

**PENGEMBANGAN MODEL *MACHINE LEARNING* UNTUK
PREDIKSI SERAPAN KARBON MENGGUNAKAN CITRA
*DRONE***

Skripsi



oleh:

**CHRISTINA ANDREA PUTRI
71200620**

**PROGRAM STUDI INFORMATIKA FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS KRISTEN DUTA WACANA**

2024

PENGEMBANGAN MODEL MACHINE LEARNING UNTUK PREDIKSI EMISI KARBON MENGGUNAKAN CITRA

Skripsi



Diajukan kepada Program Studi Informatika Fakultas Teknologi Informasi
Universitas Kristen Duta Wacana
Sebagai Salah Satu Syarat dalam Memperoleh Gelar
Sarjana Komputer

Disusun oleh

CHRISTINA ANDREA PUTRI

71200620

DUTA WACANA

**PROGRAM STUDI INFORMATIKA FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS KRISTEN DUTA WACANA**

2024

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul:

PENGEMBANGAN MODEL *MACHINE LEARNING* UNTUK PREDIKSI SERAPAN KARBON MENGGUNAKAN CITRA *DRONE*

yang saya kerjakan untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Komputer pada pendidikan Sarjana Program Studi Informatika Fakultas Teknologi Informasi Universitas Kristen Duta Wacana, bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi keserjanaan di lingkungan Universitas Kristen Duta Wacana maupun di Perguruan Tinggi atau instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Jika dikemudian hari didapati bahwa hasil skripsi ini adalah hasil plagiasi atau tiruan dari skripsi lain, saya bersedia dikenai sanksi yakni pencabutan gelar keserjanaan saya.

Yogyakarta, 11 Juli 2024



CHRISTINA ANDREA PUTRI
71200620

HALAMAN PERSETUJUAN

Judul Skripsi : PENGEMBANGAN MODEL *MACHINE LEARNING* UNTUK PREDIKSI SERAPAN KARBON MENGGUNAKAN CITRA *DRONE*

Nama Mahasiswa : CHRISTINA ANDREA PUTRI

N I M : 71200620

Mata kuliah : Skripsi (Tugas Akhir)

Kode : TI0366

Semester : Genap

Tahun Akademik : 2023/2024

Telah diperiksa dan disetujui di
Yogyakarta,
Pada tanggal 11 Juli 2024

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Gloria Virginia, S.Kom., MAI, Ph.D.


Willy Sudiarto Raharjo, S.Kom., M.Cs.

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
SKRIPSI/TESIS/DISERTASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Kristen Duta Wacana, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Christina Andrea Putri
NIM : 71200620
Program studi : Informatika
Fakultas : Teknologi Informasi
Jenis Karya : Skripsi

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Kristen Duta Wacana **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**“PENGEMBANGAN MODEL MACHINE LEARNING UNTUK PREDIKSI
SERAPAN KARBON MENGGUNAKAN CITRA DRONE”**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Kristen Duta Wacana berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama kami sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Yogyakarta
Pada Tanggal : 31 Juli 2024

Yang menyatakan,



(Christina Andrea Putri)

NIM.71200620

HALAMAN PENGESAHAN

PENGEMBANGAN MODEL MACHINE LEARNING UNTUK PREDIKSI SERAPAN KARBON MENGGUNAKAN CITRA DRONE

Oleh: CHRISTINA ANDREA PUTRI / 71200620

Dipertahankan di depan Dewan Penguji Skripsi
Program Studi Informatika Fakultas Teknologi Informasi
Universitas Kristen Duta Wacana - Yogyakarta
Dan dinyatakan diterima untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Komputer
pada tanggal 20 Juni 2024

Yogyakarta, 11 Juli 2024

Mengesahkan,

Dewan Penguji:

1. Gloria Virginia, S.Kom., MAI, Ph.D.
2. Willy Sudiarto Raharjo, S.Kom., M.Cs.
3. R. Gunawan Santosa, Drs. M.Si.
4. Lukas Chrisantyo, S.Kom., M.Eng.

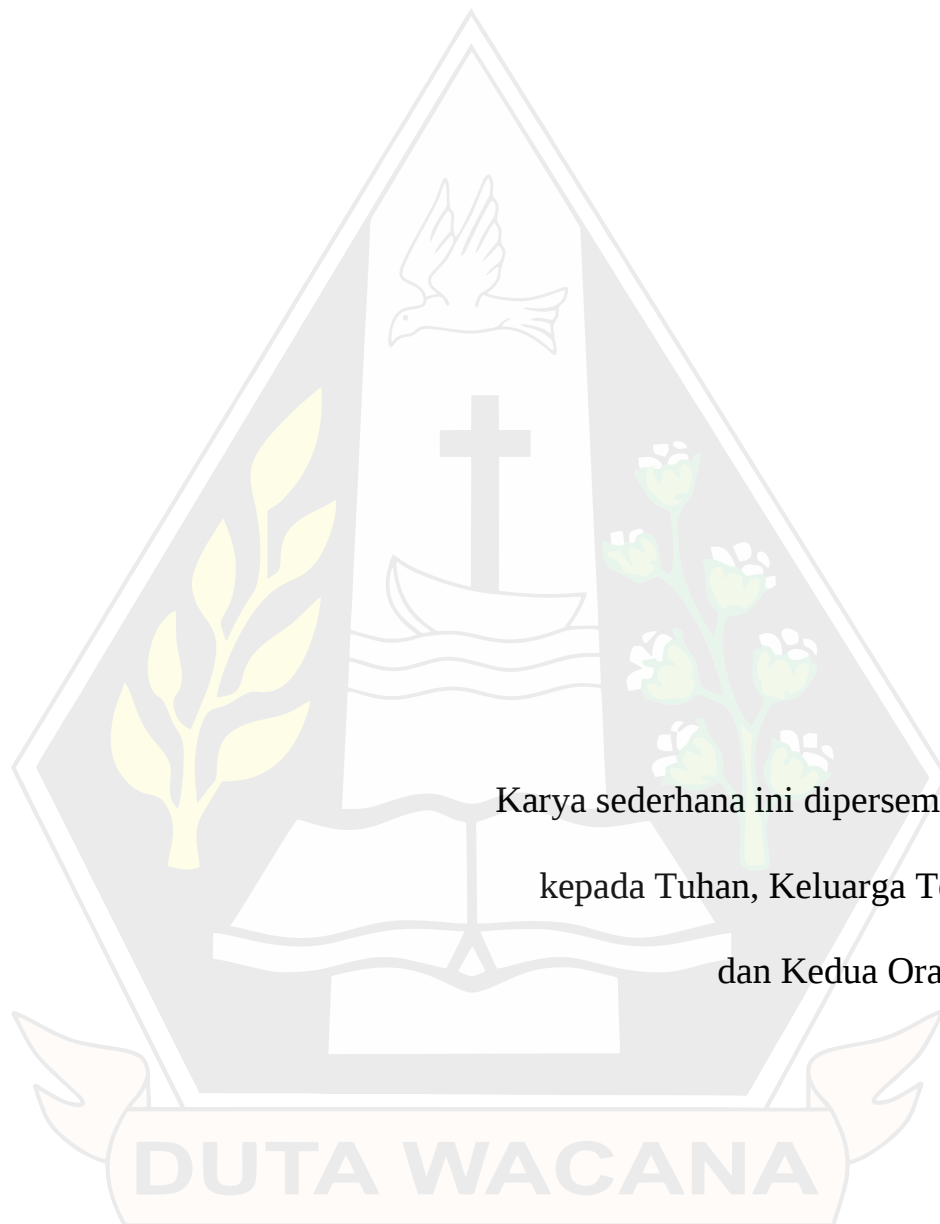


Dekan

(Restyandito, S.Kom., MSIS., Ph.D.)

Ketua Program Studi

(Joko Purwadi, S.Kom., M.Kom.)



Karya sederhana ini dipersembahkan
kepada Tuhan, Keluarga Tercinta,
dan Kedua Orang Tua



“Two steps forward, one step back, is still one step forward.”

—Rosa Diaz, Brooklyn 99

“You can’t design your life like a building, it doesn’t work that way. You just have to live it and it will design itself. Listen to what the world is telling you to do and ... take the leap.”

—Lily Aldrin, How I Met Your Mother

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat, bimbingan, dan bantuan-Nya sehingga penulisan skripsi yang berjudul "Pengembangan Model *Machine Learning* Untuk Prediksi Serapan Karbon Menggunakan Citra *Drone*" ini dapat diselesaikan dengan baik.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis banyak menerima bantuan dan dukungan, baik secara moral maupun spiritual. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa.
2. Orang tua yang selalu membimbing dan mendoakan penulis tanpa henti.
3. Restyandito, S.Kom., MSIS., Ph.D, selaku Dekan Fakultas Teknologi Informasi, atas segala dukungan dan arahannya selama masa studi.
4. Joko Purwadi, S.Kom., M.Kom., selaku Ketua Program Studi Informatika, atas bimbingan dan fasilitas yang diberikan selama proses penulisan skripsi ini.
5. Gloria Virginia, S.Kom., MAI., Ph.D, selaku Dosen Pembimbing 1, atas ilmu dan kesabaran dalam membimbing penulis.
6. Willy Sudiarto Raharjo, S.Kom., M.Cs., selaku Dosen Pembimbing 2, atas ilmu dan bimbingannya yang penuh kesabaran.
7. PT Aerotek Global Inovasi (Beehive Drones) selaku mitra penelitian, yang telah memberikan banyak support melalui sumber data serta memberikan ilmu sehingga proses skripsi ini bisa berjalan dengan lancar.
8. Keluarga tercinta yang selalu memberikan dukungan dan doa yang tak terputus.
9. Teman-teman dan semua pihak yang telah memberikan dukungan moral dan spiritual selama proses belajar.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan dan kelemahan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk

perbaikan di masa mendatang. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca, khususnya dalam pengembangan ilmu komputer dan teknologi informasi.

Yogyakarta, 11 Juli 2024

Penulis



DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS SECARA ONLINE.....	vi
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
INTISARI.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Penelitian	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	4
2.1 Tinjauan Pustaka	4
2.2 Landasan Teori.....	7
2.2.1 Emisi Karbon	7
2.2.2 <i>Machine Learning</i>	7
2.2.3 <i>Deep Learning</i>	8
2.2.4 Standarisasi Data.....	9
2.2.5 <i>Padding</i>	10
2.2.6 <i>Unmanned Aerial Vehicle (UAV)</i>	11
2.2.6 <i>NIR Image</i>	12
2.2.7 <i>Features from Accelerated Segment Test (FAST)</i>	12
2.2.8 <i>Scale-Invariant Feature Transform (SIFT)</i>	13

2.2.9	<i>Histogram Equalization</i>	14
2.2.10	<i>Convolutional Neural Network (CNN)</i>	16
2.2.11	<i>AdaBoost</i>	20
2.2.12	<i>Support Vector Regression (SVR)</i>	21
2.2.13	<i>R² Score</i>	22
2.2.14	<i>Mean Actual Percentage Error (MAPE)</i>	22
2.2.15	<i>Serverless Computing</i>	23
2.2.16	<i>Amazon Web Services</i>	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		25
3.1	Metode Penelitian	25
3.2	Studi Pustaka.....	25
3.3	Pengumpulan Data	26
3.4	Pengembangan Model.....	30
3.4.1	Pra-proses Data	30
3.4.2	<i>Modelling Process</i>	36
3.4.3	Implementasi Model	37
3.5	Evaluasi Model	38
BAB IV IMPLEMENTASI DAN ANALISIS		40
4.1	Pra-proses Citra.....	40
4.1.1	Peningkatan Kualitas Citra.....	40
4.1.2	Ekstraksi Fitur dan Komputasi Deskriptor Pada Citra.....	43
4.1.3	Pembuatan Dataset	45
4.2	Pembuatan Model	48
4.2.1	Pembuatan Model Dengan <i>Deep Learning (CNN)</i>	48
4.2.2	Pembuatan Model Dengan <i>Machine Learning</i>	53
4.3	Pengujian Model	55
4.3.1	Model Berdasarkan <i>Dataset</i> Setiap Ketinggian	55

4.3.2	Model Berdasarkan <i>Dataset</i> Setiap Ketinggian dan Ukuran	56
4.3.3	Model Berdasarkan <i>Dataset</i> Semua Ketinggian dan Semua Ukuran	59
4.4	Analisis Hasil Pengujian	60
4.5	Analisis Model Akhir	60
4.5.1	Perbandingan Performa Dengan Pemodelan Sebelumnya	61
4.5.2	Rata-rata <i>Error Rate</i> Nilai Karbon Asli Dengan Prediksi Nilai Karbon	61
4.6	Implementasi Model Menggunakan Arsitektur <i>Serverless</i>	62
4.6.1	<i>Deploy</i> Model Menggunakan Layanan Amazon Web Services (AWS)	62
4.6.2	Uji Coba API Dengan Postman	65
4.6.3	Integrasi API Pada <i>Website</i> ISAI	65
4.6.4	Uji Coba Menu “Kalkulator Karbon” Pada <i>Website</i> ISAI	66
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	68
5.1	Kesimpulan	68
5.2	Saran	69
	DAFTAR PUSTAKA	70
	LAMPIRAN A KODE PROGRAM	75
	LAMPIRAN B KARTU KONSULTASI	76
	LAMPIRAN C FORMULIR REVISI	78
	LAMPIRAN D DATA PENGUJIAN	79

DUTA WACANA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perbedaan machine learning dan deep learning	9
Gambar 2.2 Jenis-jenis UAV	12
Gambar 2.3 Contoh citra RGB-NIR	12
Gambar 2.4 Visualisasi cara FAST bekerja	13
Gambar 2.5 Visualisasi komputasi deskriptor dengan SIFT (Fouad, Zawbaa, El-Bendary, & Hassanien, 2013)	14
Gambar 2.6 Visualisasi distribusi pixel pada citra menggunakan histogram equalization	14
Gambar 2.7 Fully connected layer	16
Gambar 2.8 Convolution layer	17
Gambar 2.9 Pooling layer	18
Gambar 2.10 Grafik ReLU	19
Gambar 2.11 Persentase implementasi serverless	23
Gambar 2.12 Layanan AWS	24
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 3.2 Contoh citra NIR sebelum menggunakan CLAHE	31
Gambar 3.3 Visualisasi intensitas pixel pada citra NIR sebelum menggunakan CLAHE	31
Gambar 3.4 Citra NIR setelah menggunakan CLAHE	32
Gambar 3.5 Visualisasi distribusi intensitas pixel pada citra NIR setelah menggunakan CLAHE	32
Gambar 3.6 Keypoints <i>raw</i> dari citra NIR	33
Gambar 3.7 Keypoints yang sudah diekstrak	34
Gambar 3.8 Visualisasi <i>keypoints</i> yang berhasil dideteksi oleh FAST	35
Gambar 3.9 Contoh bentuk deskriptor dalam 1 citra	36
Gambar 3.10 Contoh visualisasi sebaran fitur	37
Gambar 3.11 Arsitektur serverless yang akan digunakan	38
Gambar 4.1 Bentuk histogram dari parameter yang kurang optimal	43
Gambar 4.2 Code untuk komputasi deskriptor	45

Gambar 4.3 Potongan kode untuk membuat dataset baru.....	46
Gambar 4.4 Dataset baru dengan metode deteksi fitur FAST	47
Gambar 4.5 Dataset baru dengan metode deteksi fitur SIFT	47
Gambar 4.6 Contoh bentuk dataframe FAST yang telah direstrukturisasi	48
Gambar 4.23 <i>Drag and drop</i> citra ke dalam <i>box</i>	66
Gambar 4.24 Klik tombol "Unggah"	67
Gambar 4.25 Proses <i>loading</i> prediksi citra	67
Gambar 4.26 <i>User interface</i> ISAI jika prediksi berhasil.....	67



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Contoh Data Citra	26
Tabel 3.1 Contoh Data Citra (lanjutan).....	27
Tabel 3.1 Contoh Data Citra (lanjutan).....	28
Tabel 3.2 HST 0 Kowang	29
Tabel 3.3 HST 1 Tulung	29
Tabel 3.4 HST 2 Kowang	30
Tabel 4.1 Citra dan histogram sebelum menggunakan CLAHE	41
Tabel 4.2 Citra dan histogram setelah menggunakan CLAHE	42
Tabel 4.3 Rekomendasi Parameter untuk CLAHE	43
Tabel 4.4 Perbandingan jumlah fitur menggunakan FAST dan SIFT	44
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Model Setiap Ketinggian	55
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Model Setiap Ketinggian (lanjutan)	55
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Model Setiap Ketinggian dan Ukuran	57
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Model Setiap Ketinggian dan Ukuran (lanjutan).....	58
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Model Setiap Ketinggian dan Ukuran (lanjutan).....	59
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Model Semua Ketinggian dan Semua Ukuran	59
Tabel 4.8 Perbandingan R^2 Score Model	61
Tabel 4.9 Perbandingan Rata-rata Error Rate (%) Model Dalam Memprediksi Citra Asli	62
Tabel 5.1 Rekomendasi Nilai Parameter CLAHE	68

INTISARI

PENGEMBANGAN MODEL MACHINE LEARNING UNTUK PREDIKSI SERAPAN KARBON MENGGUNAKAN CITRA DRONE

Oleh

CHRISTINA ANDREA PUTRI

71200620

Penelitian ini bertujuan mengembangkan model *machine learning* untuk meningkatkan akurasi perhitungan serapan karbon di sektor pertanian menggunakan citra *drone*, mengatasi masalah emisi gas rumah kaca sebagai faktor *global warming*. Lokasi penelitian adalah Kalasan, D.I. Yogyakarta, Indonesia, yang dipilih oleh tim mitra. Untuk menghitung emisi karbon secara akurat, serapan karbon menjadi faktor penting yang perlu diperhitungkan.

Metode yang digunakan meliputi peningkatan kualitas citra dengan *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE) untuk meningkatkan kualitas visual dan kontras citra. Ekstraksi fitur dilakukan menggunakan teknik *Features from Accelerated Segment Test* (FAST) dan *Scale-Invariant Feature Transform* (SIFT) pada dataset.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa model *final* memiliki *error* sebesar 10% dengan metrik *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), dan R^2 score sebesar 0.75, menunjukkan performa yang baik dalam memprediksi serapan karbon. Validasi hasil dilakukan dengan membandingkan prediksi model terhadap data asli dari laboratorium. Performa model terbaik ditemukan saat memprediksi nilai karbon pada ketinggian 25 meter, dengan rata-rata *error rate* terkecil sebesar 6.77%. Hal ini menunjukkan bahwa ketinggian *drone* saat mengambil citra NIR sangat mempengaruhi prediksi model.

Kata-kata kunci : kualitas citra, citra drone, model *machine learning*, ekstraksi fitur, prediksi serapan karbon

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF A MACHINE LEARNING MODEL FOR CARBON SEQUESTRATION PREDICTION USING DRONE IMAGERY

CHRISTINA ANDREA PUTRI

71200620

The objective of this research project is to develop a machine learning model to improve the precision of carbon sequestration calculations in the agricultural sector through the utilization of drone imagery. The model addresses the issue of greenhouse gas emissions as a contributor to global warming. The research location is Kalasan, D.I. Yogyakarta, Indonesia, selected by the partner team. To accurately calculate carbon emissions, it is essential to consider the carbon uptake factor.

To enhance the visual quality and contrast of the images, the research employs the technique of Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE). The dataset underwent feature extraction using the FAST and SIFT techniques.

The results demonstrated that the final model exhibited an error of 10% with the Mean Absolute Percentage Error (MAPE) metric and an R² score of 0.75, indicating optimal performance in predicting carbon uptake. Validation was conducted by comparing the model predictions with the original data from the laboratory. The optimal model performance was observed when predicting carbon values at a height of 25 meters, exhibiting the lowest average error rate of 6.77%. These results demonstrate that the altitude of the drone when capturing NIR imagery significantly affects the predictive capacity of the model.

Keywords : image quality, drone imagery, machine learning model, feature extraction, carbon value prediction

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemanasan global dan perubahan iklim merupakan permasalahan dengan tingkat urgensi yang tinggi secara global. Salah satu penyebab utama pemanasan global dan perubahan iklim adalah emisi gas rumah kaca. Emisi gas rumah kaca adalah gas-gas yang dilepaskan ke atmosfer dari berbagai aktivitas manusia di bumi, yang menyebabkan efek rumah kaca di atmosfer (Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2018). Salah satu gas yang dilepaskan adalah karbon (C). Indonesia merupakan salah satu negara yang secara khusus berkontribusi pada emisi gas rumah kaca secara global. Berdasarkan data Uni Eropa, Indonesia berada di peringkat ke-11 pada tahun 2021, setelah Korea Selatan, sebagai negara penyumbang emisi gas karbon terbesar di dunia (Crippa, et al., 2022).

Indonesia adalah negara agraris. Menurut KBBI, negara agraris adalah negara yang memiliki sektor pertanian yang dominan dan sebagian besar penduduknya mencari nafkah melalui kegiatan pertanian, seperti bertani dan bercocok tanam. Sektor pertanian merupakan salah satu potensi sumber emisi gas rumah kaca, melalui aktivitas pertanian dan penggunaan lahan. Tanaman berperan penting dalam penyerapan karbon dioksida dari atmosfer melalui fotosintesis. Namun, sebelum dilakukan pengukuran emisi karbon, serapan karbon perlu diketahui terlebih dahulu. Untuk pengukuran serapan karbon dari tanaman secara akurat dan efisien masih menjadi tantangan yang besar sampai saat ini. Dengan memanfaatkan citra, seperti citra satelit atau *drone*, hal tersebut dapat memberikan informasi visual yang berguna untuk pengembangan model *machine learning* yang lebih akurat untuk memprediksi serapan karbon. Salah satu keuntungan menggunakan *model machine learning* untuk memprediksi serapan karbon adalah efisiensi dari segi waktu, biaya, tenaga dibandingkan dengan proses manual.

Penelitian prediksi serapan karbon menggunakan model *machine learning* telah diawali pada tahun 2022 dalam program Kedaireka UKDW yang bermitra dengan

PT Aerotek Global Inovasi (Beehive Drones). Penelitian tersebut difokuskan pada perhitungan serapan karbon yang terserap pada tanaman menggunakan data yang diambil di lapangan secara langsung oleh Tim Kedaireka. Hasil evaluasi model *machine learning* dari Kedaireka *Batch* 1 masih kurang optimal dari segi akurasi dan performa. Hal tersebut dapat terjadi karena beberapa kemungkinan, yaitu dari kualitas dataset yang buruk, indeks yang kurang cocok, pemilihan algoritma yang kurang tepat, atau *hyperparameter* yang kurang tepat (Santoso, 2022).

Penelitian saat ini berfokus untuk mengembangkan model *machine learning* sehingga dapat memberikan rekomendasi model *machine learning* dengan akurasi dan performa yang lebih optimal. Upaya ini diharapkan dapat membantu dalam mengatasi tantangan yang ada untuk memprediksi serapan karbon melalui citra dan menjadi salah satu solusi untuk perhitungan serapan karbon yang masih dilakukan secara manual. Pengembangan model ini akan menjadi kontribusi penting dalam menghasilkan informasi yang lebih akurat dan berguna bagi masyarakat yang terdampak.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah mengembangkan model prediksi serapan karbon menggunakan beberapa algoritma *machine learning*. Penelitian ini akan lebih difokuskan pada uji coba metode pra-proses dari segi peningkatan kualitas citra sampai deteksi fitur citra.

1.3 Batasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa batasan masalah, antara lain :

1. Data yang diproses adalah data citra dari *drone* yang dikumpulkan dalam program Kedaireka 1 (2022) dan Kedaireka 2 (2023).
2. Penelitian ini menggunakan parameter standar dari *library* yang digunakan

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan rekomendasi model *machine learning* dengan akurasi dan performa yang paling baik untuk diimplementasikan. Akurasi dan performa yang baik didapat dari hasil analisa model menggunakan metode analisis yang diusulkan pada metodologi penelitian.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Membantu mitra untuk melakukan perhitungan serapan karbon dengan lebih cepat dan efisien dibandingkan dengan metode manual
2. Hasil dari penelitian dapat berguna untuk membantu mitra (Beehive Drones) untuk meningkatkan kualitas teknologi yang digunakan
3. Mempermudah kegiatan *carbon monitoring* di lahan

1.6 Sistematika Penulisan

Laporan ini disusun dengan struktur sebagai berikut: Bab I berisi Latar Belakang, Rumusan Masalah, Batasan Penelitian, Tujuan Penelitian, Manfaat Penelitian, dan Metodologi Penelitian. Bab II mencakup Tinjauan Pustaka dan Landasan Teori sesuai dengan penelitian. Bab III menguraikan Metode Penelitian, termasuk Studi Pustaka, Pengumpulan Data, Pengembangan Model, dan Evaluasi Model. Bab IV menyajikan Hasil Penelitian dan Pembahasan, yang meliputi Pra-proses Citra, Pembuatan Model, Pengujian Model, dan Implementasi Model Menggunakan Arsitektur *Serverless*. Bab V berisi Kesimpulan dan Saran, yang merangkum hasil akhir penelitian serta memberikan rekomendasi untuk penelitian selanjutnya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dari pengembangan model *machine learning* untuk prediksi serapan karbon menggunakan citra *drone*, dapat ditarik beberapa kesimpulan. Model *Final* yang direkomendasikan adalah model *deep learning* yang dihasilkan dari dataset kategori "Semua Ketinggian dan Semua Ukuran" dengan metode deteksi fitur FAST (*Feature Accelerated from Segment Test*). Model ini menunjukkan performa yang sangat baik, dengan *error rate* rendah sebesar 10% diukur dengan MAPE dan R^2 score sebesar 0.75. Model *Final* ini lebih efektif dalam memprediksi nilai serapan karbon dibandingkan dengan model *machine learning* Kedaireka Batch 1.

Penggunaan metode peningkatan citra CLAHE (*Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization*) terbukti meningkatkan kualitas citra secara signifikan. Rekomendasi nilai parameter untuk CLAHE didasarkan pada hasil eksperimen dan analisis, dengan parameter optimal yang berbeda untuk setiap ukuran citra, seperti yang ditampilkan pada Tabel 5.1. Selain itu, metode FAST sebagai deteksi fitur lebih cocok digunakan pada dataset penelitian ini dibandingkan dengan SIFT (*Scale Invariant Feature Transform*), meskipun dari segi perhitungan, SIFT lebih kompleks.

Performa Model *Final* paling baik saat memprediksi nilai karbon pada ketinggian 25m, dengan rata-rata *error rate* terkecil di antara ketiga ketinggian yang ada, yaitu sebesar 6.77%. Hal ini menunjukkan bahwa ketinggian *drone* saat mengambil citra NIR sangat mempengaruhi prediksi model.

Tabel 5.1 Rekomendasi Nilai Parameter CLAHE

No.	ClipLimit	TileGridSize	Ukuran Citra
1	1.0	3x3	10x10
2	1.0	8x8	20x20
3	1.0	10x10	30x30

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya antara lain sebagai berikut. Saran pertama adalah data drone memiliki berbagai jenis format yang masing-masing memiliki karakteristik berbeda. Oleh karena itu, komputasi nilai untuk parameter pada CLAHE bisa dilakukan secara otomatis. Rekomendasi yang diberikan pada penelitian ini (Tabel 5.1) hanya berlaku untuk data yang khusus digunakan dalam penelitian ini. Komputasi nilai secara otomatis juga dilakukan untuk menghindari proses pencarian nilai optimal yang memakan waktu cukup panjang, sehingga meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam pengolahan data.

Saran kedua adalah melakukan otomatisasi proses pemotongan citra sawah menggunakan metode segmentasi. Tujuan dari otomatisasi proses tersebut adalah untuk meminimalisir keterlibatan tenaga manusia atau *human labor* dalam proses pemotongan citra, sehingga meningkatkan efisiensi dan konsistensi dalam pengolahan data. Metode segmentasi dapat secara otomatis mendeteksi dan memotong area sawah dalam citra *drone*, memungkinkan analisis lebih cepat dan akurat tanpa memerlukan intervensi manusia. Dengan demikian, proses pengolahan data menjadi lebih efektif dan dapat dilakukan dalam skala yang lebih besar dengan akurasi yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Agarap, A. F. (2018). *Deep Learning using Rectified Linear Units (ReLU)*.
- Alrasheedi, F., Zhong, X., & Huang, P.-C. (2023). *Padding Module: Learning the Padding in Deep Neural Networks*. <http://arxiv.org/abs/2301.04608>
- Alzubaidi, L., Zhang, J., Humaidi, A. J., Al-Dujaili, A., Duan, Y., Al-Shamma, O., Santamaría, J., Fadhel, M. A., Al-Amidie, M., & Farhan, L. (2021). Review of deep learning: concepts, CNN architectures, challenges, applications, future directions. *Journal of Big Data*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s40537-021-00444-8>
- Azad, P., Asfour, T., & Dillmann, R. (2009, October). Combining Harris interest points and the SIFT descriptor for fast scale-invariant object recognition. *2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. <https://doi.org/10.1109/iros.2009.5354611>
- Azeez Joodi, M., Hadi Saleh, M., & Jasim Kadhim, D. (2023). A New Proposed Hybrid Learning Approach with Features for Extraction of Image Classification. *Journal of Robotics*, 2023, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2023/9961421>
- Behera, T. K., Bakshi, S., & Sa, P. K. (2022). Vegetation Extraction from UAV-based Aerial Images through Deep Learning. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198, 107094. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107094>
- C3 AI. (2023, October 13). *What is Mean Absolute Percent Error (MAPE)*.
- Ciampiconi, L., Elwood, A., Leonardi, M., Mohamed, A., & Rozza, A. (2023). *A survey and taxonomy of loss functions in machine learning*.
- Dinata, R. K., Hasdyna, N., & Alif, M. (2021). Applied of Information Gain Algorithm for Culinary Recommendation System in Lhokseumawe. *JOURNAL OF INFORMATICS AND TELECOMMUNICATION ENGINEERING*, 5(1), 45–52. <https://doi.org/10.31289/jite.v5i1.5199>

- ektamaini. (2023, January 10). *Python - coefficient of determination-R2 score*. GeeksforGeeks. <https://www.geeksforgeeks.org/python-coefficient-of-determination-r2-score/>
- Elwirehardja, G., Suparyanto, T., & Pardamean, B. (2023). *Pengenalan Konsep Machine Learning Untuk Pemula*.
- Fang, D., Zhang, X., Yu, Q., Jin, T. C., & Tian, L. (2018). A novel method for carbon dioxide emission forecasting based on improved Gaussian processes regression. *Journal of Cleaner Production*, 173, 143–150. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.102>
- Feng, D.-C., Liu, Z.-T., Wang, X.-D., Chen, Y., Chang, J.-Q., Wei, D.-F., & Jiang, Z.-M. (2020). Machine learning-based compressive strength prediction for concrete: An adaptive boosting approach. *Construction and Building Materials*, 230, 117000. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117000>
- Gaël Varoquaux, & Olivier Colliot. (2023). Evaluating machine learning models and their diagnostic value. In O. Colliot (Ed.), *Machine Learning for Brain Disorders*. Springer. <https://hal.science/hal-03682454v4/file/main.pdf>
- Gary Bradski, & Adrian Kaehler. (2008). *Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library*. O'Reilly Media, Inc.
- Ghosh, A., Sufian, A., Sultana, F., Chakrabarti, A., & De, D. (2019). Fundamental Concepts of Convolutional Neural Network. In *Recent Trends and Advances in Artificial Intelligence and Internet of Things* (pp. 519–567). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32644-9_36
- Huang, Y., Shen, L., & Liu, H. (2019). Grey relational analysis, principal component analysis and forecasting of carbon emissions based on long short-term memory in China. *Journal of Cleaner Production*, 209, 415–423. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.128>
- Jang, J., Kim, J., Lee, J., & Yang, S. (2018). *Neural Networks with Activation Networks*.
- Jernelv, I. L., Hjelme, D. R., Matsuura, Y., & Aksnes, A. (2020). *Convolutional neural networks for classification and regression analysis of one-dimensional spectral data*.

- Junarto, R., & Djurjani, D. (2020). Pemanfaatan Teknologi Unmanned Aerial Vehicle (UAV) untuk Pemetaan Kadaster. *BHUMI: Jurnal Agraria Dan Pertanahan*, 6(1). <https://doi.org/10.31292/jb.v6i1.428>
- Kong, D., Dai, Z., Tang, J., & Zhang, H. (2023). Forecasting urban carbon emissions using an Adaboost-STIRPAT model. *Frontiers in Environmental Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1284028>
- Kummer, N., & Najjaran, H. (2014). Adaboost.MRT: Boosting regression for multivariate estimation. *Artificial Intelligence Research*, 3(4). <https://doi.org/10.5430/air.v3n4p64>
- Lin, X., Ma, J., Chen, H., Shen, F., Ahmad, S., & Li, Z. (2022). Carbon Emissions Estimation and Spatiotemporal Analysis of China at City Level Based on Multi-Dimensional Data and Machine Learning. *Remote Sensing*, 14(13), 3014. <https://doi.org/10.3390/rs14133014>
- Lowe, D. G. (2004). Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. *International Journal of Computer Vision*, 60(2), 91–110. <https://doi.org/10.1023/b:visi.0000029664.99615.94>
- Lu, P., & Huang, Q. (2022). Robotic Weld Image Enhancement Based on Improved Bilateral Filtering and CLAHE Algorithm. *Electronics*, 11(21), 3629. <https://doi.org/10.3390/electronics11213629>
- Maktab Dar Oghaz, M., Razaak, M., Kerdegari, H., Argyriou, V., & Remagnino, P. (2019, May). Scene and Environment Monitoring Using Aerial Imagery and Deep Learning. *2019 15th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS)*. <https://doi.org/10.1109/dcoss.2019.00078>
- Munawar, H. S., Ullah, F., Qayyum, S., Khan, S. I., & Mojtahedi, M. (2021). UAVs in Disaster Management: Application of Integrated Aerial Imagery and Convolutional Neural Network for Flood Detection. *Sustainability*, 13(14), 7547. <https://doi.org/10.3390/su13147547>
- Nguyen, A.-D., Choi, S., Kim, W., Ahn, S., Kim, J., & Lee, S. (2019). Distribution Padding in Convolutional Neural Networks. *2019 IEEE*

- International Conference on Image Processing (ICIP)*, 4275–4279.
<https://doi.org/10.1109/ICIP.2019.8803537>
- OECD Factbook 2015-2016: Economic, Environmental and Social Statistics.
 (2016). In *OECD Factbook*. OECD. <https://doi.org/10.1787/factbook-2015-en>
- Qi, Y., Liu, H., Zhao, J., Zhang, S., Zhang, X., Zhang, W., & Wang, Y. (2023). Trends and Driving Forces of Agricultural Carbon Emissions: A Case Study of Fujian, China. *Polish Journal of Environmental Studies*, 32(5), 4789–4798. <https://doi.org/10.15244/pjoes/168445>
- Rao, N. S. S. V. S., Thangaraj, S. J. J., & Kumari, V. S. (2023). Flight Ticket Prediction using Gradient Boosting Regressor Compared with AdaBoost Regressor. *2023 Eighth International Conference on Science Technology Engineering and Mathematics (ICONSTEM)*, 1–5.
<https://doi.org/10.1109/ICONSTEM56934.2023.10142536>
- Romanuke, V. V. (2018). An attempt of finding an appropriate number of convolutional layers in cnns based on benchmarks of heterogeneous datasets. *Electrical, Control and Communication Engineering*, 14(1), 51–57.
<https://doi.org/10.2478/ecce-2018-0006>
- Rosten, E., & Drummond, T. (2006). Machine Learning for High-Speed Corner Detection. In *Lecture Notes in Computer Science* (pp. 430–443). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/11744023_34
- Senior, A., Heigold, G., Ranzato, M., & Yang, K. (2013). An empirical study of learning rates in deep neural networks for speech recognition. *2013 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 6724–6728. <https://doi.org/10.1109/ICASSP.2013.6638963>
- Shalev-Shwartz, S., & Ben-David, S. (2014). *Understanding Machine Learning: From Theory to Algorithms*. Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/cbo9781107298019>
- Shanker, M., Hu, M. Y., & Hung, M. S. (1996). Effect of data standardization on neural network training. *Omega*, 24(4), 385–397.
[https://doi.org/10.1016/0305-0483\(96\)00010-2](https://doi.org/10.1016/0305-0483(96)00010-2)

- Ucgun, H., Yuzgec, U., & Bayilmis, C. (2021). A review on applications of rotary-wing unmanned aerial vehicle charging stations. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 18(3), 172988142110158. <https://doi.org/10.1177/17298814211015863>
- Varia, J., & Mathew, S. (2014). *Overview of Amazon Web Services*.
- Wang, C., Li, M., & Yan, J. (2023). Forecasting carbon dioxide emissions: application of a novel two-stage procedure based on machine learning models. *Journal of Water and Climate Change*, 14(2), 477–493. <https://doi.org/10.2166/wcc.2023.331>
- Wu, T., Zeng, P., & Song, C. (2022). An optimization Strategy for Deep Neural Networks Training. *2022 International Conference on Image Processing, Computer Vision and Machine Learning (ICICML)*, 596–603. <https://doi.org/10.1109/ICICML57342.2022.10009665>
- Xie, Y., Ning, L., Wang, M., & Li, C. (2019). Image Enhancement Based on Histogram Equalization. *Journal of Physics: Conference Series*, 1314(1), 12161. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1314/1/012161>
- Yan, S., Zhang, Y., Sun, H., & Wang, A. (2023). A real-time operational carbon emission prediction method for the early design stage of residential units based on a convolutional neural network: A case study in Beijing, China. *Journal of Building Engineering*, 75, 106994. <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.106994>
- Zhao, J., Kou, L., Wang, H., He, X., Xiong, Z., Liu, C., & Cui, H. (2022). Carbon Emission Prediction Model and Analysis in the Yellow River Basin Based on a Machine Learning Method. *Sustainability*, 14(10), 6153. <https://doi.org/10.3390/su14106153>