

**DETEKSI OBJEK BERBASIS LIDAR DENGAN METODE
POINTPILLARS UNTUK KENDARAAN LISTRIK OTONOM
PADA LINGKUNGAN TERBATAS**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana
Komputer pada Program Studi S1 Rekayasa Perangkat Lunak



Oleh
Alif Ilman Nafian
NIM 2009431

**PROGRAM STUDI REKAYASA PERANGKAT LUNAK
KAMPUS UPI DI CIBIRU
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
2024**

**DETEKSI OBJEK BERBASIS LIDAR DENGAN METODE
POINTPILLARS UNTUK KENDARAAN LISTRIK OTONOM PADA
LINGKUNGAN TERBATAS**

Oleh

Alif Ilman Nafian

2009431

Diajukan untuk memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana
Komputer pada Program Studi S1 Rekayasa Perangkat Lunak

© Alif Ilman Nafian

Universitas Pendidikan Indonesia

Juni 2024

Hak cipta dilindungi Undang-Undang.

Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau Sebagian,
dengan dicetak ulang, difotokopi, atau cara lainnya tanpa izin dari penulis.

HALAMAN PENGESAHAN

ALIF ILMAN NAFIAN

**DETEKSI OBJEK BERBASIS LIDAR DENGAN METODE
POINTPILLARS UNTUK KENDARAAN LISTRIK OTONOM PADA
LINGKUNGAN TERBATAS**

Disetujui dan disahkan oleh pembimbing:

Pembimbing I



Dian Anggraini, S.ST., M.T.

NIP. 920190219930526201

Pembimbing II



Mochamad Iqbal Ardimansyah, S.T., M.Kom.

NIP. 920190219910328101

Mengetahui

Ketua Program Studi Rekayasa Perangkat Lunak



Mochamad Iqbal Ardimansyah, S.T., M.Kom.

NIP. 920190219910328101

iii

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN BEBAS PLAGIARISME

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “DETEKSI OBJEK BERBASIS LIDAR DENGAN METODE *POINTPILLARS* UNTUK KENDARAAN LISTRIK OTONOM PADA LINGKUNGAN TERBATAS” ini beserta seluruh 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 risiko/sanksi apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini.

Bandung, 24 Mei 2024

Yang membuat Pernyataan,



Alif Ilman Nafian

NIM. 2009431

HALAMAN UCAPAN TERIMAKASIH

Segala puji dan syukur senantiasa penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, Tuhan semesta alam, atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul "Deteksi Objek Berbasis Lidar Dengan Metode *Pointpillars* Untuk Kendaraan Listrik Otonom Pada Lingkungan Terbatas" sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Komputer pada Program Studi S1 Rekayasa Perangkat Lunak di Universitas Pendidikan Indonesia.

Selama penyusunan skripsi ini berlangsung, penulis menyadari bahwa banyak pihak yang selalu memberi bantuan dan dukungan sehingga pencapaian ini dapat terwujud. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih dan apresiasi setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. M. Solehuddin, M.Pd., MA., selaku Rektor Universitas Pendidikan Indonesia, yang telah memimpin Universitas Pendidikan Indonesia dengan penuh dedikasi dan memberikan kesempatan bagi penulis untuk belajar dan berkembang di Universitas Pendidikan Indonesia.
2. Bapak Prof. Dr. Deni Darmawan, M.Si, selaku Direktur UPI Kampus di Cibiru, yang telah senantiasa memberikan arahan dan bimbingan kepada seluruh civitas akademika UPI Kampus di Cibiru.
3. Bapak M. Iqbal Ardiansyah, S.T., M.Kom., selaku kepala program studi Rekayasa Perangkat Lunak dan dosen pembimbing kedua, yang telah memberikan arahan, bimbingan, dan dukungan yang penuh semangat kepada penulis selama masa perkuliahan serta meluangkan waktu dan tenaganya untuk memberikan saran dan masukan yang konstruktif bagi penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Ibu Dian Anggraini, S.ST., M.T., selaku dosen pembimbing pertama, yang telah dengan sabar membimbing, mengarahkan, dan memberikan masukan yang sangat berharga bagi penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Bapak Dr. Eng. Arief Suryadi Satyawan, M.T., selaku pembimbing lapangan BRIN pada penelitian skripsi ini, yang telah memberikan bimbingan dan arahan yang sangat bermanfaat bagi penulis dalam melakukan penelitian lapangan.

6. Para dosen di lingkungan Program Studi Rekayasa Perangkat Lunak yang telah dengan penuh dedikasi mengajar dan membimbing penulis selama masa perkuliahan.
7. Kedua orang tua beserta keluarga besar yang senantiasa selalu mendukung segala aktivitas dan keputusan yang dibuat oleh penulis serta selalu mendoakan penulis selama penyusunan skripsi berlangsung.
8. Rekan-rekan seperjuangan di Program Studi Rekayasa Perangkat Lunak, khususnya di paguyuban stingak, yang telah memberikan persahabatan, dukungan, dan bantuannya selama masa perkuliahan.
9. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyelesaian skripsi ini, baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak demi perbaikan skripsi ini di masa depan. Akhir kata, penulis berharap usaha kerja keras yang dilakukan oleh penulis dapat diridhoi oleh Allah SWT dan skripsi ini juga dapat memberikan manfaat bagi penulis, pembaca, dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya di bidang Rekayasa Perangkat Lunak.

Bandung, 11 Juni 2024



Penulis

ABSTRAK

DETEKSI OBJEK BERBASIS LIDAR DENGAN METODE *POINTPILLARS* UNTUK KENDARAAN LISTRIK OTONOM PADA LINGKUNGAN TERBATAS

Alif Ilman Nafian

2009431

Pengembangan sistem deteksi objek untuk kendaraan listrik otonom menggunakan metode lokalisasi berbasis Light Detection and Ranging (LIDAR) masih memiliki keterbatasan dalam identifikasi lokasi objek relatif terhadap perangkat LIDAR dan pengenalan lebih lanjut terhadap jenis objek. Informasi keberadaan objek saat ini hanya berupa bounding box tanpa klasifikasi lebih lanjut, yang menghambat pergerakan manuver dan perencanaan jalur kendaraan listrik otonom. Oleh sebab itu, pada penelitian ini dilakukan pengembangan metode deteksi dan klasifikasi objek berbasis data LIDAR dengan konsep PointPillars, yang memproses data secara real-time menggunakan konvolusi 2D dimana metode ini lebih efisien dibandingkan metode yang menggunakan konvolusi 3D. Studi ini diterapkan di lingkungan terbatas sekitar jalan perkantoran BRIN Bandung, menggunakan dataset point cloud dari enam objek utama yaitu human, wall, car, cyclist, cart, dan tree. Dari total 2423 dataset, 90% digunakan untuk pelatihan dan 10% untuk pengujian. Pengembangan PointPillars melibatkan desain arsitektur backbone, komposisi layer, ukuran voxel, dan pengaturan hyperparameter. Delapan konfigurasi model PointPillars dihasilkan, menggunakan backbone 2D BaseBEVBackbone dan BaseBEVResBackbone. Konfigurasi BaseBEVBackbone dengan layer 4;6;6 dan ukuran voxel 16000 menunjukkan kinerja optimal, mencapai akurasi minimum 95%, presisi minimum 84%, recall minimum 82%, f1-score minimum 85%, dan nilai mAP 82%. Hasil ini menunjukkan bahwa metode PointPillars yang dikembangkan mampu mendeteksi dan mengklasifikasi enam objek dalam lingkungan terbatas, sehingga berkontribusi signifikan pada peningkatan fitur klasifikasi dan deteksi kendaraan listrik otonom BRIN.

Kata Kunci: *LIDAR, PointPillars, Deteksi dan Klasifikasi Objek, BaseBEVBackbone, BaseBEVResBackbone*

ABSTRACT

LIDAR-BASED OBJECT DETECTION WITH POINTPILLARS METHOD FOR AUTONOMOUS ELECTRIC VEHICLE IN CONFINED ENVIRONMENTS

Alif Ilman Nafian

2009431

The development of object detection systems for autonomous electric vehicles using Light Detection and Ranging (LIDAR)-based localization methods is currently limited in accurately identifying the location of objects relative to the LIDAR device and in further recognizing object types. Existing information on object presence is confined to bounding boxes without further classification, hindering maneuvering and path planning of autonomous electric vehicles. Therefore, this study proposes a novel method for object detection and classification based on LIDAR data using the PointPillars concept, which processes data in real-time using 2D convolution, proving more efficient compared to 3D convolution methods. This study was conducted in a constrained environment around the BRIN Bandung office roads, utilizing a point cloud dataset of six main objects: human, wall, car, cyclist, cart, and tree. From a total of 2423 datasets, 90% were used for training and 10% for testing. The PointPillars development involved designing the backbone architecture, layer composition, voxel size, and hyperparameter settings. Eight PointPillars model configurations were produced, using the 2D BaseBEVBackbone and BaseBEVResBackbone backbones. The BaseBEVBackbone configuration with layers 4;6;6 and a voxel size of 16000 demonstrated optimal performance, achieving a minimum accuracy of 95%, a minimum precision of 84%, a minimum recall of 82%, a minimum F1-score of 85%, and an mAP value of 82%. These results indicate that the developed PointPillars method effectively detects and classifies six objects in a constrained environment, significantly contributing to the enhancement of classification and detection features for BRIN's autonomous electric vehicles.

Keywords: *LIDAR, PointPillars, Detection and Classification Object, BaseBEVBackbone, BaseBEVResBackbone,*

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN BEBAS PLAGIARISME	iv
HALAMAN UCAPAN TERIMAKASIH	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	14
1.1 Latar Belakang	14
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Penelitian	4
1.6 Struktur Organisasi Skripsi	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA	6
2.1 Kendaraan Otonom.....	6
2.1.1 Metode Lokalisasi	10
2.1.2 Metode Lokalisasi Berbasis LIDAR	11
2.2 LIDAR.....	12
2.2.1 Struktur Data LIDAR.....	13
2.2.2 Struktur Data LIDAR untuk Pendeteksian Objek 3D	14
2.3 ANN	15
2.3.1 CNN	16
2.3.2 CNN 2D dan 3D.....	19
2.4 <i>PointPillars</i>	21
2.4.1 Pillar Feature Net	22

2.4.2	Backbone (2D CNN).....	22
2.4.3	Detection Head (SSD).....	23
2.5	<i>Confusion Matrix</i>	24
2.6	Intersect over Union (IoU)	27
2.7	<i>Mean Average Precision</i>	28
2.8	Penelitian Terdahulu (<i>State of the Art</i>).....	29
BAB III METODE PENELITIAN.....		32
3.1	Desain Penelitian	32
3.1.1	Klarifikasi Penelitian.....	33
3.1.2	Studi Deskriptif 1	33
3.1.3	Studi Preskriptif	34
3.1.4	Studi Deskriptif 2	37
3.2	Prosedur Penelitian.....	38
3.3	Sumber Dataset.....	40
3.4	Instrumen Penelitian.....	41
3.5	Alat dan Bahan	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		46
4.1	Pembuatan Dataset	46
4.2	Proses Pelatihan Model	50
4.3	Proses Pengujian.....	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		60
5.1	Kesimpulan.....	60
5.2	Saran	60
DAFTAR RUJUKAN		62
LAMPIRAN.....		67

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Visualisasi tabel <i>confusion matrix</i>	25
Tabel 2.2 Visualisasi nilai-nilai <i>confusion matrix</i>	26
Tabel 2.3 Rumus perhitungan metrik evaluasi.....	27
Tabel 2.4 Penelitian terkait	29
Tabel 3.1 Tabel konfigurasi jaringan saraf <i>PointPillars</i>	37
Tabel 3.2 Proses seleksi dataset	41
Tabel 3.3 <i>Library</i> yang digunakan pada penelitian.....	41
Tabel 3.4 <i>Confusion matrix</i>	43
Tabel 3.5 Persamaan metrik-metrik evaluasi	43
Tabel 3.6 Alat dan bahan	44
Tabel 4.1 Pengaturan hiperparameter pelatihan.....	51
Tabel 4.2 Jumlah parameter delapan konfigurasi model	52
Tabel 4.3 Hasil pengujian konfigurasi model 1	52
Tabel 4.4 Hasil pengujian konfigurasi model 2	53
Tabel 4.5 Hasil pengujian konfigurasi model 3	53
Tabel 4.6 Hasil pengujian konfigurasi model 4	54
Tabel 4.7 Hasil pengujian konfigurasi model 5	54
Tabel 4.8 Hasil pengujian konfigurasi model 6	55
Tabel 4.9 Hasil pengujian konfigurasi model 7	55
Tabel 4.10 Hasil pengujian konfigurasi model 8	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Level kendaraan otonom berdasarkan SAE (Fayyad dkk., 2020).....	8
Gambar 2.2 Arsitektur tipikal kendaraan otonom (Badue dkk., 2021).....	9
Gambar 2.3 Penelitian kendaraan listrik otonom BRIN	10
Gambar 2.4 Contoh hasil metode lokalisasi pemetaan LOAM (Zou dkk., 2022)	12
Gambar 2.5 Prinsip pengukuran jarak dengan ToF LIDAR (Royo & Ballesta-Garcia, 2019).....	13
Gambar 2.6 Representasi struktur data <i>Pillar-based</i> (Zamanakos dkk., 2021)	14
Gambar 2.7 Prinsip kerja konsep ANN (Zhang dkk., 2023).....	15
Gambar 2.8 Contoh operasi konvolusi dua buah fungsi (X. Zhao dkk., 2024)	17
Gambar 2.9 Arsitektur FCL (Balas E. V. dkk., 2020)	19
Gambar 2.10 Proses konvolusi 2D (a) dan 3D (b) (W. Liu & Pan, 2024).....	21
Gambar 2.11 Diagram Proses Deteksi Objek pada Metode <i>PointPillars</i> (Lang dkk., 2019)	22
Gambar 2.12 <i>Intersection over Union</i> (IoU) (Padilla dkk., 2020).....	27
Gambar 3.1 Skema Penelitian.....	33
Gambar 3.2 Prosedur penelitian yang diusulkan.....	38
Gambar 3.3 Peta Rute Lingkungan BRIN KST Samaun Samadikun Bandung....	40
Gambar 4.1 visualisasi objek human, car, dan wall pada VeloView.....	46
Gambar 4.2 visualisasi objek cyclist, tree, dan cart pada VelovView	47
Gambar 4.3 tampilan <i>supervisely</i> anotasi dari objek car, cyclist, dan cart	48
Gambar 4.4 tampilan <i>supervisely</i> anotasi dari objek human dan wall.....	49
Gambar 4.5 tampilan <i>supervisely</i> anotasi dari objek tree	49
Gambar 4.6 Gambar grafik <i>training</i> loss 8 konfigurasi model	50
Gambar 4.7 Gambar grafik nilai AP setiap kelas pada 8 konfigurasi model.....	57
Gambar 4. 8 Gambar grafik nilai mAP setiap konfigurasi model.....	58

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar <i>Ground Truth</i> dan Prediksi Untuk Pengujian	67
Lampiran 2. Dokumentasi Pengambilan Dataset LIDAR.....	73
Lampiran 3. Log Proses Pelatihan	77

DAFTAR RUJUKAN

- Ajao, Q. (2023). Overview Analysis of Recent Development on Self-Driving Electric Vehicles. *International Journal Of Engineering Research And Technology (IJERT)*, 12(04).
- Albawi, S., Mohammed, T. A., & Al-Zawi, S. (2017). Understanding of a convolutional neural network. *2017 International Conference on Engineering and Technology (ICET)*, 1–6. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/ICEngTechnol.2017.8308186>
- Badue, C., Guidolini, R., Carneiro, R. V., Azevedo, P., Cardoso, V. B., Forechi, A., Jesus, L., Berriel, R., Paixão, T. M., Mutz, F., de Paula Veronese, L., Oliveira-Santos, T., & De Souza, A. F. (2021). Self-driving cars: A survey. *Expert Systems with Applications*, 165, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113816>
- Bai, L., Zhao, Y., & Huang, X. (2022). Enabling 3-D Object Detection With a Low-Resolution LiDAR. *IEEE Embedded Systems Letters*, 14(4), 163–166. <https://doi.org/10.1109/LES.2022.3170298>
- Balas E. V., Kumar Raghvendra, & Srivastava Rajshree. (2020). *Recent Trends and Advances in Artificial Intelligence and Internet of Things* (1 ed.). Springer Cham.
- Belbachir, A., Pasin, M., & Seghrouchni, A. E. F. (2018). Lightweight Cooperative Self-Localization as Support to Traffic Regulation for Autonomous Car Driving. Dalam M. Ivanović, C. Bădică, J. Dix, Z. Jovanović, M. Malgeri, & M. Savić (Ed.), *Intelligent Distributed Computing XI* (hlm. 73–79). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-66379-1_7
- Betz, J., Zheng, H., Liniger, A., Rosolia, U., Karle, P., Behl, M., Krovi, V., & Mangharam, R. (2022). Autonomous Vehicles on the Edge: A Survey on Autonomous Vehicle Racing. *IEEE Open Journal of Intelligent Transportation Systems*, 3, 458–488. <https://doi.org/10.1109/OJITS.2022.3181510>
- Bhadra, S., Sagan, V., Skobalski, J., Grignola, F., Sarkar, S., & Vilbig, J. (2024). End-to-end 3D CNN for plot-scale soybean yield prediction using multitemporal UAV-based RGB images. *Precision Agriculture*, 25(2), 834–864. <https://doi.org/10.1007/s11119-023-10096-8>
- Blessing, L. T. M., & Chakrabarti, A. (Ed.). (2009). DRM: A Design Research Methodology. Dalam *DRM, a Design Research Methodology* (hlm. 13–42). Springer London. https://doi.org/10.1007/978-1-84882-587-1_2
- Caesar, H., Bankiti, V., Lang, A. H., Vora, S., Liong, V. E., Xu, Q., Krishnan, A., Pan, Y., Baldan, G., & Beijbom, O. (2020). nuScenes: A Multimodal Dataset

- for Autonomous Driving. *2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 11618–11628. <https://doi.org/10.1109/CVPR42600.2020.01164>
- Fayyad, J., Jaradat, M. A., Gruyer, D., & Najjaran, H. (2020). Deep Learning Sensor Fusion for Autonomous Vehicle Perception and Localization: A Review. *Sensors*, *20*(15). <https://doi.org/10.3390/s20154220>
- Geiger, A., Lenz, P., Stiller, C., & Urtasun, R. (2013). Vision meets robotics: The KITTI dataset. *The International Journal of Robotics Research*, *32*(11), 1231–1237. <https://doi.org/10.1177/0278364913491297>
- Geiger, A., Lenz, P., & Urtasun, R. (2012). Are we ready for autonomous driving? The KITTI vision benchmark suite. *2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 3354–3361. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2012.6248074>
- Hou, Y., Wu, Z., Cai, X., & Zhu, T. (2024). The application of improved densenet algorithm in accurate image recognition. *Scientific Reports*, *14*(1), 8645. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-58421-z>
- Jain, K., Pereira, S., Shetty, V., D’Souza, L., & Mathew, A. (2023). Autonomous Vehicle. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, *11*(11), 1363–1369. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.56780>
- Kalaivani, S., Tharini, C., Viswa, T. M. S., Sara, K. Z. F., & Abinaya, S. T. (2024). ResNet-Based Classification for Leaf Disease Detection. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series B*. <https://doi.org/10.1007/s40031-024-01062-7>
- Kamath, U., Liu, J., & Whitaker, J. (2019). *Deep Learning for NLP and Speech Recognition*. Springer.
- Lajuardhie, H., Satyawan, A. S., Faroqi, A., & Rasyid, F. A. (2022). A Steering Stability Control for A Three-Wheeled Autonomus Electric Vehicle. *2022 8th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICWT55831.2022.9935468>
- Lang, A. H., Vora, S., Caesar, H., Zhou, L., Yang, J., & Beijbom, O. (2019). *PointPillars: Fast Encoders for Object Detection From Point Clouds*. *2019 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 12689–12697. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2019.01298>
- Liu, L., Lu, S., Zhong, R., Wu, B., Yao, Y., Zhang, Q., & Shi, W. (2021). Computing Systems for Autonomous Driving: State of the Art and Challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, *8*(8), 6469–6486. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.3043716>

- Liu, W., Anguelov, D., Erhan, D., Szegedy, C., Reed, S., Fu, C.-Y., & Berg, A. C. (2016). SSD: Single Shot MultiBox Detector. Dalam B. Leibe, J. Matas, N. Sebe, & M. Welling (Ed.), *Computer Vision – ECCV 2016* (hlm. 21–37). Springer International Publishing.
- Liu, W., & Pan, Y. (2024). Spatio-Temporal-Based Action Face Anti-Spoofing Detection via Fusing Dynamics and Texture Face Keypoints Cues. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, *70*(1), 2401–2413. <https://doi.org/10.1109/TCE.2024.3361480>
- Mao, J., Shi, S., Wang, X., & Li, H. (2023). 3D Object Detection for Autonomous Driving: A Comprehensive Survey. *International Journal of Computer Vision*, *131*(8), 1909–1963. <https://doi.org/10.1007/s11263-023-01790-1>
- Markoulidakis, I., Rallis, I., Georgoulas, I., Kopsiaftis, G., Doulamis, A., & Doulamis, N. (2021). Multiclass *Confusion Matrix* Reduction Method and Its Application on Net Promoter Score Classification Problem. *Technologies*, *9*(4). <https://doi.org/10.3390/technologies9040081>
- Mehendale, N., & Neoge, S. (2020). Review on Lidar Technology. *SSRN Electronic Journal*.
- Nurkahfi, G. N., Suyoto, Mardiana, V. A., Mitayani, A., Dinata, M. M. M., Krisnandi, D., Satyawan, A. S., Heryana, A., & Rozie, A. F. (2021). WiFi-AC Based Telecommunication Infrastructure for Autonomous Vehicle in Limited Area. *2021 International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics, and Telecommunications (ICRAMET)*, 43–48. <https://doi.org/10.1109/ICRAMET53537.2021.9650489>
- Paden, B., Čáp, M., Yong, S. Z., Yershov, D., & Frazzoli, E. (2016). A Survey of Motion Planning and Control Techniques for Self-Driving Urban Vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, *1*(1), 33–55. <https://doi.org/10.1109/TIV.2016.2578706>
- Padilla, R., Netto, S. L., & Da Silva, E. A. (2020). A survey on performance metrics for object-detection algorithms. *2020 International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP)*, 237–242.
- Peng, L., Wang, H., & Li, J. (2021). Uncertainty Evaluation of Object Detection Algorithms for Autonomous Vehicles. *Automotive Innovation*, *4*(3), 241–252. <https://doi.org/10.1007/s42154-021-00154-0>
- Plebe, A., Svensson, H., Mahmoud, S., & Da Lio, M. (2024). Human-inspired autonomous driving: A survey. *Cognitive Systems Research*, *83*, 101169. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2023.101169>
- Prasetya, D. S. A., Arseno, D., Pamukti, B., & Vidyanyingtyas, H. (2021). Experimental Analysis of Vehicle-to-Vehicle Communication using Light Detection and Ranging (LIDAR) for Detection and Data Transmission. *2021*

International Conference on Artificial Intelligence and Mechatronics Systems (AIMS), 1–6. <https://doi.org/10.1109/AIMS52415.2021.9466017>

- Royo, S., & Ballesta-Garcia, M. (2019). An Overview of Lidar Imaging Systems for Autonomous Vehicles. *Applied Sciences*, 9(19). <https://doi.org/10.3390/app9194093>
- Sahba, R., Sahba, A., & Sahba, F. (2020). Using a Combination of LiDAR, RADAR, and Image Data for 3D Object Detection in Autonomous Vehicles. *2020 11th IEEE Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)*, 427–431. <https://doi.org/10.1109/IEMCON51383.2020.9284930>
- Sana, F., Azad, N. L., & Raahemifar, K. (2023). Autonomous Vehicle Decision-Making and Control in Complex and Unconventional Scenarios—A Review. *Machines*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/machines11070676>
- Satyawan, A. S., Fuady, S., Mitayani, A., & Sari, Y. W. (2021). HOG Based Pedestrian Detection System for Autonomous Vehicle Operated in Limited Area. *2021 International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics, and Telecommunications (ICRAMET)*, 147–152. <https://doi.org/10.1109/ICRAMET53537.2021.9650473>
- Stodt, J., Reich, C., & Clarke, N. (2024). Unified Intersection Over Union for Explainable Artificial Intelligence. Dalam K. Arai (Ed.), *Intelligent Systems and Applications* (hlm. 758–770). Springer Nature Switzerland.
- Sun, P., Kretzschmar, H., Dotiwalla, X., Chouard, A., Patnaik, V., Tsui, P., Guo, J., Zhou, Y., Chai, Y., Caine, B., Vasudevan, V., Han, W., Ngiam, J., Zhao, H., Timofeev, A., Ettinger, S., Krivokon, M., Gao, A., Joshi, A., ... Anguelov, D. (2020). Scalability in Perception for Autonomous Driving: Waymo Open Dataset. *2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2443–2451. <https://doi.org/10.1109/CVPR42600.2020.00252>
- Tampuu, A., Matiisen, T., Semikin, M., Fishman, D., & Muhammad, N. (2022). A Survey of End-to-End Driving: Architectures and Training Methods. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 33(4), 1364–1384. <https://doi.org/10.1109/TNNLS.2020.3043505>
- Verdhan, V. (2021). VGGNet and AlexNet Networks. Dalam V. Verdhan (Ed.), *Computer Vision Using Deep Learning: Neural Network Architectures with Python and Keras* (hlm. 103–139). Apress. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-6616-8_4
- Yan, Y., Mao, Y., & Li, B. (2018). SECOND: Sparsely Embedded Convolutional Detection. *Sensors*, 18(10). <https://doi.org/10.3390/s18103337>

- Yan, Z., Duckett, T., & Bellotto, N. (2020). Online learning for 3D LiDAR-based human detection: experimental analysis of *point cloud* clustering and classification methods. *Autonomous Robots*, 44(2), 147–164. <https://doi.org/10.1007/s10514-019-09883-y>
- Zamanakos, G., Tsochatzidis, L., Amanatiadis, A., & Pratikakis, I. (2021). A comprehensive survey of LIDAR-based 3D object detection methods with deep learning for autonomous driving. *Computers & Graphics*, 99, 153–181. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cag.2021.07.003>
- Zhang, X., Zhang, X., & Wang, W. (2023). Artificial Neural Network. Dalam X. Zhang, X. Zhang, & W. Wang (Ed.), *Intelligent Information Processing with Matlab* (hlm. 1–37). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-6449-9_1
- Zhao, M., Sadhu, A., & Capretz, M. (2022). Multiclass anomaly detection in imbalanced structural health monitoring data using convolutional neural network. *Journal of Infrastructure Preservation and Resilience*, 3(1), 10. <https://doi.org/10.1186/s43065-022-00055-4>
- Zhao, X., Wang, L., Zhang, Y., Han, X., Deveci, M., & Parmar, M. (2024). A review of convolutional neural networks in computer vision. *Artificial Intelligence Review*, 57(4), 99. <https://doi.org/10.1007/s10462-024-10721-6>
- Zou, Q., Sun, Q., Chen, L., Nie, B., & Li, Q. (2022). A Comparative Analysis of LiDAR SLAM-Based Indoor Navigation for Autonomous Vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(7), 6907–6921. <https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3063477>