

ANALISIS SPASIAL KERAPATAN VEGETASI KOTA AMBON BERBASIS *NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX* (NDVI)

Jurnal Pengembangan Kota (2023)

Volume 11 No. 2 (124–139)

Tersedia online di:

<http://ejournal2.undip.ac.id/index.php/jpk>

DOI: 10.14710/jpk.11.2.124-139

Mohammad Amin Lasaiba*, Edward Gland Tetelepta*Program Studi Geografi Jurusan Ilmu Pengetahuan Sosial FKIP Universitas Pattimura Ambon, Indonesia*

Abstrak. Perencanaan dan pengelolaan kota merupakan hal yang kompleks sebagai dampak dari proses urbanisasi yang mempengaruhi tutupan lahan dan terkait erat dengan aktivitas manusia yang secara efektif mencerminkan atribut sosial ekonomi. Identifikasi yang akurat pada pola tutupan lahan perkotaan sangat penting untuk optimasi rasional terhadap struktur perkotaan dan memainkan peran kunci dalam terhadap berbagai perubahan yang memengaruhi ekosistem dan keanekaragaman hayati. Tujuan penelitian yang akan dicapai yaitu untuk menganalisis kerapatan vegetasi Kota Ambon berbasis Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), dengan penggunaan data spasial penginderaan jauh citra satelit Landsat 8 OLI/TIRS Path 109 Row 63. Hasil penelitian yang dilakukan dengan menggunakan citra penginderaan jauh Landsat 8 OLI/TIRS perekaman 24 Maret 2022 Kota Ambon diklasifikasikan menjadi 5 kelas kerapatan vegetasi. Tingkat kerapatan tidak terinterpretasi (awan) memiliki luas 302,68 Ha (0.9%), Tingkat kerapatan tidak rapat memiliki luas 716,33 Ha (2.7%), Tingkat kerapatan cukup rapat memiliki luas 1367 Ha (4.2%), Tingkat kerapatan rapat memiliki luasan 3.154,70 Ha (9.7%), Tingkat kerapatan sangat rapat memiliki luasan 27.026,43 Ha (83%).

Kata Kunci: Spasial; Kerapatan Vegetasi; NDVI; Kota

[Title: Spatial Analysis of Vegetation Density in Ambon City Based on Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)]. *Urban planning and management constitute complex processes influenced by urbanization, impacting land cover and closely related to human activities, effectively reflecting socio-economic attributes. Accurate identification of urban land cover patterns is crucial for the rational optimization of urban structures and plays a pivotal role in various changes affecting ecosystems and biodiversity. The research objective is to analyze Ambon City vegetation density based on the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), utilizing spatial data from Landsat 8 OLI/TIRS Path 109 Row 63. The study results from the Landsat 8 OLI/TIRS remote sensing imagery, captured on March 24, 2022, over Ambon City, were classified into five vegetation density classes. The uninterpreted density level (clouds) covers an area of 302.68 Ha (0.9%), low-density areas cover 716.33 Ha (2.7%), moderately dense areas cover 1367 Ha (4.2%), dense areas cover an area of 3,154.70 Ha (9.7%). Very dense areas cover a vast expanse of 27,026.43 Ha (83%).*

Keywords: Spatial; Vegetation Density; NDVI; City

Cara Mengutip: Lasaiba, Mohammad Amin., Edward Gland Tetelepta, (2023). Analisis Spasial Kerapatan Vegetasi Kota Ambon Berbasis *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). **Jurnal Pengembangan Kota**. Vol 11 (2): 124-139. DOI: 10.14710/jpk.11.2.124-139

1. PENDAHULUAN

Perencanaan kota menjadi fokus utama dalam agenda pemerintah karena pertumbuhan peri urban yang berkelanjutan telah mempengaruhinya secara signifikan (Lyu, Wang, Zou, & Wu, 2022). Demikian pula, luas permukaan perkotaan global telah meningkat dalam sepuluh tahun terakhir dan diperkirakan akan meningkat tiga kali lipat antara

tahun 2000 dan 2030 (Bren d'Amour dkk., 2017; Malinowski dkk., 2020). Area global yang ditutupi oleh hutan juga telah menurun sebesar 3% antara tahun 1990 dan 2015 dan terus menurun, dan yang terbesar di Brasil, Indonesia, dan Nigeria. Proses urbanisasi yang terus berlangsung menciptakan kompleksitas dalam mengembangkan berbagai jenis tutupan lahan di kota, termasuk zona perumahan, area komersial, dan infrastruktur

umum. Dinamika ini tidak hanya mencerminkan kegiatan manusia tetapi juga dapat memberikan gambaran yang substansial mengenai atribut sosial-ekonomi suatu wilayah (Lasaiba, 2012; Zhang, Du, & Wang, 2017). Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam terhadap tutupan lahan menjadi bagian yang tidak terpisahkan dari proses perencanaan kota saat ini. Keterkaitan yang erat antara tutupan lahan dan aktivitas manusia mengindikasikan bahwa analisis yang cermat tentang pola penggunaan lahan sangatlah penting (Crooks dkk., 2015; Han, Zhang, & Zheng, 2020; Hersperger dkk., 2018). Tutupan lahan mencerminkan perubahan-perubahan dalam struktur sosial dan ekonomi, serta memberikan informasi vital bagi perencanaan perkotaan yang regional (Jiang, Alves, Rodrigues, Ferreira, & Pereira, 2015; Ye, Zhang, Mu, Gao, & Liu, 2020). Dalam konteks ini, pemahaman yang komprehensif tentang tutupan lahan menjadi landasan yang krusial bagi pemerintah dalam mengelola wilayah perkotaan dengan bijaksana dan merumuskan kebijakan-kebijakan yang mendukung pertumbuhan yang berkelanjutan.

Dinamika dalam tutupan lahan merupakan fenomena yang terus berubah secara global dan memiliki dampak yang signifikan terhadap ekologi, sosial, dan ekonomi. Perubahan tutupan lahan mencakup transformasi dari lahan alami, hutan, pertanian, dan lahan terbuka lainnya menjadi kawasan perkotaan, industri, atau infrastruktur manusia lainnya (Lasaiba, 2012; Lyu dkk., 2022). Dinamika ini tidak hanya terjadi secara lokal di suatu wilayah, tetapi juga menjadi perhatian global karena konsekuensi jangka panjangnya terhadap perubahan iklim, keanekaragaman hayati, dan keberlanjutan ekosistem di seluruh dunia (Yao dkk., 2022).

Tutupan lahan dan dinamikanya telah memainkan peran kunci dalam berbagai tantangan global. Perubahan tutupan lahan merupakan hasil dari berbagai faktor seperti urbanisasi yang cepat, pertumbuhan populasi, kebijakan pembangunan, dan perubahan iklim. Di banyak bagian dunia, laju perubahan tutupan lahan telah mengalami peningkatan yang pesat dalam beberapa dekade terakhir. Hal ini menyebabkan terjadinya hilangnya habitat alami, pengurangan luas lahan hijau, serta

terganggunya siklus air dan pola iklim secara keseluruhan (IPCC, 2019). Fenomena ini memiliki implikasi yang luas, tidak hanya pada tingkat lokal di mana perubahan tersebut terjadi, tetapi juga secara global melalui dampaknya terhadap ketersediaan sumber daya alam, keanekaragaman hayati, dan stabilitas lingkungan (OECD, 2018).

Data spasial tentang tutupan lahan merupakan kumpulan informasi yang mendetail tentang penggunaan lahan di suatu area tertentu dalam konteks geografis. Tutupan lahan mencakup berbagai jenis penggunaan lahan seperti vegetasi, area pemukiman, areal pertanian, hutan, area air, serta klasifikasi lainnya yang menggambarkan bagaimana area tersebut dimanfaatkan oleh manusia atau sebagai habitat alami (Bren d'Amour dkk., 2017).

Dalam pemantauan tutupan, penggunaan indeks vegetasi dapat membantu dalam mengekstraksi kelas vegetasi tertentu di suatu area. Salah satu indeks yang sering diterapkan dalam pemantauan vegetasi adalah NDVI (Ahmed, 2016). Penggunaan NDVI dalam analisis spasial tutupan lahan memungkinkan pemetaan yang lebih tepat terkait distribusi dan jenis vegetasi yang ada di suatu wilayah serta memungkinkan identifikasi pola spasial distribusi vegetasi (Gandhi, Parthiban, Thummalu, & Christy, 2015).

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) menjadi instrumen penting dalam analisis spasial yang memungkinkan untuk memahami secara spasial vegetasi di berbagai wilayah. Indeks ini didasarkan pada perbandingan antara reflektansi cahaya dalam dua rentang gelombang, yaitu cahaya merah dekat dan inframerah dekat, yang dapat memberikan informasi tentang tingkat keberadaan dan kebaikan vegetasi di suatu area (Wulandari, 2020). Analisis spasial yang menggabungkan tutupan lahan perkotaan dengan

ISSN 2337-7062 © 2023

This is an open access article under the CC-BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>). – see the front matter © 2023

*Email: lasaiba.dr@gmail.com

Submitted 06 September 2022, accepted 30 December 2023

NDVI adalah pendekatan yang penting dalam pemetaan dan pemahaman tentang tutupan lahan perkotaan serta dampaknya terhadap lingkungan serta memungkinkan untuk melacak dan memetakan pola vegetasi (Ibrahim, 2017). Dengan memahami pola NDVI yang terkait dengan tutupan lahan perkotaan, langkah-langkah konkret dapat diambil untuk menjaga keanekaragaman hayati dan keberlanjutan lingkungan di tengah pertumbuhan perkotaan yang pesat (Robinson dkk., 2017).

Analisis spasial tutupan lahan berbasis NDVI dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh merupakan metode yang sangat berguna dalam pemetaan dan pemantauan vegetasi serta tutupan lahan di seluruh dunia. Penginderaan jauh memanfaatkan citra satelit dan sensor lainnya untuk mengumpulkan data tentang permukaan bumi, termasuk informasi mengenai vegetasi (Tewabe & Fentahun, 2020). Teknologi penginderaan jauh memungkinkan para peneliti dan ilmuwan untuk melakukan pemantauan vegetasi dan tutupan lahan secara efisien dan secara terus-menerus dalam skala yang luas. Analisis spasial yang menggunakan NDVI dapat memberikan pemahaman yang mendalam tentang dinamika ekologi di suatu daerah (Karaburun, 2010; Wahab, Hall, & Jirström, 2018). Dengan demikian, penggunaan teknologi penginderaan jauh berbasis NDVI menjadi kunci dalam pemahaman dan perlindungan lingkungan serta manajemen lahan yang berkelanjutan.

Data Penginderaan Jauh memiliki banyak bidang aplikasi antara lain klasifikasi tutupan lahan, pengukuran kelembaban, pengelompokan jenis hutan, pengukuran kandungan air cair, vegetasi, dan lain lain (Gandhi dkk., 2015). Citra penginderaan jauh banyak telah digunakan dalam klasifikasi tutupan lahan mengingat kemampuannya untuk menangkap atribut fisik seperti bentuk dan tekstur (Li dkk., 2020; Rogan & Chen, 2004; Zhang dkk., 2017), menunjukkan tutupan vegetasi permukaan bumi (Gandhi dkk., 2015), metode yang efektif dalam mengklasifikasikan tutupan dari lahan (Blaschke, 2013; Li dkk., 2014).

Salah satu produk citra satelit yang menunjukkan kehijauan vegetasi penutup adalah *Normalized*

Difference Vegetation Index (NDVI) (Akinsanola & Babalola, 2016). Variasi antara infra merah tampak dan inframerah dekat (NIR) pada citra satelit yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi area dengan vegetasi yang signifikan dan fitur lainnya (Pantho, Ishmam, Hafiz, & Rahman, 2022).

Identifikasi parameter dilakukan dengan mengkorelasikan antara nilai NDVI dengan nilai-nilai yang diukur dari variabel (Huang, Tang, Hupy, Wang, & Shao, 2021). Penginderaan jauh satelit memungkinkan penghitungan NDVI secara global pada rentang interval temporal dan resolusi spasial yang bergantung pada karakteristik sensor dan orbit satelit, dengan hubungan terbalik umum antara resolusi temporal dan spasial (Robinson dkk., 2017).

2. METODE

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu spasial dengan menerapkan teknologi Penginderaan Jauh (PJ) menggunakan citra yang diekstraksi dari Landsat 8 OLI/TIRS dan diolah menggunakan program ENVI 5.3 dan ArcGIS 10.5. penelitian ini berlokasi di wilayah administratif Kota Ambon yang termasuk dalam citra satelit Landsat 8 OLI/TIRS Path 109 Row 63. Bahan dan alat yang digunakan meliputi Citra Landsat 8 OLI/TRIS Path 109 Row 63 untuk pembuatan Peta Nilai NDVI dan Peta Tingkat Kerapatan Vegetasi, data DEM untuk pembuatan peta lereng.

Proses pengolahan citra dalam menghitung *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dimulai dengan melakukan pemeriksaan kualitas citra untuk memastikan bahwa tidak ada gangguan signifikan seperti awan atau bayangan yang bisa mempengaruhi hasil perhitungan NDVI. Setelah itu, langkah koreksi radiometrik dan geometrik dilakukan untuk menghilangkan efek atmosfer serta distorsi spasial pada citra, memastikan keakuratan dan keandalan data yang digunakan dalam perhitungan NDVI. Kemudian, pemrosesan menggunakan band spektral merah dan inframerah.

Perhitungan NDVI dilakukan dengan mengaplikasikan rumus yang menggabungkan reflektansi inframerah dekat (NIR) dan reflektansi

dari band merah pada citra. Nilai NDVI yang dihasilkan biasanya berada dalam rentang -1 hingga 1 dan dapat disesuaikan skalanya sesuai kebutuhan analisis, misalnya, dalam memetakan nilai-nilai tertentu ke skala warna untuk visualisasi yang lebih baik. Selanjutnya, hasil NDVI divisualisasikan untuk mengidentifikasi wilayah dengan nilai tinggi (menunjukkan vegetasi yang sehat) dan nilai rendah atau negatif (menunjukkan minimnya vegetasi atau lahan non-vegetasi). Analisis lebih lanjut dapat dilakukan untuk memahami pola distribusi vegetasi.

Selanjutnya mengklasifikasi citra didasarkan pada kisaran *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) berbasis raster yang diinput menjadi beberapa kelas dengan interval tertentu di dalam raster output. Klasifikasi NDVI dilakukan dengan menginterpretasi data citra pada software ArcGIS 10.3 secara digital. Pengolahan data citra dan analisis menggunakan teknik penginderaan jauh (*remote sensing*). Klasifikasi NDVI memerlukan area sampel untuk diterapkan dalam klasifikasi keseluruhan dari citra kedalam kelas-kelas yang diinginkan. Kemudian melakukan *field checking* serta pengukuran beberapa titik yang dipilih dari setiap bentuk penutupan yang homogen. Selanjutnya Uji Ketelitian Interpretasi Citra yang berpengaruh terhadap besarnya tingkat kepercayaan yang dilakukan terhadap perolehan data.

Pengolahan citra dalam perhitungan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) adalah proses yang melibatkan beberapa tahapan yang krusial. Tahap awal melibatkan pemilihan citra satelit yang sesuai dan pemeriksaan kualitas citra untuk memastikan ketiadaan gangguan seperti awan atau bayangan yang bisa mempengaruhi hasil perhitungan NDVI. Langkah berikutnya adalah melakukan koreksi radiometrik dan geometrik untuk menghilangkan efek atmosfer serta distorsi spasial pada citra, memastikan keakuratan data yang digunakan. Setelah itu, menggunakan band spektral merah dan inframerah dari citra, NDVI dihitung dengan rumus standar, yang memerlukan reflektansi inframerah dekat (NIR) dan reflektansi band merah pada citra.

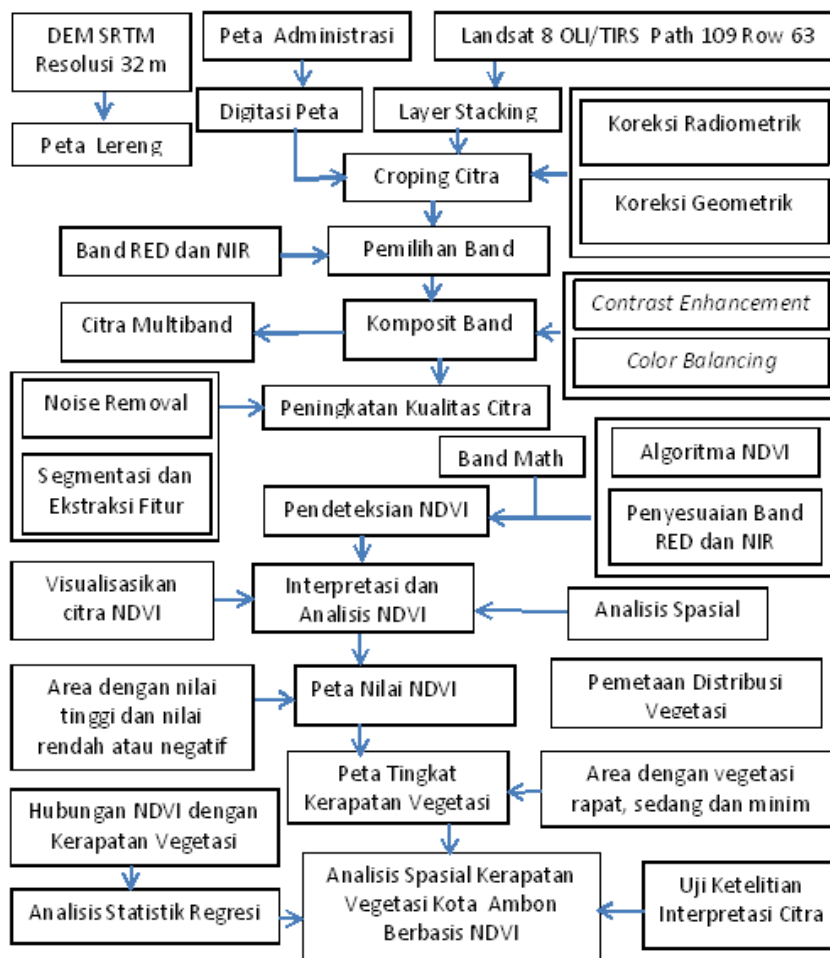
Selanjutnya, nilai NDVI yang dihasilkan, umumnya berada dalam rentang -1 hingga 1, dapat disesuaikan skalanya sesuai kebutuhan analisis, misalnya, dengan memetakan nilai-nilai tersebut ke skala warna untuk visualisasi yang lebih baik. Interpretasi hasil NDVI kemudian dilakukan dengan visualisasi citra untuk mengidentifikasi wilayah dengan nilai tinggi yang mengindikasikan vegetasi yang baik serta wilayah dengan nilai rendah atau negatif yang menunjukkan minimnya vegetasi atau lahan non-vegetasi. Validasi hasil akhir dengan data lapangan atau sumber informasi lainnya menjadi tahap terakhir dalam memastikan interpretasi yang akurat dari vegetasi di wilayah yang diamati. Tahapan-tahapan ini menggarisbawahi pentingnya pemilihan data yang akurat dan analisis yang teliti untuk mendapatkan pemahaman yang mendalam mengenai kondisi vegetasi suatu wilayah.

Tahap selanjutnya yaitu dengan analisis regresi antara nilai *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dan kerapatan vegetasi, nilai koefisien determinasi (R^2) memberikan gambaran sejauh mana variasi kerapatan vegetasi dapat dijelaskan oleh nilai NDVI yang diamati. Nilai R^2 ini memberikan informasi tentang seberapa baik variabilitas kerapatan vegetasi dapat dijelaskan oleh perubahan NDVI dalam model regresi yang digunakan. Jika nilai R^2 mendekati 1, itu menunjukkan bahwa NDVI secara kuat menjelaskan variasi kerapatan vegetasi di lokasi tersebut, sedangkan nilai yang lebih rendah menandakan bahwa NDVI mungkin tidak sepenuhnya menjelaskan variasi tersebut atau ada faktor lain yang juga mempengaruhi kerapatan vegetasi selain dari NDVI. Dalam konteks interpretasi, nilai R^2 yang tinggi dapat mengindikasikan keandalan penggunaan NDVI sebagai indikator yang kuat dalam memahami kerapatan vegetasi di area yang diteliti.

Tahap terakhir dalam proses ini adalah uji ketelitian interpretasi citra menggunakan matriks konfusi sebagai alat evaluasi yang mendetail untuk mengukur akurasi klasifikasi citra. Matriks konfusi membandingkan hasil klasifikasi piksel citra dengan keadaan sebenarnya dalam lapangan atau data referensi lainnya. Biasanya, matriks ini terdiri dari kolom dan baris yang mewakili kelas atau fitur

yang diklasifikasikan. Setiap sel di dalam matriks mencerminkan jumlah piksel yang diklasifikasikan dengan benar atau salah ke dalam kelas yang sesuai. Dari matriks konfusi, berbagai metrik evaluasi dapat dihitung, seperti produksi komisi kesalahan (*error of commission*), produksi kesalahan pengomisian (*error of omission*), *sensitivity*, *specificity*, dan akurasi keseluruhan. Akurasi keseluruhan menggambarkan persentase total piksel yang diklasifikasikan dengan benar dari

keseluruhan citra, memberikan gambaran mengenai seberapa andalnya interpretasi citra dalam mengenali kelas atau fitur yang diinginkan. Analisis matriks konfusi ini menjadi instrumen penting untuk memvalidasi hasil interpretasi citra, membantu memahami keakuratan klasifikasi, serta mengidentifikasi dan meminimalkan kesalahan yang mungkin terjadi dalam analisis spasial. Diagram aliran penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pendeteksian *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI)

Pendeteksian NDVI diterapkan agar dapat diketahui kelas kerapatan kanopi. NDVI adalah algoritma yang digunakan dalam memperkirakan indeks dari vegetasi berdasarkan citra. Nilai NDVI memiliki efektivitas untuk memprediksi sifat permukaan

ketika kanopi vegetasi tidak terlalu rapat dan tidak terlalu jarang. Algoritma NDVI yang digunakan yaitu (Huang dkk., 2021):

$$N_{DVI} = \frac{N_{IR} \cdot NIR - R_{ed} \cdot Red}{N_{IR} \cdot NIR + R_{ed} \cdot Red}$$

Keterangan:

NIR: band *near infrared* (band 5 pada Landsat 8 OLI/TIRS)

RED: band *red* (sinar merah yaitu band 4 pada Landsat 8 OLI/TIRS)

Untuk menghitung nilai NDVI pada *software* ENVI menggunakan menu *Band Math*. Selanjutnya melakukan proses penyesuaian band 5 near infrared dan band 4 red sehingga diperoleh peta NDVI. Menurut Pandey dan Pathak (2014), proses *Band Math* melibatkan operasi matematis sederhana, seperti pengurangan atau pembagian, untuk mengkombinasikan nilai piksel dari dua band yang berbeda. Dalam hal ini, perhitungan NDVI memanfaatkan nilai reflektansi dari band inframerah dekat (*near infrared*) dan band merah dari citra satelit atau sensor. Proses penyesuaian untuk menghitung NDVI melibatkan band 5 near infrared dan band 4 red dari citra satelit Landsat. Menurut Kobayashi, Tani, Wang, dan Sonobe (2020), band 5 merepresentasikan reflektansi inframerah dekat, sementara band 4 merepresentasikan reflektansi dari cahaya merah. Melalui *Band Math*, perhitungan NDVI dilakukan dengan rumus $(NIR - Red) / (NIR + Red)$, di mana nilai piksel dari band 5 (NIR) dan band 4 (Red) digunakan untuk menghitung nilai NDVI pada setiap piksel citra.

Hasil perhitungan NDVI ini membentuk peta NDVI yang menunjukkan distribusi spasial vegetasi. Menurut (Thenkabail dkk., 2009), peta NDVI ini memberikan informasi visual tentang kebaikan vegetasi, dengan nilai NDVI yang tinggi menunjukkan area dengan vegetasi yang lebih baik dan produktif, sementara nilai yang rendah menunjukkan minimnya vegetasi atau lahan yang tidak tertutup oleh tumbuhan. Peta NDVI ini berguna dalam menganalisis kondisi vegetasi, tutupan lahan perkotaan. Peta nilai NDVI Kota Ambon berdasarkan Gambar 2.



Gambar 2. Peta Nilai NDVI Kota Ambon

Kisaran nilai dari NDVI di lokasi penelitian menunjukkan nilai antara -1 hingga 1. Tingginya nilai dari NDVI memperlihatkan tingginya kerapatan dari vegetasi. Menurut Jia, Li, Liang, Wei, dan Yao (2017), rentang nilai NDVI dari -1 hingga 0 menunjukkan daerah non-vegetasi seperti air, batu, atau salju. Sebaliknya, rentang nilai dari 0 hingga 1 menunjukkan keberadaan vegetasi, di mana nilai yang lebih tinggi mengindikasikan kepadatan vegetasi yang lebih tinggi. Dalam penggunaannya, tingginya nilai NDVI memperlihatkan tingginya kerapatan dari vegetasi yang hadir di suatu daerah. Menurut Zhou dan Wang (2011), nilai NDVI yang tinggi mengindikasikan keberadaan vegetasi yang baik, padat, dan subur. Nilai NDVI mendekati 1 menunjukkan adanya daerah yang ditumbuhi oleh vegetasi yang sangat padat dan baik. Hal ini didukung oleh Du dkk. (2015), yang menyebutkan bahwa nilai NDVI mendekati 1 menunjukkan kondisi vegetasi yang sangat baik dan padat, sedangkan nilai yang rendah cenderung menunjukkan keberadaan lahan kosong atau minim vegetasi.

Berdasarkan Gambar 2, maka dapat dilihat nilai NDVI Kota Ambon mendapatkan nilai yang cukup tinggi dan rendah. Nilai NDVI terendah adalah -0.621818, sedangkan nilai NDVI tertinggi adalah 1. Hasil analisis statistik dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisis Nilai Statistik NDVI Berdasarkan Kerapatan Vegetasi di Kota Ambon

Nilai Statistik Kota Ambon				
	Min	Max	Mean	Stdev
8	-0.621818	1,000000	0,325301	0,158937

Sumber : Hasil Pengolahan Citra Landsat 2022.

Berdasarkan Tabel 1, nilai minimum dari NDVI di Kota Ambon adalah -0.621818, sementara nilai maksimumnya adalah 1,000000. Nilai rata-ratanya adalah 0,325301, dan standar deviasinya sebesar 0,158937. Interpretasi dari nilai-nilai statistik NDVI ini memberikan gambaran tentang kerapatan vegetasi di Kota Ambon. Nilai minimum yang negatif (-0.621818) menunjukkan keberadaan area non-vegetasi atau daerah dengan vegetasi yang kurang rapat. Menurut Weng, Lu, dan Schubring (2004), nilai NDVI yang negatif atau mendekati nol sering kali menggambarkan area non-vegetasi atau daerah yang memiliki vegetasi yang sangat minim atau kurang baik. Nilai negatif ini dapat terjadi pada permukaan yang terdiri dari air, bangunan, jalan,

atau area terbuka yang tidak tertutup oleh tumbuhan. Dalam konteks nilai NDVI yang negatif, pengamatan tersebut sering kali menunjukkan kekurangan vegetasi atau kurangnya kepadatan vegetasi di area tertentu. Seperti yang dikemukakan oleh Zhang, Migliavacca, Penuelas, dan Ju (2021), nilai NDVI yang rendah atau negatif mengindikasikan kemungkinan adanya penggundulan hutan, kerusakan lingkungan, atau perubahan tutupan lahan dari vegetasi ke non-vegetasi. Area dengan nilai NDVI negatif dapat juga mencerminkan kondisi tanah yang telanjang atau terpengaruh oleh faktor-faktor seperti kerusakan alam atau aktivitas manusia yang merusak vegetasi.

Di sisi lain, rata-rata NDVI sebesar 0,325301 menunjukkan bahwa secara keseluruhan, wilayah Kota Ambon cenderung memiliki kerapatan vegetasi yang sedang. Menurut Verbesselt, Zeileis, dan Herold (2012), rata-rata NDVI yang diperoleh dari sebuah daerah mencerminkan seberapa rapat vegetasi yang ada di wilayah tersebut secara keseluruhan. Dalam konteks ini, nilai rata-rata NDVI dapat memberikan gambaran umum tentang kepadatan vegetasi di suatu wilayah. Menurut Zhang dkk. (2021) nilai rata-rata yang sekitar tengah dari kisaran NDVI (antara 0 hingga 1) menggambarkan keberadaan vegetasi yang cukup, namun tidak dalam keadaan sangat padat maupun minim.

Standar deviasi (Stdev) yang relatif rendah (0,158937) di lokasi penelitian juga menunjukkan tingkat variasi yang lebih kecil dari nilai NDVI. Hal ini menandakan bahwa sebagian besar area di Kota Ambon memiliki tingkat kerapatan vegetasi yang serupa, meskipun ada variasi lokal yang mungkin terjadi dalam kerapatan vegetasi di beberapa wilayah tertentu.

3.1.1.1. Klasifikasi Citra Berdasarkan Nilai *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI)

Klasifikasi citra berdasarkan nilai *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) merupakan metode yang umum digunakan untuk memetakan dan mengklasifikasikan tutupan lahan. NDVI adalah alat penting dalam analisis citra satelit yang memungkinkan pemisahan antara area vegetasi dan non-vegetasi. Menurut Verbesselt dkk. (2012), klasifikasi menggunakan nilai NDVI memungkinkan pengelompokan piksel citra ke dalam kategori yang

berbeda berdasarkan intensitas vegetasi yang diukur oleh nilai indeks tersebut. Pada klasifikasi citra menggunakan NDVI, umumnya dilakukan proses *thresholding* untuk memisahkan area dengan vegetasi dan non-vegetasi. Mengutip pengamatan yang dilakukan oleh Wang, Moreno-Martínez, Muñoz-Marí, Campos-Taberner, dan Camps-Valls (2023), nilai NDVI digunakan sebagai acuan untuk menentukan batas antara area vegetasi dan non-vegetasi. Piksel dengan nilai NDVI di atas ambang batas tertentu akan diklasifikasikan sebagai vegetasi, sementara yang di bawah batas tersebut dikategorikan sebagai non-vegetasi.

Klasifikasi NDVI dalam penelitian ini dilakukan dengan menginterpretasikan citra berdasarkan software ArcGIS 10.3 secara digital. Pengolahan data citra dan analisis menggunakan teknik penginderaan jauh (*remote sensing*). Klasifikasi NDVI memerlukan area sampel untuk mengkategorikan citra kedalam kelas-kelas yang diinginkan. Mengacu pada tutupan lahan di lapangan, menghasilkan kisaran nilai NDVI yang tersaji pada Tabel 2.

Tabel 2. Kisaran nilai NDVI Kota Ambon

No	Kisaran Nilai NDVI	Klasifikasi Kerapatan
1	-0,62 s/d -0,32	Tidak Terinterpretasi
2	-0,32 s/d 0,32	Tidak Rapat
3	0,32 s/d 0,55	Cukup Rapat
4	0,55 s/d 0,78	Rapat
5	0,78 s/d 1	Sangat Rapat

Sumber: Hasil Pengolahan Citra Landsat, 2022

Dari Tabel 2, dihasilkan peta kerapatan dari vegetasi Kota Ambon yang bervariasi mulai dari sangat rapat, rapat, cukup rapat, hingga tidak rapat. Tabel luas kerapatan vegetasi yang terdapat pada Kota Ambon tahun 2022 (Tabel 3).

Tabel 3. Luas Area Kerapatan Vegetasi di Kota Ambon Tahun 2022

Nilai NDVI	Kerapatan Vegetasi	Luas (Ha)	(%)
-0.62 - -0.32	Tidak Terinterpretasi (Awan)	302.68	0.9
-0.32 - 0.32	Tidak Rapat	716.33	2.7
0.32 - 0.55	Cukup Rapat	1367.67	4.2
0.55 - 0.78	Rapat	3154.70	9.7
0.78 - 1	Sangat Rapat	27026.43	83.0
Total		32567.81	100

Sumber: Hasil Pengolahan Citra Landsat, 2022

Untuk lebih jelasnya, berikut merupakan Peta Tingkat dari kerapatan vegetasi Kota Ambon tahun 2022 yang terlihat Gambar 3.



Gambar 3. Peta Tingkat Kerapatan Vegetasi di Kota Ambon Tahun 2022.

a) Tingkat Kerapatan Vegetasi Kota Ambon Tahun 2022

Berdasarkan dari hasil transformasi NDVI citra Landsat 8 OLI/TIRS tahun 2022 untuk wilayah Kota Ambon memiliki nilai NDVI mulai dari $-0.62 - 1$. Kota Ambon memiliki kerapatan kerapatan dari vegetasi, cukup bervariasi mulai dari kerapatan tidak rapat, kerapatan cukup rapat, kerapatan rapat, hingga kerapatan sangat rapat. Di wilayah penelitian banyak di dominasi kerapatan sangat rapat dengan nilai NDVI $0.78 - 1$. Kondisi ini dikarenakan di daerah penelitian masih banyak terdapat tutupan vegetasi berupa hutan, pertanian, Pertanian dibandingkan dengan lahan terbangun. Berikut sebaran kelas dari kerapatan vegetasi Kota Ambon.

b) Tingkat Kerapatan Tidak Terinterpretasi (Awan)

Tingkat kerapatan tidak terinterpretasi (awan) di Kota Ambon memiliki luasan 302,68 Ha atau sekitar 0.9% dari wilayah Kota Ambon. Tingkat kerapatan ini memiliki rentang nilai NDVI $-0.62 - -0.32$. Hasil dari interpretasi citra didapatkan tutupan lahan tingkat kerapatan tidak bervegetasi adalah berupa awan. Sehingga mengakibatkan wilayah di bawah awan tersebut tidak dapat untuk diinterpretasi. Tingkat kerapatan ini paling banyak terdapat di Kecamatan Teluk Ambon, Kecamatan Sirimau, dan Kecamatan Nusaniwe. Sedangkan untuk Kecamatan di Teluk Ambon Baguala dan Leitimur Selatan tidak terdapat tutupan awan.

c) Tingkat Kerapatan Tidak Rapat

Tingkat kerapatan tidak rapat di wilayah penelitian memiliki luasan 716.33 Ha atau sekitar 2.7% dari wilayah Kota Ambon. Tingkat kerapatan ini memiliki nilai NDVI $-0.32 - 0.32$. Hasil dari interpretasi citra dan ground check di lapangan didapatkan tutupan lahan tingkat kerapatan tidak rapat adalah berupa pemukiman, lahan kosong, jalan, dan bangunan.

Tingkat kerapatan ini paling banyak ditemukan pada Kecamatan Sirimau, dimana merupakan pusat berbagai aktivitas di Kota Ambon. Tingkat kerapatan ini juga banyak ditemukan Kecamatan Teluk Ambon, Teluk Ambon Baguala, dan Nusaniwe. Tingkat kerapatan tidak rapat paling rendah ditemukan di Kecamatan Leitimur Selatan.

d) Tingkat Kerapatan Cukup Rapat

Tingkat kerapatan cukup rapat di wilayah penelitian memiliki luasan 1367 Ha atau sekitar 4.2% dari wilayah Kota Ambon. Tingkat kerapatan ini memiliki nilai NDVI $0.32 - 0.55$. Berdasarkan hasil interpretasi citra dan *ground check* di lapangan didapatkan tutupan lahan tingkat kerapatan cukup rapat adalah berupa pemukiman, lapangan, dan padang rumput yang dimana jumlah vegetasinya lebih jarang dan pendek. Tingkat kerapatan cukup rapat ini ditemukan menyebar di wilayah Kota Ambon. Tingkat kerapatan ini paling banyak ditemukan di Kecamatan Sirimau. Tingkat kerapatan ini juga banyak ditemukan kecamatan Teluk Ambon Baguala, Kecamatan Kecamatan Teluk Ambon, dan Kecamatan Nusaniwe. Tingkat kerapatan cukup rapat paling rendah ditemukan pada Kecamatan Leitimur Selatan. Hal ini disebabkan di Kecamatan Leitimur Selatan penutupan lahannya lebih didominasi oleh hutan.

e) Tingkat Kerapatan Rapat

Tingkat kerapatan rapat di wilayah penelitian memiliki luasan 3154.70 Ha atau sekitar 9.7% dari wilayah Kota Ambon. Tingkat kerapatan ini memiliki nilai NDVI $0.55 - 0.78$. Hasil dari interpretasi pada citra dan ground check di lapangan didapatkan tutupan lahan tingkat kerapatan rapat adalah berupa semak belukar, Pertanian dan pemukiman yang dekat dengan hutan. Tingkat kerapatan rapat ini paling banyak ditemukan pada Kecamatan Teluk Ambon karena disana banyak ditemukan tutupan lahan berupa Pertanian campuran dan Pertanian

lahan kering. Tingkat kerapatan ini juga banyak ditemukan kecamatan Nusaniwe, Kecamatan Teluk Ambon Baguala, dan Kecamatan Sirimau. Tingkat kerapatan ini paling sedikit ditemukan pada Kecamatan Leitimur Selatan karena penutupan lahan di sana lebih didominasi oleh penutupan hutan.

f) Tingkat Sangat Rapat

Tingkat kerapatan sangat rapat di wilayah penelitian memiliki luasan 27.026,43 Ha atau sekitar 83% dari wilayah Kota Ambon. Tingkat kerapatan ini memiliki nilai NDVI 0.78 - 1. Berdasarkan hasil interpretasi citra dan *ground check* di lapangan didapatkan tutupan lahan tingkat kerapatan sangat rapat adalah berupa hutan, pertanian, dan semak belukar yang dimana jumlah vegetasinya lebih banyak dibandingkan dengan pemukiman. Tingkat kerapatan sangat rapat ini ditemukan menyebar di wilayah pada Kecamatan Teluk Ambon karena disana banyak ditemukan tutupan lahan berupa hutan kering sekunder dan Pertanian lahan kering campur.

Tingkat kerapatan ini juga banyak ditemukan pada Kecamatan Teluk Ambon Baguala, Kecamatan Leitimur Selatan dan Kecamatan Nusaniwe. Tingkat kerapatan sangat rapat paling rendah ditemukan di Kecamatan Sirimau disebabkan penutupan lahan di Kecamatan Sirimau lebih didominasi oleh Pemukiman.

3.1.2. Hubungan NDVI dengan Kerapatan Vegetasi

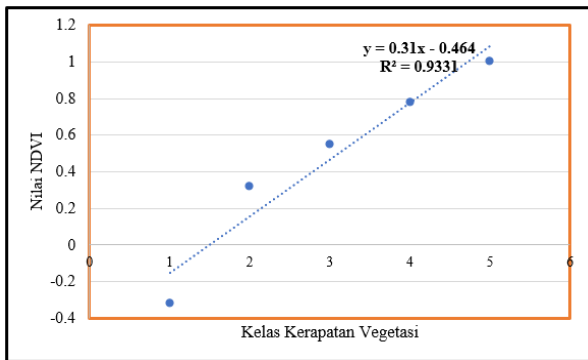
Hubungan antara nilai NDVI dan kerapatan vegetasi sering dijelaskan melalui persamaan regresi. Persamaan regresi ini memungkinkan untuk memodelkan dan memahami korelasi antara nilai NDVI dan kepadatan vegetasi yang diamati. Menurut Xue dan Su (2017), persamaan regresi dapat membantu dalam memprediksi atau mengevaluasi tingkat kerapatan vegetasi berdasarkan nilai NDVI yang terukur. Persamaan regresi yang umum digunakan untuk menggambarkan hubungan antara NDVI dan kerapatan vegetasi adalah persamaan linear. Menurut Zhang dkk. (2021), persamaan regresi linear umumnya ditulis sebagai $Y = aX + b$, di mana Y mewakili kerapatan vegetasi, X adalah nilai NDVI, dan a serta b adalah koefisien dari persamaan tersebut. Dalam konteks ini, nilai a menggambarkan kecenderungan atau tingkat kenaikan kerapatan

vegetasi sesuai dengan kenaikan nilai NDVI, sedangkan nilai b merupakan intercept dari regresi, yang mewakili nilai kerapatan vegetasi saat NDVI adalah nol.

Dari hasil analisis regresi antara nilai NDVI dan kerapatan vegetasi, nilai koefisien determinasi (R^2) yang diperoleh sebesar 0.933 sehingga dapat dikatakan bahwa nilai NDVI dan kerapatan vegetasi memiliki hubungan yang kuat sebesar 93%. Menurut Huang, Wang, Dai, dan Han (2014), ini mengindikasikan proporsi variasi atau keberagaman dalam data kerapatan vegetasi yang dapat dijelaskan oleh nilai NDVI. Dalam konteks ini, nilai R^2 sebesar 0.933 menunjukkan bahwa sekitar 93.3% variasi dalam kerapatan vegetasi dapat dijelaskan oleh variasi dalam nilai NDVI yang diamati. Penggunaan nilai R^2 ini penting untuk mengevaluasi kecocokan model regresi antara NDVI dan kerapatan vegetasi. Menurut Hair, Black, Babin, Anderson, dan Tatham (2013), semakin mendekati 1 nilai R^2 , semakin baik model regresi tersebut dalam menjelaskan hubungan antara variabel independen (NDVI) dengan variabel dependen (kerapatan vegetasi). Dengan nilai R^2 sebesar 0.933, dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan yang kuat antara NDVI dan kerapatan vegetasi di wilayah yang diamati.

Hubungan yang kuat antara NDVI dan kerapatan vegetasi dikarenakan kondisi kerapatan vegetasi pada bulan Maret dan April mempunyai kesamaan sehingga tidak mempunyai perbedaan yang signifikan antara nilai NDVI dengan hasil di lapangan. Selain itu, waktu perekaman data citra dan pengambilan validasi data di lapangan tidak terlampau jauh yakni data citra perekaman bulan Maret 2022, dengan data pengambilan lapangan diambil pada bulan April 2022.

Berdasarkan Gambar 4 diperoleh persamaan regresi $y = 0.31x - 0.464$, hasil tersebut menunjukkan adanya korelasi positif (berbanding lurus) antara nilai NDVI kerapatan vegetasi dan tingkat kerapatan yang ditunjukkan dengan tanda positif di depan koefisien regresi. Nilai koefisien korelasi yang mendekati minus 1 (-1) atau plus 1 (+1) memiliki hubungan variabel sempurna negatif ataupun sempurna positif.



Gambar 4. Hasil Analisis Korelasi Regresi Nilai NDVI dengan Tingkat Kerapatan Vegetasi di Kota Ambon Tahun 2020

3.1.3. Uji Ketelitian Interpretasi Citra

Dalam penggunaan data penginderaan jauh, uji ketelitian sangat penting untuk memvalidasi hasil interpretasi. Hal ini penting bagi peneliti, baik yang memproses data maupun peneliti lain yang menggunakan data tersebut. Validasi data dan hasil interpretasi menjadi langkah kritis sebelum mengambil langkah lanjutan dalam analisis. Menurut Foody (2002), validasi adalah proses yang penting untuk menilai sejauh mana hasil interpretasi dari data penginderaan jauh tersebut dapat dipercaya dan berguna.

Proses validasi dalam analisis data penginderaan jauh memberikan pemahaman tentang seberapa akurat hasil interpretasi tersebut. Menurut Wulder dkk. (2016), validasi membantu mengukur tingkat ketepatan interpretasi serta memperoleh informasi tentang keandalan hasil yang dihasilkan oleh analisis citra. Langkah ini sangat penting untuk memastikan bahwa informasi yang diambil dari analisis data penginderaan jauh dapat diandalkan dan bermanfaat untuk tujuan penelitian lebih lanjut.

Uji ketelitian dalam analisis citra dalam penelitian menggunakan matriks konfusi. Matriks konfusi merupakan alat penting yang memberikan informasi tentang seberapa baik kelas-kelas citra yang telah diklasifikasikan sesuai dengan kelas-kelas sebenarnya (Congalton, 1991; Mather & Tso, 2016). Matriks konfusi juga memberikan gambaran yang jelas tentang kebenaran klasifikasi dan kecenderungan kesalahan yang terjadi pada setiap kelas yang diinterpretasi (Foody, 2002; Kamusoko, 2021). Evaluasi menggunakan matriks konfusi

membantu dalam mengevaluasi performa klasifikasi, mengidentifikasi kelas yang cenderung salah diklasifikasikan, serta menentukan area di mana klasifikasi memerlukan peningkatan (Congalton & Green, 2019). Tabel 4 adalah hasil uji akurasi kerapatan vegetasi pada Kota Ambon Tahun 2022.

Tabel 4. Matrik Konfusi Uji Ketelitian Hasil Interpretasi dan Pemetaan

Kerapatan	TR	CR	R	SR	Total	Acc	Com
Persen							
TR	10	-	1	1	8	83	17
CR	-	6	-	-	6	100	0
R	-	-	9	-	9	100	0
SR	-	-	-	7	7	100	0
Total	10	6	10	8	34		
<i>P. acc</i>	100	100	90	87.5			
<i>Oberror</i>	0%	0%	10	12.5			
<i>Ov acc</i>	94.1						

Sumber : Hasil Pengolahan Data, 2022

Keterangan:

TR= Tidak Rapat, CR= Cukup Rapat, R= Rapat, SR= Sangat Rapat

Berdasarkan Tabel 4, yang menyajikan nilai *overall accuracy* interpretasi citra sebesar 94.1%, diketahui bahwa nilai *overall accuracy* tersebut melampaui batas atas toleransi yang ditetapkan, yaitu 80%. Ketika *overall accuracy* mencapai atau melebihi batas atas toleransi yang ditetapkan, hal ini menunjukkan bahwa interpretasi citra telah memenuhi standar kualitas yang diharapkan (Congalton & Green, 2019).

Analisis Vegetasi Indeks Kepadatan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) adalah salah satu alat yang penting dalam pemantauan vegetasi dan lingkungan. NDVI mengukur kebaikan vegetasi dengan memanfaatkan perbedaan penyerapan cahaya pada panjang gelombang yang berbeda oleh klorofil dalam tanaman. Menurut Singgalen (2023), NDVI merupakan indikator yang berguna dalam mengevaluasi dinamika musiman dan perubahan jangka panjang dalam vegetasi. Data NDVI sering digunakan dalam pemetaan perubahan lahan, pemantauan kekeringan, dan analisis perubahan tutupan lahan (Sandholt, Rasmussen, & Andersen, 2002). Penggunaan NDVI telah meluas dalam berbagai bidang, termasuk pertanian, konservasi alam, pemetaan perubahan lahan, dan pemantauan

kekeringan (Tagesson dkk., 2018).

NDVI juga digunakan dalam mengevaluasi respons vegetasi terhadap perubahan iklim dan aktivitas manusia. Studi oleh Izah, Shafarani, Afrianto, dan Permana (2023), menunjukkan bahwa NDVI dapat memberikan informasi yang berharga dalam memahami dampak perubahan iklim terhadap kebaikan ekosistem. Menurut Ahmadian, Ghasemi, Wigneron, dan Zölitz (2016), NDVI dapat digunakan untuk mengidentifikasi daerah-daerah yang rentan terhadap perubahan iklim dan aktivitas manusia. Analisis NDVI memungkinkan untuk memantau vegetasi dengan resolusi spasial yang tinggi dan dapat digunakan untuk mengidentifikasi daerah-daerah yang rentan terhadap perubahan lingkungan (Deng, Wu, He, & Shao, 2022). Dengan menganalisis perubahan NDVI dari waktu ke waktu, para peneliti dapat memahami dampak perubahan lingkungan terhadap kebaikan ekosistem dan biodiversitas.

Selain itu, NDVI telah menjadi alat yang penting dalam pemantauan pertanian dan produksi tanaman. Menurut Sun dkk. (2015), NDVI dapat membantu dalam memprediksi hasil pertanian dan mengidentifikasi area yang memiliki potensi produktivitas tanaman yang tinggi. Menurut Zhang dkk. (2010), NDVI adalah alat yang berharga dalam mengidentifikasi area-area dengan produktivitas tanaman yang tinggi dan memantau kondisi pertanian secara efisien. Selain itu, informasi NDVI juga digunakan dalam pemantauan produksi tanaman dan prediksi hasil pertanian. Analisis NDVI dapat memberikan informasi yang berharga kepada petani dan pengelola pertanian untuk mengoptimalkan produksi tanaman dengan mengidentifikasi area-area yang memerlukan perhatian lebih lanjut dalam manajemen lahan.

Dalam konteks konservasi alam, NDVI juga berperan dalam pemantauan keanekaragaman hayati dan habitat satwa liar. Pemanfaatan NDVI dalam pemantauan habitat telah memungkinkan identifikasi perubahan tutupan lahan yang berdampak pada ekosistem tempat hidupnya satwa liar (Palumbo dkk., 2017). Dengan menggabungkan data NDVI dengan informasi lainnya, para peneliti dapat merancang strategi konservasi yang lebih efektif untuk melestarikan keanekaragaman hayati.

Penerapan teknologi yang melibatkan analisis NDVI telah membuka pintu untuk pemahaman yang lebih baik tentang dinamika lingkungan. Menurut Tian dkk. (2015), pemanfaatan NDVI dalam penginderaan jauh memungkinkan untuk memantau perubahan vegetasi dengan resolusi spasial yang tinggi, memberikan kontribusi besar dalam pemahaman terhadap dinamika ekologi global. Dengan menggunakan teknologi citra satelit, pengukuran NDVI secara spasial memungkinkan pemantauan secara luas terhadap tutupan lahan (Karthikeyan, Chawla, & Mishra, 2020). Integrasi data NDVI dengan teknologi pemetaan modern telah memungkinkan peningkatan pemahaman terhadap kompleksitas lingkungan di seluruh dunia.

Analisis Index NDVI juga penting dalam memahami dinamika lahan perkotaan. Menurut Jiang, Huete, Didan, dan Miura (2008), NDVI merupakan indikator sensitif dalam menentukan kepadatan dan kondisi vegetasi. Analisis NDVI ini memberikan gambaran yang jelas tentang distribusi vegetasi di daerah perkotaan (Weng, 2012). Parameter NDVI memungkinkan pemantauan yang efektif terhadap perubahan lahan, seperti peningkatan urbanisasi dan penurunan lahan terbuka hijau (Zhou & Wang, 2011). Menurut Shahtahmassebi dkk. (2021), dalam mengevaluasi perubahan tutupan lahan perkotaan, nilai NDVI yang tinggi menunjukkan adanya vegetasi yang baik, sedangkan nilai yang rendah mengindikasikan minimnya vegetasi atau kepadatan rendah. Analisis ini dapat mengidentifikasi perkembangan urbanisasi yang cepat dan perubahan pola penggunaan lahan (Seto, Güneralp, & Hutyrá, 2012).

Namun, analisis NDVI untuk tutupan lahan perkotaan juga memiliki beberapa keterbatasan. Menurut Diem dkk. (2024), nilai NDVI dapat dipengaruhi oleh faktor non-vegetasi, seperti kontaminasi atmosfer, kelembaban tanah, dan kondisi cuaca. Interpretasi yang tepat dari nilai NDVI juga memerlukan informasi tambahan terkait dengan lingkungan fisik dan sosial yang relevan (Ma & Xu, 2010). Oleh karena itu, pendekatan gabungan dengan data lain, seperti data spasial tambahan atau informasi lapangan, seringkali diperlukan untuk analisis yang lebih akurat.

4. KESIMPULAN

Dari analisis NDVI yang dilakukan terhadap Kota Ambon pada tahun 2022, dapat disimpulkan bahwa teknologi pemantauan vegetasi menggunakan NDVI memberikan gambaran yang komprehensif tentang distribusi dan kerapatan vegetasi di wilayah tersebut. Variasi nilai NDVI yang ditemukan, mencerminkan keberagaman kondisi vegetasi dari area yang sangat rapat hingga area yang minim vegetasi. Hal ini merupakan indikasi penting bagi perencanaan kota dan tata ruang, karena informasi ini dapat menjadi landasan untuk pengambilan keputusan terkait dengan pelestarian lingkungan, pengembangan kawasan hijau, dan pengelolaan sumber daya alam. Identifikasi daerah dengan kerapatan vegetasi tinggi dapat menjadi acuan dalam menjaga keberlanjutan lingkungan, sementara daerah dengan vegetasi minim dapat menjadi fokus perencanaan untuk pengembangan kawasan terbuka hijau, upaya penanaman pohon, atau restorasi lingkungan.

Penggunaan NDVI dalam analisis lingkungan kota juga memberikan manfaat dalam merencanakan penggunaan lahan yang lebih efisien dan berkelanjutan. Informasi yang diperoleh dari analisis NDVI dapat membantu otoritas kota dalam menentukan lokasi yang cocok untuk pembangunan, memperhitungkan ketersediaan ruang terbuka hijau, dan menjaga keseimbangan antara area bercorak perkotaan dengan area terbuka yang diperlukan untuk menjaga kualitas lingkungan dan kesejahteraan masyarakat. Pemahaman yang lebih mendalam tentang distribusi vegetasi juga dapat mendukung upaya mitigasi terhadap perubahan iklim, dengan pengembangan ruang terbuka hijau yang strategis untuk menyerap karbon dan menjaga keberlanjutan lingkungan kota dalam jangka panjang. Dengan demikian, analisis NDVI memberikan dasar yang kuat untuk mengarahkan kebijakan perencanaan kota yang berkelanjutan dan adaptif terhadap perubahan lingkungan.

5. DAFTAR PUSTAKA

Ahmadian, N., Ghasemi, S., Wigneron, J.-P., & Zölitz, R. (2016). Comprehensive Study of the Biophysical Parameters of Agricultural

Crops based on Assessing Landsat 8 OLI and Landsat 7 ETM+ Vegetation Indices. *GIScience & Remote Sensing*, 53(3), 337-359. Doi:10.1080/15481603.2016.1155789

Ahmed, N. (2016). Application of NDVI in Vegetation Monitoring Using GIS and Remote Sensing in Northern Ethiopian Highlands. *Abyssinia Journal of Science and Technology*, 1(1), 12-17.

Akinsanola, A. A., & Babalola, O. S. (2016). Change Detection in Land Surface Temperature and Land Use Land Cover over Lagos Metropolis, Nigeria. *Journal of Remote Sensing & GIS*, 5(3), 1-7. Doi:10.4172/2469-4134.1000171

Blaschke, T. (2013). *Object Based Image Analysis: A New Paradigm in Remote Sensing*. Paper presented at the ASPRS Annual Conference, March, Baltimore, Maryland.

Bren d'Amour, C., Reitsma, F., Baiocchi, G., Barthel, S., Güneralp, B., Erb, K.-H., . . . Seto, K. C. (2017). Future Urban Land Expansion and Implications for Global Croplands. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(34), 8939-8944. Doi:10.1073/pnas.1606036114

Congalton, R. G. (1991). A Review of Assessing The Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. *Remote Sensing of Environment*, 37(1), 35-46. Doi:[https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90048-B](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-B)

Congalton, R. G., & Green, K. (2019). *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices, Third Edition (3rd ed.)*. Boca Raton: CRC Press.

Crooks, A., Pfoser, D., Jenkins, A., Croitoru, A., Stefanidis, A., Smith, D., . . . Lamprianidis, G. (2015). Crowdsourcing Urban Form and Function. *International Journal of Geographical Information Science*, 29(5), 720-741. Doi:10.1080/13658816.2014.977905

Deng, X., Wu, L., He, C., & Shao, H. (2022). Study on Spatiotemporal Variation Pattern of Vegetation Coverage on Qinghai-Tibet Plateau and the Analysis of Its Climate Driving Factors. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(14), 8836. Doi:10.3390/ijerph19148836

- Diem, P. K., Nguyen, C. T., Diem, N. K., Diep, N. T. H., Thao, P. T. B., Hong, T. G., & Phan, T. N. (2024). Remote Sensing for Urban Heat Island Research: Progress, Current Issues, and Perspectives. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 33, 101081. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.101081>
- Du, J., Shu, J., Yin, J., Yuan, X., Jiaerheng, A., Xiong, S., . . . Liu, W. (2015). Analysis on Spatio-Temporal Trends and Drivers in Vegetation Growth During Recent Decades in Xinjiang, China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 38, 216-228. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.01.006>
- Foody, G. M. (2002). Status of Land Cover Classification Accuracy Assessment. *Remote Sensing of Environment*, 80(1), 185-201. Doi:[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00295-4](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00295-4)
- Gandhi, G. M., Parthiban, S., Thummalu, N., & Christy, A. (2015). Ndvi: Vegetation Change Detection Using Remote Sensing and Gis – A Case Study of Vellore District. *Procedia Computer Science*, 57, 1199-1210. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.415>
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E., & Tatham, R. L. (2013). *Multivariate Data Analysis*. London: Pearson.
- Han, W., Zhang, X., & Zheng, X. (2020). Land Use Regulation and Urban Land Value: Evidence from China. *Land Use Policy*, 92, 104432. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104432>
- Hersperger, A. M., Oliveira, E., Pagliarin, S., Palka, G., Verburg, P., Bolliger, J., & Grădinaru, S. (2018). Urban Land-Use Change: The Role of Strategic Spatial Planning. *Global Environmental Change*, 51, 32-42. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.05.001>
- Huang, J., Wang, H., Dai, Q., & Han, D. (2014). Analysis of NDVI Data for Crop Identification and Yield Estimation. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7(11), 4374-4384. Doi:[10.1109/JSTARS.2014.2334332](https://doi.org/10.1109/JSTARS.2014.2334332)
- 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. Doi:[10.1007/s11676-020-01155-1](https://doi.org/10.1007/s11676-020-01155-1)
- Ibrahim, G. R. F. (2017). Urban Land Use Land Cover Changes and Their Effect on Land Surface Temperature: Case Study Using Dohuk City in the Kurdistan Region of Iraq. *Climate*, 5(1), 13. Doi:[10.3390/cli5010013](https://doi.org/10.3390/cli5010013)
- IPCC. (2019). *Climate Change and Land*. Retrieved from <https://www.ipcc.ch/srccl/>
- 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. Doi:<https://doi.org/10.36456/jpb.v4i1.7533>
- Jia, K., Li, Y., Liang, S., Wei, X., & Yao, Y. (2017). Combining Estimation of Green Vegetation Fraction in an Arid Region from Landsat 7 ETM+ Data. *Remote Sensing*, 9(11). Retrieved from Doi:[10.3390/rs9111121](https://doi.org/10.3390/rs9111121)
- Jiang, S., Alves, A., Rodrigues, F., Ferreira, J., & Pereira, F. C. (2015). Mining Point-of-Interest Data From Social Networks for Urban Land Use Classification and Disaggregation. *Computers, Environment and Urban Systems*, 53, 36-46. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2014.12.001>
- Jiang, Z., Huete, A. R., Didan, K., & Miura, T. (2008). Development of a Two-Band Enhanced Vegetation Index Without A Blue Band. *Remote Sensing of Environment*, 112(10), 3833-3845. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.06.006>
- Kamusoko, C. (2021). *Optical and SAR Remote Sensing of Urban Areas: A Practical Guide*. Jerman: Springer Nature.
- Karaburun, A. (2010). Estimation of C Factor for Soil Erosion Modeling Using NDVI in Buyukcekmece Watershed. *Ozean Journal of applied sciences*, 3(1), 77-85.
- Karthikeyan, L., Chawla, I., & Mishra, A. K. (2020). A Review of Remote Sensing Applications in Agriculture For Food Security: Crop Growth

- and Yield, Irrigation, and Crop Losses. *Journal of Hydrology*, 586, 124905. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124905>
- Kobayashi, N., Tani, H., Wang, X., & Sonobe, R. (2020). Crop Classification Using Spectral Indices Derived from Sentinel-2a Imagery. *Journal of Information and Telecommunication*, 4(1), 67-90. Doi:10.1080/24751839.2019.1694765
- Lasaiba, M. A. (2012). *Perubahan Penggunaan Lahan di Kota Ambon Tahun 2002-2009*. (Disertasi), Universitas Gadjah Mada. Retrieved from <http://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/54572>
- Li, L., Shen, G., Zhao, C., Moscibroda, T., Lin, J.-H., & Zhao, F. (2014). *Experiencing and Handling The Diversity in Data Density and Environmental Locality in an Indoor Positioning Service*. Paper presented at the Proceedings of the 20th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking.
- Li, W., Dong, R., Fu, H., Wang, J., Yu, L., & Gong, P. (2020). Integrating Google Earth Imagery With Landsat Data to Improve 30-M Resolution Land Cover Mapping. *Remote Sensing of Environment*, 237, 111563. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111563>
- Lyu, Y., Wang, M., Zou, Y., & Wu, C. (2022). Mapping Trade-Offs Among Urban Fringe Land Use Functions to Accurately Support Spatial Planning. *Science of The Total Environment*, 802, 149915. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149915>
- Ma, Y., & Xu, R. (2010). Remote Sensing Monitoring and Driving Force Analysis of Urban Expansion in Guangzhou City, China. *Habitat International*, 34(2), 228-235. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2009.09.007>
- Malinowski, R., Lewiński, S., Rybicki, M., Gromny, E., Jenerowicz, M., Krupiński, M., . . . Schauer, P. (2020). Automated Production of a Land Cover/Use Map of Europe Based on Sentinel-2 Imagery. *Remote Sensing*, 12(21), 3523. Doi:10.3390/rs12213523
- Mather, P., & Tso, B. (2016). *Classification Methods for Remotely Sensed Data*. Amerika Serikat: CRC press.
- OECD. (2018). Monitoring Land Cover Change. from Oecd <https://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/monitoring-land-cover-change.htm>
- Palumbo, I., Rose, R. A., Headley, R. M., Nackoney, J., Vodacek, A., & Wegmann, M. (2017). Building Capacity in Remote Sensing for Conservation: Present and Future Challenges. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 3(1), 21-29. Doi:<https://doi.org/10.1002/rse2.31>
- Pandey, J., & Pathak, D. (2014). *Remote Sensing and Digital Image Processing GNSS Remote Sensing* Vol. 22. *Geographic Information System* Retrieved from <http://www.springer.com/series/6477>
- Pantho, M. J., Ishmam, Z. S., Hafiz, A. M. I., & Rahman, M. M. (2022). *Ndvi: Detection of Vegetation Change Using Remote Sensing and Gis-a Study on Barishal City Corporation, Bangladesh*. Paper presented at the Proceedings of the 6th International Conference on Civil Engineering for Sustainable Development (ICCESD 2022), Khulna, Bangladesh.
- Robinson, N. P., Allred, B. W., Jones, M. O., Moreno, A., Kimball, J. S., Naugle, D. E., . . . Richardson, A. D. (2017). A Dynamic Landsat Derived Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Product for the Conterminous United States. *Remote Sensing*, 9(8). Retrieved from Doi:10.3390/rs9080863
- Rogan, J., & Chen, D. (2004). Remote Sensing Technology for Mapping and Monitoring Land-Cover and Land-Use Change. *Progress in Planning*, 61(4), 301-325. Doi:[https://doi.org/10.1016/S0305-9006\(03\)00066-7](https://doi.org/10.1016/S0305-9006(03)00066-7)
- Sandholt, I., Rasmussen, K., & Andersen, J. (2002). A Simple Interpretation of The Surface Temperature/Vegetation Index Space for Assessment of Surface Moisture Status. *Remote Sensing of Environment*, 79(2), 213-224. Doi:[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00274-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00274-7)

- Seto, K. C., Güneralp, B., & Hutyrá, L. R. (2012). Global Forecasts of Urban Expansion to 2030 and Direct Impacts on Biodiversity and Carbon Pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(40), 16083-16088. Doi:doi:10.1073/pnas.1211658109
- Shahtahmassebi, A. R., Li, C., Fan, Y., Wu, Y., Lin, Y., Gan, M., . . . Blackburn, G. A. (2021). Remote Sensing of Urban Green Spaces: A Review. *Urban Forestry & Urban Greening*, 57, 126946. Doi:https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126946
- Singgalen, Y. A. (2023). Implementasi Hyper Spectral of Remote Sensing untuk Analisis Kawasan Ekowisata Mangrove Potensial di Kecamatan Tobelo Timur Menggunakan NDVI, SAVI, dan EVI. *Journal of Information System Research (JOSH)*, 4(3), 928-935. Doi:https://doi.org/10.47065/josh.v4i3.3378
- Sun, W., Song, X., Mu, X., Gao, P., Wang, F., & Zhao, G. (2015). Spatiotemporal Vegetation Cover Variations Associated With Climate Change and Ecological Restoration in The Loess Plateau. *Agricultural and Forest Meteorology*, 209-210, 87-99. Doi:https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.05.002
- Tagesson, T., Horion, S., Nieto, H., Zaldo Fornies, V., Mendiguren González, G., Bulgin, C. E., . . . Fensholt, R. (2018). Disaggregation of SMOS Soil Moisture Over West Africa Using The Temperature and Vegetation Dryness Index based on SEVIRI Land Surface Parameters. *Remote Sensing of Environment*, 206, 424-441. Doi:https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.12.036
- Tewabe, D., & Fentahun, T. (2020). Assessing Land Use and Land Cover Change Detection Using Remote Sensing in The Lake Tana Basin, Northwest Ethiopia. *Cogent Environmental Science*, 6(1), 1778998. Doi:10.1080/23311843.2020.1778998
- Thenkabail, P. S., Biradar, C. M., Noojipady, P., Dheeravath, V., Li, Y., Velpuri, M., . . . Dutta, R. (2009). Global Irrigated Area Map (GIAM), Derived from Remote Sensing, for The End of The Last Millennium. *International Journal of Remote Sensing*, 30(14), 3679-3733. Doi:10.1080/01431160802698919
- Tian, F., Fensholt, R., Verbesselt, J., Grogan, K., Horion, S., & Wang, Y. (2015). Evaluating Temporal Consistency of Long-Term Global NDVI Datasets for Trend Analysis. *Remote Sensing of Environment*, 163, 326-340. Doi:https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.03.031
- Verbesselt, J., Zeileis, A., & Herold, M. (2012). Near Real-Time Disturbance Detection Using Satellite Image Time Series. *Remote Sensing of Environment*, 123, 98-108. Doi:https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.02.022
- Wahab, I., Hall, O., & Jirström, M. (2018). Remote Sensing of Yields: Application of UAV Imagery-Derived NDVI for Estimating Maize Vigor and Yields in Complex Farming Systems in Sub-Saharan Africa. *Drones*, 2(3). Retrieved from Doi:10.3390/drones2030028
- 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. Doi:https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2022.12.019
- Weng, Q. (2012). Remote Sensing of Impervious Surfaces in The Urban Areas: Requirements, Methods, and Trends. *Remote Sensing of Environment*, 117, 34-49. Doi:https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.02.030
- Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J. (2004). Estimation of Land Surface Temperature-Vegetation Abundance Relationship for Urban Heat Island Studies. *Remote Sensing of Environment*, 89(4), 467-483. Doi:https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005
- Wulandari, N. (2020). *Penggunaan Metode NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) dan Savi (Soil Adjusted Vegetation Index) untuk Mengetahui Ketersediaan Ruang Terbuka Hijau Terhadap Pemenuhan Kebutuhan Oksigen (Studi Kasus: Kota Yogyakarta)*. (Doctoral dissertation), Institut Teknologi Nasional Malang.

- Wulder, M. A., White, J. C., Loveland, T. R., Woodcock, C. E., Belward, A. S., Cohen, W. B., . . . Roy, D. P. (2016). The Global Landsat Archive: Status, Consolidation, and Direction. *Remote Sensing of Environment*, *185*, 271-283. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.11.032>
- Xue, J., & Su, B. (2017). Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications. *Journal of sensors*, *2017*. Doi:<https://doi.org/10.1155/2017/1353691>
- Yao, Y., Yan, X., Luo, P., Liang, Y., Ren, S., Hu, Y., . . . Guan, Q. (2022). Classifying Land-Use Patterns by Integrating Time-Series Electricity Data and High-Spatial Resolution Remote Sensing Imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *106*, 102664. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102664>
- Ye, C., Zhang, F., Mu, L., Gao, Y., & Liu, Y. (2020). Urban Function Recognition by Integrating Social Media and Street-Level Imagery. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, *48*(6), 1430-1444. Doi:[10.1177/2399808320935467](https://doi.org/10.1177/2399808320935467)
- Zhang, X., Du, S., & Wang, Q. (2017). Hierarchical Semantic Cognition for Urban Functional Zones With VHR Satellite Images and POI Data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *132*, 170-184. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.09.007>
- Zhang, X., Nan, Z., Sheng, Y., Zhao, L., Zhou, G., Yue, G., & Wu, J. (2010, 25-30 July 2010). *Analysis of Time-Series Modis 250m Vegetation Index Data for Vegetation Classification in The Wenquan Area Over The Qinghai-Tibet Plateau*. Paper presented at the 2010 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium.
- Zhang, Y., Migliavacca, M., Penuelas, J., & Ju, W. (2021). Advances in Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation Traits and Functions. *Remote Sensing of Environment*, *252*, 112121. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112121>
- Zhou, X., & Wang, Y.-C. (2011). Spatial–Temporal Dynamics of Urban Green Space in Response to Rapid Urbanization and Greening Policies. *Landscape and Urban Planning*, *100*(3), 268-277. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.12.013>