

## Analisis Differenced Normalized Burn Ratio Sentinel-2a Studi Kasus Di Kabupaten Klaten

Agus Hermansyah\*, Siti Azizah Susilawati<sup>2</sup>, Wahyu Widiyatmoko<sup>3</sup>

<sup>123</sup>Program Studi Pendidikan Geografi, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. A. Yani, Mendungan, Pabelan, Kec. Kartasura, Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah 57162, Indonesia  
Email : \*a610210036@student.ums.ac.id, sas147@ums.ac.id, ww875@ums.ac.id

Dikirim: 27 Oktober 2025; Revisi: 23 November 2025; Diterima: 13 Januari 2026

**Abstrak:** Kebakaran hutan dan lahan (Karhutla) menjadi isu penting di Indonesia, termasuk Kabupaten Klaten, Jawa Tengah, yang mencatat 214 kasus pada 2023. Dampaknya mencakup kerusakan vegetasi, degradasi lahan, emisi karbon, dan gangguan kesehatan akibat polusi udara, sehingga pemetaan tingkat keparahan menjadi krusial untuk mitigasi. Penelitian ini menganalisis keparahan Karhutla di Klaten menggunakan algoritma *Differenced Normalized Burn Ratio (dNBR)* berbasis citra Sentinel-2A dengan membandingkan nilai *Normalized Burn Ratio (NBR)* sebelum dan sesudah kebakaran. Rata-rata *PreNBR* (0,0972) lebih tinggi daripada *PostNBR* (0,0501), menandakan penurunan kondisi vegetasi. Nilai *dNBR* berkisar dari -0,416 hingga 0,591 (rata-rata 0,045) dan diklasifikasikan menjadi *Enhanced Regrowth*, tidak terbakar, keparahan rendah, dan keparahan sedang. *Enhanced Regrowth* mencakup 130,10 ha, didominasi Kecamatan Kemalang (118,41 ha). Keparahahan rendah meliputi 5.561,26 ha, terbesar di Kecamatan Cawas (1.945,82 ha), sedangkan keparahan sedang 187,28 ha, juga didominasi Cawas (29,03 ha). Cawas memiliki persentase area terbakar tertinggi (54,92%). Secara umum, keparahan kebakaran di Klaten tergolong sedang, dengan potensi regenerasi ekosistem. Penelitian bertujuan untuk merekomendasikan prioritas mitigasi, penguatan deteksi dini, dan integrasi *SIG* dalam penataan ruang adaptif.

**Kata kunci:** kebakaran hutan dan lahan, *nbr*, *dnbr*, sentinel-2a, tingkat keparahan

**Abstract:** Forest and land fires (Karhutla) are a significant issue in Indonesia, including Klaten Regency, Central Java, which recorded 214 cases in 2023. The impacts include vegetation damage, land degradation, carbon emissions, and health disturbances due to air pollution, making severity mapping crucial for mitigation. This study analyzes Karhutla severity in Klaten using the *Differenced Normalized Burn Ratio (dNBR)* algorithm based on Sentinel-2A imagery by comparing *Normalized Burn Ratio (NBR)* values before and after the fires. The average *PreNBR* (0.0972) is higher than the *PostNBR* (0.0501), indicating a decline in vegetation condition. *dNBR* values range from -0.416 to 0.591 (mean 0.045) and are classified into *Enhanced Regrowth*, unburned, low severity, and moderate severity. *Enhanced Regrowth* covers 130.10 ha, dominated by Kemalang District (118.41 ha). Low severity spans 5,561.26 ha, largest in Cawas District (1,945.82 ha), while moderate severity totals 187.28 ha, also dominated by Cawas (29.03 ha). Cawas has the highest percentage of burned area (54.92%). Overall, fire severity in Klaten is moderate, with potential for ecosystem regeneration. The study aims to recommend mitigation priorities, strengthen early detection, and integrate GIS into adaptive spatial planning.

**Keywords:** forest and land fires, *nbr*, *dnbr*, sentinel-2a, burn severity

## **Pendahuluan**

Mitigasi bencana sebagai upaya untuk mengurangi dampak bencana alam (Kala, 2023; Noviana et al., 2020), khususnya kebakaran hutan dan lahan (KarHutLa) saat ini merupakan isu global yang menjadi perhatian penting pada bidang kebencanaan di berbagai negara. Di Indonesia sendiri isu ini menjadi krusial mengingat data KarHutLa mengalami peningkatan dari tahun ke tahun (BPS Indonesia, 2021) dengan Kalimantan dan Jawa tengah menempati urutan yang tinggi. Pada provinsi Jawa tengah, salah satu wilayah yang menunjukkan potensi tinggi terjadinya bencana KarHutLa (BPBD Klaten, 2024; Bambang Hero Saharjo & Artaningsih, 2022) dengan dampak negatif yang signifikan adalah kabupaten klaten, dengan luasan hutan dan lahan mencapai 374,45ha (BPS Jawa Tengah, 2025), telah terjadi kasus KarHutLa mencapai 214 kasus kebakaran yang tersebar di 26 kecamatan (BPBD Klaten, 2024). Dampak bencana KarHutLa berpotensi mengakibatkan kerusakan vegetasi (Alfarisi, Adinda Intan Cahyani, 2024; Wasserman & Mueller, 2023), terjadinya degradasi lahan (Gao et al., 2020; Hadi et al., 2021; Kumar et al., 2024), emisi karbon yang meningkat hingga kesehatan masyarakat (Gao et al., 2020; Soontha & Bhat, 2024; Tata et al., 2018) yang terganggu akibat polusi udara yang ditimbulkan (Narita et al., 2021; Yin et al., 2020). Hal ini menunjukkan bahwa analisis pemetaan tingkat keparahan mengenai bencana KarHutLa menjadi sangat penting guna memitigasi bencana KarHutLa, sehingga potensi dampak negatif tersebut dapat ditekan dengan baik.

KarHutLa merupakan peristiwa terbakarnya suatu hutan dan lahan yang bersifat lokal, nasional maupun internasional yang terjadi disebabkan dari kombinasi faktor alami dan antropogenik (Kumar et al., 2024; Narita et al., 2021). Secara alami kebakaran hutan terjadi seperti sambaran petir (Liu et al., 2020; Narita et al., 2021), musim kemarau panjang (Edwards et al., 2020; Kumalawati et al., 2022) hingga kondisi geografis yang kurang dikelola dengan baik serta perubahan iklim ekstrem (B H Saharjo, 2022). Sedangkan faktor antropogenik terjadi seperti pembukaan lahan pertanian menggunakan metode pembakaran (Marlier et al., 2015), kegiatan industri (Marlier et al., 2015), serta praktik ilegal penebangan liar dan rendahnya kesadaran masyarakat (Bambang Hero Saharjo & Hasanah, 2023; Yunazwardi, 2020).

Pemetaan tingkat keparahan kebakaran serta kajian mendalam terhadap faktor-faktor geografi menjadi langkah fundamental guna memitigasi dampak potensial dari ancaman tersebut (Miller & Thode, 2007). Hal tersebut dapat dilaksanakan menggunakan analisis tingkat keparahan kebakaran hutan dan lahan dengan memanfaatkan teknologi berbasis penginderaan jauh yang mampu memetakan area terbakar dan mengestimasi intensitas kebakaran. Seperti yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu dengan analisis tingkat keparahan di wilayah kabupaten Musi Banyuasin (Saputra et al., 2017), Kabupaten Pelalawan (Que et al., 2019), Kabupaten Muaro Jambi (Arrafi et al., 2022) hingga berbagai daerah diluar indonesia (Alcaras et al., 2022; Cai & Wang, 2022; Digavinti & Manikiam, 2021; Giddey et al., 2022; Han et al., 2021; Lacouture et al., 2020; Mpakairi et al., 2020; Pacheco et al., 2023; Wall et al., 2021; Wang et al., 2022) Namun, penelitian analisis tingkat keparahan yang dilakukan di wilayah klaten masih sangat terbatas. Dengan mempertimbangkan data lapangan (BPBD Klaten, 2024) dan keterbatasan empiris yang telah diutarakan maka penelitian dalam mengukur tingkat keparahan KarHutLa difokuskan pada wilayah kabupaten klaten.

Selanjutnya, dalam mengukur tingkat keparahan kebakaran di kabupaten Klaten, penelitian ini menggunakan teknologi penginderaan jauh berbasis citra Sentinel 2-A untuk pengukuran secara tidak langsung (Altun et al., 2020; Ngadze et al., 2020). Perkembangan teknologi data spasial dan pengindraan jauh memungkinkan pemetaan area rawan kebakaran dengan lebih akurat dan efisien (Arrafi et al., 2024). Citra satelit dan data spasial dapat digunakan untuk memantau hotspot dan menyusun peta risiko kebakaran yang penting dalam perencanaan mitigasi melalui metode analisis berbasis sistem informasi geografis. Beberapa

penelitian terdahulu yang menggunakan basis citra sentinel 2-A masih menggunakan metode Normalized Difference Vegetation (NDVI)(Digavinti & Manikiam, 2021; Lacouture et al., 2020; Wang et al., 2022), Burned Area Indeks for Sentinel-2 (BAIS2) (Han et al., 2021; Mpakairi et al., 2020), dan Mid-Infrared Burned Indeks (MIRBI) (Pacheco et al., 2023; Wall et al., 2021). Namun celah ditemukan dimana penggunaan differenced Normalized Burn Ratio (dNBR) (Alcaras et al., 2022; Cai & Wang, 2022; Giddey et al., 2022; Miller & Thode, 2007) yang memiliki tingkat akurasi indentifikasi luasan kebakaran yang tinggi (Jeffrey et al., 2024)secara empiris masih terbatas, khususnya diwilayah klaten.

Berdasarkan celah (research gap) lapangan, celah empiris, dan celah metode yang ditemukan penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah tersebut dengan melakukan analisis tingkat keparahan KarHutLa yang terjadi di Kabupaten Klaten menggunakan metode NBR. Data yang digunakan berupa citra satelit Sentinel-2A dari Google Earth Engine, data tersebut digunakan karena dapat meminimalisir objek yang menghalangi citra seperti awan (Jeffrey et al., 2024)sehingga area yang dipetan akan terlihat lebih jelas yang memperjelas dalam mengestimasi tingkat keparahan KarHutLa. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi rekomendasi dasar bagi pembuat kebijakan dalam keputusan mitigasi Karhutla. Serta menjadi wawasan bagi para peneliti lain, sementara keterbatasan dan celah yang tersisa akan menjadi fokus penelitian lanjutan.

### **Metode Penelitian**

Dalam studi ini, estimasi tingkat keparahan hutan dan lahan yang terletak dikabupaten klaten, Provinsi Jawa tengah yang secara geografis Kabupaten Klaten terletak di antara 110°30'-110°45' Bujur Timur dan 7°30'-7°45' Lintang selatan. Peneliti memilih lokasi ini karena tingginya angka kebakaran hutan dan lahan pada tahun 2023 yang mencapai 214 kejadian kebakaran yang tersebar di berbagai kecamatan dengan total kerusakan hutan dan lahan mencapai 241,3 ha yang terdiri dari 238 ha hutan negara dan hutan rakyat seluas 3,3 ha (Cahyaningrum et al., 2024). Dalam penelitian ini menggunakan metode penelitian penginderaan jauh berbasis *Normalized Burn Ratio* mencakup tahapan penyediaan data, prapemrosesan, dan pengolahan (*Normalized Burn Ratio* dan *Differenced Normalized Burn Rasio*).

### **Data**

Penelitian ini menggunakan citra satelit Sentinel-2A dari Google Earth Engine (GEE) yang diakuisisi pada Desember 2022 sebagai data PreNBR dan pada Desember 2023 sebagai data PostNBR, kemudian diolah menggunakan ArcGIS.

### **Prapemrosesan**

Data Citra satelit Sentinel 2A terlebih dahulu dikoreksi dengan pemaskingan awan di Google Earth Engine menggunakan ambangutupan awan 20–25% untuk memperoleh citra berawan minimal, sehingga hasil pengolahan *Normalized Burn Ratio* dan *Differenced Normalized Burn Ratio* lebih optimal

### **Menghitung *Normalized Burn Ratio* (NBR)**

Dalam penelitian ini teknik analisis *Normalized Burn Ratio* digunakan untuk mengidentifikasi area terbakar dan mengestimasi tingkat keparahan kebakaran, metode ini memiliki sering digunakan untuk menghitung tingkat keparahan kebakaran hutan dan lahan dengan menghitung Panjang gelombang *Near Infrared*(NIR) dan gelombang *Shortwave infrared* (SWIR) yang diperoleh dari citra satelit Sentinel-2A sebelum kebakaran (*praNBR*) dan sesudah kebakaran (*postNBR*) (Alcaras et al., 2022; Saputra et al., 2017) dan dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

Keterangan:

*NBR* : Normalized Burn Ratio

*NIR* : Near Infrared

*SWIR* : Shortwave Infrared

Nilai hasil NBR yang berkisar -1 sampai 1, nilai NBR tinggi menuju 1 menunjukkan bahwa area tersebut memiliki vegetasi yang baik sebaliknya angka NBR rendah menuju -1 maka daerah tersebut menunjukkan area kebakaran hutan dan lahan, Rentang nilai NBR menunjukkan kondisi vegetasi, Nilai NBR yang tinggi menunjukkan kondisi vegetasi area tersebut baik, dan sebaliknya ketika angka NBR rendah menunjukkan area kebakaran dan tanah kosong (Que et al., 2019). Lahan bekas terbakar ditunjukkan dengan peningkatan reflektansi pada spektral SWIR dan penurunan pada Spektral NIR, kondisi ini menyebabkan lahan bekas area terbakar memberikan respon pantulan cahaya yang berbeda sebelum terjadi kebakaran. Visualisasi nilai NBR ditampilkan dalam kisaran warna merah -hijau, warna merah menunjukkan angka vegetasi rendah yang merupakan area lahan terbakar sedangkan warna hijau menunjukkan angka vegetasi yang baik atau tidak terjadi kebakaran.

### Menghitung Differenced Normalized Burn Ratio (dNBR)

Penghitungan tingkat keparahan kebakaran dengan Difference Normalized Burn Ratio dari hasil *NBR* (*prefire* dan *postfire*) antara bulan Januari sampai desember tahun 2023, dalam *dNBR* pengklasifikasian masuk kedalam tingkat keparahan tinggi atau rendah (Arrafi et al., 2022). Nilai *dNBR* yang tinggi menunjukkan tingkat keparahan kebakaran yang tinggi sedangkan nilai *dNBR* yang rendah menunjukkan tingkat pertumbuhan vegetasi yang tinggi, hasil klasifikasi tingkat keparahan dapat di estimasikan pada tabel 5 serta perhitungan nilai *dNBR* sajikan sebagai berikut:

$$dNBR = NBR_{pre\ fire} - NBR_{post\ fire}$$

Keterangan:

*dNBR* : Difference Normalized Burn Ratio

*NBR pre fire* : Normalized Burn Ratio Sebelum Kebakaran

*NBR post fire* : Normalized Burn Ratio Sesudah Kebakaran

Klasifikasi tingkat keparahan kebakaran berdasarkan nilai *dNBR* menunjukkan hasil nilai *dNBR* kurang dari -0,1 menunjukkan peningkatan pertumbuhan (*Enhanced Regrowth*), nilai antara -0,1 hingga 0,1 menunjukkan tidak terbakar (*unburned*), nilai antara 0,1 hingga 0,27 menunjukkan keparahan rendah (*low severity*), nilai antara 0,27 hingga 0,66 menunjukkan keparahan sedang hingga tinggi (*moderate high severity*), dan nilai di atas 0,66 menunjukkan keparahan tinggi (*high severity*).

**Tabel 1. Klasifikasi Tingkat Keparahhan Kebakaran**

Tingkat Keparahhan kebakaran	Keterangan
Tidak terbakar ( <i>Unburned</i> )	Bagian tanaman berwarna hijau, tidak terbakar, tidak terkena panas langsung
Rendah ( <i>Low Severity</i> )	Tanaman tidak mengalami kebakaran, tetapi mengalami penurunan jumlah daun karena paparan radiasi panas. Daun jarum yang ada pada kanopi pohon tetap hijau, pada kondisi batang yang terbakar.
Sedang ( <i>Light</i> )	Permukaan tanah tertutup oleh serasah, lumut, dan tumbuhan terbakar oleh api. Lapisan organik tanah sebagian besar masih dalam kondisi baik, dengan kerusakan terbatas hanya pada kedalaman beberapa milimeter.

Tingkat Keparahan kebakaran	Keterangan
Sedang-Tinggi ( <i>Moderate or Severe Surface Burn</i> )	Pepohonan yang sebagian tutupan kanopinya mati, namun jarum-jarum pepohonan tersebut tidak sepenuhnya dimakan oleh api. Semua tumbuhan di lapisan bawah tanaman hangus terbakar oleh api. Ranting-ranting halus yang sudah mati di permukaan tanah habis terbakar. Lapisan organik tanah sebagian besar telah terbakar oleh api
Tinggi ( <i>Deep Burning or Crown Fire</i> )	Pohon-pohon dengan kanopi dan dedaunan hangus terbakar oleh api. Permukaan pohon yang ditutupi dengan serasah dalam berbagai ukuran dan sebagian besar lapisan organik tanah telah terbakar oleh api. Terdapat endapan abu putih dan bahan organik yang terbakar hingga beberapa sentimeter ke dalam tanah.

(Sumber: Keeley, 2009)

## Hasil Penelitian

### Normalized Burn Ratio (NBR)

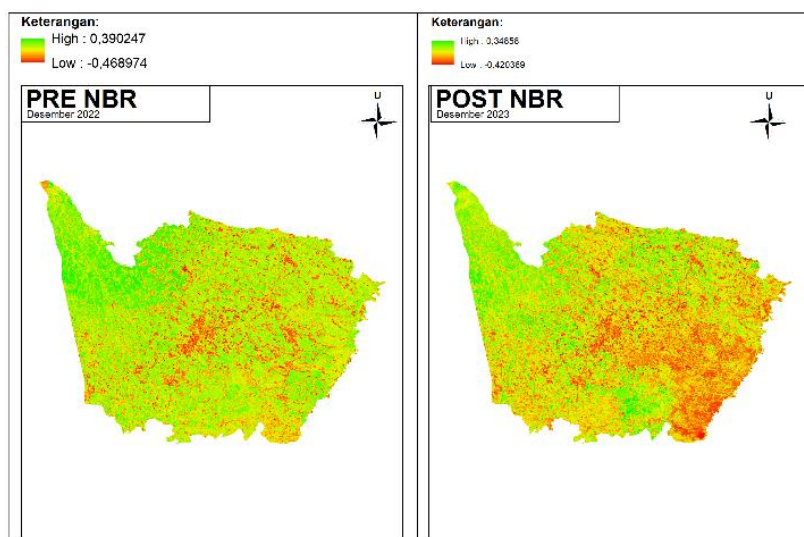
Pengolahan data menggunakan Sentinel-2A yang diakuisisi pada bulan desember tahun 2022 guna melihat value *PreNBR* dan data yang diakuisisi pada bulan desember 2023 untuk *PostNBR*. Hasilnya kami menemukan value *min* (-0,4690), *max* (0,3902), *Standar deviantion* (0,1041) pada *PreNBR*. Kemudian pada *PostNBR* ditemukan value *min* (-0,4204), *max* (0,3486) dan *Standar deviantion* (0,1032). Berdasarkan value *mean* (tabel 2) menunjukkan bahwa *PreNBR* (0,097) lebih tinggi dibandingkan *PostNBR* (0,047). Hal ini menunjukkan bahwa vegetasi pada *PreNBR* lebih baik dibandingkan dengan *PostNBR*, dengan kata lain kondisi ini mengindikasikan vegetasi *PostNBR* tidak lebih baik dibandingkan *PreNBR*.

**Tabel 2. Hasil Analisis Pre-Post NBR**

NBR	MIN	MAX	MEAN	STD
PreNBR	-0,4690	0,3902	0,0972	0,1041
PostNBR	-0,4204	0,3486	0,0501	0,1032

(Sumber: Peneliti, 2025)

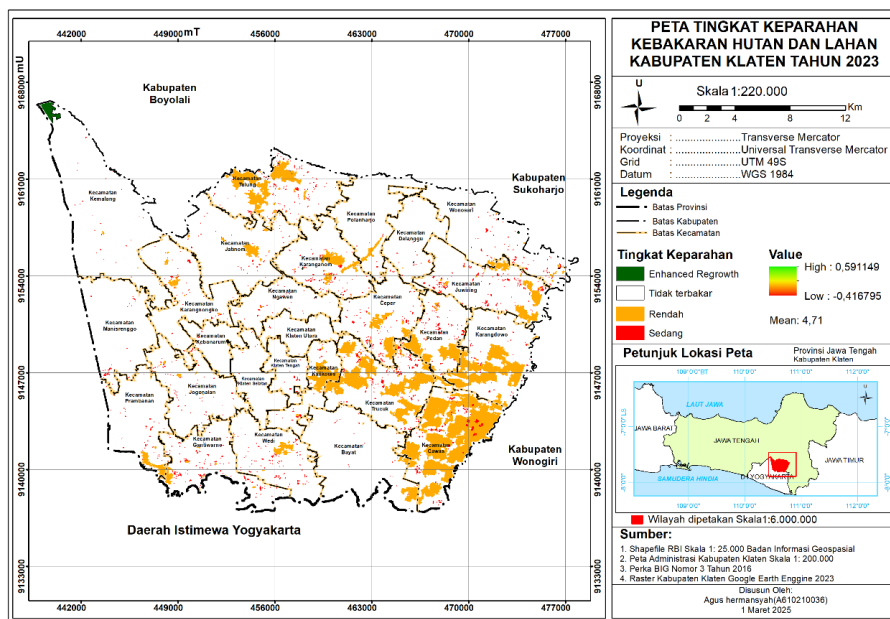
Secara visual (Gambar 1), pemetaan kategori *NBR* low yang menunjukkan tingkat keparahan buruk terdapat peningkatan frekuensi dari sebarannya pada *PostNBR* dibandingkan dengan *PreNBR*. Guna mengidentifikasi tingkat keparahan vegetasi yang disebabkan karena peristiwa kebakaran hutan dan lahan analisis lanjutan berupa analisis *Difference Normalized Burn Ratio*.



**Gambar 1. Peta NBR Pre-Post (Sumber: Peneliti, 2025)**

**Differenced Normalized Burn Ratio (dNBR)**

Hasil analisis value *dNBR* yang tinggi mengindikasikan bahwa area tersebut mengalami kerusakan yang cukup berat, sedangkan nilai *dNBR* yang rendah menunjukkan adanya pertumbuhan vegetasi yang tinggi setelah kebakaran terjadi (Dewi, 2017). Hasilnya sebaran tingkat keparahan *PreNBR* dan *PostNBR* pada Kabupaten Klaten menghasilkan *dNBR* (Gambar 2) dengan rentang value -0,416 – 0,591 dengan mean 0,045, dari nilai tersebut dibagi menjadi 4 kelas keparahan meliputi *Enhanced Regrowth*, tidak terbakar, keparahan rendah dan keparahan sedang.



Gambar 2. Hasil Tingkat Keparahannya Kebakaran Menggunakan *dNBR* (Sumber: Peneliti, 2025)

Data tingkat keparahan (Gambar 2) menunjukkan beberapa kategori yang dapat ditemui di Klaten. Mulai dari *enhanced regrowth* sebagai indikator pemulihan vegetasi paska kebakaran tercatat total luas area seluas 130,1 Ha dengan area Kemalang seluas 118,41 Ha (Tabel 3) sebagai area terluas pada kategori ini. Hal ini menandakan adanya proses pemulihan vegetasi yang baik di wilayah tersebut setelah terjadi kebakaran. Kemudian pada kategori rendah menunjukkan area terluas berada pada area Cawas dengan luas area sebesar 1945,82 Ha dari total luas area kategori rendah seluas 5561,26 Ha. Pada kategori sedang sebaran area terluas pada Cawas seluas 29,03 Ha dan area terkecil pada Klaten Utara seluas 0,6 Ha dari total luas di kategori sedang seluas 187,28 Ha.

Tabel 3. Hasil Luas daerah terbakar

Kecamatan	Enhanced Regrowth (Ha)	Rendah(Ha)	Sedang (Ha)	Luas Daerah (Ha)	Persentase Area Terbakar (%)
Bayat	0	96.61	2.01	4186.35	2.36%
Cawas	0.27	1945.82	29.03	3596.06	54.92%
Ceper	1.14	180.02	11.94	2572.48	7.51%
Delanggu	0.37	0.58	1.36	2000.27	0.12%
Gantiwarno	2.35	61.84	15.57	2663.63	2.99%
Jatinom	0	75.4	4.03	3718.36	2.14%
Jogonalan	0.06	8.26	4.69	2765.79	0.47%
Juwiring	0	221.35	19.59	3116.99	7.73%
Kalikotes	0.27	218.45	4.83	1425	15.69%
Karanganom	1.86	138.75	10.21	2555.63	5.90%
Karandangwo	0.04	708.73	4.83	3055.99	23.35%
Karangnongko	0	28.37	5.07	2931.42	1.14%

Kecamatan	Enhanced Regrowth (Ha)	Rendah(Ha)	Sedang (Ha)	Luas Daerah (Ha)	Persentase Area Terbakar (%)
Kebonarum	0	0	0.99	1043.12	0.09%
Kemalang	118.41	2.68	1.39	6021.92	2.03%
Klaten Selatan	0	0	0.54	1501.64	0.04%
Klaten Tengah	0	0	2.37	959.06	0.25%
Klaten Utara	0	0.02	0.6	1113.36	0.06%
Manisrenggo	0	0	3.68	3040.34	0.12%
Ngawen	0.75	0.8	2.17	1849.85	0.20%
Pedan	0.36	306.75	9.5	1996.28	15.86%
Polanharjo	0	37.29	1.26	2524.43	1.53%
Prambanan	0.1	81.95	3.51	2607.15	3.28%
Trucuk	0.22	845.33	20.25	3472.47	24.93%
Tulung	1.8	517.55	9.73	3438.14	15.39%
Wedi	0	58.67	8.92	2609.81	2.59%
Wonosari	2.1	26.04	9.21	3332.63	1.12%

(Sumber: Peneliti, 2025)

Selanjutnya data persentase area (Tabel 3) yang memiliki value persentase area terbakar tertinggi pada area Cawas (54,92%). Hal ini menunjukkan bahwa Cawas merupakan wilayah dengan tingkat keparahan kebakaran lahan yang paling signifikan di antara seluruh kecamatan di Klaten. Selain Cawas, kecamatan lain yang juga memiliki persentase area terbakar cukup tinggi adalah Karangdowo (23,35%) dan Kalikotes (15,69%). Namun, beberapa kecamatan seperti Klaten Selatan, Klaten Tengah, dan Klaten Utara memiliki persentase area terbakar yang sangat rendah, yakni kurang dari 0,1%. Variasi prosentase ini mengindikasikan terdapat potensi perbedaan karakteristik tutupan lahan, kondisi lingkungan, serta pengaruh aktivitas manusia di masing-masing wilayah. Sementara itu, kecamatan dengan nilai *enhanced regrowth* rendah umumnya juga memiliki persentase area terbakar yang rendah, seperti Klaten Selatan dan Klaten Utara. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa distribusi kebakaran lahan sangat dipengaruhi oleh faktor tutupan lahan, aktivitas manusia, dan kondisi lingkungan setempat (Almegi, 2024). Oleh karena itu, upaya mitigasi kebakaran di Kabupaten Klaten perlu difokuskan pada wilayah-wilayah dengan persentase area terbakar tinggi, terutama di Kecamatan Cawas, serta memperkuat program pemulihan vegetasi pada area yang terdampak.

### Pembahasan

Berdasarkan hasil pengolahan data *Differenced Normalized Burn Ratio (dNBR)* pada Gambar 2 yang diperoleh dari citra satelit Sentinel-2 pada area Kabupaten Klaten, seluruh titik sampel yang dianalisis menunjukkan tingkat keparahan kebakaran berada pada kategori sedang, dengan nilai *dNBR* berkisar antara -0,41 hingga 0,59. Nilai ini mengindikasikan bahwa kebakaran yang terjadi menyebabkan kerusakan sedang pada tutupan vegetasi, di mana sebagian besar kanopi pohon masih mempertahankan daun hijau meskipun terdapat pembakaran pada bagian batang dan lapisan bawah vegetasi. Kondisi ini menunjukkan bahwa meskipun terjadi kebakaran, struktur ekosistem hutan masih relatif terjaga dan lapisan organik tanah yang penting untuk siklus nutrisi belum mengalami degradasi yang signifikan. Hal ini sangat penting karena lapisan organik tanah yang masih utuh dapat mendukung proses regenerasi alami vegetasi pasca kebakaran (Sikkink, 2015). Nilai *dNBR* merupakan indikator yang sangat sensitif terhadap perubahan kondisi tutupan vegetasi akibat kebakaran, khususnya dalam spektrum *Near Infrared (NIR)* dan *Shortwave Infrared (SWIR)*.

Nilai *dNBR* yang berada pada rentang sedang seperti yang ditemukan di Kabupaten Klaten menunjukkan bahwa meskipun terjadi kerusakan, tingkat keparahan kebakaran belum mencapai ambang batas yang menyebabkan kerusakan permanen atau degradasi lahan secara



dalam kebijakan penataan ruang juga disarankan untuk mendukung upaya pengawasan, evaluasi risiko, dan perencanaan rehabilitasi ekosistem. Pemanfaatan *dNBR* tidak hanya sebagai alat pemetaan statis, tetapi juga sebagai instrumen dinamis untuk pemantauan jangka panjang, dapat membantu pengambil kebijakan dan pengelola lahan dalam merancang strategi pengelolaan kebakaran yang adaptif dan berkelanjutan. Mengingat kompleksitas fenomena kebakaran hutan yang dipengaruhi oleh faktor iklim, topografi, dan aktivitas manusia, pendekatan multidisipliner yang melibatkan teknologi penginderaan jauh, ekologi, dan manajemen sumber daya alam menjadi sangat krusial untuk menjaga keseimbangan ekosistem di Kabupaten Klaten. Penggunaan citra Sentinel-2A terbukti efektif dalam memetakan area terbakar dan menilai tingkat keparahan kebakaran. Indeks *dNBR* memiliki akurasi tinggi dalam mengidentifikasi area terbakar dan tingkat keparahannya, bahkan di wilayah dengan tutupan vegetasi rendah. Namun, perlu diperhatikan bahwa faktor seperti tutupan kanopi yang lebat dapat mempengaruhi akurasi deteksi kebakaran permukaan, karena dapat menghalangi sinyal reflektansi dari vegetasi bawah.

### **Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian diatas mengenai analisis tingkat keparahan kebakaran hutan dan lahan (Karhutla) di Kabupaten Klaten menggunakan algoritma Differenced Normalized Burn Ratio (*dNBR*) pada citra Sentinel-2A, kejadian Karhutla di Kabupaten Klaten pada tahun 2023 yang mencapai 214 kasus menegaskan bahwa wilayah ini memiliki potensi tinggi terhadap bencana kebakaran. Pemanfaatan algoritma *NBR* pada citra Sentinel-2A terbukti efektif dalam mengidentifikasi perubahan kondisi vegetasi akibat kebakaran. Penurunan nilai rata-rata *NBR* dari *PreNBR* (0,0972) ke *PostNBR* (0,0501) secara jelas mengindikasikan hilangnya tutupan vegetasi pasca-kebakaran. Pada analisis *dNBR* berhasil mengklasifikasikan tingkat keparahan kebakaran ke dalam kategori Enhanced Regrowth, tidak terbakar, keparahan rendah, dan keparahan sedang. Mayoritas area yang terbakar di Kabupaten Klaten berada pada kategori keparahan sedang, menandakan bahwa kerusakan vegetasi tidak bersifat permanen dan ekosistem masih mampu melakukan regenerasi secara alami. Secara spasial, Kecamatan Cawas teridentifikasi sebagai wilayah dengan tingkat keparahan paling signifikan, ditunjukkan oleh persentase area terbakar tertinggi (54,92%). Di sisi lain, Kecamatan Kemalang menunjukkan kemampuan pemulihan vegetasi yang baik dengan luasan Enhanced Regrowth terbesar (118,41 Ha). Terakhir, penggunaan citra Sentinel-2A dan indeks *dNBR* terbukti sangat efisien dan akurat dalam memetakan area terbakar dan menilai tingkat keparahannya, meskipun perlu diperhatikan bahwa faktor seperti tutupan kanopi yang lebat dapat memengaruhi akurasi deteksi kebakaran permukaan. Sebaiknya penelitian selanjutnya, disarankan melakukan validasi klasifikasi *dNBR* dengan survei lapangan dan *Composite Burn Index (CBI)* untuk memperkuat akurasi pemetaan keparahan kebakaran. Selain itu, uji banding dengan indeks lain (seperti *RdNBR* atau *RBR*) dan analisis multitemporal pemulihan vegetasi dapat memperluas pemahaman mengenai dinamika pascabencana. Integrasi model faktor pemicu spasial serta pembaruan protokol prapemrosesan citra, khususnya pada kawasan dengan tutupan kanopi yang lebat, juga sangat dianjurkan untuk meningkatkan reliabilitas deteksi dan mendukung strategi mitigasi Karhutla di tingkat lokal.

### **Ucapan Terimakasih**

Penelitian ini merupakan bagian dari Program Kompetisi Kampus Merdeka (PKKM) Kemendikbud Tahun 2023. Penulis mengucapkan terima kasih kepada BPBD Kabupaten Klaten, Prodi Pendidikan Geografi UMS, dan Universitas Muhammadiyah Surakarta yang telah mendukung dan membantu kelancaran dalam menyelesaikan penelitian ini.

### Referensi

- Alcaras, E., Costantino, D., Guastaferro, F., Parente, C., & Pepe, M. (2022). Normalized Burn Ratio Plus (NBR+): A New Index for Sentinel-2 Imagery. *Remote Sensing*, 14(7), 1–19. <https://doi.org/10.3390/rs14071727>
- Alfarisi, Adinda Intan Cahyani, R. K. R. (2024). Analisis Kebijakan Pemerintah Mengenai Bioteknologi Terhadap Penanganan Bencana Kebakaran Hutan dan Lahan di Kalimantan Sebagai Upaya Menjaga Keanekaragaman Hayati Salman. 4(1), 1–23.
- Alfina Putri Cahyaningrum, Retna Hanani, K. (2024). Proses Collaborative Governance Dalam Pengendalian Kebakaran Hutan Dan Lahan Di Kecamatan Bayat Kabupaten Klaten. *Journal of Management & Public Policy*. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jppmr/article/view/45122%0Ahttps://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jppmr/article/download/45122/31394>
- Almegi, R. I. (2024). Analisis Spasial-Temporal Sebaran Titik Panas ( Hotspot ) sebagai Indikator Terjadinya Kebakaran Hutan dan Lahan di Pulau Rupa. 25(2).
- Altun, R., Kalkan, K., & Gürsoy, Ö. (2020). Determining The Forest Fire Risk with Sentinel 2 Images. *Turkish Journal of Geosciences*, 1(1), 22–26. <https://dergipark.org.tr/en/pub/turkgeo>
- Arrafi, M., Somantri, L., & Ridwana, R. (2022). Pemetaan Tingkat Keparahan Kebakaran Hutan dan Lahan Menggunakan Algoritma Normalized Burn Ratio (NBR) Pada Citra Landsat 8 di Kabupaten Muaro Jambi. *Jurnal Geosains Dan Remote Sensing*, 3(1), 10–19. <https://doi.org/10.23960/jgrs.2022.v3i1.68>
- Arrafi, M., Widayani, P., & Arjasakusuma, S. (2024). Kajian Multitemporal Tingkat Keparahan Kebakaran Hutan dan Lahan di Kabupaten Muaro Jambi Menggunakan Penginderaan Jauh. *Aerospace Engineering*, 1(3), 14. <https://doi.org/10.47134/aero.v1i3.2498>
- BPBD Klaten. (2024). *Data Kebakaran Hutan dan Lahan Klaten*.
- BPS Indonesia. (2021). *Luas Penggunaan Lahan dan Luas Kawasan Hutan Menurut Kabupaten/Kota di Provinsi Jawa Tengah, 2020 (ha)*. <https://jateng.bps.go.id/id/statistics-table/1/MjI3NCMx/luas-penggunaan-lahan-dan-luas-kawasan-hutan-menurut-kabupaten-kota-di-provinsi-jawa-tengah-2020-ha-.html>
- BPS Jawa Tengah. (2025). *Luas Pembagian Kawasan Hutan Menurut Kabupaten/Kota di Provinsi Jawa Tengah (ha) - Tabel Statistik - Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Tengah*. <https://jateng.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTc3NCMy/luas-pembagian-kawasan-hutan-menurut-kabupaten-kota-di-provinsi-jawa-tengah-ha-.html>
- Cai, L., & Wang, M. (2022). Is the RdNBR a better estimator of wildfire burn severity than the dNBR? A discussion and case study in southeast China. *Geocarto International*, 37(3), 758–772. <https://doi.org/10.1080/10106049.2020.1737973>
- Dewi, R. (2017). *Estimasi Tingkat Keparahan Kebakaran Hutan Dan Lahan Menggunakan Citra Landsat 8 Di Kabupaten Rokan Hilir Provinsi Riau*.
- Digavinti, J., & Manikiam, B. (2021). Satellite monitoring of forest fire impact and regeneration using NDVI and LST. *Journal of Applied Remote Sensing*, 15(4), 42412.
- Edwards, R. B., Naylor, R. L., Higgins, M. M., & Falcon, W. P. (2020). Causes of Indonesia's forest fires. *World Development*, 127, 104717. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2019.104717>
- Firmansyah, M. A., & Subowo. (2012). Dampak Kebakaran Lahan Terhadap Kesuburan Fisik, Kimia, dan Biologi Tanah Serta Alternatif Penanggulangan Dan Pemanfaatannya. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 6(2), 89–100.
- Gao, Y., Skutsch, M., Paneque-Gálvez, J., & Ghilardi, A. (2020). Remote sensing of forest degradation: a review. *Environmental Research Letters*, 15(10). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abaad7>

- Giddey, B. L., Baard, J. A., & Kraaij, T. (2022). Verification of the differenced Normalised Burn Ratio (dNBR) as an index of fire severity in Afrotropical Forest. *South African Journal of Botany*, 146, 348–353. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.11.005>
- Hadi, I. K., Mukti, S. H., & Widyatmanti, W. (2021). Pemetaan Pola Spasial Kebakaran Hutan Dan Lahan Di Taman Nasional Gunung Merbabu Berbasis Penginderaan Jauh Tahun 2019. *Jurnal Geografika (Geografi Lingkungan Lahan Basah)*, 2(1), 43. <https://doi.org/10.20527/jgp.v2i1.4536>
- Han, A., Qing, S., Bao, Y., Na, L., Bao, Y., Liu, X., Zhang, J., & Wang, C. (2021). Short-term effects of fire severity on vegetation based on sentinel-2 satellite data. *Sustainability (Switzerland)*, 13(1), 1–22. <https://doi.org/10.3390/su13010432>
- Jeffrey A, Morgan A, Crowley Davis S, N. E. (2024). Cloud-Based Remote Sensing with Google Earth Engine. In *Cloud-Based Remote Sensing with Google Earth Engine*. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-26588-4>
- Kala, C. P. (2023). Environmental and socioeconomic impacts of forest fires: A call for multilateral cooperation and management interventions. *Natural Hazards Research*, 3(2), 286–294. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.nhres.2023.04.003>
- Kumalawati, R., Yuliarti, A., Septiana, M., Syaifuddin, Murliawan, K., & Anggraeni, R. N. (2022). Mapping of Factors Affecting Land Fires in the Media Frame for Disaster Mitigation in the Future. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 16(2), 142–151. <https://doi.org/10.22146/jik.v16i2.2153>
- Kumar, N., Singh, H., Kumar, A., Singh, A. K., Pandey, P. K., & Kumar, A. (2024). Forest-Fire-Induced Land Degradation. In *Sustainable Land Management in India* (pp. 51–68). Springer.
- Lacouture, D. L., Broadbent, E. N., & Crandall, R. M. (2020). Detecting vegetation recovery after fire in a fire-frequented habitat using normalized difference vegetation index (Ndvi). *Forests*, 11(7), 1–12. <https://doi.org/10.3390/F11070749>
- Liu, T., Mickley, L. J., Marlier, M. E., DeFries, R. S., Khan, M. F., Latif, M. T., & Karambelas, A. (2020). Diagnosing spatial biases and uncertainties in global fire emissions inventories: Indonesia as regional case study. *Remote Sensing of Environment*, 237(November 2019), 111557. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111557>
- Marlier, M. E., DeFries, R. S., Kim, P. S., Koplitz, S. N., Jacob, D. J., Mickley, L. J., & Myers, S. S. (2015). Fire emissions and regional air quality impacts from fires in oil palm, timber, and logging concessions in Indonesia. *Environmental Research Letters*, 10(8). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/8/085005>
- Miller, J. D., & Thode, A. E. (2007). Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR). *Remote Sensing of Environment*, 109(1), 66–80. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.12.006>
- Mpakairi, K. S., Ndaimani, H., & Kavhu, B. (2020). Exploring the utility of Sentinel-2 MSI derived spectral indices in mapping burned areas in different land-cover types. *Scientific African*, 10, e00565.
- Narita, D., Gavriljeva, T., & Isaev, A. (2021). Impacts and management of forest fires in the Republic of Sakha, Russia: A local perspective for a global problem. *Polar Science*, 27, 100573. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.polar.2020.100573>
- Ngadze, F., Mpakairi, K. S., Kavhu, B., Ndaimani, H., & Maremba, M. S. (2020). Exploring the utility of Sentinel-2 MSI and Landsat 8 OLI in burned area mapping for a heterogeneous savannah landscape. *PLoS ONE*, 15(5), 1–13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232962>
- Noviana, E., Kurniawan, O., Guslinda, Munjiatun, Zufriady, & Dewi, R. S. (2020). Identification of Knowledge Mitigation of Forest and Land Fire Disasters; A Preliminary Study for Management of Disaster Learning in Elementary School. *Journal of Physics:*

- Conference Series*, 1655(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1655/1/012097>
- Pacheco, A. da P., da Silva Junior, J. A., Ruiz-Armenteros, A. M., Henriques, R. F. F., & de Oliveira Santos, I. (2023). Analysis of Spectral Separability for Detecting Burned Areas Using Landsat-8 OLI/TIRS Images under Different Biomes in Brazil and Portugal. *Forests*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/f14040663>
- Que, V. K. S., Prasetyo, S. Y. J., & Fibriani, C. (2019). Analisis Perbedaan Indeks Vegetasi Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) dan Normalized Burn Ratio (NBR) Kabupaten Pelalawan Menggunakan Citra Satelit Landsat 8. *Indonesian Journal of Modeling and Computing*, 1–7.
- Saharjo, B H. (2022). Research for Fire Prevention Management in Indonesia (Smoke, Haze, Ghg Emission Reduction, and Deforestation). *Journal of Tropical Silviculture P-ISSN*, 13(1), 1–13. <https://core.ac.uk/download/pdf/522262117.pdf>
- Saharjo, Bambang Hero, & Artaningsih, I. (2022). Peran Masyarakat dalam Pengendalian Kebakaran Hutan di KPH Cepu, Jawa Tengah. *Journal of Tropical Silviculture*, 13(02), 162–168. <https://doi.org/10.29244/j-siltrop.13.02.162-168>
- Saharjo, Bambang Hero, & Hasanah, U. (2023). Analisis Faktor Penyebab Terjadinya Kebakaran Hutan dan Lahan di Kabupaten Pulang Pisau, Kalimantan Tengan. *Journal of Tropical Silviculture*, 14(01), 25–29. <https://doi.org/10.29244/j-siltrop.14.01.25-29>
- Saputra, A., Saputra, A. D., Setiabudidaya, D., Setyawan, D., & Iskandar, I. (2017). Validasi Areal Terbakar dengan Metode Normalized Burning Ratio Menggunakan UAV (Unmanned Aerial Vehicle): Studi Kasus. *Jurnal Penelitian Sains*, 19(2), 66–72.
- Sikkink, P. G. (2015). Comparison of six fire severity classification methods using Montana and Washington wildland fires. *Proceedings of the Large Wildland Fires Conference; May 19-23, 2014; Missoula, MT. USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-73*, 213–226.
- Soontha, L., & Bhat, M. Y. (2024). Preserving health, protecting economies: Mitigating the impact of forest fires on healthcare expenditure and environmental sustainability. *Sustainable Development*, 32(3), 2066–2084. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/sd.2764>
- Tata, H. L., Narendra, B. H., & Mawazin. (2018). Forest and land fires in Pelalawan district, Riau, Indonesia: Drivers, pressures, impacts and responses. *Biodiversitas*, 19(2), 494–501. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d190224>
- Wall, W. A., Hohmann, M. G., Just, M. G., & Hoffmann, W. A. (2021). Characterizing past fire occurrence in longleaf pine ecosystems with the Mid-Infrared Burn Index and a Random Forest classifier. *Forest Ecology and Management*, 500(March), 119635. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119635>
- Wang, C., Wang, A., Guo, D., Li, H., & Zang, S. (2022). Off-peak NDVI correction to reconstruct Landsat time series for post-fire recovery in high-latitude forests. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 107, 102704.
- Wasserman, T. N., & Mueller, S. E. (2023). Climate influences on future fire severity: a synthesis of climate-fire interactions and impacts on fire regimes, high-severity fire, and forests in the western United States. *Fire Ecology*, 19(1). <https://doi.org/10.1186/s42408-023-00200-8>
- Yin, S., Wang, X., Guo, M., Santoso, H., & Guan, H. (2020). The abnormal change of air quality and air pollutants induced by the forest fire in Sumatra and Borneo in 2015. *Atmospheric Research*, 243, 105027. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105027>
- Yunazwardi, M. I. (2020). Upaya Pembentukan Mekanisme Pertanggungjawaban Lingkungan Transnasional Terhadap Polusi Kabut Asap di Asia Tenggara Tahun 2015. *Jurnal Hubungan Internasional*, 13(1), 1. <https://doi.org/10.20473/jhi.v13i1.17473>