

Pengolahan Citra

# Analisis Kerapatan Vegetasi Kota Ambon Menggunakan Data Citra Satelit Sentinel-2 dengan Metode MSARVI Berbasis Machine Learning pada Google Earth Engine

*Philia Christi Latue*<sup>1</sup>, *Heinrich Rakuasa*<sup>2</sup>, *Daniel Anthoni Sihasale*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Program Studi Pendidikan Biologi, Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia*

<sup>2</sup> *Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Program Studi Pendidikan Geografi, Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia*

## INFORMASI ARTIKEL

Diterima Redaksi: 24 Mei 2023  
Revisi Akhir: 08 Juni 2023  
Diterbitkan *Online*: 15 Juni 2023

## KATA KUNCI

Ambon; Kerapatan Vegetasi; Google Earth Engine; MSARVI; Machine Learning

## KORESPONDENSI

Phone: +62 81342847435  
E-mail: [philia1atue04@gmail.com](mailto:philia1atue04@gmail.com)

## A B S T R A K



Pertumbuhan kota Ambon yang pesat serta dapat mempengaruhi penurunan Indeks kerapatan vegetasi di Kota Ambon. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kerapatan vegetasi Kota Ambon menggunakan data citra satelit sentinel-2 dengan metode MSARVI berbasis machine learning pada google earth engine. Penelitian ini menggunakan data Citra Satelit Sentinel-2 yang dianalisis menggunakan Google Earth Engine dengan metode Modified Soil-Adjusted Vegetation Index. Hasil analisis kerapatan vegetasi menggunakan metode Metode MSARVI (Modified Soil-Adjusted Vegetation Index) menunjukkan bahwa daerah yang memiliki kerapatan vegetasi tinggi memiliki luas sebesar 32.856,03 ha atau 85%, daerah yang memiliki kerapatan vegetasi sedang memiliki luas sebesar 3.508,67 ha atau 9,11 % dan daerah yang memiliki kerapatan vegetasi rendah memiliki luas sebesar 2.169,64 ha atau 5,63 %. Nilai kerapatan vegetasi di Kota Ambon pada tahun 2023 yaitu nilai terendah - 0,481341 dan nilai tertinggi 0,978457. Hasil penelitian ini dapat digunakan untuk monitoring perubahan lingkungan, mengidentifikasi area dengan kualitas lingkungan yang buruk, mengukur dampak perubahan iklim dan menyediakan informasi bagi pengambil keputusan.

## PENDAHULUAN

Perkembangan Kota Ambon yang semakin meningkat dapat berdampak pada kerapatan vegetasi di kota tersebut [1], [2]. Peningkatan jumlah penduduk dan pertumbuhan ekonomi dapat mendorong pengembangan infrastruktur dan pembangunan hunian yang membutuhkan lahan, sehingga dapat mengurangi luas area hijau dan mengurangi keberadaan vegetasi di kota (Latue et al., 2023). Penurunan kerapatan vegetasi di Kota Ambon dapat memengaruhi kualitas udara, kesehatan lingkungan, dan kenyamanan warga kota [4]. Vegetasi berperan penting dalam menjaga kualitas udara dengan menyerap karbon dioksida dan memproduksi oksigen [5]. Tanaman juga dapat menyerap partikel polutan udara dan mengurangi efek panas kota dengan menyerap sinar matahari dan mengurangi suhu udara [6]. Selain itu, vegetasi juga memberikan keindahan dan kenyamanan visual bagi warga kota [7].

Untuk menjaga kerapatan vegetasi di Kota Ambon, diperlukan kebijakan dan program yang mendorong pelestarian vegetasi dan penanaman kembali tanaman di kota. Contohnya, pemerintah dapat membangun taman kota, ruang terbuka hijau, dan area hijau lainnya di antara bangunan dan jalan raya. Pemerintah juga dapat menggalakkan program penanaman pohon dan perbaikan lahan kosong untuk menumbuhkan vegetasi di sekitar wilayah kota. Selain itu, masyarakat juga dapat berkontribusi dalam menjaga kerapatan vegetasi di Kota Ambon. Contohnya dengan menanam pohon di depan rumah dan menanam tanaman dalam pot di halaman rumah. Masyarakat juga dapat mendukung program pemerintah dalam melestarikan area hijau dan memelihara taman kota agar tetap hijau dan indah.

MSARVI (*Modified Soil-Adjusted Vegetation Index*) adalah salah satu metode penginderaan jauh yang digunakan untuk mengukur kerapatan vegetasi dengan menggunakan data citra satelit [8]. Metode ini didasarkan pada rasio antara inframerah dekat (NIR) dan cahaya merah (RED) pada citra satelit, yang mencerminkan keberadaan klorofil dalam tumbuhan dan digunakan sebagai indikator kerapatan vegetasi [9]. Dengan menggunakan metode MSARVI pada data citra satelit Sentinel-2, dapat dilakukan analisis kerapatan vegetasi yang akurat dan efektif. Metode ini juga dapat digunakan untuk memantau perubahan kerapatan vegetasi dari waktu ke waktu dan membantu dalam pengambilan keputusan dalam manajemen lingkungan dan pengelolaan sumber daya alam [8].

Analisis Kerapatan Vegetasi Menggunakan Data Citra Satelit Sentinel-2 dengan metode MSARVI dapat dilakukan secara efektif dan cepat dengan menggunakan platform Google Earth Engine (GEE) yang mendukung pemrosesan dan analisis data citra satelit berbasis cloud computing [10]. GEE juga menyediakan berbagai alat dan fungsi untuk melakukan analisis citra dan machine learning yang dapat digunakan untuk meningkatkan akurasi hasil analisis kerapatan vegetasi. Dengan menggunakan platform Google Earth Engine dan metode MSARVI berbasis machine learning, analisis kerapatan vegetasi dapat dilakukan secara efektif dan efisien dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi [11]. Hasil analisis dapat digunakan untuk memantau perubahan kerapatan vegetasi dari waktu ke waktu dan membantu dalam pengambilan keputusan dalam manajemen lingkungan dan pengelolaan sumber daya alam [9].

Menurut Ticman et al, beberapa kelebihan analisis kerapatan vegetasi menggunakan data citra satelit Sentinel-2 dengan metode MSARVI berbasis machine learning pada Google Earth Engine dibandingkan dengan menggunakan metode lain diantaranya yaitu; Platform Google Earth Engine memungkinkan pemrosesan data citra satelit dengan efektif dan efisien, karena menggunakan infrastruktur cloud computing, metode MSARVI berbasis machine learning dapat memberikan hasil analisis kerapatan vegetasi yang lebih akurat dan konsisten, data citra Sentinel-2 yang tersedia di Google Earth Engine memungkinkan pemantauan perubahan vegetasi dari waktu ke waktu dengan akurasi yang lebih tinggi, dan kemampuan integrasi data yang lebih komprehensif dan analisis yang lebih holistik [9].

Keterbaruan atau State of the art pada penelitian ini terletak pada data citra yang digunakan, metode dan proses pengolahan data. Penelitian ini menggunakan citra satelit Citra Sentinel-2 yang memiliki resolusi spasial (10 meter) yang jauh lebih baik dari penelitian yang sebelumnya dilakukan oleh Pietersz et al., yang menggunakan data citra landsat yang memiliki resolusi spasial 30 meter. Penelitian menggunakan metode MSARVI dimana salah satu keunggulan MSARVI adalah kemampuannya untuk memasukkan suhu permukaan dalam perhitungan indeks. Dengan memasukkan informasi suhu permukaan, MSARVI dapat memberikan estimasi yang lebih baik tentang kondisi vegetasi yang terkait dengan suhu dan ketersediaan air, yang penting dalam analisis kerapatan vegetasi. Penggunaan Google Earth Engine yang merupakan platform komputasi awan pada penelitian ini, sangatlah efektif, praktis untuk analisis kerapatan vegetasi di Kota Ambon. Dengan berbagai kelebihan tersebut, analisis kerapatan vegetasi menggunakan data citra satelit Sentinel-2 dengan metode MSARVI berbasis machine learning pada Google Earth Engine menjadi pilihan yang menarik untuk dilakukan, terutama bagi mereka yang membutuhkan hasil analisis yang akurat, cepat, dan efisien.

## TINJAUAN PUSTAKA

### *Kerapatan Vegetasi*

Kerapatan vegetasi mengacu pada tingkat kepadatan atau jumlah tumbuhan yang ada dalam suatu area atau ekosistem. Kerapatan vegetasi dapat memberikan informasi penting tentang keadaan ekosistem dan kesehatan lingkungan. Semakin tinggi kerapatan vegetasi, semakin banyak tumbuhan yang ada di suatu area tertentu. Kerapatan vegetasi yang tinggi seringkali dikaitkan dengan lingkungan yang subur dan sehat [12]. Hal ini dapat mencerminkan ketersediaan air, nutrisi tanah yang baik, serta kondisi lingkungan yang mendukung pertumbuhan tumbuhan.

### *Citra Satelit Sentinel-2*

Citra Satelit Sentinel-2 merupakan sumber data yang populer dan sering digunakan dalam analisis kerapatan vegetasi. Sentinel-2 adalah salah satu misi satelit dari European Space Agency (ESA) yang dirancang khusus untuk pemantauan lahan dan vegetasi [5]. Citra Sentinel-2 memiliki beberapa saluran spektral yang dapat memberikan informasi penting tentang vegetasi. Misi ini menggunakan sensor multi-spektral dengan 13 saluran optik, termasuk saluran merah, hijau, biru, inframerah dekat, dan inframerah jauh [13]. Setiap saluran ini mencakup rentang spektral yang berbeda dan

memberikan informasi tentang kondisi vegetasi dan lingkungan. Dengan menggunakan citra Sentinel-2, kita dapat melakukan analisis kerapatan vegetasi dengan berbagai metode Machine Learning [13].

### Google Earth Engine

Google Earth Engine adalah platform komputasi awan yang dikembangkan oleh Google untuk analisis data geospasial dan pemantauan lingkungan secara skalabilitas tinggi [14]. Platform ini menyediakan akses ke kumpulan data citra satelit global dan alat pemrograman yang kuat untuk analisis dan visualisasi data [15], [16].

### MSARVI (Modified Soil-Adjusted Vegetation Index)

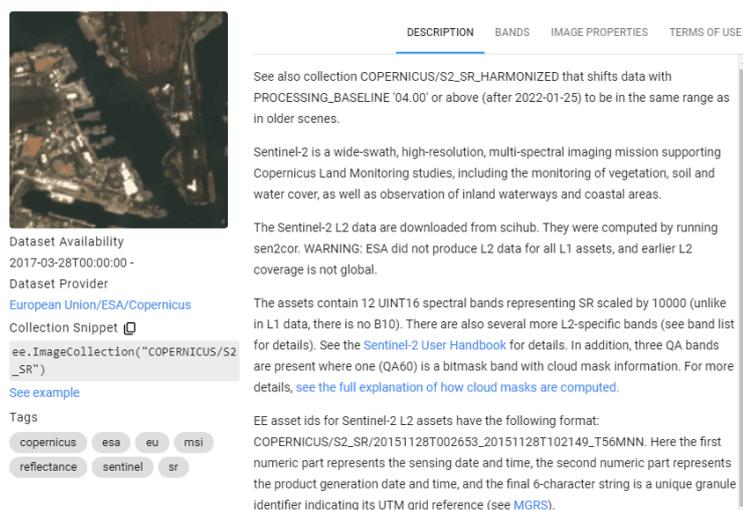
MSARVI adalah salah satu metode penginderaan jauh yang digunakan untuk mengukur kerapatan vegetasi dengan menggunakan data citra satelit [8]. Metode ini didasarkan pada rasio antara inframerah dekat (NIR) dan cahaya merah (RED) pada citra satelit, yang mencerminkan keberadaan klorofil dalam tumbuhan dan digunakan sebagai indikator kerapatan vegetasi [9].

## METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan di Kota Ambon yang merupakan ibukota dari Provinsi Maluku. Secara administrasi Kota Ambon terdiri dari Kecamatan Sirimau, Kecamatan Nusaniwe, Kecamatan Leitimur Selatan, Kecamatan Teluk Ambon, Kecamatan Teluk Ambon Baguala. Penelitian ini menggunakan data citra Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A dengan menggunakan algoritma MSARVI (Modified Soil-Adjusted Vegetation Index) yang diakses dan dianalisis di Platfrom Google Earth Engine (<https://earthengine.google.com/>).

Sentinel-2 MSI (MultiSpectral Instrument) adalah sebuah instrumen pada satelit Sentinel-2 yang digunakan untuk mengambil citra multispektral Bumi dari orbit. Instrumen ini terdiri dari 13 jalur pemindaian (bands) yang mampu mengukur reflektansi dari permukaan bumi pada berbagai panjang gelombang, mulai dari 443 nanometer hingga 2190 nanometer [17]. Data citra yang dihasilkan oleh Sentinel-2 MSI sangat berguna untuk aplikasi penginderaan jauh, termasuk pemantauan vegetasi, pemetaan penggunaan lahan, pemantauan kualitas air, dan sebagainya. Level-2A adalah level pengolahan data citra Sentinel-2 MSI yang telah diproses dan dikoreksi secara radiometrik dan atmosferik untuk menghasilkan citra dengan kualitas yang lebih tinggi [17]. Data Level-2A telah dikalibrasi dan dikoreksi untuk faktor-faktor seperti pencahayaan, atmosfer, dan geometri, sehingga memberikan hasil yang lebih akurat dan dapat digunakan untuk analisis dan pemetaan [17]. Tampilan dataset citra sentinel-2 MSI Di GEE data dilihat pada Gambar 1. Analisis kerapatan vegetasi Kota Ambon menggunakan data citra satelit sentinel-2 dengan metode MSARVI berbasis *machine learning* pada google earth engine.

Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A



The screenshot displays the Google Earth Engine interface for the dataset 'Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A'. On the left, there is a satellite image of a coastal region. Below the image, the 'Dataset Availability' is listed as '2017-03-28T00:00:00 -', and the 'Dataset Provider' is 'European Union/ESA/Copernicus'. A 'Collection Snippet' is shown as 'ee.ImageCollection("COPERNICUS/S2\_SR")'. There are also 'Tags' for 'copernicus', 'esa', 'eu', 'msi', 'reflectance', 'sentinel', and 'sr'. On the right, the 'DESCRIPTION' tab is active, showing text that explains the dataset's purpose for Copernicus Land Monitoring studies and provides technical details about the data processing and asset IDs.

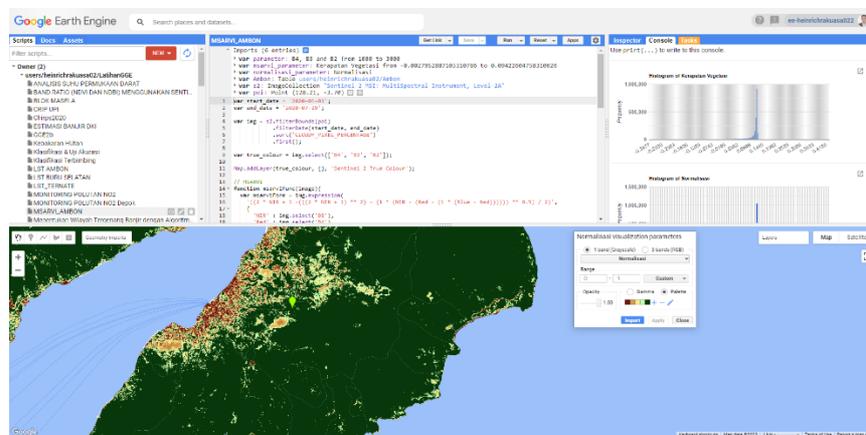
Gambar 1. Tampilan Dataset Citra Sentinel-2 MSI di GEE

Metode MSARVI adalah salah satu metode untuk mengukur kerapatan vegetasi yang didasarkan pada perbedaan reflektansi antara spektrum inframerah dekat (Near Infrared/NIR) dan merah (Red) pada cahaya matahari yang dipantulkan oleh permukaan bumi [10]. MSARVI merupakan pengembangan dari metode Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), yang telah lama digunakan untuk mengukur kerapatan vegetasi. Perbedaan utama antara NDVI dan MSARVI terletak pada bobot yang digunakan untuk masing-masing band pada perhitungan indeks [11]. Pada NDVI, bobot yang digunakan sama besar untuk kedua band (NIR dan Red), sedangkan pada MSARVI, bobot yang digunakan lebih besar pada band NIR daripada Red.

Rumus MSARVI dapat dilihat pada persamaan dibawah ini;

$$MSARVI = (a * (NIR - b * Red)) / (a * (NIR + b * Red) + c) \tag{1}$$

Keterangan: a, b, dan c adalah konstanta yang dapat diatur sesuai dengan kebutuhan analisis, NIR adalah nilai piksel pada band Near Infrared dan Red adalah nilai piksel pada band Red. Tampilan script yang digunakan di GEE pada penelitian dapat dilihat pada Gambar 2 dan script yang digunakan untuk analisis kerapatan vegetasi di GEE dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Tampilan Script yang digunakan di GEE



```

MSARVI_AMBON *
Imports (6 entries)
var parameter: B4, B3 and B2 from 1000 to 3000
var msarvi_parameter: Kerapatan Vegetasi From -0.0027952887103310796 to 0.09422604759310626
var normalisasi_parameter: Normalisasi
var Ambon: Table users/heinrichrakus02/Ambon
var s2: ImageCollection "Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A"
var poi: Point (128.21, -3.70)
  type: Point
  coordinates: [[128.2082990324145, -3.6960182346658574]]

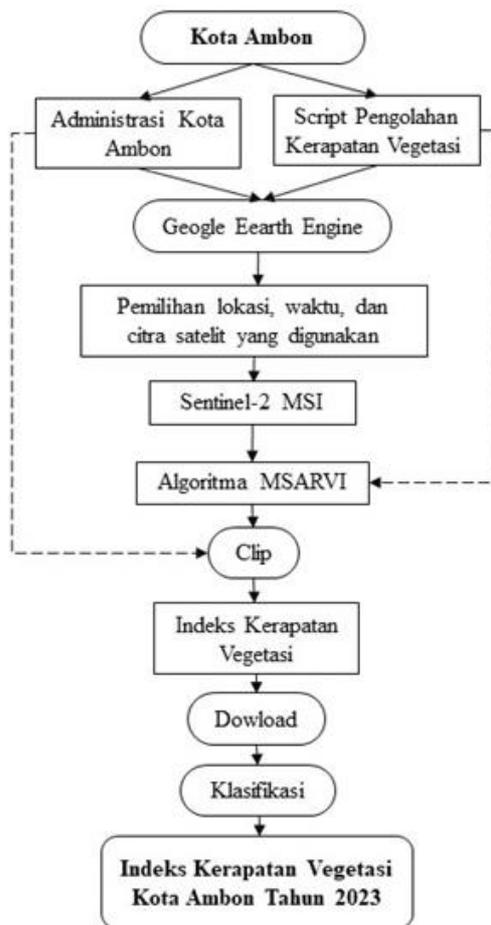
1 var start_date = '2020-04-01';
2 var end_date = '2020-04-30';
3
4 var img = s2.filterBounds(poi)
5   .filterDate(start_date, end_date)
6   .sort('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE')
7   .first();
8
9 var true_colour = img.select(['B4', 'B3', 'B2']);
10
11 Map.addLayer(true_colour, {}, 'Sentinel 2 True Colour');
12
13 // MSARVI
14 function msarviFunc(image){
15   var msarviForm = img.expression(
16     '((2 * NIR + 1 - (((2 * NIR + 1) ** 2) - (1 * (NIR - (Red - (1 * (Blue - Red)))))) ** 0.5) / 2)',
17     {
18       'NIR': img.select('B8'),
19       'Red': img.select('B4'),
20       'Blue': img.select('B2')
21     });
22   return(msarviForm.rename('Kerapatan Vegetasi'))
23 }
24
25 var msarvi = msarviFunc(img).clip(Ambon);
26
27 Map.addLayer(msarvi, msarvi_parameter, 'MSARVI');
28
29 //histogram
30 var histogram = ui.Chart.image.histogram({
31   image: msarvi,
32   region: Ambon,
33   scale: 10
34 });
35
36 print(histogram);
37
38 //Normalisasi
39 function normalizeFunc(image){
40   var normalizeForm = img.expression(
41     '(MSARVI - Min) / (Max - Min)',
42     {
43       'MSARVI': msarvi.select('Kerapatan Vegetasi'),
44       'Min': -0.006,
45       'Max': 0.09
46     });
47   return(normalizeForm.rename('Normalisasi'))
48 }
49
50 var msarvi_normalize = normalizeFunc(msarvi).clip(Ambon);
51
52 Map.addLayer(msarvi_normalize, normalisasi_parameter, 'Normalisasi');
53
54 // histogram 2
55 var histogram2 = ui.Chart.image.histogram({
56   image: msarvi_normalize,
57   region: Ambon,
58   scale: 10
59 });
60
61 print(histogram2);
62
63 Export.image.toDrive({
64   image:msarvi,
65   description: 'msarvi_2',
66   scale: 30,
67   maxPixels: 600000000,
68   region: Ambon
69 });

```

Gambar 3. Script yang digunakan untuk analisis kerapatan vegetasi di GEE

Tanggal perekaman data citra Sentinel-2 MSI yang dipilih untuk penelitian ini yaitu tanggal 1-04-2023-31-04-2023. Hal dilakukan untuk mengetahui nilai indeks vegetasi rata-rata Kota Ambon tahun 2023. Analisis kerapatan vegetasi pada penelitian ini dilakukan di platform cloud computing Google Earth Engine (GEE) dengan memodifikasi script yang sebelumnya digunakan oleh peneliti-peneliti sebelumnya. Tampilan Script yang digunakan di GEE dapat dilihat pada Gambar 2. Proses pengolahan dan analisis data sepenuhnya dilakukan dengan JavaScript di Google Earth Engine pada Gambar 3.

Hasil perhitungan MSARVI akan menghasilkan nilai indeks kerapatan vegetasi yang berkisar dari -0 hingga 0 [9]. Nilai -0 menunjukkan bahwa wilayah tersebut memiliki kerapatan vegetasi yang sangat rendah, sedangkan nilai 0 menunjukkan bahwa wilayah tersebut memiliki kerapatan vegetasi yang sangat tinggi. Nilai 0 menunjukkan bahwa wilayah tersebut tidak memiliki vegetasi atau vegetasinya sangat sedikit. Metode MSARVI banyak digunakan dalam analisis kerapatan vegetasi pada berbagai jenis lahan, seperti hutan, pertanian, dan lahan perkotaan [11]. Metode ini juga sering digunakan dalam pemantauan lingkungan dan pengelolaan sumber daya alam.

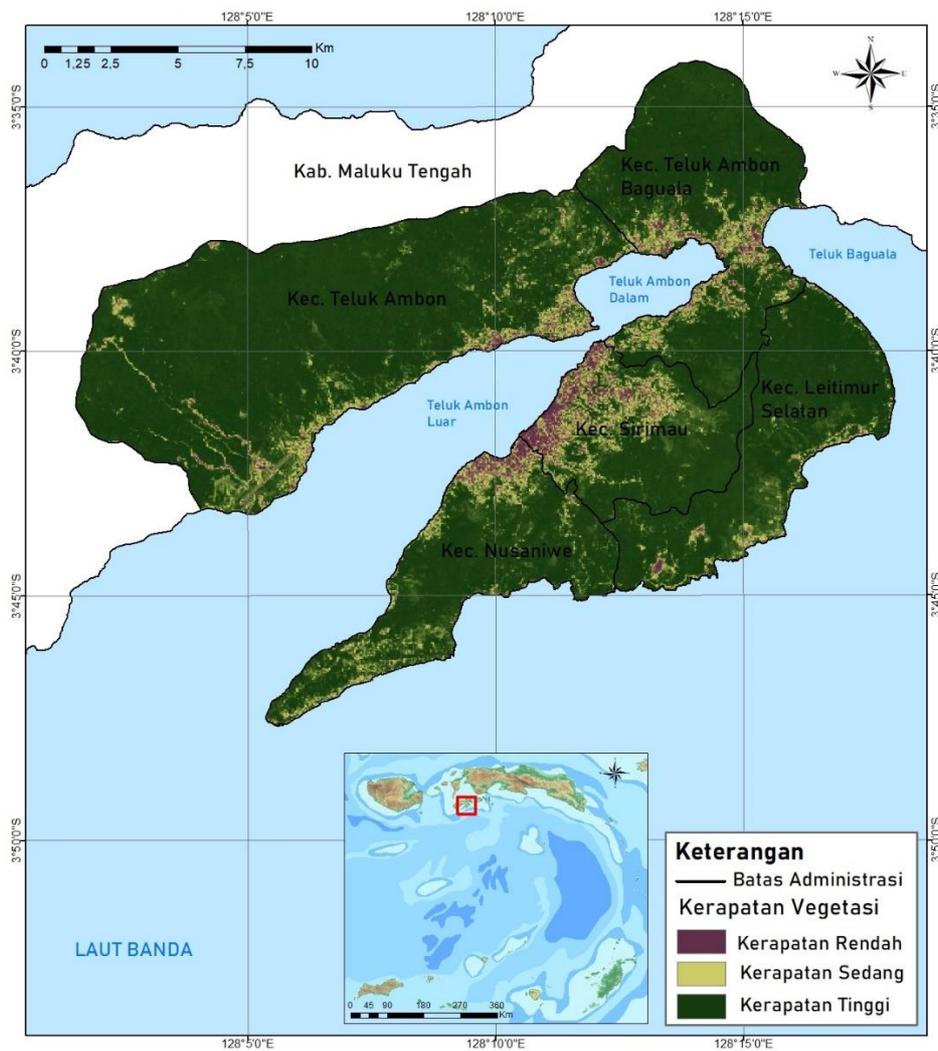


Gambar 4. Alur Kerja

Tahapan pengolahan dimulai dari pengumpulan data diantaranya data batas administrasi Kota Ambon, script code untuk analisis kerapatan vegetasi serat akun Google Earth Engine GEE. Langkah pertama dalam analisis yaitu penentuan lokasi penelitian (Kota Ambon), waktu penelitian (1/04/2023 - 31/04/2023) dan jenis citra satelit yang akan digunakan (Sentinel 2 MSI). Proses pengolahan dan analisis data sepenuhnya dilakukan dengan Java Script di Google Earth Engine dengan menggunakan algoritma MSARVI dengan rumus :  $((2 * NIR + 1 - (((2 * NIR + 1) ** 2) - (1 * (NIR - (Red - (1 * (Blue - Red)))))) * 0.5) / 2)$ , yang kemudian di clip dengan shp administrasi Kota Ambon. Hasil analisis kerapatan vegetasi kemudian didownload untuk dilakukan klasifikasi di software Arc GIS. Setelah dilakukan klasifikasi kerapatan vegetasi di Kota Ambon tahun 2023 kemudian layout sesuai kaidah-kaidah kartografi. Selengkapnya alur kerja pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.

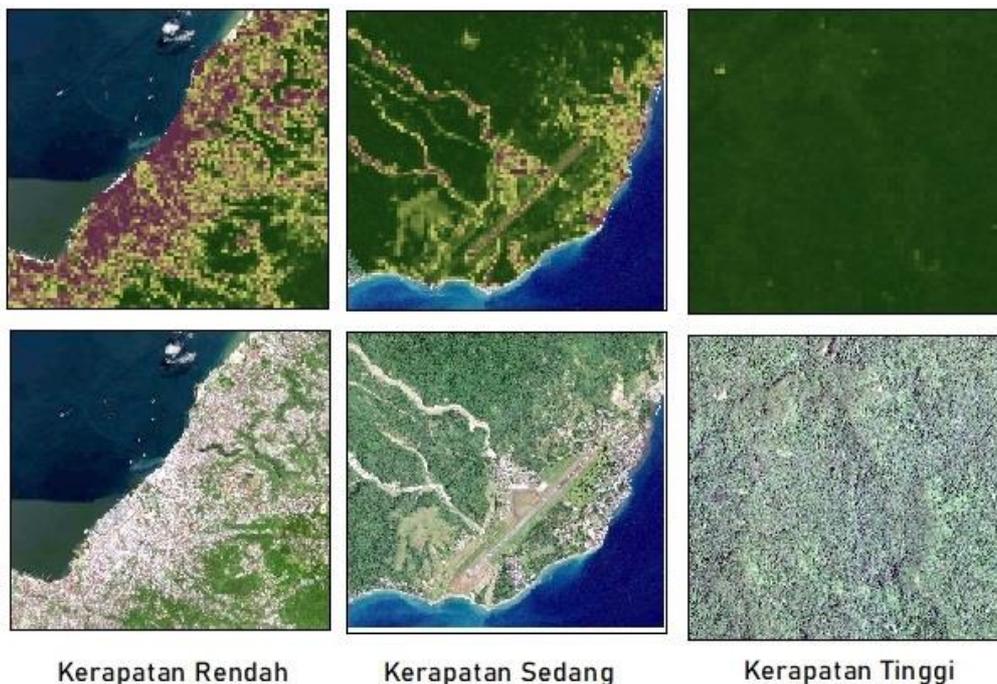
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Nilai kerapatan vegetasi di Kota Ambon pada tahun 2023 yaitu nilai terendah -0,481341 dan nilai tertinggi 0,978457. Kerapatan vegetasi tinggi dapat diartikan sebagai daerah yang memiliki banyak tumbuhan atau vegetasi yang rapat dan padat, sehingga area tersebut memiliki nilai indeks vegetasi yang tinggi [1]. Hasil analisis kerapatan vegetasi menggunakan metode Metode MSARVI (Modified Soil-Adjusted Vegetation Index) menunjukkan bahwa daerah yang memiliki kerapatan vegetasi tinggi memiliki luas sebesar 32.856,03 ha atau 85%, daerah yang memiliki kerapatan vegetasi sedang memiliki luas sebesar 3.508,67 ha atau 9,11 % dan daerah yang memiliki kerapatan vegetasi rendah memiliki luas sebesar 2.169,64 ha atau 5,63 %. Secara spasial sebaran kerapatan vegetasi Kota Ambon tahun 2023 dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Peta Kerapatan vegetasi Kota Ambon

Daerah dengan kerapatan vegetasi tinggi umumnya ditandai dengan daerah yang hijau dan lebat, seperti hutan, perkebunan, taman, dan lain sebagainya. Kerapatan vegetasi sedang dapat diartikan sebagai daerah yang memiliki beberapa jenis tumbuhan atau vegetasi dengan jarak antar tumbuhan yang tidak terlalu rapat atau padat. Area dengan kerapatan vegetasi sedang dapat ditemukan di daerah perkebunan yang telah diatur jarak tanamnya, taman kota dengan tanaman hias yang ditanam dengan jarak tertentu, serta beberapa jenis hutan yang memiliki komposisi tumbuhan yang beragam. Kerapatan vegetasi rendah dapat diartikan sebagai daerah yang memiliki sedikit jenis tumbuhan atau vegetasi, dengan jarak antar tumbuhan yang cukup jauh dan tidak rapat. Daerah dengan kerapatan vegetasi rendah dapat ditemukan di daerah yang telah mengalami degradasi lingkungan seperti hutan yang telah ditebang atau lahan gambut yang terbakar. Beberapa daerah pertanian atau lahan yang telah dikonversi untuk pembangunan perumahan atau industri juga dapat memiliki kerapatan vegetasi yang rendah [18]. Daerah dengan kerapatan vegetasi rendah umumnya tidak memberikan banyak manfaat bagi lingkungan, bahkan dapat menjadi sumber masalah seperti erosi tanah dan penurunan kualitas udara.



Gambar 6. Perbandingan hasil analisis Kerapatan Vegetasi dan Citra Sentinel-2 RGB

Indeks kerapatan vegetasi di Kota Ambon sangat dipengaruhi oleh tutupan lahan yang ada. Tutupan lahan merupakan istilah yang mengacu pada jenis dan kondisi penggunaan lahan di suatu wilayah (Rakuasa & Pakniany 2022). Jenis penggunaan lahan yang berbeda dapat mempengaruhi kualitas vegetasi dan kemudian mempengaruhi nilai Indeks Vegetasi. Sebagai contoh pada Gambar 6, area hijau yang luas dan terawat dengan baik seperti taman kota atau hutan kota, dapat memiliki Indeks Vegetasi yang tinggi karena terdapat banyak tanaman yang hidup dan sehat di wilayah tersebut. Sebaliknya, kawasan perkotaan yang padat dengan bangunan dan minim area hijau mungkin memiliki Indeks vegetasi yang rendah karena kurangnya tutupan lahan hijau.

Analisis kerapatan vegetasi menggunakan data citra satelit Sentinel-2 dengan metode MSARVI berbasis machine learning pada Google Earth Engine memberikan pendekatan yang kuat dan efektif dalam memahami kerapatan vegetasi di Kota Ambon. Metode ini mengatasi beberapa kendala yang mungkin terjadi pada metode tradisional seperti NDVI dan memberikan pemodelan yang lebih akurat dengan menggabungkan informasi spektral, suhu permukaan, dan penggunaan algoritma machine learning. Penelitian ini memiliki implikasi penting dalam pemantauan lingkungan dan pengambilan keputusan terkait perkotaan yang berkelanjutan.

Analisis kerapatan vegetasi di Kota Ambon dapat memberikan beberapa manfaat, antara lain: (1). Pemantauan perubahan lingkungan: Analisis kerapatan vegetasi dapat membantu dalam pemantauan perubahan lingkungan di Kota Ambon, terutama dalam hal penggunaan lahan dan deforestasi. Hal ini dapat membantu dalam pengambilan keputusan mengenai kebijakan lingkungan dan penanganan dampak lingkungan yang muncul [20]. (2). Evaluasi kualitas udara: Kerapatan vegetasi yang tinggi dapat membantu dalam menjaga kualitas udara di Kota Ambon, karena tumbuhan dapat menyerap gas dan partikel yang ada di udara. Analisis kerapatan vegetasi dapat membantu dalam evaluasi kualitas udara dan upaya peningkatan kualitas udara melalui penghijauan [21], [16]. (3). Penentuan lokasi penanaman kembali: Analisis kerapatan vegetasi dapat membantu dalam penentuan lokasi penanaman kembali atau rehabilitasi lahan yang telah mengalami kerusakan atau deforestasi di Kota Ambon [22]. (4). Pengembangan ekowisata: Kerapatan vegetasi yang tinggi dapat menjadi daya tarik untuk pengembangan sektor ekowisata di Kota Ambon [23]. Analisis kerapatan vegetasi dapat membantu dalam pengembangan potensi ekowisata dan peningkatan kesejahteraan masyarakat melalui pemanfaatan sumber daya alam yang berkelanjutan. Dengan demikian, analisis kerapatan vegetasi di Kota Ambon dapat memberikan manfaat dalam pengelolaan lingkungan dan pengembangan berkelanjutan di kota tersebut.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil analisis kerapatan vegetasi menggunakan metode Metode MSARVI (Modified Soil-Adjusted Vegetation Index) menunjukkan bahwa daerah yang memiliki kerapatan vegetasi tinggi memiliki luas sebesar 32.856,03 ha atau 85%, daerah yang memiliki kerapatan vegetasi sedang memiliki luas sebesar 3.508,67 ha atau 9,11 % dan daerah yang memiliki kerapatan vegetasi rendah memiliki luas sebesar 2.169,64 ha atau 5,63 %. Nilai kerapatan vegetasi di Kota Ambon pada tahun 2023 yaitu nilai terendah -0,481341 dan nilai tertinggi 0,978457. Hasil penelitian ini dapat digunakan untuk monitoring perubahan lingkungan, mengidentifikasi area dengan kualitas lingkungan yang buruk, mengukur dampak perubahan iklim, memantau kesehatan tanaman, dan menyediakan informasi bagi pengambil keputusan. Dengan demikian hasil penelitian ini sangat penting untuk menjaga keseimbangan lingkungan dan lingkungan yang sehat dan berkelanjutan. Sangat diharapkan peneliti-peneliti kedepannya dapat menganalisis hubungan kerapatan vegetasi dengan peningkatan suhu permukaan daratan di Kota Ambon.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. H. Pietersz, J. Matinahoru, and R. Loppies, "Pendekatan Indeks Vegetasi Untuk Mengevaluasi Kenyamanan Termal Menggunakan Data Satelit Landsat-Tm Di Kota Ambon," *Agrologia*, vol. 4, no. 2, Feb. 2018, doi: 10.30598/a.v4i2.208.
- [2] G. S. Heinrich Rakuasa, "Analisis Spasial Kesesuaian dan Evaluasi Lahan Permukiman di Kota Ambon," *J. Sains Inf. Geogr. (J SIG)*, vol. 5, no. 1, pp. 1–9, 2022, doi: DOI: <http://dx.doi.org/10.31314/j%20sig.v5i1.1432>.
- [3] H. Latue, P. C., Septory, J. S. I., & Rakuasa, "Perubahan Tutupan Lahan Kota Ambon Tahun 2015, 2019 dan 2023," *JPG (Jurnal Pendidik. Geogr.)*, vol. 10, no. 1, pp. 177–186, 2023, doi: <http://dx.doi.org/10.20527/jpg.v10i1.15472>.
- [4] H. Rakuasa, "ANALISIS SPASIAL TEMPORAL SUHU PERMUKAAN DARATAN/ LAND SURFACE TEMPERATURE (LST) KOTA AMBON BERBASIS CLOUD COMPUTING: GOOGLE EARTH ENGINE," *J. Ilm. Inform. Komput.*, vol. 27, no. 3, pp. 194–205, Dec. 2022, doi: 10.35760/ik.2022.v27i3.7101.
- [5] M. M. F. Wong, J. C. H. Fung, and P. P. S. Yeung, "High-resolution calculation of the urban vegetation fraction in the Pearl River Delta from the Sentinel-2 NDVI foker urban climate model parameterization," *Geosci. Lett.*, vol. 6, no. 1, p. 2, Dec. 2019, doi: 10.1186/s40562-019-0132-4.
- [6] S. Abdullah and D. Barua, "Combining Geographical Information System (GIS) and machine learning to monitor and predict vegetation vulnerability: An Empirical Study on Nijhum Dwip, Bangladesh," *Ecol. Eng.*, vol. 178, p. 106577, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106577>.
- [7] Y. Zeng *et al.*, "Optical vegetation indices for monitoring terrestrial ecosystems globally," *Nat. Rev. Earth Environ.*, vol. 3, no. 7, pp. 477–493, May 2022, doi: 10.1038/s43017-022-00298-5.
- [8] X. Geng *et al.*, "Vegetation coverage of desert ecosystems in the Qinghai-Tibet Plateau is underestimated," *Ecol. Indic.*, vol. 137, p. 108780, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.ecolind.2022.108780.
- [9] K. V. Ticman, S. G. Salmo III, K. E. Cabello, M. Q. Germentil, D. M. Burgos, and A. C. Blanco, "MONITORING POST-DISASTER MANGROVE FOREST RECOVERIES IN LAWAAN-BALANGIGA, EASTERN SAMAR USING TIME SERIES ANALYSIS OF MOISTURE AND VEGETATION INDICES," *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. XLVI-4/W6-, pp. 295–301, Nov. 2021, doi: 10.5194/isprs-archives-XLVI-4-W6-2021-295-2021.
- [10] M. M. Moura *et al.*, "Temporal analysis of desertification vulnerability in Northeast Brazil using Google Earth Engine," *Trans. GIS*, vol. 26, no. 4, pp. 2041–2055, Jun. 2022, doi: 10.1111/tgis.12926.
- [11] I. M. Cipta, F. A. Sobarman, H. Sanjaya, and M. R. Darminto, "Analysis of Mangrove Forest Change from Multi-Temporal Landsat Imagery Using Google Earth Engine Application : (Case Study: Belitung Archipelago 1990 - 2020)," in *2021 IEEE Asia-Pacific Conference on Geoscience, Electronics and Remote Sensing Technology (AGERS)*, Sep. 2021, pp. 90–95. doi: 10.1109/AGERS53903.2021.9617354.
- [12] R. Latuconsina, G. Mardiatmoko, and J. D. Putuhena, "VARIATION OF NDVI VEGETATION INDEX IN LANDSCAPE CHANGE OF AMBON CITY, MALUKU PROVINCE," *J. HUTAN PULAU-PULAU KECIL*, vol. 4, no. 1, pp. 1–13, Apr. 2020, doi: 10.30598/jhpk.2020.4.1.1.
- [13] M. Amiri and H. R. Pourghasemi, "Mapping the NDVI and monitoring of its changes using Google Earth Engine and Sentinel-2 images," in *Computers in Earth and Environmental Sciences*, Elsevier, 2022, pp. 127–136. doi: 10.1016/B978-0-323-89861-4.00044-0.
- [14] S. L. Ermida, P. Soares, V. Mantas, F.-M. Göttsche, and I. F. Trigo, "Google Earth Engine Open-Source Code for Land Surface Temperature Estimation from the Landsat Series," *Remote Sens.*, vol. 12, no. 9, p. 1471, May 2020, doi: 10.3390/rs12091471.
- [15] J. Aryal, C. Sitaula, and S. Aryal, "NDVI Threshold-Based Urban Green Space Mapping from Sentinel-2A at the Local Governmental Area (LGA) Level of Victoria, Australia," *Land*, vol. 11, no. 3, p. 351, Feb. 2022, doi: 10.3390/land11030351.
- [16] A. Latue, P. C., Rakuasa, H., Somae, G., & Muin, "Analisis Perubahan Suhu Permukaan Daratan di Kabupaten

- Seram Bagian Barat Menggunakan Platform Berbasis Cloud Google Earth Engine,” *Sudo J. Tek. Inform.*, vol. 2, no. 2, pp. 45–51., 2023, doi: <https://doi.org/10.56211/sudo.v2i2.261>.
- [17] L. K. Onesimo Muntaga, “Google Earth Engine Applications,” *remotesensing*, pp. 11–14, 2019, doi: 10.3390/rs11050591.
- [18] V. F. Kovyazin, A. Y. Romanchikov, D. T. L. Anh, D. V. Hung, and V. Van Hung, “Predicting Forest Land Cover Changes in Ba Be National Park of Vietnam,” *{IOP} Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 574, p. 12038, Oct. 2020, doi: 10.1088/1755-1315/574/1/012038.
- [19] Y. Rakuasa, H., & Pakniany, “Spatial Dynamics of Land Cover Change in Ternate Tengah District, Ternate City, Indonesia,” *Forum Geogr.*, vol. 36, no. 2, pp. 126–135, 2022, doi: DOI: 10.23917/forgeo.v36i2.19978.
- [20] P. C. (2023). Letedara, R., Rakuasa, H., & Latue, “Cellular Automata Markov Chain Application For Prediction Of Land Cover Changes In The Wae Batu Gantung Watershed, Ambon City, Indonesia,” *ournal Multidiscip. Sci.*, vol. 2, no. 2, pp. 113-122., 2023, doi: <https://doi.org/10.58330/prevenire.v2i2.191>.
- [21] H. Sugandhi, N., Supriatna, S., Kusratmoko, E., & Rakuasa, “Prediksi Perubahan Tutupan Lahan di Kecamatan Sirimau, Kota Ambon Menggunakan Celular Automata-Markov Chain,” *JPG (Jurnal Pendidik. Geogr.*, vol. 9, no. 2, pp. 104–118, 2022, doi: <http://dx.doi.org/10.20527/jpg.v9i2.13880>.
- [22] P. C. Latue and H. Rakuasa, “ANALISIS SPASIAL PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN DI DAS WAE BATUGANTONG, KOTA AMBON,” *J. Tanah dan Sumberd. Lahan*, vol. 10, no. 1, pp. 149–155, Jan. 2023, doi: 10.21776/ub.jtsl.2023.010.1.17.
- [23] M. C. Rakuasa, H., Salakory, M., & Mehdil, “Prediksi perubahan tutupan lahan di DAS Wae Batu Merah, Kota Ambon menggunakan Cellular Automata Markov Chain,” *J. Pengelolaan Lingkungan. Berkelanjutan (Journal Environ. Sustain. Manag.*, vol. 6, no. 2, pp. 59–75, 2022, doi: <https://doi.org/10.36813/jplb.6.2.59-75>.