

**Pengenalan Kerusakan Jalan Raya
Berbasis Citra Udara Menggunakan
Convolutional Neural Network (CNN)**

SKRIPSI

**Disusun untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Sains**



RANIA VIRDA SUKMANINGSIH





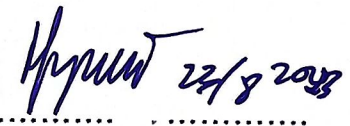


1306619067

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**Pengenalan Kerusakan Jalan Raya Berbasis Citra Udara
Menggunakan Convolutional Neural Network (CNN)**

Nama : Rania Virda Sukmaningsih
No Registrasi : 1306619067

| | Nama | Tanda Tangan | Tanggal |
|-------------------------------|---|---|------------|
| Penanggung Jawab | | | |
| Dekan | : Prof.Dr.Muktiningsih N., M.Si NIP. 196405111989032001 |  | 24-08-2023 |
| Wakil Penanggung Jawab | | | |
| Wakil Dekan I | : Dr. Esmar Budi, M.T. NIP. 197207281999031002 |  | 24-08-2023 |
| Ketua | : Dr. Teguh Budi Prayitno, M.Si NIP. 198205262008121001 |  | 21-08-2023 |
| Sekretaris | : Riser Fahdiran, M.Si NIP. 198307172009121008 |  | 21-08-2023 |
| Anggota | | | |
| Pembimbing I | : Dr. rer. nat Bambang Heru Iswanto, M.Si NIP. 196804011994031002 |  | 22/8 2023 |
| Pembimbing II | : Haris Suhendar, S.Si., M.Sc NIP. 199404282022031006 |  | 21-08-2023 |
| Penguji | : Dr. Hadi Nasbey, S.Pd., M.Si NIP. 197909162005011001 |  | 21-08-2023 |

Dinyatakan lulus ujian skripsi tanggal 15 Agustus 2023

LEMBAR PERNYATAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul "Pengenalan Kerusakan Jalan Raya Berbasis Citra Udara Menggunakan *Convolutional Neural Network (CNN)*" yang disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dari Program Studi Fisika Universitas Negeri Jakarta adalah karya ilmiah saya dengan arahan dari dosen pembimbing.

Sumber informasi yang diperoleh dari penulis lain yang telah dipublikasikan yang disebutkan dalam teks skripsi ini, telah dicantumkan dalam Daftar Pustaka sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Jika dikemudian hari ditemukan sebagian besar skripsi ini bukan hasil karya saya sendiri dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya sanding dan sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Kota Tangerang, 30 Juli 2023



Rania Virda Sukmaningsih



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
UPT PERPUSTAKAAN

Jalan Rawamangun Muka Jakarta 13220
Telepon/Faksimili: 021-4894221
Laman: lib.unj.ac.id

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Universitas Negeri Jakarta, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Rania Virda Sukmaningih
NIM : 1306619067
Fakultas/Prodi : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam / Fisika
Alamat email : raniaviridas@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada UPT Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah:

Skripsi Tesis Disertasi Lain-lain (.....)

yang berjudul :

Pengenalan Kerusakan Jalan Raya Berbasis Citra Udara Menggunakan
Convolutional Neural Network (CNN)

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini UPT Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta berhak menyimpan, mengalihmediakan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 24 Agustus 2023

Penulis

(Rania Virda Sukmaningih)
nama dan tanda tangan

KATA PENGANTAR

Bismillaahirrahmaanirrahiim. Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat, taufiq, hidayah, dan inayyah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “Pengenalan Kerusakan Jalan Raya Berbasis Citra Udara Menggunakan *Convolutional Neural Network* (CNN)”. Skripsi ini ditulis dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di Universitas Negeri Jakarta.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini dapat diselesaikan berkat dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Cinta pertama dan panutan penulis, Ayahanda Irzal (alm). Banyak hal yang penulis lalui tanpa sosok Beliau, babak belur dihajar kenyataan yang terkadang tidak sejalan. Rasa rindu yang seringkali membuat penulis terjatuh ditampar realita, tetapi itu semua tidak mengurangi rasa bangga dan terima kasih atas kehidupan yang Beliau berikan. Dengan itu, tulisan ini penulis persembahkan untuk malaikat pelindung di surga, “Pah, anakmu sudah berhasil menyelesaikan skripsi ini.”
2. Wanita terhebat bagi penulis, Ibunda Martini. *Alhamdulillah* kini penulis sudah berada ditahap ini, menyelesaikan skripsi sebagai salah satu bentuk tanggungjawab dan bakti penulis. Terima kasih selalu memotivasi, mendukung, mencurahkan kasih sayang, dan melangitkan doa-doa baik yang tiada henti untuk penulis.
3. Dr. rer. nat. Bambang Heru Iswanto, M.Si, selaku dosen pembimbing pertama yang telah membantu, membimbing, memotivasi, serta memberikan wawasan dan ilmu mengenai metodologi dan penulisan skripsi penulis.
4. Haris Suhendar, S.Si, M.Sc selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan ilmu, arahan, masukan, dan bantuan mengenai teknis eksperimen dalam proses pengkodean penelitian dan penulisan skripsi penulis.

5. Dr. Widyaningrum Indrasari, M.Si selaku koordinator Prodi Fisika UNJ yang telah membantu dari awal proses sampai penyelesaian studi.
6. Adik tercinta, Arif Minang Satrio yang selalu menjadi pendengar dan *support system* penulis. Terima kasih sudah memberikan dukungan dan melangitkan doa-doa untuk kelancaran skripsi penulis.
7. Teman-teman Fisika UNJ 2019 yang telah berbagi pengetahuan, sumber referensi, diskusi yang mencerahkan, dan dukungan semangat kepada penulis selama proses penelitian dan penulisan skripsi di laboratorium lantai 10, khususnya Amario, Fatur, Rista, Pridana, Muhlis.
8. Sahabat “TemanMacamKancut”: Nurlita, Aca, Uti, Sima, Alma, Haya, dan Maya yang senantiasa mendengarkan keluh kesah penulis dan menjadi penyokong disaat penulis sedang *burn out*.
9. Teman-teman terbaik penulis selama di Fisika UNJ: Febriana, Ridha, Marli, Fatha, dan Ghina yang telah membersamai penulis selama penyusunan skripsi dan menjadi penyemangat bagi penulis.
10. Semua Pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu hingga terselesaikannya skripsi ini.

Tidak ada yang dapat penulis berikan kecuali doa yang tulus dan terima kasih. Penulis sadar bahwa penelitian ini masih jauh dari kata sempurna, maka dari itu penulis mengharapkan kontribusi yang bermanfaat oleh para pembaca berupa kritik dan saran. Penulis berharap agar penelitian ini dapat bermanfaat dan menambah pengetahuan bagi siapa saja yang membaca.

Kota Tangerang, 30 Juli 2023

Rania Virda Sukmaningsih

ABSTRAK

RANIA VIRDA SUKMANINGSIH. Pengenalan Kerusakan Jalan Raya Berbasis Citra Udara Menggunakan *Convolutional Neural Network* (CNN). Dibawah bimbingan Dr. rer. nat Bambang Heru Iswanto, M.Si dan Haris Suhendar, S.Si, M.Sc.

Pada makalah ini, diusulkan penggunaan citra udara yang direkam oleh kamera *drone* untuk klasifikasi pengenalan kerusakan jalan raya. Citra udara memiliki resolusi yang tinggi, sehingga pendekatan *pixel-to-pixel* sulit dilakukan karena kerusakan jalan umumnya menyebar ke beberapa piksel. *Object Based Image Analysis* (OBIA) adalah sebuah metode analisis citra yang menggunakan pendekatan berbasis objek untuk mengidentifikasi dan mengelompokkan fitur-fitur dalam citra. Metode OBIA menggunakan algoritma yang memanfaatkan karakteristik spasial dan morfologi, seperti bentuk, ukuran, dan tata letak untuk mengidentifikasi fitur. Selain itu, metode ini bekerja dengan baik saat dikombinasikan dengan klasifikator *Convolutional Neural Network* (CNN) dalam mengklasifikasi objek. CNN memiliki keunggulan signifikan dalam efisiensi komputasi dan proses ekstraksi fitur secara otomatis. Pada penelitian ini telah dikembangkan metode *Simple Linear Iterative Clustering* (SLIC) – *Convolutional Neural Networks* (CNN) untuk klasifikasi pengenalan kerusakan jalan raya. SLIC akan dieksplorasi dengan memvariasikan jumlah *cluster* untuk mendapatkan model klasifikasi terbaik. Metode yang diusulkan kemudian diaplikasikan pada citra udara yang menggambarkan kondisi jalan rusak di Wilayah Spanyol. Terdapat empat objek yang dipilih untuk menguji hasil klasifikasi, yaitu aspal, jalan rusak, rumput, dan markah jalan. Hasil klasifikasi dengan metode yang diusulkan mampu mengungguli metode penelitian sebelumnya dalam hal akurasi dan presisi. Rata-rata akurasi yang diperoleh adalah 94,86% untuk SLIC-CNN 300 *cluster*, 94,70% untuk SLIC-CNN 500 *cluster*, dan 95,56% untuk SLIC-CNN 700 *cluster*.

Kata kunci. *Klasifikasi, Kerusakan Jalan, Simple Linear Iterative Clustering (SLIC), Convolutional Neural Networks (CNN), Citra Udara*

ABSTRACT

RANIA VIRDA SUKMANINGSIH. Aerial Image-Based Road Damage Recognition Using Convolutional Neural Network (CNN). Under supervised by Dr. rer. nat Bambang Heru Iswanto, M.Si and Haris Suhendar, S.Si, M.Sc.

In this thesis, the use of aerial images captured by drone cameras for highway defect recognition classification is proposed. Aerial imagery has a high resolution, making the pixel-to-pixel approach difficult because highway defects are generally spread over several pixels. Object Based Image Analysis (OBIA) is an image analysis method that uses an object-based approach to identify and classify features in an image. The OBIA method uses algorithms that utilize spatial and morphological characteristics, such as shape, size, and layout, to identify features. In addition, this method works well when combined with the Convolutional Neural Network (CNN) classifier in classifying objects. CNN has significant advantages in terms of computational efficiency and automatic feature extraction process. In this research, a Simple Linear Iterative Clustering (SLIC) - Convolutional Neural Network (CNN) method has been developed for the classification of highway damage recognition. SLIC will be explored by varying the number of clusters to obtain the best classification model. The proposed method is then applied to aerial images depicting the condition of damaged roads in the Spanish Region. Four objects were selected to validate the classification results: asphalt, damaged roads, grass, and road markings. The classification results with the proposed method outperformed the previous research method in terms of accuracy and precision. The average accuracy obtained is 94,86% for SLIC-CNN 300 clusters, 94,70% for SLIC-CNN 500 clusters, and 95,56% for SLIC-CNN 700 clusters.

Keywords. Classification, Road Damage, Simple Linear Iterative Clustering (SLIC), Convolutional Neural Networks (CNN), Aerial Imagery

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI | ii |
| LEMBAR PERNYATAN | iii |
| KATA PENGANTAR | iv |
| ABSTRAK | vi |
| ABSTRACT | vii |
| DAFTAR ISI | viii |
| DAFTAR TABEL | x |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah | 6 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 6 |
| 1.4 Manfaat Penelitian | 7 |
| BAB II KAJIAN PUSTAKA | 8 |
| 2.1 Citra Foto Udara | 8 |
| 2.1.1 <i>Unmanned Aerial Vehicle</i> (UAV) | 9 |
| 2.1.2 Jenis-Jenis UAV | 11 |
| 2.2 <i>Object Based Image Analysis</i> (OBIA) | 14 |
| 2.2.1 <i>Simple Linear Iterative Clustering</i> (SLIC) | 17 |
| 2.3 <i>Deep learning</i> | 20 |
| 2.3.1 <i>Artificial Neural Network</i> (ANN) | 21 |
| 2.3.2 <i>Convolutional Neural Network</i> (CNN) | 23 |
| 2.4 Penelitian Relevan | 26 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | 32 |
| 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian | 32 |
| 3.2 Metode Penelitian | 32 |
| 3.2.1 Alat Penelitian | 32 |
| 3.2.2 Prosedur Penelitian | 32 |
| 3.3 Dataset dan Teknik Analisis Data | 35 |
| 3.3.1 Dataset | 35 |

| | |
|---|------------|
| 3.3.2 Teknik Analisis Data | 36 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 38 |
| 4.1 Data | 38 |
| 4.2 Pengolahan Citra | 39 |
| 4.2.1 Penskalaan Citra | 39 |
| 4.2.2 Segmentasi Citra | 39 |
| 4.2.3 <i>Scaling</i> Segmen | 42 |
| 4.2.4 Pelabelan Objek | 43 |
| 4.2.5 Rasterisasi Citra | 44 |
| 4.3 Persiapan Data | 45 |
| 4.3.1 Pemisahan Data (<i>Data Splitting</i>) | 45 |
| 4.4 Klasifikasi Kerusakan Jalan Raya | 46 |
| 4.4.1 Arsitektur CNN | 46 |
| 4.4.2 Model SLIC-CNN Menggunakan 300 <i>Cluster</i> | 49 |
| 4.4.3 Model SLIC-CNN Menggunakan 500 <i>Cluster</i> | 54 |
| 4.4.4 Model SLIC-CNN Menggunakan 700 <i>Cluster</i> | 60 |
| 4.5 Pembahasan | 66 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | 70 |
| 5.1 Kesimpulan | 70 |
| 5.2 Saran | 70 |
| DAFTAR PUSTAKA | 71 |
| LAMPIRAN | 79 |
| DAFTAR RIWAYAT HIDUP | 112 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|------------|--|----|
| Tabel 2.1 | Spesifikasi <i>Unmanned Aerial Vehicle (UAV)</i> | 10 |
| Tabel 2.2 | Kelebihan dan kelemahan UAV | 14 |
| Tabel 2.3 | Parameter dan <i>hyperparameter</i> CNN | 26 |
| Tabel 3.1 | <i>Confusion matrix</i> (matriks konfusi) | 36 |
| Tabel 4.1 | Parameter SLIC | 40 |
| Tabel 4.2 | Jumlah segmen yang dihasilkan dari 71 citra | 41 |
| Tabel 4.3 | Hasil <i>scaling</i> segmen seluruh citra | 43 |
| Tabel 4.4 | Jumlah label objek yang dibuat dari 71 citra tersegmentasi | 43 |
| Tabel 4.5 | Jumlah data latih dan data uji saat $n_segments=300$ | 45 |
| Tabel 4.6 | Jumlah data latih dan data uji saat $n_segments=500$ | 45 |
| Tabel 4.7 | Jumlah data latih dan data uji saat $n_segments=700$ | 45 |
| Tabel 4.8 | Konfigurasi <i>hyperparameter</i> CNN | 46 |
| Tabel 4.9 | Konfigurasi <i>hyperparameter</i> setiap lapisan CNN | 46 |
| Tabel 4.10 | Resolusi <i>input</i> shape model CNN | 47 |
| Tabel 4.11 | Matriks konfusi pelatihan model SLIC-CNN menggunakan 300 <i>cluster</i> | 51 |
| Tabel 4.12 | Matriks evaluasi pelatihan model SLIC-CNN menggunakan 300 <i>cluster</i> | 52 |
| Tabel 4.13 | Matriks konfusi pengujian model SLIC-CNN menggunakan 300 <i>cluster</i> | 52 |
| Tabel 4.14 | Matriks evaluasi pengujian model CNN dengan tuning <i>hyperparameter</i> saat SLIC 300 <i>cluster</i> | 53 |
| Tabel 4.15 | Matriks konfusi pelatihan model CNN dengan tuning <i>hyperparameter</i> pada 500 <i>cluster</i> | 56 |
| Tabel 4.16 | Matriks evaluasi pelatihan model CNN dengan tuning <i>hyperparameter</i> pada 500 <i>cluster</i> | 56 |
| Tabel 4.17 | Matriks konfusi pengujian model CNN dengan tuning <i>hyperparameter</i> dengan 500 <i>cluster</i> | 58 |
| Tabel 4.18 | Matriks evaluasi pengujian model CNN dengan tuning <i>hyperparameter</i> saat SLIC 500 <i>cluster</i> | 58 |
| Tabel 4.19 | Matriks konfusi pelatihan model SLIC-CNN menggunakan 700 <i>cluster</i> | 62 |
| Tabel 4.20 | Matriks evaluasi pelatihan model SLIC-CNN menggunakan 700 <i>cluster</i> | 62 |
| Tabel 4.21 | Matriks konfusi pengujian model SLIC-CNN menggunakan 700 <i>cluster</i> | 64 |
| Tabel 4.22 | Matriks evaluasi pengujian model SLIC-CNN menggunakan 700 <i>cluster</i> | 64 |
| Tabel 4.23 | Akurasi pengujian setiap model SLIC-CNN | 66 |
| Tabel 4.24 | Kompleksitas dan waktu prediksi tiap model SLIC-CNN | 68 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|--|----|
| Gambar 2.1 | Arsitektur sistem UAV (Mohsan dkk., 2022) | 11 |
| Gambar 2.2 | Jenis-jenis <i>Unmanned Aerial Vehicles</i> (UAV) (Kanellakis & Nikolakopoulos, 2017) | 12 |
| Gambar 2.3 | Gambar yang telah disegmentasi menggunakan metode SLIC menjadi kumpulan <i>superpixel</i> dengan ukuran sekitar 64, 256, dan 1024 piksel (Achanta dkk., 2012)..... | 18 |
| Gambar 2.4 | Perbedaan pencarian wilayah <i>superpixel</i> menggunakan (a) <i>k-mean cluster</i> dan (b) SLIC | 19 |
| Gambar 2.5 | Contoh <i>neural network</i> (Lee, 2020) | 21 |
| Gambar 2.6 | Struktur neuron pada ANN (Shaw dkk., 2020) | 22 |
| Gambar 2.7 | Arsitektur CNN (Yamashita dkk., 2018)..... | 23 |
| Gambar 2.8 | Operasi konvolusi dengan <i>padding</i> (Sagar & Dyrba, 2020) | 24 |
| Gambar 3.1 | Diagram Alir Prosedur Penelitian | 33 |
| Gambar 3.2 | Desain Alur pembuatan program klasifikasi dengan SLIC-CNN . | 33 |
| Gambar 3.3 | Proses akuisisi data menggunakan UAV (Silva dkk., 2020)..... | 36 |
| Gambar 4.1 | Citra <i>drone</i> jalan raya di Spanyol (Silva dkk., 2020)..... | 39 |
| Gambar 4.2 | Hasil segmentasi SLIC pada salah satu citra menggunakan a) 300 <i>cluster</i> , b) 500 <i>cluster</i> , dan c) 700 <i>cluster</i> | 42 |
| Gambar 4.3 | Hasil pelabelan objek menggunakan titik..... | 44 |
| Gambar 4.4 | Grafik akurasi model SLIC-CNN menggunakan 300 <i>cluster</i> | 50 |
| Gambar 4.5 | Salah satu sampel citra hasil prediksi (a) model SLIC-CNN 300 <i>cluster</i> dan (b) tampilan asli | 54 |
| Gambar 4.6 | Salah satu sampel citra hasil prediksi terklasifikasi ketika diperbesar pada (a) tampilan asli, (b) hasil prediksi model SLIC-CNN..... | 54 |
| Gambar 4.7 | Grafik akurasi model SLIC-CNN menggunakan 500 <i>cluster</i> | 55 |
| Gambar 4.8 | Salah satu sampel citra hasil prediksi (a) model SLIC-CNN 500 <i>cluster</i> dan (c) tampilan asli | 59 |
| Gambar 4.9 | Salah satu sampel citra hasil prediksi terklasifikasi ketika diperbesar pada (a) tampilan asli, (b) model SLIC-CNN menggunakan 500 <i>cluster</i> | 60 |
| Gambar 4.10 | Grafik akurasi model SLIC-CNN menggunakan 700 <i>cluster</i> | 61 |
| Gambar 4.11 | Salah satu sampel citra hasil prediksi (a) model SLIC-CNN 700 <i>cluster</i> dan (c) tampilan asli | 65 |
| Gambar 4.12 | Salah satu sampel citra hasil prediksi terklasifikasi ketika diperbesar pada (a) tampilan asli, (b) model SLIC-CNN menggunakan 700 <i>cluster</i> | 65 |