

Pemanfaatan *Google Earth Engine* dalam Mengidentifikasi Nilai Indeks Kerapatan Vegetasi (NDVI) Kabupaten Jember Menggunakan Citra Sentinel-2

Utilization of Google Earth Engine in Identifying Vegetation Density Index (NDVI) Values for Jember Regency Using Sentinel-2

Degita Fahmi Brillyansyah^{1*}, Fawait Afrani¹, Angga Prasetyo²

¹Program Studi Keteknikan Pertanian, Jurusan Teknologi Pertanian, Politeknik Negeri Jember

²Program Studi Teknologi Rekayasa Pangan, Jurusan Teknologi Pertanian, Politeknik Negeri Jember

*Email Koresponden: degita_fahmi@polije.ac.id

Received : 26 Oktober 2024 | Accepted : 8 November 2024 | Published : 28 November 2024

Kata Kunci	ABSTRAK
<i>Vegetasi, Google Earth Engine, NDVI, Sentinel-2</i>	Analisis kondisi vegetasi dengan mengukur Nilai Indeks Kerapatan Vegetasi (NDVI) dapat dilakukan secara efisien dengan memanfaatkan <i>Google Earth Engine</i> sebagai pengolah data dari citra satelit Sentinel-2. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis nilai indeks kerapatan vegetasi (NDVI) di Kabupaten Jember melalui citra Sentinel-2 dengan berbasis mesin GEE. Penelitian ini dilakukan dengan 3 tahapan yaitu penentuan batas penelitian dengan mengunggah batas Kabupaten Jember ke GEE, pengolahan data citra dengan algoritma GEE sehingga diperoleh nilai NDVI setiap bulan, dan pengolahan hasil NDVI menggunakan Microsoft excel. Hasil penelitian menunjukkan antara tahun 2022 dan 2023, terjadi penurunan nilai NDVI dari 0,4 menjadi 0,34 dengan perubahan terbesar terjadi pada kelas vegetasi tidak rapat. Kelas non vegetasi dan kelas vegetasi tidak rapat mengalami perluasan wilayah, sedangkan kelas vegetasi cukup rapat dan vegetasi rapat mengalami penurunan wilayah. Penggunaan citra Sentinel-2 dengan berbasis GEE memungkinkan pemantauan vegetasi secara efisien. Namun, beberapa bulan mungkin memiliki data yang kurang lengkap sehingga perlu diperhatikan dalam analisis.
Keywords	ABSTRACT
<i>Vegetation, Google Earth Engine, NDVI, Sentinel-2</i>	<i>Analysis of vegetation conditions by measuring Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) can be carried out efficiently by utilizing Google Earth Engine as a data processor from Sentinel-2 satellite imagery. The aim of this research was to analyze the vegetation density index (NDVI) values in Jember Regency using Sentinel-2 imagery based on the GEE machine. This research was carried out in 3 stages, namely determining research boundaries by uploading Jember Regency boundaries</i>

to GEE, processing image data using the GEE algorithm to obtain NDVI values every month, and processing NDVI results using Microsoft Excel. The results showed that between 2022 and 2023, there would be a decrease in the NDVI value from 0.4 to 0.34 with the largest change occurring in the non-dense vegetation class. The non-vegetation class and the sparse vegetation class have expanded, while the moderately dense and the dense vegetation have decreased in area. The use of GEE-based Sentinel-2 imagery allows efficient vegetation monitoring. However, some months may have incomplete data that needs to be taken into account in the analysis.

1. PENDAHULUAN

Perubahan iklim merupakan isu global yang disebabkan meningkatnya kandungan emisi gas rumah hijau (GHG), terutama karbon dioksida (CO₂), Dinitrogen Oksida (N₂O), dan ozon (O₃). Indonesia telah meratifikasi bersama Persetujuan Paris (*Paris Agreement*) melalui Hukum No. 16 pada tahun 2016 yang berfokus pada penanggulangan permasalahan iklim global dan berkomitmen untuk mengurangi emisi GHG sekitar 29-41% tahun 2030 ([MoEF] Indonesia Ministry of Environment and Forestry, 2022). Perhatian utama jangka panjang dalam perkembangan rendah karbon dan ketahanan iklim adalah hutan dan pemakaian lahan lain (FOLU) yang berkontribusi sekitar 60% dari target penurunan emisi GHG. Oleh karena itu, dibutuhkan informasi spasial menggunakan peta indeks biogeofisika, terutama untuk mengidentifikasi kondisi area yang berisiko mengalami deforestasi dan potensi penyerapan karbon di lokasi prioritas (Ilyas et al., 2014).

Indeks vegetasi menyediakan informasi terkait pertumbuhan jumlah dan kualitas vegetasi dalam suatu area, produktivitas tumbuhan, kesehatan ekosistem, dan potensi bencana alam (Huang et al., 2021). Informasi ini dapat digunakan untuk memantau pertumbuhan tanaman dan produktivitas lahan serta mengevaluasi dampaknya terhadap aktivitas makhluk hidup. Dalam hal ini, penggunaan indeks vegetasi membantu identifikasi perubahan kerapatan pemakaian lahan, perkembangan taman kota dan menentukan area yang memerlukan upaya rehabilitasi lingkungan (Zhuang et al., 2022). Khususnya, indeks vegetasi ini menyediakan informasi untuk memantau daerah Kabupaten Jember melalui tingkat kehijauan vegetasinya dan menjadi indikasi keberadaan polusi udara (Diener & Mudu, 2021).

Pertumbuhan dan penurunan indeks vegetasi di Kabupaten Jember memiliki hubungan yang signifikan. Peningkatan urbanisasi dan aktivitas manusia dapat mempengaruhi nilai indeks vegetasi di Kabupaten Jember (Haeruddin et al., 2023). Beberapa faktor yang mempengaruhi penurunan nilai indeks kehijauan di Kabupaten Jember adalah perubahan alih fungsi lahan, pertumbuhan urbanisasi dan peningkatan aktivitas manusia sehingga lahan hijau atau pertanian berkurang (Aulia et al., 2023; Falahnsia, 2015). Pada sisi lain, perubahan iklim mendukung adanya perubahan suhu bumi ekstrim di saat musim kemarau.

Penggunaan metode Nilai Indeks Kerapatan Vegetasi menggunakan Data Citra Satelit Sentinel-2 sangat efektif dan berguna untuk analisis kondisi vegetasi, yaitu mengukur perbedaan reflektansi antara cahaya merah dan *infrared* di area yang dipantau. Tanaman hijau akan menyerap lebih banyak cahaya merah dan memantulkan lebih banyak cahaya inframerah, sedangkan lahan tanpa vegetasi akan menyerap dan memantulkan lebih sedikit (Evangelides & Nobajas, 2020). Data citra satelit Sentinel-2 menawarkan resolusi spasial 10 m dengan memungkinkan pemetaan vegetasi dengan akurasi tinggi dan memberikan informasi tentang keadaan lingkungan seperti suhu permukaan lahan, kelembaban udara, dan kualitas air (Aryal

et al., 2022; Evangelides & Nobajas, 2020). Selain itu, analisis indeks vegetasi dapat memitigasi masalah kebencanaan.

Penggunaan *Google Earth Engine* (GEE) digunakan sebagai pengolahan dan analisis citra satelit serta data geospasial dalam skala besar (Wang et al., 2023). Akses diberikan dalam berbagai sumber data citra satelit dengan mudah dan efisien. Akses dilengkapi berbagai fitur algoritma pengolahan citra, pemetaan interaktif, dan visualisasi data. GEE diaplikasikan dalam analisis indeks vegetasi, pemantauan perubahan iklim, pemetaan keanekaragaman hayati, dan pemetaan resiko bencana (Amiri & Pourghasemi, 2022). Haeruddin et al., (2023) telah melakukan analisis NDVI dalam kaitannya pada mineral alterasi menggunakan Citra Sintenel-2A Multi Temporal dan diperoleh data bahwa persentase tutupan lahan masih didominasi oleh kerapatan tinggi dan sangat tinggi dengan nilai $>70\%$. Sedangkan (Falahnisa, 2015), telah melakukan analisis bencana longsor melalui nilai indeks vegetasi menggunakan citra aster dan langsung 8 dan menyatakan bahwa adanya peningkatan bencana longsor dari tahun 2008 ke 2013 dan tentunya sumber data diperoleh dari citra satelit aster dan landsat 8, yang tentunya resolusinya lebih rendah dari yang digunakan dalam penelitian ini. Pada penelitian Haeruddin et al.(2023), penggunaan Sentinel-2A memberikan nilai indeks vegetasi di kabupaten Jember pada April 2021 antara -0,65 sampai 0,9217 dengan rata-rata 0,5749. Pada Juni 2022, indeks vegetasi antara -0,4244 sampai 0,9463 dengan rata-rata 0,6722. Sedangkan pada Juli 2022 berkisar antara -0,6526 sampai 1 dengan rata-rata 0,6316. Rata-rata indeks vegetasi berada di atas 0,42 yang artinya sebagian besar lokasi penelitian berada di kawasan dengan kerapatan NDVI yang tinggi.

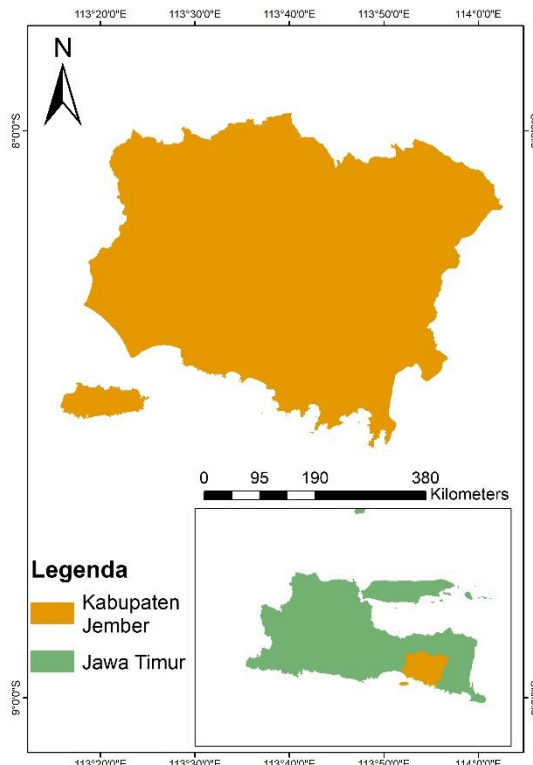
Penelitian ini akan menggunakan *Google Earth Engine* untuk analisis NDVI yang berbeda dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan perangkat lunak SIG seperti ArcGIS dan ENVI. Dengan kelebihanannya adalah data satelit berskala besar langsung dari penyimpanan *cloud*, banyak data satelit yang tersedia dengan berbagai resolusi dan jangka waktu, kemampuan analisis yang lebih canggih dan cepat, NDVI dapat dianalisis bersama dengan data lain, penggunaan algoritma pemrosesan gambar yang efisien dan akurat, dan gratis. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis indeks vegetasi melalui data citra satelit Sentinel-2 dengan metode *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) berbasis mesin *Google Earth Engine* di Kabupaten Jember tahun 2024.

2. METODE

Penelitian ini memanfaatkan *Google Earth Engine* (GEE) sebagai *tools* untuk pengolahan data. Penelitian ini dibagi menjadi 3 tahapan: (1) menentukan batas penelitian dengan cara mengunggah batas kabupaten Jember ke GEE; (2) Pengolahan data citra dilakukan dengan algoritma GEE dimulai dengan menentukan database citra, memfilter tanggal dan tutupan awan citra, dan menghitung nilai NDVI setiap bulan; (3) Hasil NDVI diolah menggunakan microsoft excel.

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Kabupaten Jember. Lokasi terletak di sebelah timur Provinsi Jawa Timur, Kabupaten Jember berbatasan langsung dengan Kabupaten Lumajang di sebelah barat, Kabupaten Bondowoso di utara dan Kabupaten Banyuwangi di sebelah timur. Kabupaten Jember terletak pada koordinat geografis $7^{\circ} 58' 06''$ - $8^{\circ} 33' 44''$ Lintang Selatan dan $113^{\circ} 15' 47''$ - $114^{\circ} 02' 35''$ Bujur Timur (BPS Kabupaten Jember, 2024).



Gambar 1. Lokasi penelitian

2.2 Data

Penelitian ini memanfaatkan citra Sentinel-2. Instrumen Multispektral Sentinel-2 (MSI) memiliki 13 sampel pita spektral. Dari jumlah tersebut, empat pita (pita 2, 3, 4, dan 8) memiliki resolusi 10 meter, enam pita (pita 5, 6, 7, 8a, 11, dan 12) memiliki resolusi 20 meter, dan tiga pita (pita 1, 9, dan 10) memiliki resolusi 60 meter (Nadzirah et al., 2022).

2.3 Google Earth Engine

Pengolahan data citra dilakukan menggunakan *Google Earth Engine*, sebuah platform analisis geospasial berbasis *Cloud*. Melalui platform ini, pengguna dapat memvisualisasikan dan menganalisis citra satelit dengan mudah melalui laman <https://www.google.com/earth/education/tools/google-earth-engine/>. Platform ini juga memberikan akses penuh kepada pengguna untuk menjalankan perintah algoritma dan komputasi secara cepat menggunakan antarmuka *Application Programming Interface* (API). Selain itu algoritma yang tersedia juga lengkap dan terus dikembangkan untuk meningkatkan hasil analisis yang sistematis, sehingga pengguna dapat melakukan analisis spasial yang lebih kompleks (Rizaldi et al., 2022).

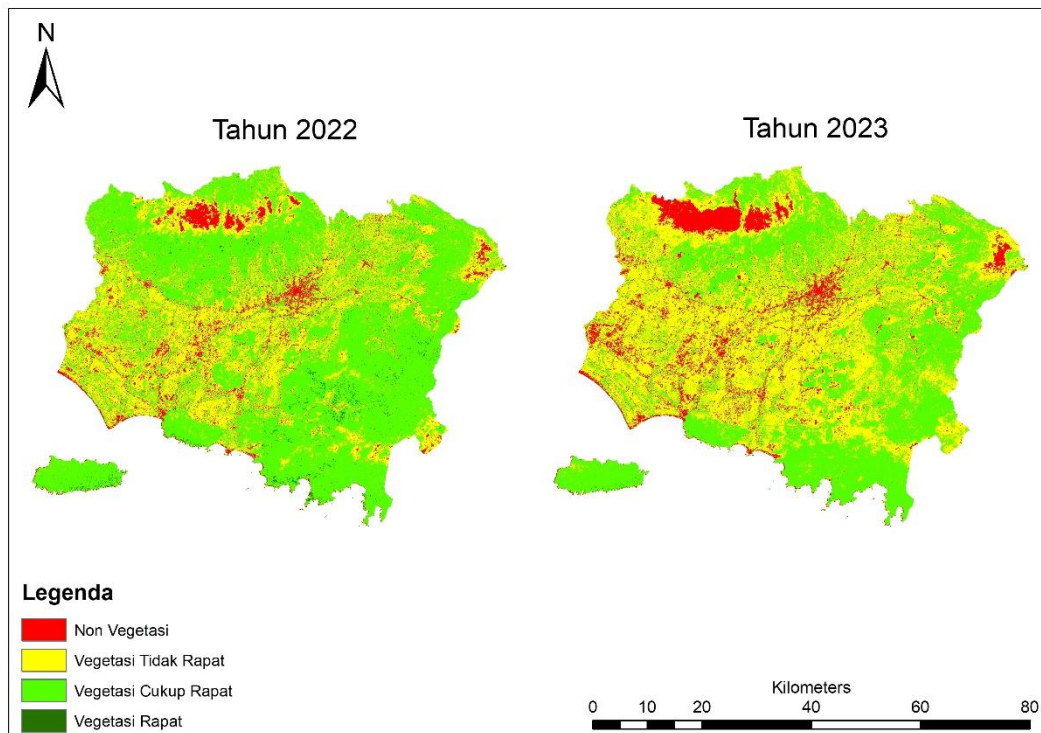
2.4 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

NDVI merupakan suatu indeks vegetasi yang digunakan untuk mengetahui tingkat kehijauan vegetasi. Nilai NDVI berkisar antara -1 – 0 untuk non vegetasi dan 0 -1 untuk vegetasi. Fenomena penyerapan dan pemantulan cahaya merah oleh tumbuhan akan membuat nilai kecerahan yang diterima oleh sensor satelit pada setiap band akan berbeda, semakin rapat vegetasi maka akan berpengaruh terhadap nilai pantulannya (Khan et al., 2024). Menurut Huang et al. (2021), nilai NDVI dapat dihitung menggunakan persamaan 1 sebagai berikut:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (1)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan analisis pengolahan data yang telah dilakukan didapatkan hasil nilai NDVI Kabupaten Jember tahun 2022 dan 2023. Nilai yang didapat dibagi menjadi 4 kelas yaitu; (1) Non-vegetasi (2) Vegetasi Tidak Rapat, (3) Vegetasi Cukup Rapat, dan (4) Vegetasi Rapat. Sebaran Nilai NDVI Kabupaten Jember Berkisar antara -0,2 – 0,8.



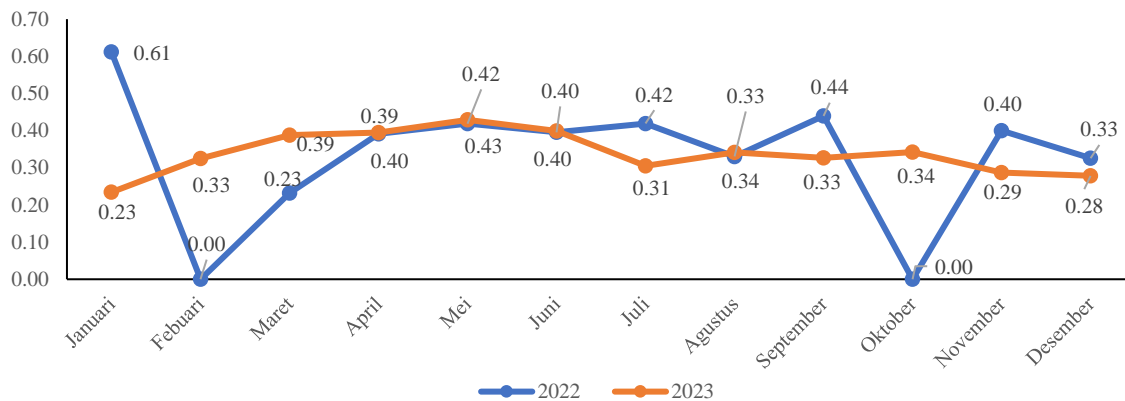
Gambar 2. Hasil analisis NDVI

Dari hasil klasifikasi tersebut dapat diketahui bahwa di Kabupaten Jember mayoritas kelas kerapatan vegetasinya berada pada kelas vegetasi tidak rapat dan vegetasi cukup rapat. Dapat dilihat pada Gambar 2, daerah di sekitar kelas non vegetasi pada tahun 2022 merupakan kelas vegetasi cukup rapat, pada tahun 2023 menjadi kelas vegetasi tidak rapat, hal tersebut menandakan bahwa terjadi alih fungsi lahan yang menyebabkan penurunan nilai NDVI. Secara keseluruhan dari tahun 2022 terjadi perubahan kelas dari vegetasi cukup rapat menjadi tidak rapat. Secara detail dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi NDVI dan luas

Kelas	Luas (km ²)	
	2022	2023
Non Vegetasi	225.01	345.70
Vegetasi Tidak Rapat	1072.39	1572.49
Vegetasi Cukup Rapat	1989.44	1393.82
Vegetasi Rapat	26.62	1.46
Jumlah	3313.46	3313.46

Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa terjadi kenaikan luas pada kelas non vegetasi sebesar 120 km², sedangkan pada kelas vegetasi tidak rapat mengalami perluasan wilayah sebesar 500 km², diikuti penurunan kelas vegetasi cukup rapat dan vegetasi rapat sebesar 595 km² dan 25 km². Menurut penelitian Julianto et al. (2020), penurunan nilai NDVI dapat disebabkan oleh perubahan tutupan lahan. Selain itu tutupan awan juga berpengaruh terhadap perubahan luas karena awan termasuk dalam kelas non vegetasi. Menurut Putri et al. (2020), bayangan dari tutupan awan memiliki efek hamburan yang sama pada semua panjang gelombang. Bayangan awan akan ditangkap oleh satelit dan mempengaruhi NDVI akibat nilai radiasi yang terpancar oleh objek. Selain itu, faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi nilai NDVI secara umum antara lain adalah suhu udara, curah hujan, dan intensitas cahaya. Faktor-faktor ini mempengaruhi kondisi vegetasi, yang dapat mempengaruhi pantulan cahaya dari tanaman, sehingga berdampak pada nilai NDVI yang terukur (Yang et al., 2019). Hasil rata-rata NDVI pada tahun 2022 dan 2023 dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Rata-rata nilai NDVI

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa nilai rata-rata NDVI pada setiap bulannya tidak berbeda jauh. Perbedaan signifikan berada pada bulan Februari dan bulan Oktober, hal itu disebabkan karena tidak ditemukan data rata-rata NDVI pada kedua bulan tersebut. Ketiadaan data dapat disebabkan karena tidak tersedianya citra yang sesuai dengan karakteristik yang diinginkan pada pangkalan data *Google Earth Engine* yang menyebabkan pada kedua bulan tersebut memiliki nilai rata-rata 0.

Rata-Nilai NDVI pada tahun 2022 sebesar 0,4 dan pada tahun 2023 sebesar 0,34. Hal tersebut menandakan menurunnya kerapatan vegetasi dari tahun 2022 ke tahun 2023. Secara jelas dapat dilihat pada grafik di tahun 2022 hanya memiliki 1 bulan yang nilai rata-rata NDVI di bawah tahun 2023 yaitu pada bulan Maret. Selebihnya nilai NDVI pada tahun 2022 di bulan

Juli, September, November, dan Desember memiliki nilai rata-rata yang lebih tinggi dibanding tahun 2023.

Adanya data mengenai perubahan NDVI di suatu wilayah dapat membantu untuk mengetahui perubahan vegetasi di wilayah tersebut dari waktu ke waktu. Perubahan vegetasi ini juga dapat menjadi dampak dari aktivitas manusia, salah satunya alih fungsi lahan. Analisis perubahan vegetasi ini dapat menjadi pedoman dalam perencanaan lingkungan yang lebih baik kedepannya. Jika NDVI mengalami peningkatan, maka menjadi pertanda dari pemulihan hutan dan upaya konservasi, namun jika NDVI mengalami penurunan maka akan menjadi tanda adanya deforestasi atau penurunan kualitas lingkungan (Izah et al., 2023). Di bidang pertanian, analisis NDVI juga dapat digunakan untuk menunjukkan kuantitas dari produksi produk pertanian, karena semakin tinggi nilai NDVI maka semakin tinggi juga tingkat produktivitas lahan (Aulia et al., 2023).

4. KESIMPULAN

Perubahan vegetasi terjadi dari tahun 2022 ke 2023 yang ditandai dengan menurunnya nilai NDVI. Dari pengolahan citra Sentinel-2 pada GEE dapat diketahui perubahan terbesar terjadi pada kelas klasifikasi Vegetasi Tidak Rapat. Pemantauan vegetasi menggunakan algoritma NDVI dapat dilakukan dengan efisien melalui *Google Earth Engine*, yang memungkinkan komputasi *big data* secara cepat dan efektif. Namun, terdapat beberapa bulan di mana data yang tersedia mungkin kurang lengkap.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada seluruh pihak yang terlibat dalam penelitian dan pembuatan artikel Pemanfaatan Google Earth Engine dalam mengidentifikasi Nilai Indeks Kerapatan Vegetasi (NDVI) Kabupaten Jember Menggunakan Citra Sentinel-2. Terima kasih kepada pihak *Google Earth Engine*, ESA, Pemerintah Kabupaten Jember dan Indonesia Geospasial yang telah menyediakan data, dan kepada semua pihak yang telah mendukung penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [MoEF] Indonesia Ministry of Environment and Forestry. (2022). *Rencana Operasional Indonesia's FOLU Net Sink 203*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Amiri, M., & Pourghasemi, H. R. (2022). Chapter 8 - Mapping the NDVI and monitoring of its changes using Google Earth Engine and Sentinel-2 images. In H. R. B. T.-C. in E. and E. S. Pourghasemi (Ed.), *In H. R. Pourghasemi (Ed.), Computers in Earth and Environmental Sciences (pp. 127–136)* (pp. 127–136). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89861-4.00044-0>
- Aryal, J., Sitaula, C., & Aryal, S. (2022). NDVI Threshold-Based Urban Green Space Mapping from Sentinel-2A at the Local Governmental Area (LGA) Level of Victoria, Australia. In *Land* (Vol. 11, Issue 3). <https://doi.org/10.3390/land11030351>
- Aulia, S. N., Haesya Hakim, M., Iqbal Mukhlis, M., Dwi Cahyo Puspito, P., & Magdalena Sitorus, A. (2023). Klasifikasi produktivitas padi di Kabupaten Jember menggunakan indeks vegetasi NDVI Tahun 2023. *JEI*, 1(3), 136–141. <https://doi.org/10.19184/jei.v1i3.1047>
- BPS Kabupaten Jember. (2024). *Kabupaten Jember dalam Angka 2024*. BPS Kabupaten Jember.
- Diener, A., & Mudu, P. (2021). How can vegetation protect us from air pollution? A critical review on green spaces' mitigation abilities for air-borne particles from a public health perspective - with implications for urban planning. *Science of The Total Environment*, 796, 148605. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148605>
- Evangelides, C., & Nobajas, A. (2020). Red-Edge Normalised Difference Vegetation Index (NDVI705)

- from Sentinel-2 imagery to assess post-fire regeneration. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 17, 100283. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.100283>
- Falahnsia, A. R. (2015). *Analisa Bencana Longsor Berdasarkan Nilai Kerapatan Vegetasi Menggunakan Citra Aster dan Landsat 8 (Studi Kasus : Sekitar Sungai Bedadung, Kabupaten Jember)*. Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Haeruddin, Aminah, S., Suparno, F. A. D., & Irawan, J. F. (2023). Identifikasi perubahan indeks vegetasi dan kaitannya dengan mineral alterasi menggunakan citra sentinel-2A multi temporal. *Jurnal Geosains Dan Remote Sensing*, 4(2), 103–110. <https://doi.org/10.23960/jgrs.ft.unila.133>
- Huang, S., Tang, L., Hupy, J. P., Wang, Y., & Shao, G. (2021). A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*, 32(1), 1–6. <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01155-1>
- Ilyas, M., Munibah, K., & Rusdiana, O. (2014). Analisis Spasial Perubahan Penggunaan Lahan dalam Kaitannya dengan Penataan Zonasi Kawasan Taman Nasional Gunung Halimun-Salak. *Majalah Ilmiah Globe*, 16(1). <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:155507012>
- Izah, A., Shafarani, F. K., Afrianto, F., & Permana, M. (2023). Hubungan antara kepadatan vegetasi dan Land Surface Temperature di Kabupaten Pasuruan. *Jurnal Plano Buana*, 4(1), 12–21. <https://doi.org/10.36456/jpb.v4i1.7533>
- Julianto, F. D., Putri, D. P. D., & Safi'i, H. H. (2020). Analisis perubahan vegetasi dengan data Sentinel-2 menggunakan Google Earth Engine. *Jurnal Penginderaan Jauh Indonesia*, 02(02), 13–18. <http://jurnal.mapin.or.id/index.php/jpji/article/view/29>
- Khan, A., Alamgir, A., & Fatima, N. (2024). Spatio-temporal analysis of land use and land cover change, LST and NDVI in Thatta district, Sindh, Pakistan. *Kuwait Journal of Science*, 52(January), 0–8. <https://doi.org/10.1016/j.kjs.2024.100326>
- Nadzirah, R., Indarto, I., & Brillyansyah, D. F. (2022). Studi pendahuluan aplikasi citra Sentinel untuk deteksi luas sawah irigasi di Kabupaten Jember. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian Dan Biosistem*, 10(1), 24–38. <https://doi.org/10.29303/jrpb.v10i1.319>
- Putri, A. N., Setiawan, A., Siliwangi, D., & Arifin, M. (2020). Karakteristik indeks vegetasi pada berbagai penggunaan lahan di hulu Sub Das Cikapundung melalui interpretasi citra satelit Landsat 8 Characteristics of vegetation index on various land uses in the upstream of cikapundung watershed by landsat 8 satellite. *Jurnal Kultivasi*, 19(April), 1202–1209. <https://doi.org/10.24198/kultivasi.v19i3.28625>
- Rizaldi, A., Darmawan, A., Kaskoyo, H., & Setiawan, A. (2022). Pemanfaatan google earth engine untuk pemantauan lahan agroforestri dalam skema perhutanan sosial. *Majalah Geografi Indonesia*, 37(1), 12. <https://doi.org/10.22146/mgi.73923>
- Wang, Q., Moreno-Martínez, Á., Muñoz-Marí, J., Campos-Taberner, M., & Camps-Valls, G. (2023). Estimation of vegetation traits with kernel NDVI. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 195, 408–417. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2022.12.019>
- Yang, Y., Wang, S., Bai, X., Tan, Q., Li, Q., Wu, L., Tian, S., Hu, Z., Li, C., & Deng, Y. (2019). Factors affecting long-term trends in global NDVI. *Forests*, 10(5), 1–17. <https://doi.org/10.3390/f10050372>
- Zhuang, Q., Shao, Z., Gong, J., Li, D., Huang, X., Zhang, Y., Xu, X., Dang, C., Chen, J., Altan, O., & Wu, S. (2022). Modeling carbon storage in urban vegetation: Progress, challenges, and opportunities. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 114, 103058. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.103058>