



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 4 No. 3 (2025) pp: 7867-7874

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

Deteksi Dini Kerentanan Risiko Kebakaran Hutan dan Lahan Gambut di Kalimantan Barat Melalui Analisis Spasio-Temporal Distribusi dan Tingkat Kekeringan Vegetasi Menggunakan *Google Earth Engine* (Tahun 2025)

Asramid Yasin

Program Studi Ilmu Lingkungan, Universitas Halu Oleo, Kota Kendari, Indonesia

asramidyasin@uho.ac.id

Abstrak

Kebakaran hutan dan lahan (*karhutla*) merupakan bencana tahunan dengan dampak multidimensional di Indonesia, khususnya di Provinsi Kalimantan Barat yang memiliki hutan dan lahan gambut yang luas dan rentan. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan kapabilitas *Google Earth Engine* (GEE) dalam memproses data satelit multi-temporal guna memetakan distribusi dan dinamika kekeringan vegetasi sebagai indikator kunci kerentanan kebakaran dengan melalui: (1) mengidentifikasi dan memetakan wilayah hotspot (titik api) pada hutan dan lahan gambut di Kalimantan Barat tahun 2025, (2) memetakan wilayah distribusi hotspot (titik api) pada hutan dan lahan gambut di Kalimantan Barat tahun 2025, dan (3) memetakan kelas NDDI (*Normalized Difference Drought Index*) pada hutan dan lahan gambut di Kalimantan Barat tahun 2025. Metode yang digunakan memanfaatkan platform GEE untuk pemrosesan data satelit multi-temporal, termasuk data hotspot (titik api) dari MODIS/FIRMS dan citra Sentinel-2 untuk perhitungan NDDI. Hasil penelitian mengidentifikasi sebaran hotspot dengan tingkat kepercayaan bervariasi, mulai dari 61% hingga 99,93%, yang terkonsentrasi pada hutan dan lahan gambut. Analisis NDDI menunjukkan nilai hingga 0,46, yang mengindikasikan kondisi kekeringan berat pada vegetasi. Terdapat korelasi yang kuat antara nilai NDDI tinggi dan probabilitas hotspot yang mencapai 90,96%, mengonfirmasi bahwa hutan dan lahan gambut yang mengalami dehidrasi merupakan zona rawan kebakaran tertinggi. Studi ini menyimpulkan bahwa integrasi data penginderaan jauh melalui GEE dan penerapan NDDI efektif untuk memetakan kerentanan kebakaran secara spasial dan temporal. Temuan ini memberikan dasar yang kuat bagi pengembangan sistem peringatan dini yang akurat dan responsif, sehingga dapat mendukung upaya pencegahan dan mitigasi *karhutla* yang lebih efektif di masa mendatang untuk meminimalkan dampak lingkungan, sosial, dan ekonomi.

Kata kunci: Kebakaran Hutan dan Lahan Gambut, *Google Earth Engine*, NDDI, Hotspot, Deteksi Dini, Kalimantan Barat

1. Latar Belakang

Kebakaran hutan dan lahan (*karhutla*) merupakan bencana tahunan yang mendominasi isu lingkungan dan kesehatan masyarakat di Indonesia, khususnya di Pulau Kalimantan. Provinsi Kalimantan Barat merupakan salah satu wilayah yang paling rentan terhadap kejadian *karhutla*, dengan luas kebakaran yang signifikan setiap tahunnya [1]. Dampak dari *karhutla* sangat masif dan multidimensional, mulai dari kerusakan ekosistem, hilangnya keanekaragaman hayati, emisi gas rumah kaca dalam jumlah besar yang memperparah perubahan iklim, hingga kabut asap tebal (*haze*) yang menyebabkan gangguan pernapasan akut dan kerugian ekonomi yang besar akibat terhentinya aktivitas masyarakat [2] [3].

Hutan dan lahan gambut yang menyimpan cadangan karbon sangat besar menjadi episentrum permasalahan *karhutla* di Kalimantan Barat. Dalam kondisi basah, gambut sangat sulit terbakar. Namun, ketika mengalami degradasi dan pengeringan akibat drainase kanal maupun musim kemarau, material organik gambut menjadi bahan bakar yang sangat mudah terbakar dan sulit dipadamkan [4]. Kekeringan pada vegetasi yang tumbuh di atas lahan gambut merupakan indikator proksi yang sangat efektif untuk mengestimasi tingkat kekeringan gambut itu sendiri dan, pada akhirnya, kerentanan terhadap kebakaran [5].

Teknologi penginderaan jauh dan komputasi awan (*cloud computing*) telah merevolusi pendekatan dalam pemantauan lingkungan. GEE muncul sebagai *platform* yang sangat powerful untuk analisis geospasial skala besar

Deteksi Dini Kerentanan Risiko Kebakaran Hutan dan Lahan Gambut di Kalimantan Barat Melalui Analisis Spasio-Temporal Distribusi dan Tingkat Kekeringan Vegetasi Menggunakan *Google Earth Engine* (Tahun 2025)

dan jangka panjang. GEE menyediakan akses ke katalog data satelit yang masif (seperti Landsat, Sentinel, MODIS) dan kemampuan komputasi tinggi yang memungkinkan pemrosesan data secara efisien tanpa perlu mengunduh data yang berukuran sangat besar [6]. Dalam konteks karhutla, GEE memungkinkan analisis temporal yang padat untuk mendeteksi anomaly kondisi lingkungan.

Indeks Vegetasi, seperti *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) atau *Enhanced Vegetation Index* (EVI), serta Indeks Kekeringan seperti *Normalized Difference Drought Index* (NDDI) adalah sebuah indeks kekeringan yang dirancang khusus untuk mendeteksi dan memantau kondisi kekeringan pada vegetasi [7] atau *Normalized Difference Moisture Index* (NDMI) yang sensitif terhadap kandungan air dalam daun, telah terbukti efektif sebagai proksi untuk memantau tingkat stres dan kekeringan vegetasi [8] [9]. Analisis spatio-temporal terhadap tren indeks-indeks ini dapat mengungkap area-area yang mengalami degradasi dan pengeringan secara sistematis sebelum akhirnya benar-benar terbakar.

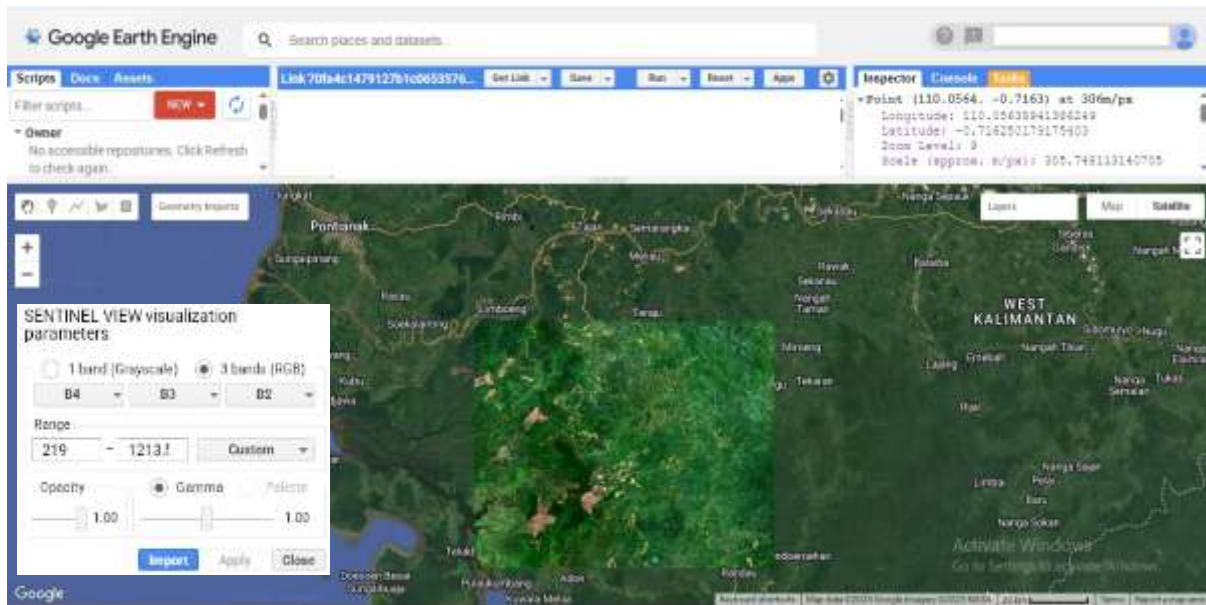
Oleh karena itu, penelitian yang berjudul "Deteksi Dini Kerentanan Risiko Kebakaran Hutan dan Lahan Gambut di Kalimantan Barat Melalui Analisis Spasio-Temporal Distribusi dan Tingkat Kekeringan Vegetasi Menggunakan *Google Earth Engine* (Tahun 2025)" ini diusulkan. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan kapabilitas GEE dalam memproses data satelit multi-temporal guna memetakan distribusi dan dinamika kekeringan vegetasi sebagai indikator kunci kerentanan kebakaran dengan melalui: (1) mengidentifikasi dan memetakan wilayah *hotspot* (titik api) pada hutan dan lahan gambut di Kalimantan Barat tahun 2025, (2) memetakan wilayah distribusi *hotspot* (titik api) pada hutan dan lahan gambut di Kalimantan Barat tahun 2025, dan (3) memetakan kelas NDDI pada hutan dan lahan gambut di Kalimantan Barat tahun 2025. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam pengembangan sistem peringatan dini yang lebih akurat, responsif, dan dapat diakses untuk membantu upaya pencegahan dan mitigasi kebakaran di Kalimantan Barat, sehingga dapat meminimalisir dampak buruknya di masa mendatang.

2. Metode Penelitian

2.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian berfokus pada seluruh wilayah administratif Provinsi Kalimantan Barat, Indonesia. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada tingginya potensi kebakaran hutan dan lahan gambut yang terjadi setiap tahun, menjadikannya area yang kritis untuk dikaji. Berdasarkan hasil inspeksi spasial pada lokasi penelitian di Kalimantan Barat, titik koordinat teridentifikasi pada bujur 110,0564°BT dan lintang -0,7163°LS dengan tingkat kedetailan resolusi spasial mencapai 306 meter per piksel pada tingkat *zoom* level 9. Konfigurasi resolusi ini mengindikasikan penggunaan data satelit resolusi menengah-tinggi yang memadai untuk analisis fenomena kekeringan vegetasi sebagai indikator kunci kerentanan kebakaran skala lansekap. Tingkat presisi koordinat dan skala resolusi yang digunakan telah memenuhi standar akurasi spasial untuk kajian kerentanan kebakaran hutan dan lahan gambut di wilayah tropis seperti Kalimantan Barat.

Berdasarkan panel "SENTINEL VIEW visualization parameters", konfigurasi yang diterapkan menggunakan komposit warna sejati (*true color*) dengan menetapkan saluran merah (B4), hijau (B3), dan biru (B2) dari data satelit Sentinel, sehingga menghasilkan representasi visual yang mendekati tampilan alamiah permukaan bumi. Rentang nilai yang dikonfigurasi pada 219 hingga 1213,5 menunjukkan penerapan *stretch* kontras linier untuk mengoptimalkan visualisasi dengan mempertahankan dinamika nilai piksel asli. Pengaturan opasitas pada 1,00 dan gamma 1,00 mengindikasikan tidak adanya modifikasi transparansi atau koreksi nonlinear terhadap kecerahan citra, sehingga karakteristik spektral objek tetap terjaga. Konfigurasi ini memungkinkan identifikasi awal fitur-fitur permukaan seperti tutupan lahan, badan air, dan pola urbanisasi dengan akurasi visual yang tinggi, yang esensial untuk analisis lanjutan dalam pemantauan lingkungan khususnya kekeringan vegetasi sebagai indikator kunci kerentanan kebakaran (Gambar 1). Waktu penelitian ini dimulai dari 1 Januari 2025 hingga 1 September 2025.



Gambar 1. Visualisasi Peta Citra Sentinel-2 di Lokasi Penelitian (Kalimantan Barat) Tahun 2025

2.2. Desain dan Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain kuantitatif dengan pendekatan spatio-temporal. Rancangan ini dipilih untuk menganalisis pola, dinamika, dan hubungan spasial serta temporal antara distribusi kekeringan vegetasi dan kejadian kebakaran. Pendekatan penelitian bersifat eksplanatori untuk menjelaskan bagaimana variabel kekeringan vegetasi mempengaruhi kerentanan risiko kebakaran. Seluruh proses analisis data dilakukan secara komputasional awan (*cloud-based*) dengan memanfaatkan *platform* GEE, yang memungkinkan pemrosesan data satelit berskala besar secara efisien dan repetitif [10].

2.3. Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

Pengumpulan dan analisis data dilakukan secara otomatis melalui *scripting* di *platform* GEE. Langkah-langkahnya sebagai berikut:

1. Membuat *Area of Interest* (AOI) dengan cara menggunakan *draw a rectangle* untuk menentukan wilayah yang ingin dianalisis yaitu hutan dan lahan gambut di Kalimantan Barat.
2. Mengidentifikasi wilayah *hotspot* (titik api) seluruh Indonesia dengan cara (1) menggunakan dataset FAO GAUL: *Global Administrative Unit Layers 2015, Country Boundaries*, (2) memilih berdasarkan filter berupa *ee.Filter.inList()* untuk *ADM0_NAME* yaitu 'Indonesia', (3) menggunakan data wilayah Indonesia untuk melihat *hotspot* (titik api) seluruh Indonesia dahulu.
3. Menggunakan dataset FIRMS (*Fire Information for Resource Management System*) yaitu sebuah sistem dan sekaligus nama untuk kumpulan data (*dataset*) yang menyediakan informasi mengenai titik api (*hotspot*) dan kebakaran aktif yang terdeteksi oleh satelit dengan cara (1) memilih waktu yang diinginkan dengan memastikan pada *code filterDate()*, (2) menggunakan perintah *filterBounds()* berupa wilayah Indonesia untuk melihat *hotspot* (titik api) seluruh Indonesia dahulu, (3) menggunakan perintah *filterBounds()* untuk AOI setelah mengetahui wilayah yang diinginkan.
4. Membuat visualisasi spasial yaitu (1) dataset FIRMS berupa poin dengan resolusi 1000 m, perlu diinterpolasi agar bisa menjadi *polygon*, (2) data perlu diperbaiki melalui interpolasi dengan metode *inverseDistance()*, (3) metode *inverseDistance()* membutuhkan: sampel, nilai *mean*, dan nilai standar deviasi.
5. Menentukan kekeringan berbasis NDDI yaitu (1) menggunakan metode NDDI untuk mengetahui distribusi dan tingkat kekeringan, (2) nilai NDDI memiliki rentang dari -1 sampai 1, dimana semakin mendekati nilai 1, maka semakin tinggi tingkat kekeringannya (dapat dilihat pada Tabel 1), (3) rumus NDDI = (NDVI-

NDWI)/(NDVI+NDWI), (4) rumus NDVI = (NIR-RED)/(NIR+RED), (5) rumus NDWI = (NIR-SWIR1)/(NIR+SWIR1).

Keterangan:

NDVI = *Normalized Difference Vegetation Index* adalah indeks yang mengukur "kehijauan" atau kesehatan dan kelimpahan vegetasi dengan membandingkan pantulan cahaya yang diterima oleh sensor satelit pada saluran tertentu. Penurunan nilai NDVI berfungsi sebagai peringatan dini terhadap peningkatan kerentanan risiko kebakaran.

NDWI = *Normalized Difference Water Index* adalah indeks penginderaan jauh yang dirancang untuk mendeteksi dan memantau kandungan air dalam vegetasi serta memisahkan badan air dari fitur landscape lainnya. NDWI memberi tahu tentang "kandungan air"-nya. Dalam konteks kebakaran, bahan bakar (vegetasi dan gambut) menjadi berbahaya ketika kandungan airnya rendah.

NIR = *Near-Infrared* yaitu nilai pantulan pada gelombang inframerah dekat.

RED = Nilai pantulan pada gelombang merah.

SWIR = *Short-Wave Infrared* yaitu nilai pantulan pada gelombang inframerah pendek.

Tabel 1. Kategori Nilai NDDI [11]

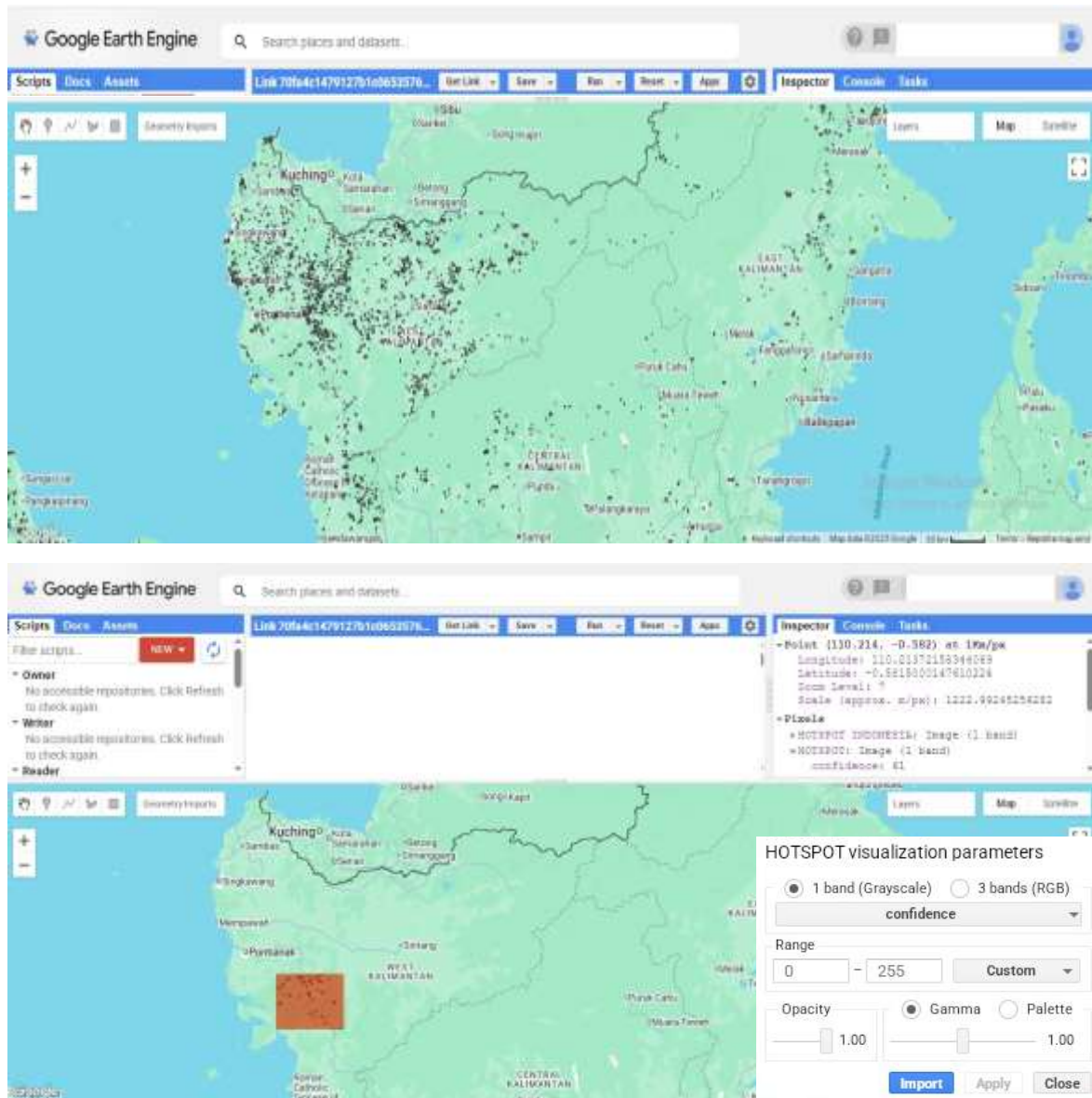
Nilai NDDI	Kategori Kelas
$-1 \leq 0,01$	Normal
$0,01 \leq 0,15$	Kekeringan Ringan
$0,15 \leq 0,25$	Kekeringan Sedang
$0,25 \leq 1$	Kekeringan Berat
> 1	Kekeringan Sangat Berat

- Membuat visualisasi spasial NDDI yaitu (1) pada data tahun 2025, menggunakan *Harmonized Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A (SR)*, (2) sebelum menggunakan dataset Sentinel-2, maka awan perlu dihapuskan dengan metode penghapusan awan, (3) setelah dataset Sentinel-2 bersih dari awan, masukkan rumus NDWI, dimana pada Sentinel-2 posisi SWIR 1 berada di *band* B11 dan NIR berada di *band* B8, (4) setelah dataset Sentinel-2 bersih dari awan, memasukkan rumus NDVI, dimana pada Sentinel-2 posisi RED berada di *band* B4 dan NIR berada di *band* B8, (5) menggabungkan NDVI dan NDWI dengan rumus NDDI, (6) memvisualisasikan data sentinel dan NDDI, (7) mengkategorikan kelas berdasarkan tingkat kekeringan.
- Menganalisis hubungan antara NDDI dan *hotspot* FIRMS dengan cara (1) mencari wilayah dengan nilai *hotspot* (probabilitas) di atas 50, menggunakan *selfMask()* dan *updateMask()*, (2) menghitung nilai rerata NDDI di wilayah tersebut, (3) mencari nilai rerata kekeringan yang bisa menjadi pemicu *hotspot* (titik panas).
- Memastikan termasuk dalam wilayah gambut dengan cara (1) menggunakan *The Global Peatland Map 2.0, launched by the Global Peatlands Initiative partners at the Global Peatland Pavilion during UNFCCC COP26: ee.Image("projects/sat-io/open-datasets/GLOBAL-PEATLAND-DATABASE")*, (2) mengambil dataset lalu membatasi di AOI, mencari wilayah yang merupakan wilayah gambut.

3. Hasil dan Diskusi

3.1. Identifikasi Wilayah *Hotspot* (Titik Api) pada Hutan dan Lahan Gambut di Kalimantan Barat Tahun 2025

Berdasarkan visualisasi citra satelit NASA (MODIS) yang ditampilkan, proses identifikasi titik api (*hotspot*) dilakukan dengan konfigurasi citra *single-band* dalam mode *grayscale*, di mana nilai piksel direpresentasikan pada rentang nilai 0 hingga 255, di mana nilai piksel yang lebih tinggi berkorelasi langsung dengan intensitas radiasi termal [12]. Parameter visualisasi yang diterapkan menggunakan nilai opasitas 1,00 dan gamma 1,00, mengindikasikan tidak adanya koreksi kontras atau transparansi, sehingga mempertahankan nilai radiasi asli dari data satelit. Meskipun tersedia opsi untuk visualisasi RGB dengan tiga saluran, pemilihan mode *grayscale* ini memfokuskan analisis pada intensitas termal tunggal, di mana nilai piksel yang lebih tinggi secara langsung berkorelasi dengan probabilitas keberadaan *hotspot* (titik api) (Gambar 2). Konfigurasi ini memungkinkan interpretasi kuantitatif yang lebih akurat terhadap anomali suhu permukaan sebelum dilakukan kolorisasi atau klasifikasi lebih lanjut

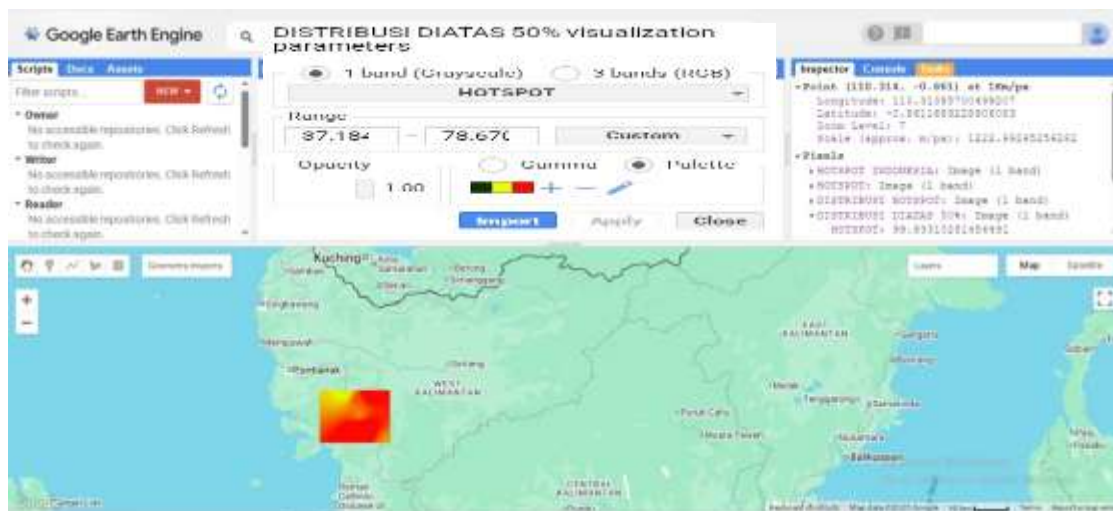


Gambar 2. Identifikasi dan Peta Wilayah *Hotspot* (Titik Api) pada Hutan dan Lahan Gambut di Kalimantan Barat Tahun 2025 Berdasarkan Visualisasi Citra Satelit NASA (MODIS)

Berdasarkan hasil analisis spasial menggunakan GEE, teridentifikasi titik api (*hotspot*) berupa tampilan titik-titik warna hitam di wilayah Kalimantan Barat pada koordinat bujur $110,2137^{\circ}\text{BT}$ dan lintang $-0,5815^{\circ}\text{LS}$ dengan tingkat kepercayaan (*confidence level*) sebesar 61%. Titik api ini terdeteksi pada tingkat *zoom level* 7 dengan resolusi spasial sekitar 1.223 meter per piksel, yang menunjukkan kemampuan deteksi pada skala menengah (Gambar 2). Nilai *confidence* yang tergolong sedang ini mengindikasikan kemungkinan adanya aktivitas kebakaran atau suhu permukaan tinggi, meskipun masih memerlukan verifikasi lebih lanjut melalui data pendukung seperti citra resolusi tinggi atau observasi lapangan untuk memastikan sumber dan konteks fenomena termal yang terekam. Hal ini didukung oleh Giglio [13] yang menyatakan bahwa nilai kepercayaan yang tergolong moderat ini, sebagaimana didefinisikan dalam protokol *MODIS Active Fire Product*, mengindikasikan sinyal termal yang signifikan namun masih memerlukan verifikasi silang dengan citra resolusi tinggi atau data lapangan untuk mengonfirmasi aktivitas kebakaran dan menyingkirkan *false positive*.

3.2. Visualisasi Wilayah Distribusi *Hotspot* (Titik Api) pada Hutan dan Lahan Gambut di Kalimantan Barat Tahun 2025

Berdasarkan hasil analisis menggunakan *platform* GEE pada pemantauan spasial, teridentifikasi distribusi sebuah titik api (*hotspot*) di wilayah Kalimantan Barat dengan tingkat kepercayaan yang sangat tinggi, yaitu 99,93%, yang terletak pada koordinat 110,3139° Bujur Timur dan -0,8612° Lintang Selatan. Titik api ini terekam dalam beberapa lapisan data citra satelit bersaluran tunggal, mencakup lapisan khusus yaitu nilai distribusi *hotspot* (titik api) di atas 50% yang merepresentasikan sebaran anomali termal dengan tingkat kepercayaan (*confidence value*) mencapai 99,93% yang mengonfirmasi bahwa titik ini termasuk dalam kategori kepercayaan tinggi. Dengan tingkat *zoom* level 7 dan skala resolusi spasial sekitar 1.223 meter per piksel (Gambar 3), hasil deteksi ini memberikan indikasi yang kuat dan hampir pasti mengenai adanya anomali termal di lokasi tersebut, yang dalam konteks regional Indonesia umumnya mengindikasikan aktivitas kebakaran hutan atau lahan yang signifikan dan memerlukan perhatian serius dari perspektif pengelolaan lingkungan dan mitigasi bencana [14]. Hasil ini merepresentasikan kemampuan integrasi data satelit multi-layer dalam memantau fenomena kebakaran dengan presisi spasial dan statistik yang akurat.



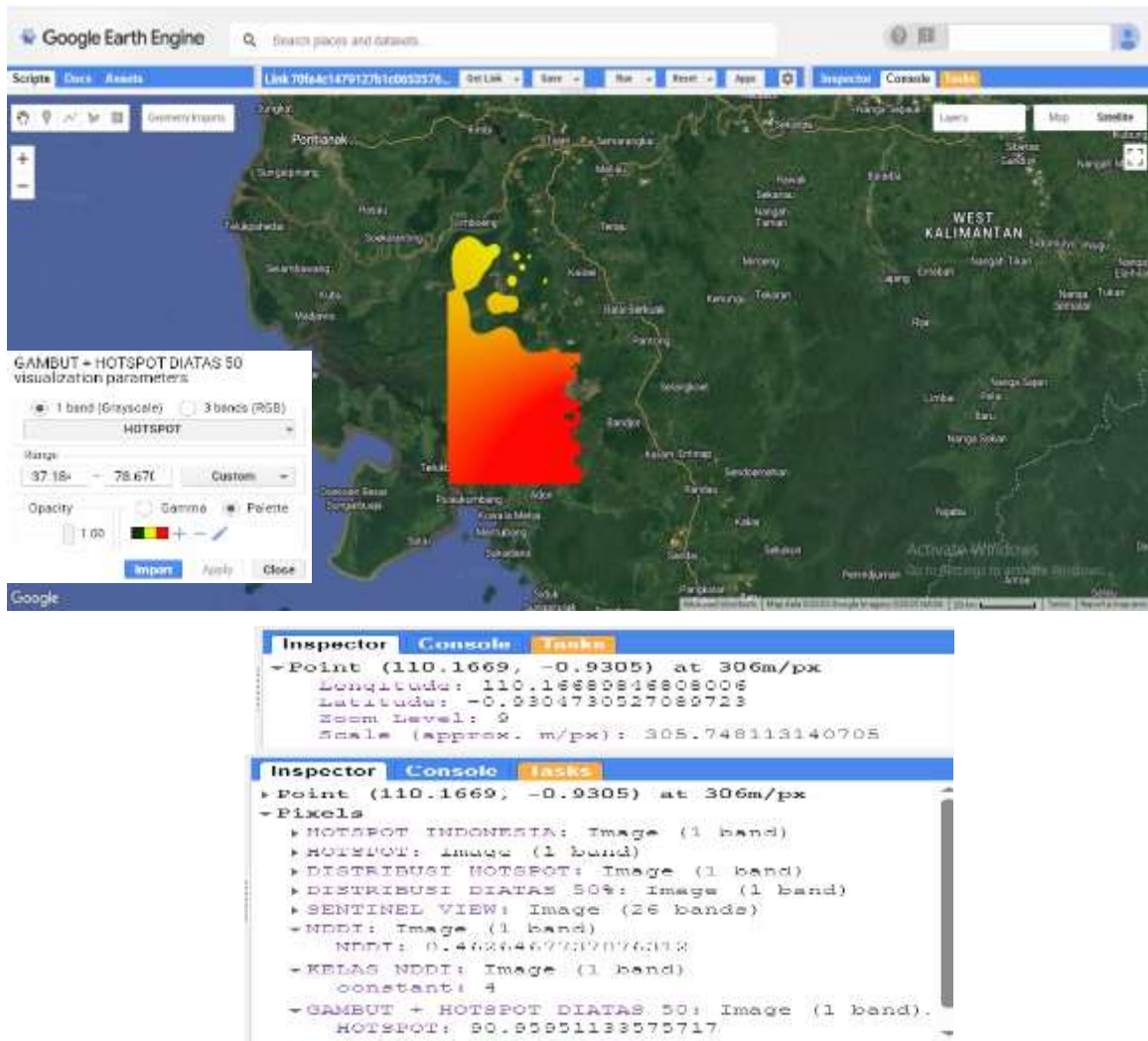
Gambar 3. Peta Wilayah Distribusi *Hotspot* (Titik Api) pada Hutan dan Lahan Gambut di Kalimantan Barat Tahun 2025

Berdasarkan panel “DISTRIBUTI DI ATAS 50% visualization parameters” untuk lapisan distribusi *hotspot* (titik api) di Lokasi Penelitian (Kalimantan Barat), konfigurasi yang diterapkan menggunakan representasi *grayscale single-band* dengan rentang nilai yang telah dikustomisasi pada interval 37,18 hingga 78,67 yang menunjukkan tampilan warna kuning hingga merah, di mana semakin merah artinya semakin tinggi distribusi *hotspot* (titik api). Penentuan ambang batas (*threshold*) ini secara spesifik memfilter anomali termal yang termasuk dalam kategori kepercayaan di atas 50%, sehingga hanya titik api (*hotspot*) dengan probabilitas sedang hingga tinggi yang ditampilkan. Pengaturan opasitas pada nilai 1,00 memastikan tidak ada transparansi, sementara parameter gamma yang dipertahankan pada 1,00 menunjukkan tidak dilakukan manipulasi kontras nonlinear terhadap nilai radiasi asli (Gambar 3). Konfigurasi ambang batas yang terukur ini memungkinkan segmentasi spasial yang lebih akurat untuk memisahkan daerah dengan indikasi kebakaran yang signifikan secara statistik dari latar belakang thermal lainnya, sehingga meningkatkan presisi dalam analisis distribusi temporal dan spasial kejadian kebakaran [13].

3.3. Visualisasi Spasial Kelas NDDI pada Hutan dan Lahan Gambut di Kalimantan Barat Tahun 2025

Berdasarkan hasil analisis spasial pada lokasi penelitian di hutan dan lahan gambut Kalimantan Barat, titik analisis terletak pada koordinat 110,1669° Bujur Timur dan -0,9305° Lintang Selatan dengan tingkat kedetailan resolusi spasial sebesar 306 meter per piksel pada tingkat *zoom* level 9. Skala resolusi ini mengindikasikan penggunaan data satelit resolusi menengah yang memadai untuk memantau kondisi biofisik pada hutan dan lahan gambut dalam skala lansekap. Titik inspeksi ini merepresentasikan lokasi penerapan indeks kekeringan vegetasi (NDDI) yang berfungsi sebagai indikator kondisi kelembapan dan tingkat stres air pada vegetasi di hutan dan lahan gambut. Presisi koordinat dan resolusi spasial yang digunakan memenuhi persyaratan teknis untuk analisis temporal dalam memantau kerentanan kebakaran dan dinamika hidrologis di kawasan gambut tropis, yang merupakan parameter krusial dalam kajian mitigasi degradasi lingkungan.

Berdasarkan hasil analisis multispektral dan termal pada lokasi penelitian di hutan dan lahan gambut Kalimantan Barat, teridentifikasi kondisi kekeringan dan anomali termal yang signifikan melalui beberapa parameter kunci. Nilai NDDI sebesar 0,46 mengindikasikan tingkat kekeringan vegetasi pada kategori kelas kekeringan berat yang ditampilkan dalam warna orange hingga merah, artinya semakin merah menandakan semakin berat tingkat kekeringan vegetasinya, sementara nilai *hotspot* (titik api) 90,96% dengan lapisan distribusi *hotspot* (titik api) di atas 50% mengkonfirmasi adanya anomali termal dengan tingkat kepercayaan sangat tinggi. Integrasi data satelit Sentinel-2 dengan klasifikasi NDDI dan lapisan gambut memperlihatkan kerentanan hutan dan lahan gambut terhadap kebakaran, dimana nilai konstan 4 pada klasifikasi NDDI merepresentasikan kategori kekeringan spesifik yang berkorelasi dengan keberadaan titik panas (Gambar 4). Hasil ini mengungkapkan hubungan sistematis antara kondisi kekeringan pada hutan dan lahan gambut dan potensi kebakaran hutan yang memerlukan pendekatan mitigasi berbasis data spasial yang komprehensif.



Gambar 4. Peta Spasial Kelas NDDI pada Hutan dan Lahan Gambut di Kalimantan Barat Tahun 2025 Berdasarkan Visualisasi Citra Satelit Sentinel-2

Berdasarkan panel "GAMBUT+HOTSPOT DIATAS 50 visualization parameters", konfigurasi yang diterapkan menggunakan representasi *grayscale single-band* dengan rentang nilai ambang batas (*threshold*) yang telah ditetapkan secara spesifik pada interval 37,18 hingga 78,67 yang ditampilkan mulai dari warna kuning hingga kemerahan. Penentuan rentang nilai ini berfungsi untuk menyaring dan memvisualisasikan secara selektif hanya titik api (*hotspot*) dengan tingkat kepercayaan di atas 50% yang terletak pada hutan dan lahan gambut, sehingga menghasilkan fokus analisis pada area dengan probabilitas kebakaran tinggi. Pengaturan opasitas penuh (1,00) tanpa koreksi gamma (1,00) mempertahankan integritas nilai piksel asli, memungkinkan identifikasi spasial yang jelas antara area gambut yang mengalami anomali termal dengan lingkungan sekitarnya (Gambar 4). Konfigurasi

parametrik ini sangat krusial dalam pemantauan hutan dan lahan gambut, di mana deteksi dini *hotspot* (titik api) berkategori menengah-tinggi dapat berfungsi sebagai sistem peringatan dini untuk mencegah eskalasi kebakaran pada biomassa gambut yang sangat mudah terbakar atau mudah sekali menyala (*highly combustible*) [15].

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mendemonstrasikan efektivitas integrasi teknologi penginderaan jauh dan komputasi awan melalui platform Google Earth Engine (GEE) dalam mendeteksi secara dini kerentanan kebakaran hutan dan lahan gambut di Kalimantan Barat. Melalui pendekatan analisis spatio-temporal, penelitian ini mampu mengidentifikasi distribusi hotspot (titik api) serta tingkat kekeringan vegetasi dengan menggunakan Normalized Difference Drought Index (NDDI) sebagai indikator proksi kondisi kekeringan gambut. Hasil analisis menunjukkan adanya korelasi yang signifikan antara tingkat kekeringan vegetasi (NDDI) dan kejadian hotspot. Nilai NDDI sebesar 0,46 pada titik pengamatan tertentu mengindikasikan kondisi kekeringan berat, yang sejalan dengan probabilitas hotspot sebesar 90,96%. Temuan ini mengonfirmasi bahwa hutan dan lahan gambut yang mengalami dehidrasi menjadi sangat rentan terhadap ignisi dan penyebaran api. Selain itu, distribusi hotspot dengan tingkat kepercayaan di atas 50% terkonsentrasi pada area gambut yang mengalami penurunan kelembapan vegetasi, yang diidentifikasi melalui integrasi data Sentinel-2 dan peta gambut global (Global Peatland Map 2.0). Resolusi spasial menengah-tinggi yang digunakan dalam analisis ini, yakni berkisar antara 306 meter/piksel hingga 1.223 meter/piksel, terbukti memadai untuk memantau dinamika biofisik hutan dan lahan gambut dalam skala lanskap, sekaligus mendukung akurasi identifikasi area rawan kebakaran. Dengan demikian, pendekatan yang diterapkan dalam penelitian ini tidak hanya mampu memetakan kerentanan kebakaran secara spasial dan temporal, tetapi juga memberikan dasar yang kuat bagi pengembangan sistem peringatan dini berbasis data satelit near-real-time. Implikasinya, temuan ini dapat diadopsi oleh pemangku kebijakan dan pihak terkait untuk meningkatkan efektivitas strategi pencegahan dan mitigasi kebakaran, khususnya di hutan dan lahan gambut Kalimantan Barat, guna meminimalisir dampak lingkungan, sosial, dan ekonomi di masa mendatang.

Referensi

1. A. Sulova and J. J. Arsanjani, "Exploratory analysis of driving forces of forest fires in Indonesia: A spatio-temporal perspective," *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 9, no. 11, p. 685, 2020. doi: 10.3390/ijgi9110685.
2. M. E. Marlier, R. S. DeFries, P. S. Kim, S. N. Koplitz, D. J. Jacob, L. J. Mickley, and S. S. Myers, "Fire emissions and regional air quality impacts from fires in oil palm, timber, and logging concessions in Indonesia," *Environmental Research Letters*, vol. 10, no. 8, p. 085005, 2015. doi: 10.1088/1748-9326/10/8/085005.
3. E. I. Putra and H. Hayasaka, "The effect of the precipitation pattern of the dry season on peat fire occurrence in the Mega Rice Project area, Central Kalimantan, Indonesia," *Tropics*, vol. 19, no. 4, pp. 145–156, 2011. doi: 10.3759/tropics.19.145.
4. S. E. Page, F. Siegert, J. O. Rieley, H. D. V. Boehm, A. Jaya, and S. Limin, "The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997," *Nature*, vol. 420, no. 6911, pp. 61–65, 2002. doi: 10.1038/nature01131.
5. O. Ghorbanzadeh, T. Blaschke, K. Gholamnia, and J. Aryal, "Penetaan kerentanan dan risiko kebakaran hutan menggunakan kerentanan sosial/infrastruktur dan variabel lingkungan," *Fire*, vol. 2, p. 50, 2019.
6. N. Gorelick, M. Hancher, M. Dixon, S. Ilyushchenko, D. Thau, and R. Moore, "Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone," *Remote Sensing of Environment*, vol. 202, pp. 18–27, 2017. doi: 10.1016/j.rse.2017.06.031.
7. Y. Gu, J. F. Brown, J. P. Verdin, and B. Wardlow, "A five-year analysis of MODIS NDVI and NDWI for grassland drought assessment over the central Great Plains of the United States," *Geophysical Research Letters*, vol. 34, no. 6, L06407, 2007. doi: 10.1029/2006GL029127.
8. T. J. Jackson et al., "Vegetation water content mapping using Landsat data derived normalized difference water index for corn and soybeans," *Remote Sensing of Environment*, vol. 92, no. 4, pp. 475–482, 2004. doi: 10.1016/j.rse.2003.10.021.
9. H. Moayed, M. Mehrabi, D. T. Bui, B. Pradhan, and L. K. Foong, "Ansambel fuzzy-metaheuristik untuk penilaian spasial kerentanan kebakaran hutan," *J. Environ. Manag.*, vol. 260, p. 109867, 2020.
10. E. H. Wilson and S. A. Sader, "Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery," *Remote Sensing of Environment*, vol. 80, no. 3, pp. 385–396, 2002. doi: 10.1016/S0034-4257(01)00318-2.
11. D. Renza, E. Martinez, A. Arquer, and J. Sanchez, "Drought estimation maps by means of multivariate Landsat fused images," *Remote Sensing for Science, Education, and Natural and Cultural Heritage*, pp. 775–782, 2010.
12. C. O. Justice et al., "An overview of MODIS Land data processing and product status," *Remote Sensing of Environment*, vol. 83, nos. 1–2, pp. 3–15, 2002. doi: 10.1016/S0034-4257(02)00084-6.
13. L. Giglio, W. Schroeder, and C. O. Justice, "The collection 6 MODIS active fire detection algorithm and fire products," *Remote Sensing of Environment*, vol. 178, pp. 31–41, 2016. doi: 10.1016/j.rse.2016.02.054.
14. J. Miettinen, C. Shi, and S. C. Liew, "Fire distribution in Peninsular Malaysia, Sumatra and Borneo in 2015 with special emphasis on peatland fires," *Environmental Management*, vol. 60, no. 4, pp. 747–757, 2017. doi: 10.1007/s00267-017-0911-7.
15. K. G. MacDicken, "Penilaian Sumber Daya Hutan Global 2015: Apa, mengapa, dan bagaimana?," *Untuk. Ecol. Manag.*, vol. 352, pp. 3–8, 2015.