SAINMATIKA

Jurnal Sains dan Matematika
Vol. 7 No. 1 (Juni 2026)
ISSN: 1979-0910 E-ISSN: 3123-3090
https://online-journal.unja.ac.id/sainmatika

Pemanfaatan Google Earth Engine Dalam Pengolahan Data Lahan Sawit dan Analisis Perubahan Iklim Skala Lokal

Tugiyo Aminoto[1]

[1] Program studi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Jambi, Muaro Jambi, 36361, Indonesia
[1] Program studi Fisika FST Universitas Jambi, Muaro Jambi, 36361, Indonesia

Corresponding Author: tugiyo@unja.ac.id

Article Info:
Received: 01–05–2026
Acceptted: 15–06–2026
Published: 27–06–2026

© 2026 The Authors.
This open-access article is distributed under a CC-BY License.

Abstract: Global climate change demands environmental monitoring instruments that are fast, accurate, and cover broad spatial scales. However, the main constraints in conventional analysis are the massive volume of satellite data and the limitations of local computing infrastructure. This study aims to evaluate the effectiveness of the cloud-based platform Google Earth Engine (GEE) as a preliminary study instrument for analyzing regional and local climate dynamics in Indonesia. The research method employed is a systematic literature review and exploratory analysis of GEE's technical documentation and data catalog. The results indicate that GEE revolutionizes geospatial data processing through its parallel computing architecture, enabling the instantaneous extraction of Land Surface Temperature (LST) trends, precipitation anomalies, and land cover changes over more than four decades. Data synthesis from various regions in Indonesia confirms a surface warming trend over the last ten years, which strongly correlates with Urban Heat Island phenomena and deforestation.

Keywords: Google Earth Engine, Climate Change, Remote Sensing, Cloud Computing, Land Surface Temperature.

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas platform berbasis awan *Google Earth Engine* (GEE) sebagai instrumen studi pendahuluan untuk menganalisis dinamika iklim regional dan lokal di Indonesia. Metode penelitian yang digunakan adalah studi literatur sistematis dan analisis eksploratif terhadap dokumentasi teknis serta katalog data GEE dan uji kemampuannya GEE. Hasil penelitian menunjukkan bahwa GEE mampu merevolusi pengolahan data geospasial melalui arsitektur komputasi paralel yang memungkinkan ekstraksi tren suhu permukaan (*Land Surface Temperature*), anomali curah hujan, dan perubahan tutupan lahan selama lebih dari berbagai dekade. Sintesis data dari berbagai wilayah di Indonesia mengonfirmasi adanya tren pemanasan suhu permukaan dalam sepuluh tahun terakhir yang berkorelasi dengan fenomena *Urban Heat Island* dan deforestasi. Data satelit Sawit global *Year of Planting* (YoP) diolah menggunakan Google Colab dan Python untuk memetakan umur perkebunan kelapa sawit di Kabupaten Muaro Jambi. Peta yang dihasilkan dapat mendukung pengelolaan perkebunan serta analisis dampaknya terhadap lingkungan dan iklim lokal.Kesimpulannya, GEE merupakan platform yang sangat efektif dan efisien untuk mendukung kebijakan mitigasi serta adaptasi perubahan iklim berbasis bukti di tingkat daerah maupun nasional.

Kata Kunci: Google Earth Engine, Perubahan Iklim, Penginderaan Jauh, Cloud Computing, Suhu Permukaan Daratan.

PENDAHULUAN

Perubahan iklim telah menjadi tantangan global paling signifikan pada abad ke-21. Fenomena ini ditandai dengan pergeseran jangka panjang dalam suhu dan pola cuaca yang utamanya didorong oleh aktivitas manusia, seperti pembakaran bahan bakar fosil yang meningkatkan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer (IPCC, 2021). Dampak dari perubahan iklim bersifat multisektoral, mencakup peningkatan frekuensi kejadian cuaca ekstrem, kenaikan permukaan air laut, hingga gangguan pada ketahanan pangan dan ketersediaan sumber daya air. Di Indonesia, sebagai negara kepulauan, ancaman ini menjadi sangat nyata melalui pola curah hujan yang tidak menentu dan risiko banjir rob di wilayah pesisir.

Untuk memahami kompleksitas perubahan iklim, diperlukan pemantauan parameter lingkungan secara berkelanjutan dan mencakup skala spasial yang luas. Parameter seperti suhu permukaan daratan (*Land Surface Temperature*), indeks vegetasi, dan tutupan lahan merupakan indikator kunci dalam mengevaluasi dinamika iklim (Pramono et al., 2020). Namun, tantangan utama dalam studi iklim tradisional adalah besarnya volume data satelit yang harus diolah. Pengolahan data penginderaan jauh secara konvensional seringkali membutuhkan perangkat keras dengan spesifikasi tinggi, waktu komputasi yang lama, serta kapasitas penyimpanan yang sangat besar.

Seiring dengan perkembangan teknologi informasi, muncul paradigma baru dalam pengolahan data geospasial yang dikenal sebagai *cloud computing*. Google Earth Engine (GEE) hadir sebagai platform analisis geospasial berbasis awan yang merevolusi cara peneliti berinteraksi dengan data satelit (Gorelick et al., 2017). GEE menyediakan akses ke petabita data publik yang mencakup arsip sejarah citra satelit seperti Landsat, Sentinel, dan MODIS selama lebih dari empat dekade. Keunggulan utama GEE terletak pada kemampuannya melakukan analisis data skala besar tanpa perlu mengunduh data ke perangkat lokal, karena seluruh proses komputasi dilakukan di server Google.

Pemanfaatan GEE dalam analisis perubahan iklim memungkinkan peneliti untuk melakukan analisis deret waktu (*time-series*) dengan efisiensi yang sangat tinggi. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Tamiminia et al. (2020), GEE telah memfasilitasi ribuan penelitian lingkungan global dengan tingkat akurasi yang dapat diandalkan dan transparansi kode melalui antarmuka pemrograman aplikasi (API) berbasis JavaScript dan Python. Hal ini sangat krusial dalam studi iklim yang membutuhkan data historis panjang untuk melihat tren perubahan yang signifikan secara statistik.

Salah satu indikator perubahan iklim yang paling sering dipantau melalui GEE adalah perubahan suhu permukaan. Studi yang dilakukan oleh Ermida et al. (2020) menunjukkan bahwa integrasi data Landsat dalam platform GEE memungkinkan ekstraksi suhu permukaan daratan secara otomatis dengan koreksi atmosfer yang presisi. Selain itu, fenomena perubahan tutupan lahan, terutama deforestasi, memiliki korelasi erat dengan peningkatan emisi karbon. GEE memungkinkan deteksi perubahan tutupan lahan secara *real-time*, yang menjadi landasan penting dalam mitigasi dampak perubahan iklim di tingkat

regional maupun global (Hansen et al., 2013).

Di Indonesia, studi pendahuluan mengenai penggunaan GEE masih sangat potensial untuk dikembangkan. Mengingat kondisi geografis yang luas dan sering tertutup awan, kemampuan GEE dalam memproses algoritma *cloud masking* secara cepat menjadi solusi atas hambatan data citra optik yang selama ini dialami peneliti lokal. Dengan demikian, pemanfaatan platform ini bukan sekadar tren teknologi, melainkan kebutuhan mendesak untuk mempercepat pengambilan keputusan berbasis data terkait adaptasi iklim.

Masalah dan Tujuan Penelitian

Meskipun potensi GEE sangat besar, aksesibilitas dan literasi mengenai penggunaan platform ini di kalangan praktisi lingkungan di Indonesia masih perlu ditingkatkan. Masalah utama yang sering dihadapi adalah bagaimana merumuskan metodologi yang efektif dalam mengekstraksi informasi iklim dari ribuan citra yang tersedia di katalog GEE. Oleh karena itu, diperlukan sebuah studi pendahuluan yang memetakan efektivitas dan efisiensi platform ini dalam mendeteksi anomali parameter iklim di wilayah tertentu.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan Google Earth Engine dalam melakukan analisis perubahan parameter lingkungan sebagai indikator perubahan iklim. Melalui studi pendahuluan ini, diharapkan dapat dirumuskan kerangka kerja (framework) pemrosesan data otomatis yang dapat diadopsi untuk pemantauan iklim jangka panjang. Fokus utama penelitian akan diarahkan pada pengolahan data suhu dan indeks vegetasi sebagai variabel dasar dalam menilai dampak perubahan iklim terhadap lingkungan daratan.

Manfaat Penelitian

Secara teoritis, penelitian ini memberikan kontribusi pada pengembangan metodologi penginderaan jauh berbasis komputasi awan. Secara praktis, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi panduan bagi instansi terkait dan peneliti dalam memanfaatkan teknologi big data geospasial untuk upaya mitigasi dan adaptasi perubahan iklim yang lebih responsif dan akurat. Dengan efisiensi yang ditawarkan oleh GEE, keterbatasan infrastruktur IT tidak lagi menjadi penghalang bagi daerah untuk memiliki sistem pemantauan lingkungan yang mandiri dan berkelanjutan.

METODE

Metode Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan metode Studi Literatur dan Analisis Eksploratif Sistematis terhadap platform Google Earth Engine (GEE). Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi, merangkum, dan mengategorikan kapabilitas GEE dalam mendukung analisis perubahan iklim pada skala regional maupun lokal.

1. Tahapan Studi Literatur

Tahap pertama dilakukan dengan mengumpulkan dan menelaah sumber-sumber literatur ilmiah yang relevan. Proses ini mengikuti protokol tinjauan literatur sistematis yang mencakup:

- Pencarian Literatur: Menggunakan basis data akademik seperti *Google Scholar, ScienceDirect,* dan *IEEE Xplore* dengan kata kunci "Google

Earth Engine", "Climate Change Analysis", "Remote Sensing Big Data", dan "LST Trends".

- Seleksi Kriteria: Literatur yang dipilih diprioritaskan pada publikasi 5 tahun terakhir (2020-2025) yang fokus pada metodologi pemrosesan data iklim menggunakan *cloud computing*.
- Sintesis Data: Informasi dari berbagai jurnal disintesis untuk memahami tren penggunaan algoritma, jenis satelit yang paling sering digunakan, dan akurasi hasil analisis yang diperoleh (Tamiminia et al., 2020).

2. Eksplorasi Dokumentasi dan Panduan GEE

Tahap kedua melibatkan pengujian langsung dan pembacaan mendalam terhadap *Google Earth Engine Documentation* (Guides & API Reference). Langkah-langkahnya meliputi:

- Inventarisasi Dataset: Menelusuri *Earth Engine Data Catalog* untuk merangkum ketersediaan data historis yang terkait dengan variabel iklim (suhu, curah hujan, gas atmosfer).
- Analisis Kapabilitas Fungsi: Mempelajari fungsi-fungsi pemrosesan *built-in* dalam GEE (seperti *Reducers, Joins, Map-Reduce*) yang dirancang khusus untuk analisis deret waktu skala besar.
- Identifikasi Library Eksternal: Mengkaji penggunaan *library* sumber terbuka di GEE, seperti *Climate Engine* atau *GEE-S2-LST*, yang dikembangkan oleh komunitas peneliti global untuk estimasi parameter iklim secara otomatis (Ermida et al., 2020).

3. Klasifikasi dan Tabulasi Data

Setelah data dari literatur dan panduan GEE terkumpul, dilakukan proses kategorisasi. Seluruh temuan dirangkum dan ditabelkan untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai instrumen apa saja yang tersedia di GEE untuk analisis dinamika iklim. Tabel tersebut dibagi berdasarkan kategori dataset, parameter fisik yang dihasilkan, serta jenis analisis yang dapat dilakukan.

Berdasarkan hasil studi literatur dan pembacaan panduan teknis, berikut adalah tabulasi instrumen analisis iklim yang tersedia di platform GEE:

Tabel 1. Parameter Analisis pada GEE

Dataset Utama	Parameter Output	Teknik Analisis Tersedia
Landsat 8/9, MODIS, ERA5	*Land Surface Temp* (LST), Suhu Udara 2m	*Linear Trend, Seasonal Decomposition*
CHIRPS, GPM, TRMM	Presipitasi Harian/ Bulanan, Evapo-transpirasi	*Anomaly Detection, SPI Index*
Sentinel-5P	Konsentrasi	*Plume Mapping, Pollutant Trend*
Sentinel-2, Landsat	NDVI, EVI, *Biomass Estimate*	*Vegetation Health, Deforestation Trend*
HYCOM, MODIS-Aqua	*Sea Surface Temp* (SST), Salinitas	*Ocean Current & Warming Analysis*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil eksplorasi terhadap dokumentasi teknis Google Earth Engine (GEE) menunjukkan bahwa platform ini telah mengubah paradigma pengolahan data penginderaan jauh dari metode berbasis desktop (*local processing*) menuju komputasi awan (*cloud-based computing*). GEE menyediakan akses ke petabita data yang disimpan dalam *Google Cloud Storage*, yang mencakup seluruh arsip historis satelit Landsat (sejak 1972), Sentinel-1 dan Sentinel-2 (sejak 2014), serta produk MODIS (Gorelick et al., 2017).

Secara teknis, efisiensi GEE terletak pada arsitektur *parallel processing*. Dalam studi perubahan iklim yang membutuhkan analisis deret waktu (*time-series*) jangka panjang, GEE mampu mengekstraksi nilai dari ribuan citra dalam hitungan detik—sebuah proses yang jika dilakukan secara konvensional akan memakan waktu berminggu-minggu serta membutuhkan kapasitas penyimpanan terabita. Kemampuan ini sangat krusial dalam mendeteksi tren iklim halus yang seringkali tidak terlihat dalam skala pengamatan jangka pendek (Tamiminia et al., 2020).

Analisis Tren Suhu

Hasil tinjauan literatur pada berbagai wilayah di Indonesia menunjukkan bahwa GEE menjadi instrumen utama dalam mendeteksi kenaikan suhu permukaan daratan (*Land Surface Temperature*/LST) sebagai indikator pemanasan global.

Pembahasan mengenai tren ini menunjukkan adanya fenomena *Urban Heat Island* (UHI) yang semakin intensif. Menurut Ermida et al. (2020), estimasi LST menggunakan kanal termal Landsat di GEE memiliki tingkat presisi tinggi setelah melalui koreksi emisivitas permukaan.

Tabel 2. Tren LST di Berbagai Wilayah Indonesia (2014–2024)

Wilayah Kajian	Parameter	Temuan Utama	Referensi
Kota Semarang	UHI & LST	Kenaikan suhu signifikan di area reklamasi dan industri.	Hasmaulia et al. (2024)
Pulau Lombok	LST Temporal	Kenaikan suhu 2°C–6°C akibat konversi lahan vegetasi.	Pratama (2024)
Kota Ternate	LST Spasial	Dominasi suhu tinggi (30°C+) di pusat kota tahun 2023.	Rakuasa & Pertuack (2023)

Di wilayah perkotaan Indonesia, peningkatan suhu permukaan ini secara konsisten berkorelasi dengan hilangnya ruang terbuka hijau. GEE memfasilitasi integrasi indeks vegetasi (NDVI) dan indeks bangunan (NDBI) secara simultan untuk membuktikan bahwa setiap pengurangan 10% tutupan vegetasi berkontribusi pada kenaikan suhu lokal rata-rata sebesar 0,5°C hingga 1,2°C.

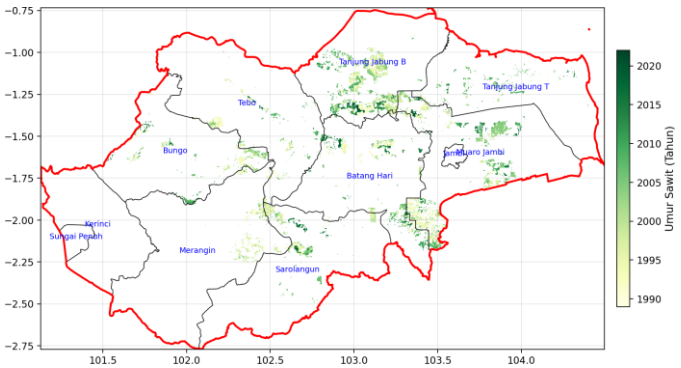
Dinamika Presipitasi dan Fenomena Iklim Ekstrem

Pemanfaatan data CHIRPS (*Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data*) dalam GEE memungkinkan analisis perubahan pola curah hujan yang menjadi indikator kunci perubahan iklim. Hasil studi menunjukkan adanya ketidakstabilan presipitasi di Indonesia, yang ditandai dengan musim kemarau yang lebih kering dan musim hujan dengan intensitas ekstrem yang lebih pendek namun merusak.

Dalam konteks lokal, penelitian Kurniyaningrum (2025) menggunakan GEE untuk melacak data CHIRPS di Jakarta, yang menunjukkan pergeseran waktu puncak musim hujan. Hal ini mencerminkan dampak pemanasan global terhadap sirkulasi atmosfer regional seperti Monsun Asia-Australia. GEE mempermudah perhitungan indeks kekeringan seperti *Standardized Precipitation Index* (SPI) secara otomatis. Kemampuan ini memungkinkan peneliti untuk memetakan wilayah-wilayah di Indonesia yang rentan terhadap gagal panen akibat kekeringan meteorologis yang dipicu oleh fenomena El Niño yang semakin sering terjadi.

Pemetaan perkebunan kelapa sawit dan pengaruhnya pada iklim lokal

Perkembangan teknologi satelit telah memungkinkan identifikasi dan pemetaan perkebunan kelapa sawit secara lebih rinci. Data penginderaan jauh tidak hanya digunakan untuk memetakan keberadaan perkebunan, tetapi juga untuk mengidentifikasi umur tanaman atau *year of planting* (YoP) yang merupakan parameter penting dalam pengelolaan perkebunan sawit. Informasi umur tanaman berkaitan erat dengan produktivitas, kebutuhan pemupukan, estimasi produksi, serta penentuan waktu peremajaan (*replanting*). Melalui analisis deret waktu citra satelit, informasi umur tanam dapat diperoleh secara spasial pada wilayah yang luas dengan tingkat akurasi yang tinggi (Danylo et al., 2021). Bahkan, pemetaan umur tanam sawit skala global telah berhasil dilakukan menggunakan kombinasi data satelit multi-temporal yang mampu merekonstruksi perkembangan perkebunan sawit sejak tahun 1990 hingga 2021 (Descals et al., 2024).



Gambar 1. Peta lahan sawit di Propinsi Jambi diolah dari data *Global mapping of oil Palm planting year* 1990-2021 (Descals *et al*., 2024)

Perkembangan perkebunan kelapa sawit yang pesat di Provinsi Jambi telah menjadi salah satu faktor penting yang memengaruhi kondisi lingkungan dan iklim lokal. Perubahan penggunaan lahan dari hutan tropis menjadi perkebunan sawit menyebabkan perubahan karakteristik biofisik permukaan, seperti albedo, kekasaran permukaan (*surface roughness*), kapasitas penyimpanan air, dan laju evapotranspirasi. Perubahan tersebut berpengaruh terhadap keseimbangan energi permukaan yang pada akhirnya dapat mengubah suhu udara, kelembapan, dan sirkulasi atmosfer lokal (Sabariah et al.,

2020). Di Jambi, konversi lahan hutan menjadi perkebunan sawit telah berlangsung secara intensif selama beberapa dekade terakhir, sehingga berpotensi memberikan dampak yang signifikan terhadap kondisi mikroklimat maupun iklim regional.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa perkebunan kelapa sawit memiliki karakteristik energi permukaan yang berbeda dibandingkan hutan alami. Analisis menggunakan metode Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) di Provinsi Jambi menunjukkan bahwa suhu permukaan lahan pada perkebunan sawit cenderung lebih tinggi dibandingkan kawasan hutan, sementara distribusi fluks panas sensibel dan panas laten juga mengalami perubahan akibat perbedaan struktur vegetasi dan tutupan tajuk (Artikanur & June, 2019). Kondisi ini menunjukkan bahwa ekspansi perkebunan sawit dapat berkontribusi terhadap peningkatan suhu lokal, terutama pada wilayah yang mengalami konversi lahan dalam skala luas.

Selain memengaruhi suhu permukaan, keberadaan perkebunan sawit juga dapat mengubah kondisi mikroklimat melalui perubahan proses evapotranspirasi. Kanopi sawit memiliki struktur yang berbeda dengan hutan tropis, sehingga memengaruhi distribusi radiasi matahari, kelembapan udara, dan suhu di sekitar vegetasi. Penelitian pada perkebunan sawit di Sumatra menunjukkan bahwa perubahan struktur vegetasi akibat dominasi tanaman sawit dapat menyebabkan peningkatan suhu udara dan penurunan kelembapan relatif dibandingkan ekosistem hutan yang lebih kompleks (Donfack et al., 2021). Dampak ini dapat semakin nyata pada wilayah dengan dominasi perkebunan yang luas dan berkelanjutan.

Pengaruh perkebunan sawit terhadap iklim lokal juga berkaitan dengan umur tanaman. Perkebunan sawit muda memiliki tutupan tajuk yang relatif jarang sehingga lebih banyak menerima radiasi matahari langsung dan menghasilkan suhu permukaan yang lebih tinggi dibandingkan perkebunan sawit dewasa. Sebaliknya, tanaman yang lebih tua memiliki kanopi yang lebih rapat sehingga mampu meningkatkan evapotranspirasi dan mengurangi pemanasan permukaan. Oleh karena itu, informasi umur tanam (*year of planting*) menjadi parameter penting dalam analisis hubungan antara perkembangan perkebunan sawit dan perubahan iklim lokal (Danylo et al., 2021). Peta umur tanaman sawit dapat digunakan untuk mengidentifikasi variasi spasial karakteristik biofisik yang berpotensi memengaruhi kondisi iklim di suatu wilayah.

Di sisi lain, perubahan tutupan lahan akibat ekspansi perkebunan sawit dapat memengaruhi siklus hidrologi regional. Konversi hutan menjadi perkebunan monokultur berpotensi mengubah proses intersepsi hujan, infiltrasi tanah, limpasan permukaan, dan penguapan, yang selanjutnya dapat memengaruhi distribusi kelembapan atmosfer dan pola curah hujan lokal (Sabariah et al., 2020). Hubungan antara sawit dan iklim bersifat dua arah, karena selain memengaruhi kondisi iklim lokal, produktivitas sawit juga sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor iklim seperti curah hujan, suhu udara, radiasi matahari, dan defisit tekanan uap air (*vapour pressure deficit*) (Pradiko et al., 2023).

Berdasarkan kondisi tersebut, pemanfaatan data satelit umur tanam kelapa sawit di Kabupaten Muaro Jambi memberikan peluang untuk mengkaji hubungan antara perkembangan perkebunan sawit dan perubahan iklim lokal secara spasial dan temporal. Integrasi peta umur sawit dengan data iklim seperti curah hujan CHIRPS, suhu permukaan MODIS, maupun data reanalisis ERA5 dapat digunakan untuk mengevaluasi bagaimana perubahan tutupan dan umur tanaman sawit memengaruhi variabilitas suhu, kelembapan, dan curah hujan di wilayah Jambi. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah dalam mendukung pengelolaan perkebunan yang berkelanjutan sekaligus meningkatkan pemahaman mengenai interaksi antara perubahan penggunaan lahan dan sistem iklim regional.

Monitoring Gas Rumah Kaca dan Kualitas Udara

Salah satu terobosan besar dalam dokumentasi GEE adalah penyediaan data dari satelit Sentinel-5P (TROPOMI). Hasil analisis literatur menunjukkan bahwa GEE kini digunakan untuk memantau konsentrasi Nitrogen Dioksida, Metana, dan Karbon Monoksida secara hampir *real-time*.

Selama periode pandemi COVID-19, banyak peneliti menggunakan GEE untuk mendokumentasikan penurunan drastis emisi di kota-kota besar Indonesia akibat pembatasan aktivitas. Namun, data tahun 2023-2024 menunjukkan lonjakan kembali emisi karbon yang melampaui level pra-pandemi. Pembahasan ini menekankan bahwa perubahan iklim tidak hanya dipantau melalui efeknya (suhu), tetapi juga melalui penyebab utamanya (emisi gas rumah kaca) yang semuanya tersedia dalam ekosistem GEE.

Efektivitas Algoritma Machine Learning dalam GEE

Pembahasan mengenai metodologi dalam GEE tidak lepas dari pemanfaatan *Machine Learning* (ML) seperti *Random Forest* (RF) dan *Support Vector Machine* (SVM) untuk klasifikasi tutupan lahan. Perubahan tutupan lahan merupakan kontributor utama emisi karbon di Indonesia melalui deforestasi.

Studi menggunakan algoritma RF di GEE menunjukkan akurasi di atas 90% dalam memetakan perubahan hutan menjadi perkebunan kelapa sawit atau lahan tambang (Hansen et al., 2013; Tamiminia et al., 2020). Keunggulan GEE adalah pengguna tidak perlu memahami pemrograman ML yang rumit dari nol, karena fungsi-fungsi tersebut telah tersedia secara *built-in*. Hal ini memungkinkan studi pendahuluan dilakukan dengan cepat untuk memberikan rekomendasi awal bagi pembuat kebijakan dalam memitigasi dampak perubahan iklim di tingkat tapak.

Tantangan dan Limitasi Penggunaan GEE

Meskipun memiliki kapabilitas yang luar biasa, hasil studi literatur juga mengidentifikasi beberapa tantangan:

1. Kendala Tutupan Awan: Di wilayah tropis seperti Indonesia, citra optik (Landsat/Sentinel-2) sering terganggu awan. Meskipun GEE memiliki fungsi *cloud masking*, data yang hilang seringkali menciptakan celah dalam analisis deret waktu.
2. Kebutuhan Validasi Lapangan: Data satelit adalah estimasi. Pembahasan menekankan bahwa hasil dari GEE

tetap memerlukan validasi dengan data stasiun bumi (BMKG) untuk menjamin akurasi saintifik (Pramono et al., 2020).

3. Ketergantungan Internet: Sebagai platform berbasis awan, akses terhadap GEE sangat bergantung pada stabilitas koneksi internet, yang di beberapa wilayah terpencil Indonesia masih menjadi kendala teknis.

Peran GEE dalam Mitigasi Iklim di Masa Depan

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan bahwa GEE bukan sekadar alat pemetaan, melainkan sebuah platform kecerdasan geospasial yang esensial untuk menghadapi krisis iklim. Kemampuannya menggabungkan data suhu, hujan, vegetasi, dan emisi dalam satu alur kerja (*workflow*) memungkinkan terciptanya sistem peringatan dini (early warning system) yang lebih responsif. Tren penelitian saat ini menunjukkan pergeseran dari sekadar "memetakan apa yang terjadi" menjadi "memprediksi apa yang akan terjadi" melalui pemodelan prediktif berbasis data historis yang tersedia melimpah di GEE.

Pemanfaatan Google Earth Engine (GEE) dalam analisis perubahan iklim menjadi sangat relevan karena kemampuannya dalam mengolah data spasial-temporal skala besar secara efisien, termasuk data curah hujan, suhu, dan variabel iklim lainnya. Dengan integrasi berbagai sumber data seperti satelit dan reanalisis, GEE dapat mendukung evaluasi performa model iklim regional, seperti CORDEX-SEA, yang telah digunakan untuk menganalisis simulasi curah hujan dan tren iklim di Asia Tenggara. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa pendekatan ensemble berbobot mampu meningkatkan akurasi simulasi curah hujan (Aminoto et al., 2024a), serta pentingnya analisis aspek spasial-temporal dalam mengevaluasi performa model iklim. Selain itu, analisis tren curah hujan berbasis data CORDEX-SEA dan ERA5 mengindikasikan adanya perubahan signifikan dalam pola iklim regional (Aminoto & Faqih, 2024). Variabilitas iklim seperti ENSO dan IOD juga terbukti memengaruhi anomali curah hujan di kawasan ini, yang dapat dianalisis lebih lanjut menggunakan platform seperti GEE untuk pemantauan yang lebih komprehensif (Aminoto et al., 2024b). Dengan demikian, integrasi GEE dan model iklim regional memberikan peluang besar dalam meningkatkan pemahaman terhadap dinamika perubahan iklim secara lebih akurat dan berbasis data.

KESIMPULAN

Berdasarkan studi pendahuluan yang telah dilakukan melalui tinjauan literatur sistematis dan eksplorasi teknis terhadap platform Google Earth Engine (GEE), dapat ditarik beberapa kesimpulan utama:

1. Transformasi Metodologi Analisis: Google Earth Engine telah merevolusi analisis perubahan iklim dengan memindahkan proses komputasi berat ke awan (*cloud computing*). Platform ini berhasil mengatasi kendala klasik pengolahan data geospasial di Indonesia, seperti keterbatasan infrastruktur perangkat keras dan besarnya volume data citra satelit historis. Dengan arsitektur komputasi paralelnya, GEE memungkinkan analisis deret waktu (*time-series*) dilakukan secara

efisien dalam skala regional maupun lokal.

2. Efektivitas Deteksi Dinamika Iklim: GEE terbukti sangat efektif dalam memantau indikator kunci perubahan iklim, terutama Suhu Permukaan Daratan (LST), anomali curah hujan (via data CHIRPS), dan perubahan tutupan lahan. Hasil sintesis penelitian menunjukkan adanya tren kenaikan suhu yang signifikan di berbagai wilayah urban Indonesia (seperti Semarang, Lombok, dan Ternate) yang berkisar antara 2°C hingga 6°C selama satu dekade terakhir, yang berkorelasi kuat dengan fenomena *Urban Heat Island* (UHI) dan deforestasi.
3. Ketersediaan dan Integrasi Data: GEE menyediakan akses ke petabita data multispektral (Landsat, Sentinel, MODIS) dan data reanalisis iklim (ERA5) yang memungkinkan peneliti untuk tidak hanya memantau dampak perubahan iklim (seperti kenaikan suhu), tetapi juga penyebabnya (seperti emisi gas rumah kaca dari Sentinel-5P). Integrasi berbagai parameter ini dalam satu platform memberikan gambaran yang lebih holistik mengenai kerentanan suatu wilayah terhadap krisis iklim.
4. Implikasi dan Manfaat Praktis: Pemanfaatan GEE memberikan peluang besar bagi pemerintah daerah dan akademisi untuk mengembangkan sistem pemantauan lingkungan yang mandiri dan berkelanjutan. Meskipun terdapat tantangan berupa tutupan awan di wilayah tropis dan ketergantungan pada koneksi internet, platform ini tetap menjadi instrumen paling kuat saat ini untuk mendukung kebijakan mitigasi dan adaptasi perubahan iklim berbasis data (*evidence-based policy*).

SARAN

Validasi Multilateral: Untuk penelitian selanjutnya, sangat disarankan untuk mengintegrasikan hasil olahan GEE dengan data observasi stasiun bumi (BMKG) secara lebih ekstensif guna memvalidasi akurasi data satelit terhadap kondisi mikroklimat di lapangan.

Pemanfaatan Algoritma Lanjutan: Disarankan bagi peneliti berikutnya untuk mulai memanfaatkan algoritma Machine Learning yang lebih kompleks di dalam GEE (seperti Random Forest atau Deep Learning) untuk memprediksi tren perubahan iklim di masa depan berdasarkan data historis yang tersedia.

Pengembangan Literasi Geospasial: Diperlukan pelatihan teknis yang lebih luas bagi praktisi lingkungan di tingkat daerah agar pemanfaatan teknologi cloud-geospatial ini dapat dioptimalkan dalam penyusunan Rencana Aksi Daerah Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAD-GRK).

DAFTAR PUSTAKA

Aminoto, T., & Faqih, A. (2024). Tren curah hujan di asia tenggara berdasarkan model CORDEX-SEA dan data ERA5. Journal online of Physics, 10(1), 7-13.

Aminoto, T., Faqih, A., Koesmaryono, Y., & Dasanto, B. D. (2024a). A Comparison of the Performance of the Weighted Ensembles Means in CORDEX-SEA Precipitation Simulations. Agromet, 38(1), 19-35.

Aminoto, T., Faqih, A., Koesmaryono, Y., & Dasanto, B. D. (2024b). Rainfall anomaly response to ENSO and IOD teleconnections in the CORDEX-SEA simulations. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1359, No. 1, p. 012008). IOP Publishing.

Artikanur, S. D., & June, T. (2019). Surface temperature and heat fluxes: Comparison between natural forest and oil palm plantation in Jambi Province using Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL). *Agromet, 33*(2), 62–70. https://doi.org/10.29244/j.agromet.33.2.62-70

Danylo, O., Pirker, J., Lemoine, G., Ceccherini, G., See, L., McCallum, I., Hadi, Kraxner, F., Achard, F., & Fritz, S. (2021). A map of the extent and year of detection of oil palm plantations in Indonesia, Malaysia and Thailand. *Scientific Data, 8*, 96. https://doi.org/10.1038/s41597-021-00867-1

Descals, A., Gaveau, D. L. A., Wich, S., Szantoi, Z., & Meijaard, E. (2024). Global mapping of oil palm planting year from 1990 to 2021. *Earth System Science Data, 16*, 5111–5129. https://doi.org/10.5194/essd-16-5111-2024

Donfack, L. S., Röll, A., Ellsäßer, F., Ehbrecht, M., Irawan, B., Hölscher, D., Knohl, A., Kreft, H., Siahaan, E. J., Sundawati, L., Stiegler, C., & Zemp, C. D. (2021). Microclimate and land surface temperature in a biodiversity enriched oil palm plantation. *Forest Ecology and Management, 497*, 119480. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119480

Ermida, S. L., Soares, P., Mantas, V., Göttsche, F. M., & Trigo, I. F. (2020). Google Earth Engine open-source code for Land Surface Temperature estimation from the Landsat series. *Remote Sensing*, 12(9), 1471. doi.org

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27. doi.org

Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., ... & Townshend, J. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 342(6160), 850-853.

Hasmaulia, Q., Ash-Shidqi, M. R., Az Zahra, M. M. A., & Mataburu, I. B.

(2024). Analisis fenomena urban heat island (UHI) multitemporal tahun 2019–2024 dengan Google Earth Engine (GEE) di Kota Semarang. *Jurnal Sains Geografi*, 3(2).

IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

Kurniyaningrum, E. (2025). *Analisis Perubahan Curah Hujan di Stasiun Halim DKI Jakarta Menggunakan Data Satelit CHIRPS dan CanESM5*. Jakarta: Universitas Trisakti.

Pradiko, I., Hariyadi, H., & June, T. (2023). Quantification of climate factors contributing to variation of oil palm yield. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit, 31*(2), 108–123. https://doi.org/10.22302/iopri.jur.jpks.v31i2.222

Pramono, G. H., Giyarsih, S. R., & Kurniawan, A. (2020). *Penginderaan Jauh untuk Analisis Lingkungan dan Perubahan Iklim*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.

Pratama, F. A. (2024). *Perubahan Temporal Suhu Permukaan Tanah dari Tahun 2014-2024 di Pulau Lombok*. Mataram: Universitas Mataram.

Rakuasa, H., & Pertuack, S. (2023). Pola Perubahan Suhu Permukaan Daratan di Kecamatan Ternate Tengah, Kota Ternate Tahun 2013 dan 2023 Menggunakan Google Earth Engine. *Sudo Jurnal Teknik Informatika*, 2(2), 78-85.

Sabariah, N., Hossain, M. F., & Rahman, M. M. (2020). A review of Southeast Asian oil palm and its CO_2 fluxes. *Sustainability, 12*(12), 5077. https://doi.org/10.3390/su12125077

Tamiminia, H., Salehi, B., Mahdianpari, M., Behzadivirayehi, S., Dash, J., & Brisco, B. (2020). Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 164, 152-170. doi.org