58
Gambar 4.28 Pengujian Model Deteksi <i>Speed Bump</i> pada Data Baru secara <i>Streaming</i>	58
Gambar 4.29 Pengujian Program Estimasi Jarak.....	62
Gambar 4.30 Spesifikasi Jetson Nano.....	62
Gambar 4.31 Konfigurasi OpenCV CUDA <i>Backend</i>	64
Gambar 4.32 OpenCV dengan CUDA <i>Backend</i> telah Aktif.....	65
Gambar 4.33 Kecepatan Model Deteksi <i>Speed Bump</i> Menggunakan CPU Laptop	66
Gambar 4.34 Kecepatan Model Deteksi <i>Speed Bump</i> Menggunakan CPU Jetson Nano	66
Gambar 4.35 Kecepatan Model Deteksi <i>Speed Bump</i> Menggunakan GPU Jetson Nano	67
Gambar 4.36 Gambar (a) <i>Ground Truth</i> dan (b) Hasil Deteksi Objek	68
Gambar 4.37 Posisi Kamera pada Kendaraan Otonom.....	68

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 <i>Dataset</i>	84
Lampiran 2 Kode Sumber	84
Lampiran 3 Mask RCNN custom.ipynb.....	86
Lampiran 4 Mask RCNN config.py	95
Lampiran 5 Mask RCNN test_model.ipynb.....	104
Lampiran 6 YOLOv4 Tiny rename.py.....	115
Lampiran 7 YOLOv4 Tiny cfg.py	116
Lampiran 8 YOLOv4 Tiny obj.data.....	126
Lampiran 9 YOLOv4 Tiny process.py.....	127
Lampiran 10 YOLOv4 Tiny training.ipynb	128
Lampiran 11 YOLOv4 Tiny yolov4_realsense.py.....	132
Lampiran 12 YOLOv8 data.yaml	136
Lampiran 13 YOLOv8 spd_YOLOv8.ipynb	137
Lampiran 14 YOLOv8 yolo_realsense.py	140
Lampiran 15 Jetson <i>Deployment</i> cmake_cfg.txt	145
Lampiran 16 Hasil Pengujian pada Siang Hari	147
Lampiran 17 Hasil Pengujian pada Malam Hari tanpa Penerangan dari Lampu Kendaraan	151
Lampiran 18 Hasil Pengujian pada Malam Hari dengan Penerangan dari Lampu Kendaraan	155
Lampiran 19 Surat Pengangkatan Dosen Pembimbing.....	159

DAFTAR PUSTAKA

- Arunpriyan, J., Variyar, V. V. S., Soman, K. P., & Adarsh, S. (2020). Real-Time Speed Bump Detection using Image Segmentation for Autonomous Vehicles. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1039, 308–315.
- Azimah, F., Rizky, K., & Wardani, N. (2022). Sistem Pendeteksi Gejala Awal Covid-19 dengan Penggunaan Metode AI Project Cycle. *JURNAL LOCUS: Penelitian & Pengabdian*, 1(6), 405-418.
- Bochkovski, A., Wang, C.-Y., & Liao, H.-Y. M. (2020). YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection. doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2004.10934>.
- Cholissodin, I., Sutrisno, Soebroto, A. A., Hasanah, U., & Febiola, Y. I. (2020). *AI, Machine Learning & Deep Learning (Teori & Implementasi): Vol. 1.01*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Darwiche, M., & El-Hajj-Cehade, W. (2020). Speed Bump Detection for Autonomous Vehicles using Signal-Processing Techniques. *BAU Journal - Science and Technology*, 1(1), 1–9. doi: <https://doi.org/10.54729/2959-331x.1006>
- Dewangan, D. K., & Sahu, S. P. (2020). Deep Learning-Based Speed Bump Detection Model for Intelligent Vehicle System using Raspberry PI. *IEEE Sensors Journal*, 21(3), 1–9. doi: <https://doi.org/10.1109/JSEN.2020.3027097>
- Emani, S., Soman, K. P., Sajith Variyar, V. V., & Adarsh, S. (2019). Obstacle Detection and Distance Estimation for Autonomous Electric Vehicle using Stereo Vision and DNN. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 898, 639–648. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-13-3393-4_65
- Hasanujjaman, M., Chowdhury, M. Z., & Jang, Y. M. (2023). Sensor Fusion in Autonomous Vehicle with Traffic Surveillance Camera System: Detection, Localization, and AI Networking. *Sensors*, 23(6). doi: <https://doi.org/10.3390/s23063335>
- He, K., Gkioxari, G., Dollár, P., & Girshick, R. (2017). *Mask R-CNN*. <http://arxiv.org/abs/1703.06870>
- Intel. (2022). *Intel® RealSense™ TM Product Family D400 Series Datasheet Intel® RealSense™ Vision Processor D4, Intel® RealSense™ Vision*. www.intel.com/design/literature.htm.
- Isa, I. S., Rosli, M. S. A., Yusof, U. K., Maruzuki, M. I. F., & Sulaiman, S. N. (2022). Optimizing the Hyperparameter Tuning of YOLOv5 for Underwater Detection. *IEEE Access*, 10, 52818–52831. doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3174583>

- Jebastin, K., Dhinakaran, K., & Thangam, V. (2022). "Real Time Detection of Speed Hump/ Bump At Night Time". *Proceedings of the 2nd Indian International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, (hlm. 1203–1213), India: IEOM Society.
- Kardovskyi, Y., & Moon, S. (2021). Artificial Intelligence Quality Inspection of Steel Bars Installation by Integrating Mask R-CNN and Stereo Vision. *Automation in Construction*, *130*, 1–9. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103850>
- Kavitha, D., & Ravikumar, S. (2020). Designing an IoT Based Autonomous Vehicle Meant for Detecting Speed Bumps and Lanes on Roads. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, *12*(7), 7417–7426. doi: <https://doi.org/10.1007/s12652-020-02419-8>
- Kim, M. J., Yu, S. H., Kim, T. H., Kim, J. U., & Kim, Y. M. (2021). On the Development of Autonomous Vehicle Safety Distance by an RSS Model Based on A Variable Focus Function Camera. *Sensors*, *21*(20). doi: <https://doi.org/10.3390/s21206733>
- Peralta-López, J. E., Morales-Viscaya, J. A., Lázaro-Mata, D., Villaseñor-Aguilar, M. J., Prado-Olivarez, J., ..., & Barranco-Gutiérrez, A. I. (2023). Speed Bump and Pothole Detection using Deep Neural Network with Images Captured Through ZED Camera. *Applied Sciences*, *13*(14), 1–17. doi: <https://doi.org/10.3390/app13148349>
- Peraturan Menteri Perhubungan RI Nomor 14 Tahun 2021 Tentang Alat Pengendali dan Pengaman Pengguna Jalan, Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia 1.
- Putra, M. T. D., Adiwilaga, A., Clarissa, A., Gustiansyah, A. A. P., Kurniadi, A. D., & Mumtaz, Z. (2024). Alat Bantu Tuna Netra Berbasis Arduino Uno dan Artificial Intelligence dengan Metode YOLO v7. *Jurnal Ilmiah FIFO*, *15*(2), 159. doi: <https://doi.org/10.22441/fifo.2023.v15i2.007>
- Rahmad, F., Suryanto, Y., & Ramli, K. (2020). Performance Comparison of Anti-Spam Technology using Confusion Matrix Classification. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *879*(1). doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/879/1/012076>
- Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. *Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 779–788. doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1506.02640>
- Salih, T. A., & Basman Gh, M. (2020). A novel Face Recognition System Based on Jetson Nano Developer Kit. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *928*(3). doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/928/3/032051>

- Shah, S., & Deshmukh, C. (2019). "Pothole and Bump Detection using Convolution Neural Networks". *2019 IEEE Transportation Electrification Conference (ITEC-India)*. India: IEEE. doi: <https://doi.org/10.1109/ITEC-India48457.2019.ITECIndia2019-186>
- Süzen, A. A., Duman, B., & Şen, B. (2020). "Benchmark Analysis of Jetson TX2, Jetson Nano and Raspberry PI using Deep-CNN". *HORA 2020: 2nd International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications*. Ankara: HORA. doi: [10.1109/HORA49412.2020.9152915](https://doi.org/10.1109/HORA49412.2020.9152915)
- Terven, J., Córdova-Esparza, D. M., & Romero-González, J. A. (2023). A Comprehensive Review of YOLO Architectures in Computer Vision: from YOLOv1 to YOLOv8 and YOLO-NAS. *Machine Learning and Knowledge Extraction*, 5(4), 1680–1716. doi: <https://doi.org/10.3390/make5040083>
- Tian, D., Han, Y., Wang, B., Guan, T., Gu, H., & Wei, W. (2021). Review of Object Instance Segmentation Based on Deep Learning. *Journal of Electronic Imaging*, 31(04), 1–18. doi: <https://doi.org/10.1117/1.jei.31.4.041205>
- Wang, R., Luo, X., Ye, Q., Jiang, Y., & Liu, W. (2024). Research on Visual Perception of Speed Bumps for Intelligent Connected Vehicles Based on Lightweight FPNNet. *Sensors*, 24(7). doi: <https://doi.org/10.3390/s24072130>
- Yang, Z.-Y., Mou, Z.P., Wang, L. W., & Zhou, Y. (2022). Application of Lightweight Neural Network in Speed Bump Recognition of Autonomous Vehicle. *Journal of Computers*, 33(5), 29–38. doi: <https://doi.org/10.53106/199115992022103305003>
- Yun, H. S., Kim, T. H., & Park, T. H. (2019). Speed-Bump Detection for Autonomous Vehicles by Lidar and Camera. *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 14(5), 2155–2162. doi: <https://doi.org/10.1007/s42835-019-00225-7>
- Zhao, Z. Q., Zheng, P., Xu, S. T., & Wu, X. (2019). Object Detection with Deep Learning: A Review. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 30(11), 3212–3232. doi: <https://doi.org/10.1109/TNNLS.2018.2876865>
- Zheng, Y., Liu, P., Qian, L., Qin, S., Liu, X., ..., & Cheng, G. (2022). Recognition and Depth Estimation of Ships Based on Binocular Stereo Vision. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(8). doi: <https://doi.org/10.3390/jmse10081153>