
PENERAPAN TEKNOLOGI DEEP LEARNING DENGAN YOLOV4 DAN ALGORITMA SEGMENTASI SEMANTIK UNTUK MENDETEKSI JALAN BERLUBANG DALAM PENINGKATAN INFRASTRUKTUR TRANSPORTASI

Muhammad Amin^{1*}, Irianto¹, Feby Ariska¹

Universitas Royal

email: mhdamin7@gmail.com

Abstract: *Potholes are a serious problem in transportation infrastructure that directly impacts driver safety and travel efficiency. This study proposes a deep learning-based method by integrating the YOLOv4 algorithm for rapid object detection and using semantic segmentation to produce more precise pixel image analysis of various forms of potholes. The YOLOv4 method (You Only Look Once version 4) is used as the main algorithm in the object detection process because of its ability to identify objects in real-time with high speed and optimal accuracy. This study lies in a hybrid approach between object detection using YOLOv4 and semantic segmentation with DeepLab, which enables the system to recognize potholes. Testing was carried out using two methods: by inputting images (PNG/JPG) and using real-time video input via webcam. The dataset used was 1,561 images with various variants of road damage, which were annotated and labeled using Roboflow. The test results of the YOLOv4 model showed a detection accuracy ranging from 90–92%, with the highest performance of 95% for large potholes at close range, and a minimum of 59% for small potholes at long distances. These results confirm the effectiveness of YOLOv4 in quickly and accurately detecting potholes across various road conditions. This research is expected to contribute to the automation of road infrastructure maintenance systems, reduce the risk of traffic accidents, and improve the comfort and safety of road users.*

Keywords: *pothole detection; YOLOv4; deep learning; semantic segmentation; transportation infrastructure*

Abstrak: Kerusakan jalan berlubang menjadi permasalahan serius dalam infrastruktur transportasi yang berdampak langsung terhadap keselamatan pengendara dan efisiensi perjalanan. Penelitian ini mengusulkan metode berbasis deep learning dengan mengintegrasikan algoritma YOLOv4 untuk deteksi objek secara cepat dan menggunakan segmentasi semantik guna menghasilkan analisis gambar piksel yang lebih presisi terhadap berbagai bentuk jalan berlubang. Metode YOLOv4 (You Only Look Once versi 4) digunakan sebagai algoritma utama dalam proses deteksi objek karena kemampuannya dalam melakukan identifikasi objek secara real-time dengan kecepatan tinggi dan akurasi yang optimal. Penelitian ini terletak pada pendekatan hibrida antara deteksi objek menggunakan YOLOv4 dan segmentasi semantik dengan DeepLab, yang memungkinkan sistem dapat mengenali jalan berlubang. Pengujian dilakukan dengan dua metode yaitu dengan cara input menggunakan citra (PNG/JPG) dan menggunakan input video real-time melalui webcam. Dataset yang digunakan berjumlah 1.561 citra dengan berbagai varian kerusakan jalan, yang dianotasi dan dilabeli menggunakan Roboflow. Hasil pengujian model YOLOv4 menunjukkan akurasi deteksi berkisar antara 90–92%, dengan performa tertinggi sebesar 95% untuk lubang besar pada jarak dekat, dan minimum 59% untuk lubang kecil pada jarak jauh. Hasil ini menegaskan efektivitas YOLOv4 dalam mendeteksi jalan berlubang secara cepat dan akurat di berbagai kondisi jalan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam otomatisasi sistem pemeliharaan

infrastruktur jalan, mengurangi risiko kecelakaan lalu lintas, serta meningkatkan kenyamanan dan keselamatan pengguna jalan.

Kata kunci: deteksi jalan berlubang; YOLOv4; deep learning; segmentasi semantik; infrastruktur transportasi

PENDAHULUAN

Infrastruktur transportasi yang baik merupakan salah satu pilar penting dalam mendukung pertumbuhan ekonomi dan mobilitas masyarakat. Namun, banyak jalan di berbagai daerah mengalami kerusakan, seperti jalan berlubang, yang dapat menyebabkan kecelakaan, kerusakan kendaraan, dan meningkatkan biaya pemeliharaan. Jumlah lubang jalan di dunia meningkat pesat karena pertumbuhan kendaraan, perubahan suhu, dan konsentrasi populasi (Palwe et al., 2024). Lubang jalan membahayakan pengendara dan mengurangi kenyamanan penumpang. Oleh karena itu, prediksi jumlah lubang jalan yang akurat memberikan perawatan dan rehabilitasi tepat waktu, dan juga meningkatkan keselamatan pengemudi (Saisree & Kumaran, 2022).

Dengan berkembangnya teknologi, khususnya dalam bidang kecerdasan buatan dan pengolahan citra, terdapat peluang untuk meningkatkan deteksi dan penanganan masalah ini. Penerapan teknologi deep learning, seperti YOLOv4 dan algoritma semantic segmentation, menawarkan pendekatan baru yang lebih efisien dan akurat dalam mendeteksi jalan berlubang (Nissimagoudar et al., 2024). Model-model ini dapat memproses data visual secara real-time, memberikan informasi yang relevan bagi pihak berwenang untuk mengambil tindakan cepat dalam perbaikan infrastruktur. Deteksi jalan berlubang yang cepat

dan akurat dapat mengurangi risiko kecelakaan dan kerusakan kendaraan, meningkatkan keselamatan pengguna jalan (Fortin et al., 2024). Dengan sistem yang lebih baik, pihak berwenang dapat merencanakan pemeliharaan jalan dengan lebih efisien, mengurangi biaya dan waktu yang diperlukan untuk perbaikan (Roman-Garay et al., 2025).

Dalam konteks deteksi jalan berlubang. Penelitian terdahulu yang membahas tentang deteksi jalan berlubang menggunakan kamera dengan bantuan algoritma YOLO. Mengembangkan kumpulan data jalan berlubang yang berisi air dan kering yang diberi anotasi untuk aplikasi pembelajaran mendalam, penelitian ini hanya melakukan pembuatan dataset dengan labelling foto jalan berlubang yang berisi air atau kering (Dib et al., 2023). Melakukan pengumpulan data video jalan lalu lintas yang berlubang untuk dilakukan pelabelan menggunakan segmentasi semantic (Ihsan et al., 2024), (Jadhav et al., 2024).

Beberapa studi telah menerapkan model deteksi objek seperti YOLO (You Only Look Once) dan Faster R-CNN untuk mengidentifikasi kerusakan jalan dari gambar yang diambil oleh kamera kendaraan (Lee et al., 2023). Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh ketua peneliti menggunakan YOLOV4 menerapkan pengenalan jenis komponen elektronika yang bertujuan untuk memberikan kemudahan dalam pengenalan komponen elektronika menggunakan

algoritma YOLOV4. Penelitian ini masih menggunakan algoritma yang sederhana, sehingga hasil akurasi masih memiliki banyak kekurangan yang perlu diperbaiki (Ruseruka et al., 2024). Penelitian sebelumnya sering kali menghadapi tantangan dalam mencapai akurasi deteksi yang tinggi, terutama dalam kondisi pencahayaan yang buruk atau saat cuaca tidak mendukung. Beberapa penelitian menggunakan model deteksi yang lebih sederhana atau tradisional, yang tidak memanfaatkan kemajuan terbaru dalam teknologi pembelajaran mendalam.

Kebaruan dari penelitian ini, pengembangan sistem yang berfokus pada integrasi model deteksi objek dengan teknik segmentasi semantik untuk memberikan informasi yang lebih mendetail tentang kondisi jalan. Kebaruan dari penelitian ini terletak pada pendekatan hibrida yang menggabungkan keunggulan dari kedua metode tersebut. Dengan menggunakan model YOLOv4 untuk deteksi cepat dan menggunakan segmentasi semantik untuk analisis mendalam serta menggunakan algoritma DeepLab untuk melakukan segmentasi piksel secara presisi dari berbagai bentuk dan luas luas jalan berlubang secara akurat.

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam mendeteksi jalan berlubang. Selain itu, penelitian ini juga berencana untuk mengembangkan aplikasi berbasis web/mobile yang memungkinkan deteksi real-time, yang merupakan langkah maju dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang lebih fokus pada analisis pengambilan gambar jalan berlubang.

METODE

YOLOv4 (You Only Look Once versi 4) adalah salah satu algoritma deteksi objek berbasis deep learning yang dikembangkan sebagai peningkatan dari YOLOv3. Algoritma ini dikembangkan oleh Alexey Bochkovskiy dan mengadopsi arsitektur CSPNet (Cross Stage Partial Network) sebuah varian dari ResNet untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam mendeteksi objek dalam citra atau video (Paramarthalingam et al., 2024). YOLOv4 merupakan peningkatan besar dari YOLOv3 dalam hal kecepatan dan akurasi deteksi objek dalam kasus nyata deteksi jalan berlubang.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Identifikasi Masalah

Kegiatan ini diawali dengan observasi lapangan guna menetapkan fokus studi pada sistem deteksi jalan berlubang di jalur lalu lintas. Peneliti melaksanakan survei langsung ke lokasi serta menjalin koordinasi

dengan lembaga pemerintah yang berwenang dalam penanganan dan perbaikan infrastruktur jalan.

Analisis Kebutuhan

Menetapkan spesifikasi sistem deteksi jalan berlubang, meliputi parameter ukuran, kedalaman, lebar lubang, serta jenis kerusakan jalan yang akan dideteksi. Selain itu, melakukan pencatatan kebutuhan fungsional dan non-fungsional yang akan diimplementasikan pada sistem deteksi jalan berlubang untuk digunakan pada ruas jalan lalu lintas dan area perkotaan.

Pengumpulan Data dan Anotasi Data

Dataset citra jalan berlubang dikumpulkan dan dianotasi untuk menandai area kerusakan, dengan pelabelan berdasarkan skala diameter lubang jalan, guna menghasilkan dataset terstruktur untuk deteksi otomatis kerusakan jalan.

Pengembangan Model Segmentasi Semantik dan DeepLab

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model segmentasi semantik guna menganalisis detail kerusakan jalan, khususnya bentuk jalan berlubang, dengan memanfaatkan algoritma DeepLab untuk segmentasi piksel yang presisi. Model akan dilatih menggunakan dataset citra jalan berlubang yang telah melalui proses pelabelan berbasis segmentasi semantik dengan pendekatan DeepLab.

Integrasi Model

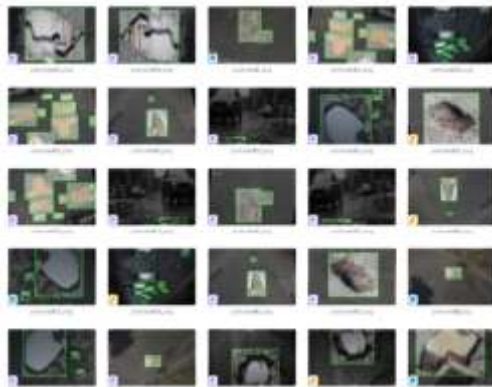
Selanjutnya, penelitian ini akan mengintegrasikan hasil deteksi dari model YOLOv4 dengan hasil segmentasi semantik DeepLab untuk memperoleh performa deteksi yang lebih akurat dan mendekati tingkat efektivitas optimal.

Uji Coba dan Evaluasi Sistem

Setelah seluruh data diolah menggunakan kombinasi algoritma YOLOv4 untuk deteksi objek dan DeepLab untuk segmentasi semantik, tahap selanjutnya adalah melakukan pengujian sistem pada berbagai lokasi guna mengevaluasi kinerjanya dalam kondisi lingkungan nyata. Hasil pengujian sistem dianalisis untuk mengidentifikasi aspek-aspek yang perlu dievaluasi dalam rangka meningkatkan akurasi deteksi jalan berlubang. Evaluasi kinerja sistem dilakukan dengan menggunakan metrik evaluasi seperti precision, recall, dan mean average precision (mAP).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengumpulan data jalan berlubang diambil dari dataset yang tersedia di kaggle. Selain mengambil dataset melalui kaggle data jalan berlubang juga di ambil melalui proses pemotretan langsung menggunakan kamera di lokasi lalu lintas, yang menghasilkan sebanyak 1.561 citra jalan berlubang. Variasi kondisi jalan berlubang yang terdokumentasi mencakup lubang berukuran kecil, lubang besar, hingga lubang yang tergenang air. Seluruh citra tersebut kemudian digunakan sebagai dataset penelitian. Selanjutnya, dilakukan proses pelabelan dan anotasi data sebelum dibagi menjadi tiga bagian, yaitu data pelatihan (training), data pengujian (testing), dan data validasi (validation).



Gambar 2. Hasil Pengumpulan Dataset

Preprocessing Labeling Data Gambar

Pembuatan labeling data gambar dan anotasi bounding box pada setiap gambar yang berlubang dengan jalan berlubang skala kecil, jalan berlubang skala besar dan jalan berlubang tergenang air. Proses labeling dan anotasi gambar menggunakan layanan Roboflow secara online. Proses labeling dan anotasi data melalui proses tahapan upload data gambar. Untuk membuat dataset, setelah data gambar sudah di upload, maka lakukan anotasi image. Proses ini akan melakukan anotasi gambar jalan berlubang dengan cara melakukan bounding box dan menentukan jalan berlubang berdasarkan varian jalan berlubang dari jalan berlubang skala kecil, skala besar dan tergenang air.



Gambar 3. Anotasi Data Jalan Berlubang

Selanjutnya pembagian dataset untuk memastikan model dapat dilatih dan bisa belajar dengan baik.

Pembagian dataset akan dilakukan menjadi tiga bagian yaitu: Train, Validation dan Test. Pembagian yang akan digunakan adalah Train 70%, Validation 20% dan Test 10%.



Gambar 4. Training Model

Pembagian Train 70% untuk pelatihan agar model dapat belajar mengenali pola, fitur dari gambar pada dataset. Validation 20% untuk mengevaluasi performa secara berkala dan untuk menghindari data overfitting. Test 10% untuk memberikan kemampuan model secara objektif ketika ada data baru untuk memastikan dan menguji deteksi jalan berlubang.



Gambar 5. Hasil Pembagian Data

Dataset yang disajikan terdapat dataset gambar yang memiliki ukuran atau size gambar yang berbeda. Untuk mendapatkan dataset dengan ukuran yang sama, maka akan dilakukan proses preprocessing dengan menentukan ukuran gambar menjadi 640x640 piksel. Dengan melakukan preprocessing dengan menentukan ukuran yang sama, maka pemrosesan ini akan merubah semua dataset pada gambar dengan ukuran yang sesuai dengan ketentuan.

Preprocessing Auto-Orient: Applied
 Resize: Stretch to 640x640

Gambar 6. Preprocessing Resize Stretch To 640x640

Membuat Model YOLOv4

Untuk membuat model YOLOv4 setelah proses anotasi pelabelan data gambar sudah selesai. Selanjutnya melakukan export data

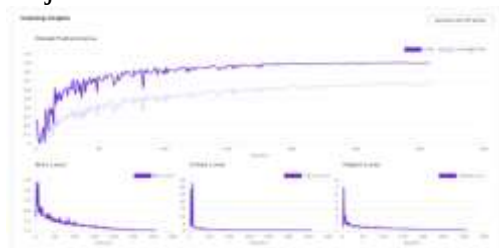
image dan annotation format YOLOv4 PyTorch. Hasil dari export akan merubah ukuran image menjadi 640x640 piksel. Membuat model YOLOv4 yang bertujuan untuk membuat dataset terbagi menjadi tiga bagian diantaranya data test, data train dan data valid. Dimana di setiap bagian data terdapat file image dengan format jpg, file annotations dengan format txt kemudian file classes dengan format txt.



Gambar 7. Data Image Dan Annotation Format YOLOv4 PyTorch

Pengujian Model YOLOv4 PyTorch

Hasil pengujian model deteksi objek menggunakan algoritma YOLO ((You Only Look Once). Pengujian ini akan menampilkan grafik yang menunjukkan performa model selama pengujian data image jalan berlubang. Ada empat model grafik yaitu Model Performance, BoxLoss ClassLoss dan ObjectLoss.



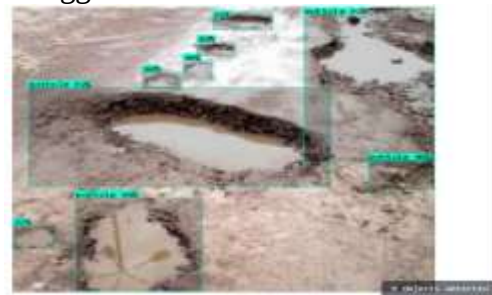
Gambar 8. Grafik Training

Penjelasan dari gambar grafik training model terdapat mAP (mean Average Precision) dimana rata rata mAP terdiri dari 0.5 sampai 0,95. Ini menyatakan data lebih realitis dibanding dengan mAP@0.5 saja. Dapat kita lihat dari gambar diatas terdapat kurva mAP meningkat tajam hingga sekitar 100 epoch, kemudian

data grafik akan melandai mendeteksi nilai 0.9 yang artinya nilai data 0.9 itu sangat baik.

Bagian BoxLoss memberikan nilai menurun dratis disaat 50 epoch pertama dari data 3.5 ke nilai sekitar 1. Selanjutnya akan memberikan penurunan perlahan hingga mendekati nilai akhir pelatihan. Ini menandakan model mempelajari lokasi objek. Bagian ClassLoss terdapat nilai yang terlihat pada gambar semangkit kecil nilai ClassLoss maka semakin baik model dalam klasifikasi objek jalan berlubang yang dapat terdeteksi. objectLoss terdapat hasil dari nilai grafik yang ada yang menunjukkan model mampu mendeteksi objek jalan berlubang dengan sangat baik.

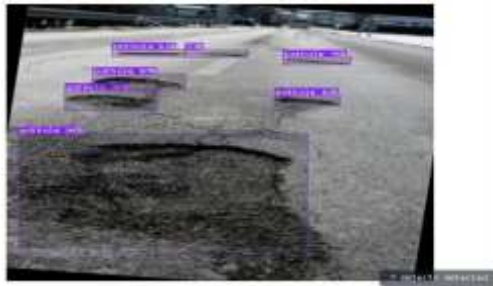
Tahap selanjutnya adalah melakukan pengujian terhadap deteksi jalan berlubang. Pengujian dilakukan dengan menggunakan dua metode yang berbeda, yaitu: 1) pengujian menggunakan data citra dengan format PNG atau JPG sebagai input, dan (2) pengujian secara real-time menggunakan kamera webcam.



Gambar 9. Hasil Pengujian

Hasil pengujian sistem deteksi jalan berlubang menunjukkan tingkat akurasi deteksi sebesar 90% hingga 92% terhadap berbagai jenis jalan berlubang, termasuk lubang berukuran kecil, besar, serta lubang yang tergenang air. Selanjutnya, dilakukan pengujian terhadap jalan berlubang yang tidak tergenang air dengan variasi ukuran lubang, baik skala kecil maupun besar. Sistem juga mampu

mendeteksi jalan berlubang pada berbagai jarak. Deteksi pada jarak dekat menghasilkan tingkat akurasi tertinggi sebesar 94% untuk lubang berukuran besar, sedangkan pada jarak deteksi terjauh, tingkat akurasi menurun menjadi 59% untuk lubang berukuran kecil.



Gambar 10. Hasil Deteksi Jalan Berlubang Menggunakan Cintra Images

Pengujian kedua dilakukan dengan menggunakan input dari webcam secara langsung (real-time). Pengujian ini memanfaatkan kamera yang terintegrasi pada laptop maupun kamera smartphone berbasis Android. Berdasarkan hasil pengujian, sistem berhasil mendeteksi empat lubang jalan dengan variasi skala yang berbeda. Lubang jalan berskala besar terdeteksi dengan tingkat akurasi sebesar 95%, sedangkan lubang jalan berskala kecil yang terlihat dari jarak jauh terdeteksi dengan akurasi sebesar 87%. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi lubang jalan secara real-time, baik pada jarak dekat maupun jauh, dengan performa deteksi yang sangat baik dan akurat terhadap variasi ukuran lubang jalan.



Gambar 11. Hasil Deteksi Jalan Berlubang Menggunakan Webcam Real-time

SIMPULAN

Pengembangan model deteksi jalan berlubang yang memiliki akurasi tinggi dan dapat diandalkan dalam berbagai kondisi jalan berlubang di lokasi jalan lalu lintas dan perkotaan. Dengan adanya sistem ini, maka dapat memudahkan untuk mendeteksi kerusakan jalan berlubang yang lebih cepat dan akurat. Memberikan informasi secara real-time keadaan jalan berlubang dari kerusakan yang sangat membahayakan pengendara sepeda motor, mobil dan angkutan umum lainnya. Sehingga dapat mengurangi resiko kecelakaan akibat jalan berlubang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Direktorat Riset dan Teknologi, Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains dan Teknologi atas dukungan dana penelitian yang diberikan melalui skema Penelitian Dosen Pemula (PDP) pada tahun anggaran 2025.

DAFTAR PUSTAKA

- Dib, J., Sirlantzis, K., & Howells, G. (2023). An annotated water-filled, and dry potholes dataset for deep learning applications. *Data in Brief*, 48. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109206>
- Fortin, L. V., Delos Santos, A. R. V., Cagud, P. J. B., Castor, P. R., & Llantos, O. E. (2024). Eyeway: An Artificial Intelligence Of Things Pothole Detection System With Map Visualization. *Procedia Computer Science*, 251,

- 216–223.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.11.103>
- Ihsan, M., Amrizal, M. A., & Harjoko, A. (2024). A pothole video dataset for semantic segmentation. *Data in Brief*, 53, 110131.
<https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.110131>
- Jadhav, R., Thite, S., Pawar, S., Patil, K., & Chumchu, P. (2024). Exploring the natural pothole dataset generated by the abrasion and cavitation effects of river water on rocks. *Data in Brief*, 57, 110873.
<https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.110873>
- Lee, S. Y., Le, T. H. M., & Kim, Y. M. (2023). Prediction and detection of potholes in urban roads: Machine learning and deep learning based image segmentation approaches. *Developments in the Built Environment*, 13(October 2022), 100109.
<https://doi.org/10.1016/j.dibe.2022.100109>
- Nissimagoudar, P. C., Miskin, S. R., Sali, V. N., Ashwini, J., Rohit, S. K., Darshan, S. K., Gireesha, H. M., Hongal, R. S., Katwe, S. V., Basawaraj, & Nalini, C. I. (2024). Detection of Potholes and Speed Breaker for Autonomous Vehicles. *Procedia Computer Science*, 237(2022), 675–682.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.05.153>
- Palwe, S., Gunjal, A., Jindal, S., Shrivastava, A., Deshmukh, A., & Navalakha, M. (2024). An Intelligent and Deep Learning Approach for Pothole Surveillance Smart Application. *Procedia Computer Science*, 235(2022), 3271–3282.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.04.309>
- Paramarthalingam, A., Sivaraman, J., Theerthagiri, P., Vijayakumar, B., & Baskaran, V. (2024). A deep learning model to assist visually impaired in pothole detection using computer vision. *Decision Analytics Journal*, 12(July), 100507.
<https://doi.org/10.1016/j.dajour.2024.100507>
- Roman-Garay, M., Rodriguez-Rangel, H., Hernandez-Beltran, C. B., Lepej, P., Arreygue-Rocha, J. E., & Morales-Rosales, L. A. (2025). Architecture for pavement pothole evaluation using deep learning, machine vision, and fuzzy logic. *Case Studies in Construction Materials*, 22(February), 1–26.
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04440>
- Ruseruka, C., Mwakalonge, J., Comert, G., Siuhi, S., Ngeni, F., & Anderson, Q. (2024). Augmenting roadway safety with machine learning and deep learning: Pothole detection and dimension estimation using in-vehicle technologies. *Machine Learning with Applications*, 16(March), 100547.
<https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2024.100547>
- Saisree, C., & Kumaran, U. (2022). Pothole Detection Using Deep Learning Classification Method. *Procedia Computer Science*, 218, 2143–2152.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.190>