

PENERAPAN VISI KOMPUTER DALAM BIDANG KONSTRUKSI

Ryandra Narlan¹

¹ Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

Article Info

Available Online

Keywords:

*Computer vision
Artificial intelligence
Pavement condition
Construction*

Corresponding Author:

Ryandra Narlan
ryandranarlan@gmail.com

Abstract

Currently, computer vision, which is subfield of artificial intelligence, has been applied in various fields such as health, agriculture, transportation and construction. Along with the development of information technology, it is possible to apply computer vision with high accuracy and speed in the construction field. This paper aims to review articles on the utilization of computer vision in the construction field. Many artificial intelligence models developed today can be used in the construction field. The YOLO model is widely used in the construction field, including classifying and detecting damage to road pavement, counting the number of vehicles, detecting the use of personal protective equipment, detecting cracks in building structures, and monitoring unsafe conditions of workers in construction areas.

*Copyright © 2023 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved*

Pendahuluan

Artificial Intelligence atau kecerdasan buatan merupakan cabang dari ilmu komputer, terbukti sebagai alternatif pendekatan pemodelan yang efisien dan efektif dibandingkan dengan metode tradisional, terutama untuk menyelesaikan masalah yang berhubungan dengan ketidakpastian yang kompleks (Salehia, H., Burgueño R., 2018). Dengan penerapan kecerdasan buatan secara luas saat ini, teknik dan manajemen konstruksi telah mengalami transformasi digital secara cepat, dan untuk itu secara komprehensif perlu untuk dipahami (Pan Y., Zhang L., 2021). *Computer Vision* atau visi komputer merupakan bagian dari kecerdasan buatan, yang berfungsi untuk mengajarkan komputer memahami, menggali, menangkap, menginterpretasikan, dan memproses informasi penting dari data berupa citra, video dan sumber visual lainnya. Penerapan teknik

visi komputer telah digunakan secara luas di dunia saat ini hampir pada semua bidang (Paneru S., Jaelani, I., 2021), namun penyebarannya pada bidang teknik sipil masih lambat (Neuhausen M.,2022). Banyak masalah dalam dunia konstruksi yang memerlukan solusi oleh para ahli, yang berawal dari data visual hasil inspeksi dan observasi secara manual. Otomatisasi akan mengurangi biaya, menghemat waktu inspeksi dan meminimalkan kerentanan kesalahan (Zheng M., et al.,2020). Data berupa citra/photo, video sangat mudah didapatkan saat ini dengan biaya yang murah dengan kualitas yang baik (Koch, C. et al, 2015). Mengidentifikasi potensi penerapan visi komputer dalam bidang konstruksi akan sangat bermanfaat dalam menyelesaikan masalah masalah aktual dalam bidang konstruksi. Tujuan penulisan ini adalah untuk mengulas literatur-literatur yang menerapkan visi komputer dalam dunia konstruksi.

Tinjauan Pustaka

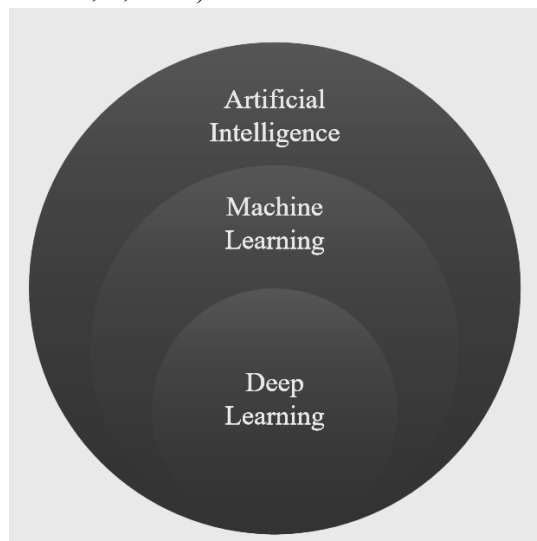
Artificial intelligence atau kecerdasan buatan adalah suatu metode untuk mengajarkan komputer untuk bertindak meniru sifat kecerdasan manusia dengan menggunakan algoritma untuk memecahkan masalah (Aryan Karn, 2021), mengeskraksi informasi yang relevan dan membantu membuat/menyarankan keputusan untuk menyelesaikan banyak masalah dalam dunia nyata (Amato G. et al., 2022, Khallaf R., Khallaf M. 2021). Visi komputer adalah bagian dari *Deep Learning*. *Deep Learning* adalah bagian *Machine Learning* dan *Machine Learning* sendiri merupakan bagian dari *Artificial Intelligence*. Pengertian istilah *Artificial intelligence*, *Machine learning*, *Deep learning* masih seringkali keliru dan tertukar (Khallaf R., Khallaf M. 2021, Salehia H., Burgueño R., 2018).

Teknik perangkat lunak berbasis visi komputer dan machine learning saat ini merupakan metode yang berpotensi untuk membantu penyelia menganalisa kondisi fisik dan fungsi infrastruktur berdasarkan citra dan/video dari bagian infrastruktur sipil (Karaaslan, E. et al. 2021).

Munculnya algoritma *deep learning* telah memungkinkan penerapannya secara luas ke berbagai bidang seperti kesehatan dan medis, mobil swakemudi, dan terjemahan bahasa. Penerapan *deep learning* dalam bidang konstruksi adalah bidang penelitian yang saat ini banyak diminati (Liu, J. et al. 2022).

Deep Neural Network adalah sejenis model *Neural Network* yang terinspirasi dari struktur dan fungsi otak manusia, mempunyai kemampuan yang lebih baik dalam identifikasi citra, sering digunakan dalam komputasi pada visi komputer. *Convolutional Neural Network* (CNNs) adalah bagian terpenting dari arsitektur *Deep Neural Networks* (DNNs), yang juga merupakan *basic building blocks* dari komputasi *Deep*

Learning dalam visi komputer (Aryan Karn, 2021, Rasche, C. 2019, Gaba, S. et al. 2022). *Convolutional Neural Network* (CNNs) memungkinkan visi komputer berkembang pesat dan merupakan metode yang paling banyak digunakan dalam *Deep Learning* (Khallaf R., Khallaf M. 2021, Paneru S., Jaelani, I., 2021).



Gambar 1. Ilustrasi hubungan antara Artificial intelligence (AI), Machine Learning (ML) dan Deep Learning (DL)

Visi komputer adalah kombinasi dari *image processing* atau pemrosesan citra dan pattern recognition (pengenalan pola), yang meniru kemampuan penglihatan manusia dalam mendapatkan informasi. Visi komputer menggunakan algoritma dan data pelatihan untuk secara otomatis mendeteksi pola (pattern recognition) (Aryan Karn, 2021, Messina, N. 2022, Salehia H., Burgueño R., 2018). Fungsi utama dari visi komputer adalah untuk menciptakan model dan mengekstraksi data dan informasi dari suatu citra (Wiley, V., Lucas, T. 2018). Metode dan teknik yang digunakan dalam menyelesaikan masalah dalam visi komputer tergantung pada bidang penerapan dan sifat dari data yang akan dianalisa. Terdapat beberapa teknik/algoritma yang digunakan dalam visi komputer yang berbasis *deep learning* yaitu *Image*

Classification (Klasifikasi Citra), *Object Detection* (Pendeteksian Objek), *Object Tracking* (Penelusuran Objek), *Object segmentation*, *Pose/Activity/Action recognition* (Pengenalan pose/aktivitas/aksi) (Joshi, D. et al. 2022, Liu, J. et al. 2022, Paneru S., Jaelani, I., 2021, Rasche, C. 2019).

Teknik teknik visi komputer tersebut digunakan di bidang konstruksi antara lain untuk manajemen keselamatan, inspeksi mutu, pemantauan produktivitas, perkiraan pose pekerja dan peralatan, deteksi pemakaian alat pelindung diri, membandingkan rencana dan realisasi pekerjaan (Paneru S., Jaelani, I., 2021, Liu, J. et al. 2022), penghitungan jumlah kendaraan pada suatu ruas jalan (Oni A. A., Kajoh N., 2019), *structural health monitoring* atau monitoring kesehatan struktur bangunan (Salehia H., Burgueño R., 2018), diantaranya digunakan untuk mendeteksi adanya retak, lubang, korosi, kekencangan baut, dan cacat lainnya (Liu, J. et al. 2022)

Kerangka pemikiran

Penelitian ini diawali dengan pengumpulan jurnal akademis yang dapat diakses oleh penulis, yang dipublikasikan oleh *Science Direct* dan *Researchgate*, dengan mengetikkan kata kunci *artificial intelligence in construction*, *computer vision in construction* pada fitur pencarian. Pencarian referensi penelitain juga dilakukan pada mesin pencarian *Google* dengan kata kunci yang sama pada pencarian di *Science Direct*, *Researchgate*. 95 judul berhasil dikumpulkan baik berupa jurnal, buku maupun disertasi. Dari proses pengumpulan karya tulis akademis ini, dilakukan seleksi dan pengelompokan hingga didapatkan 20 tulisan akademis yang relevan dan terbaru (dipublikasikan pada rentang tahun 2020 hingga 2022). Hasil review terhadap tulisan akademis tersebut, penggunaan visi komputer

dalam bidang konstruksi dapat dikelompokkan untuk :

- 1) mendeteksi kerusakan pada perkerasan aspal
 - 2) penghitungan jumlah kendaraan
 - 3) mendeteksi keretakan bangunan
 - 4) manajemen keselamatan konstruksi
- selanjutnya masing masing tulisan dalam kelompok tersebut ditinjau terhadap penggunaan model/ algoritma, teknik visi komputer, jumlah citra dataset, dan kinerja model/algoritmanya yang kemudian disajikan dalam bentuk tabel.

Visi komputer untuk mendeteksi kerusakan pada perkerasan aspal

Dalam penelitian Ali, R.G. et al. 2022, dengan sampel 120 photo menggunakan model *RetinaNet* untuk mendeteksi lubang pada perkerasan jalan menggunakan model *Conditional Random Field*, hasil penelitiannya menghasilkan akurasi 93.04 %, MAP 89 %, Recall 85%.

Tahir H. et al. 2022, menggunakan data berupa 500 photo untuk melakukan penelitian untuk mendeteksi lubang pada citra perkerasan jalan dengan model *FactorNet_V1* yang berbasis *Faster R-CNN* kemudian dibandingkan dengan model *Detectron2* yang berbasis *Mask R-CNN*. Hasil penelitian menunjukkan *FactorNet_V1* mengungguli *Detectron2* dengan tingkat akurasi > 84 %.

Al-Shaghouri A. et. al 2021, dalam studinya melakukan perbandingan beberapa arsitektur *deep learning* untuk mendeteksi keberadaan lubang pada citra pekerasan jalan secara langsung/realtime. Sebanyak 1.087 photo dari berbagai sumber, yang kebanyakan diambil dengan menggunakan telepon genggam yang

dipasangkan di kaca depan mobil. Hasil penelitian menunjukkan YOLOv4 dengan MAP 85.39% dengan kecepatan deteksi 20 FPS dan mampu mendeteksi lubang dalam jarak seratus meter.

Heitzmann P., 2022, dalam 2020 *Global Road Damage Detection Challenge* ("GRDC") menggunakan YOLO ("You Only Look Once") dan *Faster R-CNN* untuk mendeteksi kerusakan jalan. Data set dikumpulkan dari berbagai negara dengan jumlah 21,041 buah citra perkerasan jalan dengan ukuran 600x600 dan 720x720 piksel. Dari hasil kompetisi, model berbasis YOLO menghasilkan skor F1 0.68 yang menempati urutan ke 5 dari 121 tim peserta kompetisi.

Visi komputer untuk penghitungan jumlah kendaraan

Visi komputer dalam penghitungan jumlah kendaraan dalam sistem manajemen transportasi, terdiri dari tiga modul terpisah yang bekerja bersama sama. Ketiga modul tersebut adalah pendeteksi, pelacak dan penghitung. Dari beberapa percobaan pada masing-masing modul yang dilakukan oleh Oni A. A., Kajoh N., 2019, algoritma dengan hasil yang paling akurat dan relatif cepat yang digunakan dalam modul pendeteksi adalah YOLOv3, sedangkan modul pelacak dengan hasil yang terbaik menggunakan algoritma *Discriminative Correlation Filter with Channel and Spatial Reliability* (DCF-CSR) dibandingkan *modul tracking* yang lain yang dicoba digunakan yaitu algoritma *Centroid Tracking*, *Camshift* dan *Kernelized Correlation Filters*.

Pratama, Y., Rasywir, E. 2021, membuktikan penggunaan *OpenCV* bersama dengan algoritma YOLOv4 yang berbasis CNN (*Convolutional Neural Network*) sebagai modul pendeteksi yang baik untuk penghitungan jumlah kendaraan, sementara

Singh, M.K. et al., 2021, menggunakan *OpenCV* bersama dengan algoritma YOLOv3 untuk pengendalian dan pengaturan lalu lintas secara langsung dengan kecepatan deteksi > 10 *frame per second* (fps). Kemampuan model yang digunakan ini dapat mencapai 20 fps bila menggunakan processor komputer dan kartu video yang lebih tinggi.

Visi komputer untuk mendeteksi keretakan bangunan

Zheng, M., et al. 2020 melakukan penelitian menggunakan model berbasis *convolutional neural network* (CNN) yang secara otomatis dapat mendeteksi dan segmentasi keretakan. Sumber data berupa citra digital diambil secara manual pada permukaan bangunan seperti jalan, jembatan, gedung, dan bendungan menggunakan kamera handphone. Pengambilan citra dilakukan dengan variasi terhadap beberapa kondisi waktu dan jarak pengambilan. Penelitian ini membandingkan penggunaan model *Richer Fully Convolutional Networks* (RFCN), *Fully Convolutional Networks* (FCN) dan *Regions with CNN features* (R-CNN) dalam hal akurasi, kecepatan dan penggunaan memori komputer dalam mendeteksi keretakan pada bangunan. Hasil penelitian menunjukkan indeks performa Model RFCN pada pemrosesan citra jalan lebih baik dari citra bendungan. Waktu terpakai pada proses pelatihan model RFCN lebih lama namun pemakaian memori lebih rendah. Dibandingkan dengan model lain yang dibandingkan, dalam semua aspek performa segmentasi model RFCN lebih baik, lebih stabil dan lebih kosnsiten dengan hasil 83%.

Joshi D. et al. 2020, melakukan penelitian untuk mendeteksi dan melakukan segmentasi keretakan pada permukaan beton menggunakan pengembangan model *Faster R-CNN* dengan memodifikasi arsitektur pada

setiap tingkatan untuk meningkatkan akurasi deteksi dan segmentasi. Penelitian menggunakan 3.000 sampel citra permukaan beton yang diambil menggunakan kamera telepon genggam. Dari 3.000 citra tersebut dilakukan augmentasi dengan 6 transformasi secara acak yaitu crop, flip, rotasi, dan hue menghasilkan 33.000 citra untuk menghasilkan generalisasi model. Dari 33.000 dataset yang dilabeli secara manual, dataset dibagi menjadi 70% data untuk pelatihan model, 20% data untuk validasi dan 10% data untuk pengujian. Model yang diusulkan dilatih dalam dua tahap, dimana pada tahap 1 model dilatih terhadap data MS COCO yang tersedia umum yang terdiri dari citra dalam konteks alami seperti orang, sepeda, binatang, jam dan lainnya. Bobot yang diperoleh dari pelatihan tahap 1 digunakan sebagai bobot *transfer learning* pada tahap 2 untuk dilakukan penyesuaian hyperparameter nya. Dengan menerapkan teknik *transfer learning*, waktu yang dibutuhkan untuk pelatihan model menjadi lebih cepat. Kinerja model algoritma pendeteksian retak diukur dengan nilai ketepatan rata-rata menggunakan konsep irisan terhadap gabungan (*Intersection over Union/IoU*) dengan hasil 74.156% dan 93.445% pada ambang batas IoU 0.7 dan 0.5 untuk segmentasi retak.

Visi komputer untuk manajemen keselamatan konstruksi

Dalam review literatur yang dilakukan Liu, J. et al. 2022, penggabungan teknologi yang ada seperti *Internet of Things* (IoT) dan visi komputer telah dipasang untuk memantau aktifitas harian di lokasi proyek konstruksi, misalnya memantau perilaku pekerja dan kondisi kerja yang tidak aman di lokasi konstruksi. Penelitian penerapan visi komputer dalam bidang keselamatan konstruksi saat ini masih terfokus pada

penggunaan citra/video untuk memantau keselamatan konstruksi secara otomatis terutama untuk mencegah perilaku tidak aman para pekerja dan pemantauan kesehatan struktur bangunan. Berdasarkan metode yang digunakan untuk memonitor perilaku tidak aman secara otomatis, teknik visi komputer yang digunakan dikategorikan pada (1) teknik deteksi objek (*object detection*); (2) teknik pengukuran kedekatan (*proximity measurement*); (3) teknik berbasis aktivitas (*activity-based*); dan (4) teknik berbasis penalaran semantik (*semantic reasoning*). YOLO V3 digunakan untuk mendeteksi apakah pekerja menggunakan APD seperti helm, rompi, tali pengaman dengan hasil MAP (*mean average precision*) 72.3% dan kecepatan 11 fps (*frame per second*).

Mask R-CNN digunakan pada teknik pengukuran kedekatan untuk mendeteksi pekerja yang memasuki area berbahaya seperti area kerja alat berat yang dapat menyebabkan kecelakaan tertabrak, dan YOLOv2 untuk mengukur jarak antara pekerja dan lokasi pabrik produksi/plant. Model CNN diterapkan untuk mengekstrak fitur dari video dan menerapkan model LSTM untuk mengenali perilaku tidak aman. Dalam teknik berbasis *semantic reasoning*, model pengenalan hubungan manusia dan objek /*human-object interaction* (HOI) digunakan untuk mendeteksi hubungan spasial antara objek dalam citra digital sehingga implikasi bahaya pada citra dapat ditentukan dan terdeteksi.

Sementara Chian et al., 2021 dalam penelitiannya mengembangkan pendekatan deteksi berbasis visi komputer *Masks Comparison Approach* (MCA) dan *Missing Object Detection Approach* (MODA) untuk secara otomatis mendeteksi ketiadaan penghalang untuk mencegah terjatuhnya pekerja dari ketinggian dari suatu area

konstruksi. Hasilnya menunjukkan bahwa model MODA menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan dengan model MCA dengan nilai AP (*average precision*) 57.9% dan Rec (*recall*) 73.6%.

2021, Zheng, M., et al. 2020, Joshi D. et al. 2020)

Pembahasan

Penelitian visi komputer dalam bidang konstruksi saat ini masih terus berkembang untuk meningkatkan kecepatan proses pengolahan citra dan keakuratan hasil dengan penerapan berbagai model dan algoritma seperti terlihat pada tabel 1.

Convolutional Neural Network (CNN) merupakan bagian yang penting pada arsitektur *Deep Neural Network* yang banyak digunakan dalam teknik visi komputer untuk pemodelan dalam bidang konstruksi berbasis *Deep Learning* (Aryan Karn, ,2021, Rasche, C. 2019, Gaba, S. et al. 2022, Khallaf R., Khallaf M. 2021, Paneru S., Jaelani, I., 2021).

Model YOLO adalah model yang paling banyak dipakai dalam memecahkan masalah dalam bidang konstruksi (Al-Shaghouri A. et. al.2021, Heitzmann P.,2022, Oni A. A., Kajoh N., 2019, Pratama, Y. Rasywir, E 2021, Singh, M.K. et al.2021, Liu, J. et al. 2022, Chian et al., 2021), sedangkan teknik visi komputer yang paling banyak digunakan adalah teknik deteksi objek, diikuti dengan pelacakan objek dan segmentasi.

Dalam pelatihan model visi komputer yang diterapkan dalam bidang konstruksi memerlukan banyak data citra atau photo dan digunakan khusus hanya untuk aplikasi pemodelan tertentu, namun demikian hasilnya dapat digunakan untuk pemodelan lain dengan metode *transfer learning* (Joshi D. et al. 2020).

Pengambilan photo untuk *dataset* pelatihan model dapat dilakukan dengan menggunakan telepon genggam (Al-Shaghouri A. et. al

Tabel 1. Penerapan visi komputer pada bidang konstruksi

Referensi	Aplikasi pada Konstruksi	Bidang	Model/ Algoritma	Teknik Visi Komputer	Jumlah Citra Dataset	Kinerja
Ali, R.G. et al. 2022	Deteksi lubang perkerasan aspal	pada	1) Deep RetinaNet 2) Conditional Random Field	Deteksi Objek Segmentasi	120	Mean Average Precision 89%
Al-Shaghouri A. et. al.2021	Deteksi lubang perkerasan aspal	pada	1) YOLOv4	Deteksi Objek	1.087	Mean Average Precision 85,39 %
Heitzmann P., 2022	Deteksi kerusakan jalan		1) YOLOv5 dan Faster R-CNN	Deteksi Objek	21.041	F1 68%
Oni A. A., Kajoh N., 2019	Penghitungan kendaraan	jumlah	1) YOLOv3 2) Discriminative Correlation Filter with Channel and Spatial Reliability DCF-CSR 3) Centroid Tracking 4) Camshift 5) Kernelized Correlation Filters	Deteksi Objek Pelacakan Objek	Tidak dinyatakan	Lebih akurat dan lebih cepat Memberikan hasil terbaik dar Centroid Tracking, Camshift dan Kernelized Correlation Filters
Pratama, Y. Rasywir, E 2021	Penghitungan kendaraan	jumlah	1) YOLOv4	Deteksi Objek	Menggunakan MS COCO dataset	Cenderung Baik
Singh, M.K. et al.2021	Pengendalian dan pengaturan lalu lintas secara langsung		1) YOLOv3	Deteksi Objek	Menggunakan MS COCO dataset	> 10 frame per second
Zheng, M., et al. 2020	Mendeteksi keretakan struktur bangunan		1) RFCN 2) FCN 3) R-CNN	Deteksi Objek	5.000	87% dari rata-rata total indeks PA, Pixel Accuracy) , MPA, MIoU (Mean Intersection over Union), FWIoU (Frequency Weight Intersection over Union).
Joshi D. et al. 2020	Deteksi dan segmentasi keretakan beton		1) Faster R-CNN	Deteksi dan Segmentasi	33.000	IoU 74.156% pada Tres 0.7 Iou 93.445% pada Tres 0.5
Liu, J. et al. 2022	Deteksi penggunaan Pelindung Diri Pengukuran kedekatan terhadap area berbahaya Mengenali perilaku tidak aman	Alat	1) YOLO V3 1) Mask R-CNN dan YOLO V2	Deteksi Objek Pelacakan Objek		
Chian et al., 2021	Mendeteksi ketiadaan penghalang/pagar pengaman		1) Missing Object Detection Approach (MODA) 2) Masks Comparison Approach (MCA)	Deteksi Objek	853	AP 57.9%, Rec 73.6%, 12.5 fps AP 20%, Rec 60%, 4,25 fps
	Mendeteksi berbagai obyek dalam bidang konstruksi		1) YOLO, SSD300, RetinaNet, FCOS, NAS-FPN, ResNet-50, Faster R-CNN, TridentFast, VGG- 16, Xception	Deteksi Objek		

dengan berbagai variasi posisi kamera seperti pada dashboard mobil, kaca mobil (Al-Shaghouri A. et. al 2021), variasi jarak objek dengan kamera dan variasi waktu pengambilan pada pagi, siang, dan sore hari (Zheng, M., et al. 2020).

Belum ada acuan dalam hal teknik pengambilan photo dan jumlah photo dataset agar proses pelatihan model berjalan dengan cepat dan hasil yang lebih akurat. Jumlah photo dataset bervariasi mulai dari yang paling sedikit sejumlah ratusan photo (Ali, R.G. et al. 2022, Chian et al., 2021), ribuan photo (Al-Shaghouri A. et. al.2021, Zheng, M., et al. 2020) hingga puluhan ribu photo (Heitzmann P., 2022, Joshi D. et al. 2020).

Pelabelan photo dalam proses penyiapan dataset untuk pelatihan model masih dilakukan secara manual. Proses ini memerlukan waktu yang tergantung dengan jumlah photo yang akan ditandai. Proses pelabelan ini juga memerlukan ketelitian, mengingat apabila terjadi kesalahan dalam pelabelan akan berdampak pada kesalahan model dalam memprediksi data yang diujikan. Untuk mengukur performa model dinyatakan dalam berbagai indeks antara lain 1) Acc (*Accuracy*); 2) Pre (*Precision*); 3) Rec (*Recall*); 4) F1 (*Harmonic value*); 5) MAP (*Mean Average Precision*); 6) FPS (*Frame per second*).

Kesimpulan

Teknik pada visi komputer berupa klasifikasi, deteksi, pelacakan dan segmentasi sangat berguna dan dapat diterapkan untuk menyelesaikan berbagai masalah dalam bidang konstruksi. Penggunaan visi komputer dalam bidang konstruksi masih dalam tataran pemodelan untuk mendapatkan model dengan tingkat kecepatan dan akurasi yang tinggi untuk diterapkan pada bidang konstruksi. Untuk itu, teknologi ini perlu untuk diteliti dan dikembangkan lebih lanjut pemanfaatannya agar dapat diaplikasikan dalam bidang konstruksi dengan akurat, cepat, mudah dan dengan biaya yang murah. Model YOLO dengan berbagai versinya banyak digunakan dalam bidang konstruksi antara

lain untuk klasifikasi dan deteksi kerusakan pada perkerasan jalan, penghitungan jumlah kendaraan, deteksi penggunaan alat pelindung diri, deteksi keretakan pada struktur bangunan, dan pemantauan kondisi tidak aman pekerja pada area konstruksi.

Daftar pustaka

- Ali, R.G., Adnan S.M., Nida N., Ahmad W., Bilal F., 2022. *Asphalt Pavement Potholes Localization and Segmentation Using Deep RetinaNet and Conditional Random Fields*. International Journal of Innovations in Science & Technology. December. Vol 3, Special Issue
- Al-Shaghouri, Alkhatib R., Berjaoui S., 2021. *Real-Time Pothole Detection Using Deep Learning*. <https://www.researchgate.net/publication/3532584.2> Diakses pada 2 Oktober 2022
- Amato G., Carrara F., Ciampi L., Benedetto M.D., Gennaro C., Falchi F., Messina N., Vairo C. 2022. *AI and Computer Vision for Smart Cities*. Conference: I-Cities At: 14-16 September
- Aryan Karn, 2021. *Artificial Intelligence In Computer Vision*. International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology. Vol. 6, Issue 1, ISSN No. 2455-2143, Pages 249-254
- Chian E., Fang W., Goh Y.M., Tian J., 2021. *Computer vision approaches for detecting missing barricades*. Automation in Construction 131 (2021) 103862
- Gaba, S., Budhiraja I, Kumar V, Garg S, Kaddoum G, Hassan M.M.,2022. *A federated calibration scheme for convolutional neural networks: Models, applications and challenges*. Computer Communications 192 (2022) 144–162
- Heitzmann P., 2022. *A Computer Vision-assisted Approach to Automated Real-Time Road Infrastructure Management*. arXivpreprint arXiv:2202.13285v1[cs.CV] 27 Feb 2022.
- Joshi, D., Singh, T.P., Sharma, G. 2022. *Automatic surface crack detection using segmentation-based deep-learning approach*. Engineering Fracture Mechanics 268 (2022) 108467

- Karaaslan, E., Bagci, U., Catbas, F.N. 2021. *Attention-guided analysis of infrastructure damage with semi-supervised deep learning*. Automation in Construction 125 (2021) 103634
- Khallaf R., Khallaf M., 2021. *Classification and analysis of deep learning applications in construction: A systematic literature review*. Automation in Construction 129 (2021) 103760
- Koch, C., Georgieva, K., Kasireddy, V., Akinci, B. Fieguth, P., 2015. *A review on computer vision based defect detection and condition assessment of concrete and asphalt civil infrastructure*. Advanced Engineering Informatics 29 (2015) 196–210
- Liu, J., Luo, H., Liu, H. 2022. *Deep learning-based data analytics for safety in construction*. Automation in Construction 140 (2022) 104302
- Messina, N. 2022. *Relational Learning In Computer Vision*. Doctoral Thesis. The University of Pisa. May 2022. Cycle XXXIV
- Neuhausen M., 2022. *Assessment of Computer Vision Methods in Civil Engineering*. Dissertation, Department of Civil and Environmental Engineering of Ruhr-Universität Bochum.
- Oni A. A., Kajoh N., 2019. *Video-Based Vehicle Counting System for Urban Roads in Nigeria Using Yolo and DCF-CSR Algorithms*. International Journal of Engineering Research and Technology. ISSN 0974-3154, Volume 12, Number 12. pp. 2550-2558
- Pan Y., Zhang L., 2021. *Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: A critical review and future trends*. Automation in Construction 122 (2021) 103517
- Paneru S., Jaelani, I., 2021. *Computer vision applications in construction: Current state, opportunities & challenges*, Automation in Construction 132 (2021) 103940
- Pratama, Y. Rasywir, E. 2021. *Eksperimen Penerapan Sistem Traffic Counting dengan Algoritma YOLO (You Only Look Once) V.4*. Jurnal Media Informatika Budidarma Volume 5, Nomor 4, Oktober 2021, Page 1438-1446
- Rasche, C. 2019. *Computer Vision, An Overview For Enthusiasts*. Book. Polytechnic University of Bucharest
- Salehia, H., Burgueño R., 2018. *Emerging artificial intelligence methods in structural engineering*. Engineering Structures 171 (2018) 170–189
- Singh, M.K., Mishra, K.D., Sahana, S. 2021. *An Intelligent Realtime Traffic Control Based on Vehicle Density*. International Journal of Engineering Technology and Management Sciences. Volume No.5. ISSN: 2581-4621
- Tahir H., Choi J., Jung E.S., 2022. *Lightweight Deep Learning Model for Road Pothole Detection*. : <https://www.researchgate.net/publication/358552495>. Diakses pada 1 Oktober 2022
- Wiley, V., Lucas, T. 2018. *Computer Vision and Image Processing: A Paper Review*. International Journal Of Artificial Intelligence Research, Vol 2, No 1, June, pp. 28-36
- Zheng, M., Lei, Z., Zhang, K. Minjuan Zheng, Zhijun Lei, Kun Zhang, 2020. *Intelligent detection of building cracks based on deep learning*. Image and Vision Computing 103(2020)1039