

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

KLASIFIKASI TINGKAT KEPARAHAN KARHUTLA BERDASARKAN CITRA SATELIT MENGGUNAKAN *CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK*

ZAHRA AZPRILLA MURTI



**PROGRAM MAGISTER ILMU KOMPUTER
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Klasifikasi Tingkat Keparahannya Berdasarkan Citra Satelit Menggunakan *Convolutional Neural Network*” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Agustus 2025

Zahra Azprilla Murti
G6501222058

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

RINGKASAN

ZAHRA AZPRILLA MURTI. Klasifikasi Tingkat Keparahan Karhutla Berdasarkan Citra Satelit Menggunakan *Convolutional Neural Network*. Dibimbing oleh IMAS SUKAESIH SITANGGANG, HARI AGUNG ADRIANTO dan LAILAN SYAUFINA.

Kebakaran hutan dan lahan (karhutla) merupakan salah satu bencana lingkungan yang memiliki dampak signifikan terhadap ekosistem, kesehatan masyarakat, dan ekonomi. Informasi tingkat keparahan karhutla yang akurat, konsisten dan tepat waktu sangat dibutuhkan untuk mendukung strategi mitigasi, penanggulangan, serta rehabilitasi pascakebakaran. Penelitian ini bertujuan untuk membangun model klasifikasi tingkat keparahan kebakaran hutan dan lahan (karhutla) di Kabupaten Banjar, Kalimantan Selatan, menggunakan data citra Sentinel-2 periode Juni 2023 (*pre-fire*) dan September 2023 (*post-fire*) yang diproses menjadi subcitra (*patch*) dan diklasifikasikan ke dalam lima kategori (*Unburned, Low, Moderate, High, Very High*). Empat arsitektur *Convolutional Neural Networks* (CNN), yaitu VGG16, VGG19, InceptionV3, dan EfficientNet-B0, digunakan dengan pendekatan *transfer learning* dan dibandingkan dengan metode referensi berbasis indeks *differenced Normalized Burn Ratio* (dNBR). Penelitian dilakukan melalui dua percobaan, yaitu percobaan pertama menggunakan teknik *oversampling* untuk memperbanyak data pada kelas minoritas sehingga distribusi antar kelas lebih seimbang, lalu percobaan kedua menggabungkan *oversampling* dan *undersampling* untuk sekaligus mengurangi dominasi kelas mayoritas. Tahapan penelitian meliputi praproses citra, perhitungan dNBR, klasifikasi CNN, dan evaluasi menggunakan metrik akurasi, *F1-score*, sensitivitas, spesifisitas, serta analisis pola spasial. Hasil klasifikasi dNBR menunjukkan dominasi kategori *Unburned* (48,32%) dan *Low* (27,45%), sedangkan *High* dan *Very High* mencakup area yang relatif kecil. Pada percobaan pertama yang hanya menggunakan *oversampling*, EfficientNet-B0 menunjukkan kinerja terbaik dengan akurasi 94,21%, diikuti VGG16 (90,94%) dan VGG19 (89,67%), sedangkan InceptionV3 relatif rendah (66,80%). Percobaan kedua menggunakan *oversampling* dan *undersampling* memperlihatkan penurunan akurasi pada semua model, meskipun EfficientNet-B0 tetap unggul (83,91%) dan VGG19 konsisten mendekati pola dNBR, sementara InceptionV3 cenderung memprediksi proporsi kelas *High* lebih tinggi. Hasil ini menunjukkan bahwa CNN, terutama EfficientNet-B0 dan VGG19, mampu memberikan prediksi tingkat keparahan karhutla dengan akurasi tinggi dan konsistensi yang baik, menjadikannya pendekatan yang efektif untuk mendukung pemantauan, serta strategi rehabilitasi pascakebakaran.

Kata Kunci : *convolutional neural network* (CNN), citra satelit, kebakaran hutan dan lahan, klasifikasi, tingkat keparahan

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



SUMMARY

ZAHRA AZPRILLA MURTI. Classification of Forest and Land Fire Severity Levels Based on Satellite Imagery Using CNN. Supervised by IMAS SUKAESIH SITANGGANG, HARI AGUNG ADRIANTO, and LAILAN SYAUFINA.

Forest and land fires represent a major environmental disaster with significant impacts on ecosystems, public health, and the economy. Accurate, consistent, and timely information on fire severity is essential to support mitigation strategies, disaster response, and post-fire rehabilitation efforts. This study aims to develop a classification model for forest and land fire severity in Banjar Regency, South Kalimantan, using Sentinel-2 satellite imagery from June 2023 (pre-fire) and September 2023 (post-fire). The imagery was processed into sub-images (patches) and classified into five severity categories: Unburned, Low, Moderate, High, and Very High. Four Convolutional Neural Network (CNN) architectures VGG16, VGG19, InceptionV3, and EfficientNet-B0 were employed using a transfer learning approach and compared with a reference method based on the differenced Normalized Burn Ratio (dNBR) index. The study was conducted through two experimental setups: the first applied oversampling to increase the number of samples in minority classes, thereby achieving a more balanced class distribution, the second combined oversampling and undersampling to also reduce the dominance of majority classes. The research stages included image preprocessing, dNBR computation, CNN classification, and evaluation using accuracy, F1-score, sensitivity, specificity, and spatial pattern analysis. The dNBR classification results indicated dominance of the Unburned (48.32%) and Low (27.45%) categories, while High and Very High covered relatively small areas. In the first experiment, which applied oversampling only, EfficientNet-B0 achieved the highest performance with an accuracy of 94.21%, followed by VGG16 (90.94%) and VGG19 (89.67%), whereas InceptionV3 yielded lower accuracy (66.80%). The second experiment, combining oversampling and undersampling, showed an overall decrease in accuracy for all models, although EfficientNet-B0 remained the best performer (83.91%), and VGG19 consistently aligned closely with the dNBR pattern, while InceptionV3 tended to predict a higher proportion of High severity class. These findings demonstrate that CNN-based approaches, particularly EfficientNet-B0 and VGG19, can provide high-accuracy and consistent predictions of fire severity, making them effective tools to support fire monitoring, and post-fire rehabilitation strategies.

Keywords: burn severity, classification, convolutional neural network (CNN), forest and land fire, satellite image



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

KLASIFIKASI TINGKAT KEPARAHAN KARHUTLA BERDASARKAN CITRA SATELIT MENGGUNAKAN CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK

ZAHRA AZPRILLA MURTI

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Studi Ilmu Komputer

**PROGRAM MAGISTER ILMU KOMPUTER
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tesis:
Dr. Ir. Sri Wahjuni, MT



Judul Tesis : Klasifikasi Tingkat Keparahan Karhutla Berdasarkan Citra Satelit
Menggunakan *Convolutional Neural Network*
Nama : Zahra Azprilla Murti
NIM : G6501222058

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Prof. Dr. Imas Sukaesih Sitanggang, S.Si M.Kom



Pembimbing 2:

Hari Agung Adrianto, S.Kom., M.Si., Ph.D



Pembimbing 3:

Prof. Dr. Lailan Syaufina, M.Sc



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Dr. Toto Haryanto, S.Si., M.Si.
NIP 19821117 201404 1 000



Dekan Sekolah Sains Data, Matematika dan Informatika:

Prof. Dr. Ir. Agus Buono, M.Si., M.Kom
NIP. 196607021993021001



Tanggal Ujian:
22 Agustus 2025

Tanggal Lulus:

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Januari 2024 sampai bulan Juli 2025 ini ialah tingkat keparahan kebakaran hutan dan lahan, dengan judul “Klasifikasi Tingkat Keparahannya Karhutla Berdasarkan Citra Satelit Menggunakan *Convolutional Neural Network*”.

Penulis juga ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bimbingan selama proses penulisan ini. Terima kasih penulis ucapkan kepada:

1. Bapak Bambang Hermanto dan Ibu Wahyu Murtiningsih selaku orang tua penulis, yang telah memberikan doa, dukungan, arahan hingga motivasi yang tiada henti-hentinya, Muhammad Osamma Akbar Hermanto dan Muhammad Fauzio Mountana Hermanto selaku adik dari penulis yang tiada henti menghibur hati penulis.
2. Prof. Dr. Imas Sukaesih Sitanggang, S.Si M.Kom, Hari Agung Adrianto, S.Kom., M.Si., Ph.D dan Prof. Dr. Lailan Syaufina, M.Sc selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan bimbingan dan dorongan kepada penulis dalam penyelesaian tesis.
3. Seluruh dosen dan staff Magister Ilmu Komputer yang telah memberikan dukungan selama perkuliahan.
4. Zahra Azprilla Murti yaitu diri saya sendiri, terima kasih telah bekerja keras berjuang sejauh ini. Mampu mengendalikan diri dari berbagai tekanan diluar keadaan dan tak pernah memutuskan untuk menyerah sesulit apapun dalam proses penyusunan tesis ini, dengan menyelesaikan sebaik dan semaksimal mungkin, ini merupakan pencapaian yang patut dibanggakan untuk diri sendiri.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Agustus 2025

Zahra Azprilla Murti



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xi
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	3
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kebakaran Hutan dan Lahan (Karhutla)	5
2.2 Tingkat Keparahan Karhutla	5
2.3 Sentinel-2	8
2.4 <i>Convolutional Neural Network (CNN)</i>	9
2.5 VGG-16	12
2.6 VGG-19	13
2.7 InceptionV3	14
2.8 EfficientNet-B0	16
III METODE	18
3.1 Data dan Area Studi	18
3.2 Tahapan Penelitian	19
3.3 Klasifikasi Tingkat Keparahan Karhutla	19
3.4 Pemetaan Tingkat Keparahan Karhutla : dNBR dan CNN	21
3.5 Hyperparameter Tuning	21
3.6 Evaluasi Model	22
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1 Praproses Data	24
4.2 Analisis Tingkat Keparahan Karhutla Berdasarkan dNBR	25
4.3 Pembagian Data	27
4.4 Pembangunan Model	28
4.5 Nilai Optimal Hyperparameter	30
4.6 Evaluasi Model	33
4.7 Analisis Arsitektur CNN Dalam Klasifikasi Tingkat Keparahan	41
4.8 Perbandingan Luasan Tingkat Keparahan Karhutla Hasil Klasifikasi CNN dan dNBR	42
V SIMPULAN DAN SARAN	45
5.1 Simpulan	45
5.2 Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	47
RIWAYAT HIDUP	53

DAFTAR TABEL

1	Sistem Skoring untuk menentukan tingkat keparahan karhutla	6
2	Indeks Spektral untuk klasifikasi tingkat keparahan karhutla	6
3	Tingkat keparahan karhutla	7
4	<i>MultiSpectral Instrument</i> (MSI) Sentinel-2	8
5	Parameter Jaringan <i>InceptionV3</i>	16
6	Arsitektur <i>EfficientNet-B0</i>	16
7	Nilai Statistik dNBR	26
8	Distribusi data untuk percobaan pertama	28
9	Distribusi data untuk percobaan kedua	28
10	Hasil dari <i>Hyperparameter Tunning</i>	30
11	Evaluasi Model VGG-16 Percobaan Pertama	34
12	Evaluasi Model VGG-16 Percobaan Kedua	34
13	Evaluasi Model VGG-19 Percobaan Pertama	35
14	Evaluasi Model VGG-19 Percobaan Kedua	36
15	Evaluasi Model <i>InceptionV3</i> Percobaan Pertama	37
16	Evaluasi Model <i>InceptionV3</i> Percobaan Kedua	38
17	Evaluasi Model <i>EfficientNet-B0</i> Percobaan Pertama	39
18	Evaluasi Model <i>EfficientNet-B0</i> Percobaan Kedua	40
19	Luasan Hasil Klasifikasi dNBR	43
20	Luasan Hasil Klasifikasi CNN Percobaan Pertama	43
21	Luasan Hasil Klasifikasi CNN Percobaan Kedua	44

DAFTAR GAMBAR

1	Domain spasial (2D) dari citra masukan beserta bagian utama CNN, yaitu ReLU, <i>max-pooling</i> , <i>fully connected</i> dan lapisan <i>softmax</i> . (Belenguer-Plomer (Belenguer-Plomer <i>et al.</i> 2021).	10
2	Konvolusi antara matriks citra dan filter (Wahyudi 2020).	11
3	Hasil keseluruhan dari konvolusi antara matriks citra dan filter (Wahyudi 2020).	11
4	Operasi ReLU (Wahyudi 2020)	11
5	<i>Max Pooling</i> dengan filter 2×2 dan <i>stride</i> =2 (Sayuti <i>et al.</i> 2021).	12
6	Arsitektur VGG-16 (Maniraj <i>et al.</i> 2023)	13
7	Arsitektur VGG-19 (Sudha dan Ganeshbabu 2021)	14
8	Arsitektur <i>InceptionV3</i> (Biswas <i>et al.</i> 2022)	15
9	Modul Arsitektur <i>InceptionV3</i> (Szegedy <i>et al.</i> 2016)	15
10	Model <i>compound scalling</i> (Tan dan Le 2019)	17
11	Grafik Sebaran Titik Panas Provinsi Kalimantan Selatan tahun 2023 (https://sipongi.menlhk.go.id/sebaran-titik-panas)	18
12	Tahapan penelitian	19
13	Visualisasi citra pada kanal spektral <i>Red</i> , NIR, SWIR sebelum kebakaran	20

14	Visualisasi citra pada kanal spektral <i>Red</i> , NIR, SWIR setelah kebakaran	20
15	Hasil mosaik sebelum kebakaran dan setelah kebakaran	20
16	Visualisasi indeks NBR pada citra sebelum kebakaran dan setelah kebakaran	24
17	Visualisasi hasil dari klasifikasi dNBR	24
18	<i>Patch</i> citra hasil pelabelan dNBR	25
19	Peta tematik yang dihasilkan oleh dNBR	27
20	Grafik nilai <i>loss</i> dan akurasi pada data latih dan validasi terhadap jumlah <i>epoch</i> selama proses pelatihan model VGG-16 di percobaan pertama dan kedua	30
21	Grafik nilai <i>loss</i> dan akurasi pada data latih dan validasi terhadap jumlah <i>epoch</i> selama proses pelatihan model VGG-19 di percobaan pertama dan kedua	31
22	Grafik nilai <i>loss</i> dan akurasi pada data latih dan validasi terhadap jumlah <i>epoch</i> selama proses pelatihan model InceptionV3 di percobaan pertama dan kedua	32
23	Grafik nilai <i>loss</i> dan akurasi pada data latih dan validasi terhadap jumlah <i>epoch</i> selama proses pelatihan model EfficientNet-B0 di percobaan pertama dan kedua	33
24	<i>Confusion matrix</i> VGG-16 Percobaan Pertama	34
25	<i>Confusion matrix</i> VGG-16 Percobaan Kedua	35
26	<i>Confusion Matrix</i> VGG-19 Percobaan Pertama	36
27	<i>Confusion Matrix</i> VGG-19 Percobaan Kedua	37
28	<i>Confusion Matrix</i> InceptionV3 Percobaan Pertama	38
29	<i>Confusion Matrix</i> InceptionV3 Percobaan Kedua	39
30	<i>Confusion Matrix</i> EfficientNet-B0 Percobaan Pertama	40
31	<i>Confusion Matrix</i> EfficientNet-B0 Percobaan Kedua	41

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.