

SKRIPSI

**SISTEM DETEKSI RETAKAN JEMBATAN
BERBASIS *COMPUTER VISION* DENGAN MODEL
*MASK R-CNN***



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh :

I Kadek Bagus Rio Nandika
NIM. 2115354039

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA PERANGKAT LUNAK
JURUSAN TEKNOLOGI INFORMASI
POLITEKNIK NEGERI BALI
2025**

ABSTRAK

Jembatan merupakan infrastruktur vital yang memerlukan pemeliharaan berkala untuk menjamin keselamatan pengguna. Salah satu kerusakan yang umum terjadi adalah keretakan pada gelagar beton, yang jika tidak terdeteksi sejak dini dapat menurunkan kekuatan struktur. Inspeksi visual manual memiliki keterbatasan pada akurasi dan konsistensi, terutama untuk keretakan dengan lebar $<0,5$ mm. Penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem deteksi retakan jembatan berbasis computer vision menggunakan arsitektur *Mask R-CNN* dengan backbone *ResNet-101*, yang diimplementasikan melalui *framework Detectron2* dan diintegrasikan ke dalam aplikasi web berbasis *Flask*. Dataset citra keretakan gelagar beton diperoleh dari sumber terbuka dan dianotasi secara manual sesuai format COCO. Proses pelatihan melibatkan augmentasi data untuk meningkatkan kemampuan generalisasi model. Sistem diuji melalui *Black Box Testing* untuk memverifikasi fungsionalitas, serta evaluasi kinerja model menggunakan *confusion matrix* dan metrik AP. Hasil pengujian menunjukkan model mencapai akurasi 72,9%, *recall* 62,2%, *precision* 48,5%, dan *F1-score* 54,5%, dengan nilai *specificity* 76,7%. Meskipun masih ditemukan *false positive* pada tekstur beton yang menyerupai keretakan, sistem ini mampu mengidentifikasi keberadaan keretakan. Implementasi ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi inspeksi jembatan serta mengurangi ketergantungan pada pemeriksaan manual. Selain itu, penelitian ini juga dapat menjadi referensi bagi pengembangan sistem deteksi kerusakan infrastruktur lain yang memanfaatkan *computer vision* dan *deep learning*, sehingga hasilnya tidak hanya relevan untuk inspeksi jembatan, tetapi juga berpotensi diterapkan pada bangunan sipil lain yang rentan terhadap kerusakan struktural.

Kata kunci: Deteksi Keretakan, Jembatan, *Mask R-CNN*, *Computer Vision*, *Detectron2*, *Flask*.

ABSTRACT

Bridges are vital infrastructure that require regular maintenance to ensure user safety. One common form of damage is cracking in concrete girders, which, if left undetected, can reduce the structural strength. Manual visual inspection has limitations in terms of accuracy and consistency, especially for cracks with a width of less than 0.5 mm. This study proposes the development of a bridge crack detection system based on computer vision using the Mask R-CNN architecture with a ResNet-101 backbone, implemented through the Detectron2 framework and integrated into a Flask-based web application. The dataset of concrete girder cracks was obtained from open sources and manually annotated in COCO format. The training process involved data augmentation to enhance the model's generalization ability. The system was tested using Black Box Testing to verify functionality, as well as model performance evaluation using a confusion matrix and AP metrics. The experimental results show that the model achieved an accuracy of 72.9%, recall of 62.2%, precision of 48.5%, and an F1-score of 54.5%, with a specificity value of 76.7%. Although false positives were still found on concrete textures resembling cracks, the system was able to identify the presence of cracks effectively. This implementation is expected to improve the efficiency of bridge inspection and reduce reliance on manual examination. Furthermore, this research can serve as a reference for the development of other infrastructure damage detection systems that utilize computer vision and deep learning, making the results not only relevant for bridge inspection but also potentially applicable to other civil structures prone to structural damage.

Keywords: Crack Detection, Bridge, Mask R-CNN, Computer Vision, Detectron2, Flask.

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN UJIAN SKRIPSI.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN KARYA SKRIPSI.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	5
2.2 Landasan Teori.....	6
2.2.1 Jembatan Gelagar Beton.....	6
2.2.2 Sistem Cerdas	7
2.2.3 Computer Vision	7
2.2.4 Deep Convolutional Neural Networks (DCNN)	8
2.2.5 Mask R-CNN	11
2.2.6 Detectron2	12
2.2.7 ResNet-101	12
2.2.8 PyTorch	12
2.2.9 Flask	12
2.2.10 Waterfall	13
2.2.11 Black Box Testing	13
2.2.12 Confusion Matrix.....	13

2.2.13	Augmentasi Data	13
2.2.14	<i>Average Precision (AP)</i>	14
BAB III METODE PENELITIAN		15
3.1	Objek dan Metode Pengumpulan Data	15
3.2	Analisis Kondisi Eksisting.....	15
3.2.1	Analisis Sistem Berjalan.....	15
3.2.2	Analisis Sistem Baru	16
3.3	Rancangan Penelitian.....	17
3.3.1	Metode Pengembangan Sistem.....	17
3.3.2	Arsitektur Sistem	19
3.3.3	Kebutuhan Sistem.....	20
3.3.4	Desain Proses.....	21
3.3.5	Entity-Relationship Diagram.....	26
3.4	Pengujian Penelitian.....	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		30
4.1	Hasil Implementasi Sistem	30
4.1.1	Pelatihan dan Implementasi Model	30
4.1.2	Implementasi Fitur dan Antarmuka Web	34
4.1.3	Implementasi Penyimpanan Data (MySQL)	38
4.2	Evaluasi Training Model.....	40
4.2.1	Confusion Matrix.....	40
4.2.2	Metrik Evaluasi Model (Bounding Box AP vs Segmentation AP)	43
4.3	Pengujian Sistem.....	45
4.3.1	Test Case (Blackbox Testing)	45
4.3.2	Pengujian Sistem Deteksi	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		52
5.1	Kesimpulan	52
5.2	Saran	53
DAFTAR PUSTAKA.....		54

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Tabel Perangkat Keras	21
Tabel 3.2 Tabel Perangkat Lunak	21
Tabel 3.3 Spesifikasi Use Case Login Akun Petugas	22
Tabel 3.4 Spesifikasi Use Case Form Deteksi	23
Tabel 3.5 Spesifikasi Use Case Login Akun Admin	24
Tabel 3.6 Spesifikasi Use Case Hapus Data Hasil Deteksi	25
Tabel 3.7 Tabel Confusion Matrix Model	27

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 (a) Labeling <i>Faster</i> R-CNN; (b) Labeling <i>Mask</i> R-CNN	6
Gambar 2.2 Gelagar Beton Jembatan	7
Gambar 2.3 CNN Tradisional (LeNet) vs DCNN (AlexNet)	9
Gambar 2.4 Deep Convolutional Neural Network (DCNN)	10
Gambar 2.5 Diagram <i>Mask</i> R-CNN.....	11
Gambar 3.1 Flowmap Sistem Baru	16
Gambar 3.2 Arsitektur Sistem.....	19
Gambar 3.3 Use Case Diagram.....	21
Gambar 3.4 Gambar Entity Relationship Diagram.....	26
Gambar 4.1 Anotasi Kekeretakan Pada Dataset	31
Gambar 4.2 Kode Mengunduh Dataset ke Google Collab	32
Gambar 4.3 Kode Konversi Dataset ke Format COCO	32
Gambar 4.4 Kode Training Model Menggunakan Detectron2	33
Gambar 4.5 Kode Implementasi Detectron2 Pada Flask	34
Gambar 4.6 Halaman Login.....	35
Gambar 4.7 Halaman Sistem Deteksi Kekeretakan	36
Gambar 4.8 Halaman Hasil Deteksi.....	37
Gambar 4.9 Halaman History Hasil Deteksi.....	38
Gambar 4.10 Halaman Dashboard Admin.....	38
Gambar 4.11 Gambar Relasi Database	40
Gambar 4.12 Confusion Matrix Model.....	40
Gambar 4.13 Metrik Evaluasi Model.....	43
Gambar 4.14 Pengujian Deteksi Satu Kekeretakan	49
Gambar 4.15 Pengujian Deteksi Lebih Dari Satu Kekeretakan.....	50
Gambar 4.16 Pengujian Deteksi Tidak Ada Kekeretakan	50
Gambar 4.17 Pengujian Deteksi Gambar Random	51

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Form Bimbingan Skripsi (Pembimbing 1)	56
Lampiran 2 Form Bimbingan Skripsi (Pembimbing 2)	57
Lampiran 3 Form Pernyataan Telah Menyelesaikan Bimbingan Skripsi	58
Lampiran 4 Form Perbaikan Ujian Komprehensif (Dosen Penguji 1)	59
Lampiran 5 Form Perbaikan Ujian Komprehensif (Dosen Penguji 2)	60
Lampiran 6 Form Perbaikan Ujian Komprehensif (Dosen Penguji 3)	61

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jembatan merupakan infrastruktur penting yang menunjang konektivitas dan mobilitas masyarakat. Kerusakan pada jembatan seperti keretakan, meskipun kecil, dapat berdampak serius terhadap keselamatan pengguna. Banyak jembatan beton, khususnya pada gelagar, keretakan sering kali muncul akibat beban lalu lintas, perubahan suhu, penyusutan beton, dan siklus lelah. Keretakan jenis ini biasanya memiliki lebar kurang dari 0,5 mm dan sulit dideteksi dengan inspeksi visual manual karena hampir tidak terlihat dan sering tertutupi jaringan serat beton atau noda permukaan [1][7]. Keretakan ini jika dibiarkan berkembang dapat mengurangi daya dukung struktur dan menyebabkan masalah keselamatan jangka panjang.

Metode pemeriksaan manual yang digunakan saat ini memang standar di lapangan, tetapi memiliki kelemahan, yaitu proses yang lambat, akurasi tergantung pengalaman petugas, dan dokumentasi keretakan sering tidak konsisten. Bahkan meskipun menggunakan foto atau pengukuran dengan alat sederhana, keretakan dapat luput terdeteksi [12]. Hal ini menimbulkan kebutuhan nyata untuk sebuah sistem deteksi otomatis yang mampu mengidentifikasi keretakan secara lebih konsisten.

Pemanfaatan teknik berbasis *computer vision* dengan model pembelajaran mendalam telah terbukti efektif dalam mendeteksi keretakan pada struktur beton. Salah satu pendekatan populer adalah penggunaan *Convolutional Neural Network* (CNN) untuk klasifikasi dan segmentasi keretakan. Misalnya, model *U-Net* yang telah dimodifikasi mampu mencapai akurasi segmentasi >92 % untuk citra permukaan beton jembatan serta metode dua tahap (deteksi kasar kemudian segmentasi) mencapai segmentasi detail keretakan yang efisien [16] [17].

Namun sebagian besar model CNN tradisional hanya melakukan segmentasi semantik (memetakan piksel keretakan secara umum), tanpa membedakan keretakan individual sebagai objek terpisah. Di sinilah kelebihan *Mask R-CNN*, yang mampu melakukan *instance segmentation*, yaitu mengidentifikasi setiap keretakan sebagai objek terpisah lengkap dengan bentuk kontur yang presisi. Model ini memungkinkan analisis keretakan lebih akurat dan kuantitatif dibandingkan deteksi *bounding box* atau segmentasi semantik saja.

Berdasarkan tinjauan di atas, dapat disimpulkan bahwa sistem deteksi keretakan pada gelagar beton jembatan berbasis *Mask R-CNN* menawarkan solusi yang lebih akurat dibanding inspeksi manual maupun metode segmentasi umum. Metode ini sangat relevan dalam mempermudah inspeksi dan pemeliharaan struktur jembatan.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka beberapa permasalahan dapat dirumuskan diantaranya sebagai berikut:

- a. Bagaimana tahapan merancang sistem deteksi kekeretakan pada gelagar beton jembatan?
- b. Bagaimana pengujian model *Mask R-CNN* dan pengujian sistem dalam mendeteksi kekeretakan pada citra gelagar beton?
- c. Seberapa akurat model *Mask R-CNN* dalam mendeteksi kekeretakan pada gelagar jembatan beton berdasarkan hasil evaluasi?

1.3 Batasan Masalah

Diperlukan batasan-batasan masalah yang akan digunakan sebagai pedoman agar tercapainya target dari penelitian, yang dimana permasalahan dibatasi sebagai berikut:

- a. Penelitian ini tidak dibatasi secara geografis, dan hanya menggunakan citra visual yang menyerupai gelagar beton pada jembatan umum.
- b. Penelitian ini tidak mengacu pada sistem penilaian kondisi jembatan seperti BMS, melainkan hanya fokus pada pendeteksian keretakan melalui citra.
- c. Deteksi keretakan dalam penelitian ini dibatasi pada jenis jembatan gelagar, khususnya pada bagian struktur beton gelagar.
- d. Sistem deteksi keretakan jembatan berbasis *computer vision* hanya menggunakan metode *Region-based Convolutional Neural Network (Mask R-CNN)*.
- e. Fitur sistem hanya terbatas pada deteksi jumlah keretakan pada citra gelagar jembatan, tanpa melakukan klasifikasi tingkat keparahan keretakan, maupun jenis kerusakan lainnya.
- f. *Dataset* yang digunakan berupa foto-foto gelagar jembatan beton yang diperoleh dari sumber terbuka di internet dan telah dianotasi untuk pelatihan dan evaluasi model.
- g. Sistem masih terbatas pada eksekusi lokal tanpa implementasi pada server atau hosting

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini diperlukan agar memiliki arah dan tujuan yang akan dicapai, maka tujuan dalam penelitian ini antara lain:

- a. Mengetahui tahapan dalam merancang sistem deteksi kekeretakan pada gelagar beton jembatan.
- b. Mengetahui pengujian model *Mask* R-CNN dan pengujian sistem dalam mendeteksi kekeretakan pada citra gelagar beton.
- c. Mengetahui seberapa akurat model *Mask* R-CNN dalam mendeteksi kekeretakan pada gelagar jembatan beton berdasarkan hasil evaluasi.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dalam penelitian akan membantu dalam perkembangan ilmu sebagai manfaat akademik dan manfaat aplikatif, maka manfaat dalam penelitian ini sebagai berikut:

- a. Manfaat akademik
 - 1) Memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi berbasis *computer vision*, khususnya dalam penerapan metode *Mask* R-CNN pada sistem deteksi keretakan.
 - 2) Menjadi referensi bagi peneliti lain yang ingin mengembangkan penelitian serupa dalam bidang deteksi kerusakan atau pengelolaan infrastruktur berbasis teknologi.
 - 3) Menambah wawasan dan pengetahuan terkait pengembangan sistem untuk menyelesaikan masalah di bidang teknik sipil dan infrastruktur.
- b. Manfaat Aplikatif
 - 1) Mengurangi ketergantungan pada inspeksi visual manual yang rawan kesalahan dalam mendeteksi keretakan pada gelagar jembatan.
 - 2) Mempermudah proses inspeksi dengan menyediakan sistem deteksi otomatis berbasis citra, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan konsistensi identifikasi keretakan.

1.6 Sistematika Penulisan

Berikut sistematika penulisan agar memudahkan pembaca dalam memahami isi serta alur pembahasan skripsi ini, penulis menyusun laporan berdasarkan sistematika penulisan yang terdiri dari beberapa bab sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi uraian mengenai latar belakang masalah yang melandasi dilakukannya penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan skripsi secara keseluruhan. Bab ini memberikan gambaran awal mengenai arah dan fokus dari penelitian yang dilakukan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan teori-teori yang relevan dan menjadi dasar dalam pelaksanaan penelitian. Di dalamnya dibahas kajian literatur dari berbagai sumber, termasuk hasil penelitian terdahulu yang mendukung topik yang diangkat. Bab ini berfungsi sebagai fondasi teoritis bagi pengembangan sistem yang diusulkan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metode yang digunakan dalam penelitian, mulai dari objek penelitian, waktu dan tempat pelaksanaan, metode pengumpulan data, pendekatan dalam pengembangan sistem, hingga tahapan analisis dan perancangan sistem. Pemilihan metode dijelaskan secara sistematis agar mendukung keakuratan hasil penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil implementasi sistem yang telah dirancang, termasuk hasil pengujian model serta analisis performanya. Selain itu, dilakukan pembahasan terhadap temuan yang diperoleh, dan jika relevan, disertakan perbandingan dengan penelitian lain yang sejenis.

BAB V PENUTUP

Bab terakhir berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dicapai, serta saran yang diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan dalam pengembangan sistem lebih lanjut atau sebagai acuan untuk penelitian berikutnya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

2.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, implementasi, serta evaluasi yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan terkait perancangan dan pengujian sistem deteksi keretakan jembatan berbasis *Mask R-CNN* sebagai berikut:

1. Sistem berhasil dirancang dengan melatih dan mengintegrasikan model *Mask R-CNN* berbasis *backbone ResNet-101* yang dikembangkan melalui *framework Detectron2*, kemudian diimplementasikan ke dalam aplikasi web menggunakan *Flask*. Antarmuka pengguna dikembangkan menggunakan *Tailwind CSS*, sedangkan basis data menggunakan *MySQL*. Dataset *DACL10k* yang telah dikonversi ke format *COCO* diperkaya dengan augmentasi data untuk meningkatkan kemampuan generalisasi model. Proses perancangan mencakup tahapan analisis kebutuhan, desain sistem, implementasi, serta pengujian, sehingga menghasilkan sistem deteksi yang mampu digunakan secara fungsional.
2. Pengujian dilakukan pada dua tingkat, yaitu pengujian kuantitatif model dan pengujian fungsional sistem. Evaluasi kuantitatif dilakukan menggunakan *confusion matrix* serta metrik *Average Precision (AP)* yang menunjukkan performa model dalam membedakan area keretakan dan latar belakang. Sementara itu, pengujian fungsional sistem dilakukan dengan metode *Black Box Testing* yang memverifikasi kelancaran alur mulai dari unggah citra, proses deteksi, penyimpanan hasil, hingga penampilan data melalui antarmuka. Hasilnya menunjukkan sistem berfungsi dengan baik sesuai kebutuhan, mampu mendeteksi keberadaan keretakan maupun kondisi tanpa keretakan.
3. Akurasi model *Mask R-CNN* dalam mendeteksi keretakan mencapai nilai *accuracy* sebesar 72,9%, *recall* 62,2%, *precision* 48,5%, *F1-score* 54,5%, serta *specificity* 76,7%. Nilai *Average Precision (AP)* menunjukkan performa yang lebih rendah pada ambang presisi tinggi (AP75) maupun pada objek kecil (APs), yang dipengaruhi oleh bentuk keretakan yang sangat tipis serta kemiripan tekstur keretakan halus dengan permukaan beton. Meskipun demikian, pada pengujian langsung model mampu mendeteksi keretakan dengan *confidence* antara 80–

88%, serta dapat mengidentifikasi jumlah keretakan maupun kondisi tanpa keretakan secara tepat. Hal ini menegaskan bahwa sistem mampu dalam mendeteksi keretakan pada gelagar beton jembatan meskipun masih memiliki keterbatasan pada detail ukuran kecil.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa tujuan penelitian telah tercapai sesuai dengan rumusan masalah yang ditetapkan.

2.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, terdapat beberapa saran untuk pengembangan sistem di masa mendatang. Pertama, perlu dilakukan peningkatan kualitas dataset dengan menambahkan citra keretakan dari berbagai kondisi pencahayaan, sudut pengambilan gambar, serta variasi jenis permukaan beton, disertai dengan *preprocessing* yang lebih optimal untuk mengurangi *false positive*. Kedua, diperlukan optimasi model dengan melakukan eksperimen menggunakan *backbone* lain, seperti *ResNeXt* atau *Swin Transformer*, guna meningkatkan performa deteksi. Ketiga, sistem dapat dikembangkan lebih lanjut untuk mendeteksi berbagai jenis kerusakan pada jembatan, sampai melakukan penilaian kondisi jembatan secara otomatis dan menyeluruh sesuai standar inspeksi yang berlaku. Terakhir, sistem sebaiknya diimplementasikan secara *hosting* agar dapat diakses melalui *smartphone*, sehingga tidak terbatas hanya pada eksekusi lokal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Yu, S. He, X. Liu, S. Jiang, and S. Xiang, "Intelligent Crack Detection and Quantification in the Concrete Bridge: A Deep Learning-Assisted Image Processing Approach," *Adv. Civ. Eng.*, vol. 2022, no. 1, p. 1813821, Jan. 2022, doi: 10.1155/2022/1813821.
- [2] Muttaqin, Yuswardi, A. Maulidinnawati, A. Parewe, I. F. Ashari, and M. Munsarif, "Pengantar Sistem Cerdas," *Yayasan Kita Menulis*, no. August 2024, pp. 1–222, 2023.
- [3] L. Ali, F. Alnajjar, H. Al Jassmi, M. Gochoo, W. Khan, and M. A. Serhani, "Performance Evaluation of Deep CNN-Based Crack Detection and Localization Techniques for Concrete Structures," *Sensors 2021, Vol. 21, Page 1688*, vol. 21, no. 5, p. 1688, Mar. 2021, doi: 10.3390/S21051688.
- [4] R. E. ; Philip *et al.*, "A Comparative Study on Crack Detection in Concrete Walls Using Transfer Learning Techniques," *J. Compos. Sci.* 2023, *Vol. 7, Page 169*, vol. 7, no. 4, p. 169, Apr. 2023, doi: 10.3390/JCS7040169.
- [5] X. Xu *et al.*, "Crack Detection and Comparison Study Based on *Faster R-CNN* and *Mask R-CNN*," *Sensors 2022, Vol. 22, Page 1215*, vol. 22, no. 3, p. 1215, Feb. 2022, doi: 10.3390/S22031215.
- [6] F. Marpaung, F. Aulia, and R. C. Nabila, *Computer vision Dan Pengolahan Citra Digital*. 2022. [Online]. Available: www.pustakaaksara.co.id
- [7] L. Yu, S. He, X. Liu, S. Jiang, and S. Xiang, "Intelligent Crack Detection and Quantification in the Concrete Bridge: A Deep Learning-Assisted Image Processing Approach," *Adv. Civ. Eng.*, vol. 2022, no. 1, p. 1813821, Jan. 2022, doi: 10.1155/2022/1813821.
- [8] E. Hassan, N. El-Rashidy, and fatma M. Talaa, "Review: *Mask R-CNN* Models," *Nile J. Commun. Comput. Sci.*, vol. 3, no. 1, pp. 17–27, 2022, doi: 10.21608/njccs.2022.280047.
- [9] R. Rakshitha, S. Srinath, N. Vinay Kumar, S. Rashmi, and B. V. Poornima, "Crack SAM: enhancing crack detection utilizing foundation models and Detectron2 architecture," *J. Infrastruct. Preserv. Resil.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–19, 2024, doi: 10.1186/s43065-024-00103-1.
- [10] L. Jiang and Z. Zhang, "Research on *image* classification algorithm based on PyTorch," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2010, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/2010/1/012009.
- [11] H. L. Walingkas and P. O. N. Saian, "Penerapan *Framework* Flask pada Pembangunan Sistem Informasi Pemasok Barang," *J. JTik (Jurnal Teknol. Inf. dan Komunikasi)*, vol. 7, no. 2, pp. 227–234, 2023, doi: 10.35870/jtik.v7i2.729.
- [12] L. Yu, S. He, X. Liu, S. Jiang, and S. Xiang, "Intelligent Crack Detection and Quantification in the Concrete Bridge: A Deep Learning-Assisted Image Processing Approach," *Adv. Civ. Eng.*, vol. 2022, no. 1, p. 1813821, Jan. 2022,

doi: 10.1155/2022/1813821.

- [13] S. Mudassar and A. Khan, “Waterfall Model Used in Software Development Reference: Software Requirements Engineering Waterfall Model,” no. June, 2023, doi: 10.13140/RG.2.2.29580.69764.
- [14] S. R. Wicaksono, *Black Box Testing Teori Dan Studi Kasus*, no. February. 2022. doi: 10.5281/zenodo.7659674.
- [15] B. Xu, C. Sun, S. Song, X. Zhang, B. Zhao, and W. Zhang, “Comparative Study on the Seismic Vulnerability of Continuous Bridges with Steel–Concrete Composite Girder and Reinforced Concrete Girder,” *Build. 2024, Vol. 14, Page 1768*, vol. 14, no. 6, p. 1768, Jun. 2024, doi: 10.3390/BUILDINGS14061768.
- [16] Z. Huang, X. Zhang, K. Xie, X. Ke, and Y. Zhang, “Crack Detection of Concrete Bridges Based on Improved U-Net Model,” *Sci. Discov. 2022, Vol. 10, Page 500*, vol. 10, no. 6, pp. 500–505, Dec. 2022, doi: 10.11648/J.SD.20221006.29.
- [17] K. Ma, M. Hao, X. Meng, J. Liu, J. Meng, and Y. Xuan, “Coarse–Fine Combined Bridge Crack Detection Based on Deep Learning,” *Appl. Sci. 2024, Vol. 14, Page 5004*, vol. 14, no. 12, p. 5004, Jun. 2024, doi: 10.3390/APP14125004.
- [18] Y. Choi, B. Bae, T. Hee Han, and J. Ahn, “Application of Mask R-CNN and YOLOv8 Algorithms for Concrete Crack Detection,” *IEEE Access*, vol. 12, pp. 165314–165321, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3469951.
- [19] S. Ataei, S. Adibnazari, and S. T. Ataei, “Data-driven Detection and Evaluation of Damages in Concrete Structures: Using Deep Learning and Computer Vision,” Jan. 2025, Accessed: Aug. 09, 2025. [Online]. Available: <https://arxiv.org/pdf/2501.11836>
- [20] A. S. V. Nagaraju and R. Kumar, “Effect of climate change on structural safety of RC bridges in coastal region,” *Structures*, vol. 63, p. 106273, May 2024, doi: 10.1016/J.ISTRUC.2024.106273.
- [21] O. Elharrouss, Y. Akbari, N. Almadeed, and S. Al-Maadeed, “Backbones-review: Feature extractor networks for deep learning and deep reinforcement learning approaches in computer vision,” *Comput. Sci. Rev.*, vol. 53, 2024, doi: 10.1016/j.cosrev.2024.100645.
- [22] S. Sathyanarayanan, “Confusion Matrix-Based Performance Evaluation Metrics,” *African J. Biomed. Res.*, pp. 4023–4031, Nov. 2024, doi: 10.53555/AJBR.V27I4S.4345.
- [23] C. Di Ruberto *et al.*, “Deep Learning Approaches for Data Augmentation in Medical Imaging: A Review,” *J. Imaging 2023, Vol. 9, Page 81*, vol. 9, no. 4, p. 81, Apr. 2023, doi: 10.3390/JIMAGING9040081.