

**ANALISIS PERUBAHAN INDEKS KERAPATAN VEGETASI MANGROVE  
MENGUNAKAN ALGORITMA NORMALIZED DIFFERENCE  
VEGETATION INDEX (NDVI) DI PANTAI TIMUR SURABAYA BERBASIS  
SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (SIG)**

Muhammad I'zzuddiin<sup>\*)</sup>, Aldea Noor Alina, Melisa Amalia Mahardianti,  
Fahrul Yahya, Septa Erik Prabawa

Teknik Geomatika-Fakultas Teknik Universitas Dr. Soetomo  
Jl. Semolowaru, Menur Pumpungan, Kec. Sukolilo, Surabaya, Indonesia-60118 Telp./Faks: (031)  
5925970 Email : [muhammad.izzuddiin.3005@gmail.com](mailto:muhammad.izzuddiin.3005@gmail.com)

**ABSTRAK**

Kawasan Pantai Timur Surabaya adalah area yang terletak di sisi timur Kota Surabaya, Mangrove di kawasan ini memegang peran ekologis vital, termasuk menahan abrasi, menyediakan habitat bagi biota laut, dan melindungi pantai dari kerusakan. Dengan statusnya sebagai Kawasan Lindung Mangrove (KLM) yang ditetapkan oleh Peraturan Daerah Kota Surabaya, penting untuk secara berkala memantau dan menganalisis perubahan ekosistem ini. Penelitian ini memeriksa perubahan Indeks Kerapatan Vegetasi (NDVI) di Pantai Timur Surabaya dari tahun 2019 hingga 2023, menggunakan citra satelit *Landsat 8 Collection 2 Level 2* dan algoritma NDVI. Teknologi penginderaan jauh dipilih karena kemampuannya memberikan data spasial akurat tentang kondisi vegetasi, yang sangat penting untuk pengelolaan mangrove yang berkelanjutan. Selama periode studi, terjadi fluktuasi NDVI, dengan nilai puncak 0,314 pada tahun 2021 dan nilai terendah 0,297 pada tahun 2023. Validasi data dilakukan dengan membandingkan peta tutupan lahan dan NDVI yang diverifikasi di lapangan pada 21 titik sampel. Hasil validasi menunjukkan akurasi data sebesar 80,1% pada tahun 2019, meningkat menjadi 94,5% pada tahun 2020, dan menurun sedikit menjadi 89,7% pada tahun 2021. Uji akurasi *Cohen's Kappa* mencapai nilai sempurna 1, menunjukkan kesesuaian total antara peta NDVI dan tutupan lahan dengan verifikasi lapangan. Analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa, selama periode 2019 hingga 2023, total degradasi area mangrove terjadi di area seluas 166,56 hektar yang sebelumnya ditumbuhi mangrove jarang menjadi tidak bervegetasi. Selain itu, mangrove dengan kerapatan tinggi mengalami degradasi menjadi mangrove sedang di area seluas 275,01 hektar; menjadi jarang di 64,23 hektar; dan menjadi tidak bervegetasi di 29,80 hektar; dengan total luas area penelitian 5032 hektar. Temuan ini menekankan pentingnya pengelolaan dan konservasi yang berkelanjutan untuk melestarikan ekosistem mangrove di Pantai Timur Surabaya.

**Kata kunci:** Landsat 8, Mangrove, NDVI, Penginderaan Jauh, Pantai Surabaya Timur

**ABSTRACT**

*The East Surabaya Coast area is located on the eastern side of Surabaya City. Mangroves in this area play a vital ecological role, including preventing erosion, providing habitat for marine life, and protecting the coast from damage. Given its status as a Protected Mangrove Area (KLM) designated by the Surabaya City Regional Regulation, it is important to regularly monitor and analyze changes in this ecosystem. This research examines the changes in the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in the East Surabaya Coast from 2019 to 2023, using Landsat 8 Collection 2 Level 2 satellite imagery and NDVI algorithms. Remote sensing technology was chosen for its ability to provide accurate spatial data on vegetation conditions, which is crucial for sustainable mangrove management. During the study period, NDVI fluctuations occurred, with the peak value of 0.314 in 2021 and the lowest value of 0.297 in 2023. Data validation was conducted by comparing the land cover map and NDVI, verified in the field at 21 sample points. Validation results show an accuracy of 80.1% in 2019, increasing to 94.5% in 2020, and slightly decreasing to 89.7% in 2021. The Cohen's Kappa accuracy test reached a perfect value of 1, indicating total consistency between the NDVI map and land cover with field verification. Further analysis shows that, during the 2019 to 2023 period, total mangrove area degradation occurred over 166.56 hectares, transitioning from sparsely vegetated to unvegetated areas. Additionally, mangroves with high density degraded to medium density over an area of 275.01 hectares, to sparse in 64.23 hectares, and to unvegetated in 29.80 hectares, with a total study area of 5032 hectares. These findings emphasize the importance of sustainable management and conservation to preserve the mangrove ecosystem in East Surabaya Coast.*

**Keywords:** Landsat 8, Mangrove, NDVI, East Surabaya Coast, Remote Sensing.

<sup>\*)</sup>Penulis Utama, Penanggung Jawab

## I. Pendahuluan

### I.1 Latar Belakang

Kawasan Pantai Timur Surabaya merupakan salah satu kawasan yang mendapat perhatian khusus terkait dengan berkurangnya hutan mangrove di Surabaya. Kawasan ini memegang peran penting sebagai dampak dari pembangunan Kota Surabaya ke bagian timur, bertujuan untuk mengurangi atau menyebarkan konsentrasi kegiatan dari Pusat Kota Surabaya. Pengembangan Kawasan Surabaya Timur berpengaruh terhadap kawasan konservasi alam, yang diarahkan sebagai perlindungan pantai dari kerusakan dan sebagai ruang terbuka hijau dengan cara melestarikan hutan mangrove (Priscillia Harly O. P. dkk, 2013). Menurut Riwayati (2014), hutan mangrove memiliki fungsi ekologis sebagai penyedia makanan bagi biota laut, penahan abrasi pantai, gelombang pasang, dan tsunami, serta sebagai penyerap limbah dan pencegah intrusi air laut. Menurut Peraturan Daerah Kota Surabaya No. 8 Tahun 2018, ekosistem mangrove di Pantai Timur Surabaya (Pamurbaya) telah ditetapkan sebagai kawasan lindung mangrove (KLM). Menurut Badan Perencanaan Pembangunan Kota (Bappeko) Kota Surabaya Tahun 2016, persentase area Pamurbaya adalah 7,48%, yaitu 2.504 hektar dari luas kota Surabaya yang mencapai 33.451 hektar. Untuk mendukung pengelolaan mangrove, diperlukan data spasial dan informasi deskriptif kawasan mangrove. Menurut Susilo (2000), penginderaan jauh dapat dimanfaatkan dalam pemantauan vegetasi mangrove berdasarkan dua sifat penting: kandungan klorofil dan pertumbuhan mangrove di pesisir. Sifat optik klorofil sangat khas, dimana klorofil menyerap spektrum sinar merah dan memantulkan spektrum hijau dengan kuat. Salah satu data penginderaan jauh yang dapat digunakan untuk memantau mangrove adalah penggunaan citra satelit Landsat 8. Dalam penelitian ini, citra Landsat digunakan untuk menginventarisasi kawasan mangrove di Pantai Timur Surabaya dengan menggunakan algoritma NDVI, yang membutuhkan citra Landsat 8 band 4 (*red*) dan band 5 (*near-infrared*). Algoritma NDVI mempunyai rumus khusus berdasarkan data dari satelit tersebut. Citra satelit yang digunakan dalam skripsi ini adalah citra satelit *Landsat 8 Collection 2 Level 2 Science Product* dari USGS. Citra ini, yang merupakan peningkatan dari *Collection 2 Level 1*, memanfaatkan algoritma LaSRC (*Land Surface Reflectance Code*) untuk melakukan koreksi radiometrik dan atmosferik. Koreksi ini penting untuk menghilangkan pengaruh atmosfer dan memastikan konsistensi data reflektansi antar citra, yang mendukung analisis seperti perhitungan indeks vegetasi NDVI. Citra diambil antara Juni dan September untuk meminimalkan tutupan awan dan memaksimalkan kejelasan citra. Pengamatan mangrove dengan citra satelit mencakup perubahan luas dan kerapatan ekosistem mangrove, karena ini adalah salah satu aspek vegetasi yang paling mudah diidentifikasi melalui penginderaan jauh.

Dari citra tersebut, akan dibuat dua peta, yaitu peta NDVI dan peta tutupan lahan. Kemudian, akurasi data antara kedua peta tersebut akan diverifikasi. *Ground Truth* akan dilakukan untuk memastikan akurasi data secara langsung dan faktual. Uji akurasi kappa dilakukan pada 21 titik sampel *Ground Truth*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kerapatan mangrove, perubahan luas dan pola sebaran mangrove, dan pola perubahan tutupan lahan mangrove di Pantai Timur Surabaya.

### I.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana algoritma *Normalized Differenced Vegetation Index* (NDVI) dapat mengetahui kerapatan dan luas hutan mangrove di Pantai Timur Surabaya pada tahun 2019 - 2023?
2. Berapa perubahan luas hutan mangrove di Pantai Timur Surabaya dalam rentang waktu tahun 2019 - 2023?
3. Bagaimana pola perubahan tutupan lahan di Pantai Timur Surabaya dalam rentang waktu tahun 2019 - 2023?

### I.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui kerapatan vegetasi mangrove menggunakan algoritma *Normalized Differenced Vegetation Index* (NDVI) di mangrove Pantai Timur Surabaya pada tahun 2019 - 2023.
2. Mengetahui luas dan perubahan luas hutan mangrove di Pantai Timur Surabaya pada rentang waktu tahun 2019 - 2023.
3. Menganalisis dan memahami pola perubahan tutupan lahan di Pantai Timur Surabaya dalam rentang waktu tahun 2019 - 2023.

### I.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui kondisi serta distribusi wilayah hutan mangrove per kelurahan di Pantai Timur Surabaya tahun 2019 - 2023.
2. Diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kerapatan dan luas ekosistem mangrove didasarkan pada pengolahan citra, sehingga dapat dijadikan sebagai bahan referensi penelitian yang terkait dengan bidang pemetaan, konservasi dan pengembangan ekosistem mangrove di Pantai Timur Surabaya.
3. Dapat memberikan rekomendasi kepada pemerintah Kota Surabaya untuk kebijakan pengembangan Surabaya Timur, berdasarkan peta perubahan luas lahan mangrove dan pola sebaran mangrove tahun 2019 - 2023.

**I.5 Batasan Masalah**

Adapun batasan-batasan masalah pada penelitian ini antara lain yaitu:

1. Studi kasus di Pantai Timur Surabaya dilakukan berdasarkan lokasi kawasan konservasi mangrove yang ditetapkan dalam peta RTRWK Kota Surabaya.
2. Data citra satelit yang digunakan adalah pada rentang tahun 2019 - 2023.
3. Analisis kerapatan mangrove menggunakan algoritma NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) dan klasifikasi citra tutupan lahan menggunakan metode klasifikasi terbimbing.
4. Citra satelit yang digunakan adalah *Landsat 8 Collection 2 Level - 2 Science Products* yang sudah terkoreksi atmosferik dan radiometrik dengan algoritma *Land Surface Reflectance Code* (LaSRC).
5. Sistem Koordinat yang dipakai di penelitian ini adalah *Geographic Coordinate System* (GCS) menggunakan *Datum Horizontal* WGS 1984.

**II. Tinjauan Pustaka**

**II.1 Pantai Timur Surabaya**

Wilayah pesisir Kota Surabaya secara umum dapat dikelompokkan menjadi kawasan pesisir Utara dan Timur. Wilayah pesisir memiliki ekosistem yang dinamis dan mempunyai kekayaan habitat yang beragam di darat maupun di laut yang saling berinteraksi. Dinamika wilayah pesisir tergantung dari jenis pantai dan proses yang menyertainya. Selain itu, secara alami di wilayah pesisir sangat dipengaruhi oleh keberadaan ekosistem penyangga berupa terumbu karang dan kawasan hutan mangrove (Kusumaningrum, 2013).



**Gambar 1.** Lokasi Pantai Timur Surabaya.

Menurut Ecoton (1998) dalam Kusumaningrum (2013), secara fisik, ekosistem mangrove menjaga garis pantai agar tetap stabil, melindungi pantai dan tebing sungai, mencegah intrusi air garam ke darat, berfungsi sebagai perangkap zat pencemar dan limbah, serta sebagai kawasan penahan air. Menurut Badan Perencanaan Pembangunan Kota (Bappeko) Kota Surabaya tahun 2016, persentase area Pantai Timur Surabaya (Pamurbaya) adalah 7,48%.

Total luas 2.504 hektar dari luas kota Surabaya yang mencapai 33.451 hektar. Salah satu wilayah mangrove di Indonesia yang terindikasi mengalami kerusakan adalah di Kota Surabaya, tepatnya di area Pantai Timur Surabaya. Berdasarkan Peraturan Daerah Kota Surabaya Nomor 8 Tahun 2018, Pantai Timur Surabaya (Pamurbaya), yang terletak di daerah pesisir Kota Surabaya, telah ditetapkan sebagai kawasan lindung mangrove (Syamsu, 2018). Menurut Prasita (2019), dalam mengatasi masalah pemanasan global, peran Kawasan Lindung Mangrove (KLM) di Pantai Timur Surabaya (Pamurbaya) sangat penting karena daerah tersebut merupakan satu-satunya ekosistem mangrove yang luas dan tersisa di Surabaya.

Terlebih lagi, kawasan ini, sebagai habitat bagi banyak spesies bakau, ikan, dan beragam hewan dan Kawasan Lindung Mangrove memberikan perlindungan pada skala lokal di wilayah sekitar atau skala kota dan berfungsi sebagai daerah resapan air, pencegahan banjir, erosi, dan untuk melindungi ekosistem di daerah tersebut. Menurut Prasita (2019), dalam mengatasi masalah pemanasan global, peran Kawasan Lindung Mangrove (KLM) di Pantai Timur Surabaya (Pamurbaya) sangat penting karena daerah tersebut merupakan satu-satunya ekosistem mangrove yang luas dan tersisa di Surabaya. Terlebih lagi, kawasan ini, sebagai habitat bagi banyak spesies bakau, ikan, dan beragam hewan lainnya, menyediakan perlindungan pada skala lokal di wilayah sekitar atau skala kota. Kawasan Lindung Mangrove berfungsi sebagai daerah resapan air, mencegah banjir dan erosi, serta melindungi ekosistem di daerah tersebut.

**II.2 Mangrove**

Menurut Pramudji (2001), hutan mangrove adalah sekelompok tumbuhan yang terdiri atas berbagai macam jenis tumbuhan dari famili yang berbeda, namun memiliki persamaan daya adaptasi morfologi dan fisiologi yang sama terhadap habitat yang dipengaruhi oleh pasang surut. Menurut Basuki (2019), mangrove merupakan sekumpulan vegetasi yang hidup di daerah pesisir di wilayah tropis yang dapat melindungi ekosistem di daratan maupun lautan dari erosi dan angin kencang. Hutan mangrove adalah salah satu jenis hutan yang banyak ditemukan pada kawasan muara dengan struktur tanah rawa dan/atau padat. Mangrove tersebut juga mendapatkan cahaya matahari yang cukup agar dapat tumbuh dan berkembang

Menurut Indriyanto (2006) dalam Matatula (2019), hutan mangrove termasuk tipe ekosistem yang tidak terpengaruh oleh iklim, tetapi faktor edafik sangat dominan dalam pembentukan ekosistem ini, faktor edafik Menurut Mawarti (2012) dalam Mus'af (2019), adalah faktor yang bergantung pada keadaan tanah, kandungan air dan udara di dalamnya, iklim tidak berpengaruh pada hutan mangrove akan tetapi kandungan mineral pada tanah, kondisi udara dan dan tingkat salinitas air berpengaruh pada hutan mangrove.

Hutan mangrove menjadi sumber yang sangat penting untuk menjaga ekosistem perairan antara laut, pantai dan darat. Menurut Ana, dkk (2015), hutan mangrove menjadi salah satu solusi yang sangat penting untuk mengatasi berbagai jenis masalah lingkungan terutama untuk mengatasi kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh rusaknya habitat untuk hewan. Kerusakan ini tidak hanya berdampak untuk hewan tapi juga untuk manusia, mangrove telah menjadi pelindung lingkungan yang sangat besar. Komponen penyusun ekosistem tersebut saling berinteraksi membentuk suatu kesatuan yang utuh dan tidak dapat berdiri sendiri. Poedjirahajoe (2011) menyatakan bahwa, faktor habitat sangat berpengaruh terhadap komposisi penyusun ekosistem mangrove bahkan perubahan kualitas habitat secara kompleks dapat mengakibatkan pergeseran jenis vegetasi penyusunnya. Jenis vegetasi yang mampu beradaptasi pada kondisi habitat yang mengalami perubahan dikhawatirkan dapat mendominasi kawasan tersebut sehingga menyebabkan terjadinya penurunan keanekaragaman jenis.

Akhrianti (2020) dalam Sapitri (2022), menyatakan kondisi mangrove semakin lama semakin mengalami perubahan serta penurunan, kondisi tersebut bisa terjadi karena disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain yaitu faktor alam dan faktor antropogenik atau manusia faktor alam yaitu perubahan iklim, perubahan iklim dapat mengakibatkan adanya perubahan muka air baik secara langsung maupun tidak langsung, sedangkan untuk faktor antropogenik atau manusia menjadi faktor paling dominan yang menyebabkan kerusakan mangrove.

### II.3 Penginderaan Jauh

Kata Penginderaan jauh berasal dari dua kata dasar yakni indera yang artinya melihat dan jauh yang artinya dari kejauhan, penginderaan jauh merupakan suatu teknik untuk melihat objek pada jarak jauh. Menurut Jensen (2007) dalam Hadi (2019), penginderaan jauh adalah perekaman informasi tanpa kontak dari sinar ultraviolet, tampak, inframerah dan gelombang mikro spektrum elektromagnetik melalui instrumen seperti kamera, pemindai, laser yang terletak di platform seperti pesawat terbang atau pesawat ruang angkasa, dan analisis informasi yang diperoleh melalui visual dan pengolahan citra digital, untuk mendeteksi suatu pola dalam penggunaan lahan di permukaan bumi dapat memanfaatkan teknologi penginderaan jauh serta dengan menggunakan citra satelit. Citra merupakan gambaran yang terekam oleh kamera atau sensor lainnya dan dipasang pada wahana satelit ruang angkasa dengan ketinggian lebih dari 400 km dari permukaan bumi. Citra satelit sebagaimana peta, penuh dengan berbagai informasi, citra dapat menunjukkan kepada khalayak berapa banyak kota telah berubah, bagaimana lahan pertanian dan perkebunan tumbuh dengan baik.

Dalam penelitian ini, satelit Landsat 8 mengambil citra yang merupakan gelombang

cahaya pantulan dari objek permukaan di bumi, masing-masing objek memantulkan gelombang tertentu sesuai dengan sifat ilmiah dari objek tersebut, tumbuhan, badan air, dan lahan terbangun memantulkan gelombang cahaya matahari yang berbeda. Pada tumbuhan, zat hijau daun (klorofil) adalah pigmen yang memberikan warna hijau memainkan peran penting dalam proses fotosintesis dengan menyerap cahaya yang efektif untuk mengubah karbon dioksida dan air menjadi glukosa dan oksigen. Dalam penginderaan jauh, khususnya pada penggunaan citra satelit, interaksi antara klorofil dan band cahaya tampak sangat penting untuk menghitung Indeks Kerapatan Vegetasi (NDVI) dan indeks serupa lainnya. Klorofil menyerap cahaya paling efektif pada gelombang warna biru (sekitar 445 nm) dan merah (sekitar 670 nm) dari spektrum elektromagnetik, namun memantulkan cahaya warna hijau (sekitar 555 nm), yang menjelaskan mengapa daun tampak hijau bagi mata manusia. Band merah pada sensor penginderaan jauh digunakan untuk mengukur intensitas cahaya yang diserap oleh klorofil, sementara band inframerah dekat (NIR), yang berkisar antara 700 hingga 1300 nm, digunakan untuk mengukur tingkat pantulan cahaya yang tidak diserap oleh klorofil. (Rega, Kestrilia. 2018). Gambar 2.3 menampilkan ilustrasi proses penginderaan jauh.

### II.4 Citra Satelit Landsat 8

Landsat 8 merupakan kelanjutan dari misi satelit Landsat 7 milik Amerika Serikat, yang pertama kali diluncurkan pada 11 Februari 2013. Satelit ini, yang juga dikenal sebagai *Landsat Data Continuity Mission* (LDCM), mulai menyediakan produk citra publik sejak tanggal 30 Mei 2013. Pengembangan Landsat 8 adalah hasil kerjasama antara *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) dan *United States Geological Survey* (USGS). Setelah peluncurannya, NASA menyerahkan pengelolaan satelit LDCM kepada USGS pada tanggal yang sama, dengan tanggung jawab pengelolaan arsip data citra masih berada di tangan *Earth Resources Observation and Science* (EROS). Dalam hal performa, Landsat 8 hanya memerlukan waktu 99 menit untuk mengorbit bumi dan melakukan pemindaian pada area yang sama setiap 16 hari sekali. Hal ini menunjukkan peningkatan frekuensi dan efisiensi dalam pengambilan data dibandingkan dengan misi sebelumnya (Fawzi, 2021). Satelit ini dilengkapi dengan sensor utama yang merupakan pengembangan dari sensor yang digunakan sebelumnya, termasuk *Sensor Operational Land Imager* (OLI) yang terdiri dari 9 band dan *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) yang memiliki 2 band. Sensor OLI dan TIRS dirancang untuk merekam dan menghasilkan citra berkualitas tinggi. Sensor OLI, secara khusus, memiliki 7 band seperti sensor satelit sebelumnya ditambah 2 band baru yang meningkatkan kemampuan satelit untuk melakukan observasi terhadap permukaan bumi (Faraj, et al., 2017).

**Tabel 1.** Band RGB, NDI dan TIRS Landsat 8. (United States Geological Survey, 2023)

Band	Panjang Gelombang(μm)	Resolusi	Aplikasi
2	0,450 – 0,515	Biru	Gelombang Tampak
3	0,525 – 0,600	Hijau	
4	0,630 – 0,680	Merah	
5	0,845 – 0,855	Near-infrared	Analisis Vegetasi
8	0,500 – 0,680	Pankromatik	Resolusi Lebih Tinggi Pemetaan Suhu Bumi
10	10,6 – 11,2	Thermal	

Satelit Landsat 8 menyediakan empat dataset *Collection 2* yang berbeda, di mana setiap Level citra merupakan turunan dari citra Level 1 yang menerapkan algoritma khusus untuk keperluan analisis spasial yang lebih spesifik, yaitu:

1. *Landsat Collection 2 Level 1* adalah dataset citra yang telah dikoreksi secara geometrik dan radiometrik dasar.
2. *Landsat Collection 2 Level 2* mencakup data yang telah melalui koreksi atmosferik menggunakan metode algoritma *Land Surface Reflectance Code* (LaSRC) dan radiometrik, menghasilkan produk citra dengan reflektansi permukaan dan suhu permukaan tanah yang lebih akurat.
3. *Landsat Collection 2 Level 3* mencakup produk-produk yang lebih spesifik seperti *Dynamic Surface Water Extent*, *Burned Area*, *Fractional Snow Covered Area*, dan *fSCA Statistics*, yang berguna untuk analisis lingkungan secara mendalam.
4. *Landsat Collection 2 U.S. Analysis Ready Data* (ARD) adalah dataset yang dirancang khusus untuk negara Amerika Serikat agar memudahkan analisis skala besar, dengan format yang konsisten dan siap digunakan untuk analisis perubahan lahan, ekosistem, dan sumber daya alam.

**II.5 Indeks Kerapatan Vegetasi**

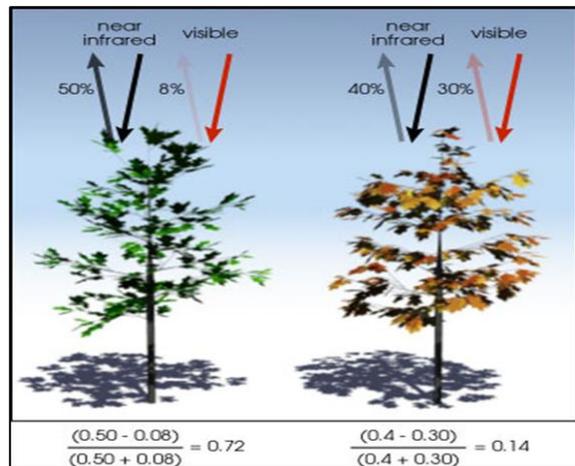
Secara bahasa, indeks kerapatan menurut Soerianegara (1988) adalah banyaknya individu dari suatu jenis pohon dan tumbuh-tumbuhan lain dapat ditaksir atau dihitung, kerapatan merupakan suatu jumlah individu per unit luas atau per unit volum. Sedangkan secara istilah, Menurut Danoedoro (1996), Indeks kerapatan merupakan suatu algoritma yang diterapkan terhadap citra gambar satelit, untuk menonjolkan aspek kerapatan vegetasi ataupun aspek yang berkaitan dengan kerapatan, misalnya biomassa, *Leaf Area Index* (LAI), konsentrasi klorofil, dan sebagainya. Secara praktis, indeks vegetasi ini merupakan suatu transformasi matematis yang melibatkan beberapa saluran sekaligus, dan menghasilkan citra baru yang lebih representatif

dalam menyajikan fenomena vegetasi.

**II.6 Algoritma NDVI**

NDVI atau *Normalized Differenced Vegetation Index* adalah salah satu metode yang digunakan untuk menganalisis indeks vegetasi dari kerapatan suatu vegetasi. NDVI dihitung dari cahaya tampak (*Red*) dan cahaya inframerah-dekat (*NIR*) yang dipantulkan oleh vegetasi. Vegetasi yang sehat menyerap sebagian besar cahaya tampak yang mengenainya dan memantulkan sebagian besar cahaya inframerah-dekat. Sebaliknya, vegetasi yang tidak sehat atau jarang akan memantulkan lebih banyak cahaya tampak dan lebih sedikit cahaya inframerah-dekat. Gambar 2 merupakan ilustrasi metode klasifikasi kerapatan vegetasi pada NDVI. Persamaan NDVI adalah sebagai berikut:

$$NDVI = \frac{(Near-infrared\ Band - Red\ Band)}{(Near-infrared\ Band + Red\ Band)} \dots\dots\dots 2.1$$



**Gambar 2.** Metode Klasifikasi NDVI. (Sumber: NASA Earth Observatory, 2000)

**II.7 Metode Klasifikasi Citra Satelit**

Menurut Aryani (2014) Pengolahan data citra merupakan suatu cara memanipulasi data citra atau mengolah suatu data citra menjadi suatu keluaran (*output*) yang sesuai dengan yang diharapkan. Adapun cara pengolahan data citra itu sendiri melalui beberapa tahapan, sampai menjadi suatu keluaran yang diharapkan. Tujuan dari pengolahan citra adalah mempertajam data geografis dalam bentuk digital menjadi suatu tampilan yang lebih berarti bagi pengguna, dapat memberikan informasi kuantitatif suatu obyek, serta dapat memecahkan masalah. Purwanto (2015) menyatakan untuk mendukung pelaksanaan pengolahan data yang cepat dan menghasilkan data informasi spasial geobiofisik yang akurat dan berkualitas, maka diperlukan suatu prosedur baku mengenai tata cara dan proses klasifikasi citra yang terstandar yang diakui bersama secara nasional sehingga diharapkan dapat menghasilkan hasil olah data yang seragam mengacu pada Standar Nasional Indonesia yang selaras dengan standar internasional.

Menurut Rusdi (2008) Klasifikasi dalam istilah analisis geospasial diartikan sebagai proses mengelompokkan *pixel* ke dalam kelas-kelas atau kategori-kategori yang telah ditentukan berdasarkan nilai kecerahan (*brightness-value*) piksel yang bersangkutan. Menurut Riswanto (2009) dalam Purwanto (2015), klasifikasi citra satelit dibagi menjadi dua jenis yaitu, klasifikasi terbimbing adalah klasifikasi yang dilakukan dengan arahan analisis (*supervised*), dimana kriteria pengelompokan kelas ditetapkan berdasarkan penciri kelas (*class signature*) yang diperoleh melalui pembuatan area contoh (*training area*). Sedangkan, klasifikasi tidak terbimbing merupakan klasifikasi dengan pembentukan kelasnya sebagian besar dikerjakan oleh komputer. Training area didapatkan dari analisis geospasial yang sudah dilakukan sebelumnya. Sebagai contoh, klasifikasi tutupan lahan tahun 2022 dapat digunakan sebagai training area untuk membuat peta klasifikasi terbimbing tutupan lahan tahun 2023. Data penggunaan lahan sebuah Kota atau Kabupaten biasanya dikelola oleh instansi yang menangani pemetaan dan Rencana Tata Ruang Wilayah Kota (RTRWK), yang juga disebut sebagai *Urban Planning* atau *Urban Land Use Plan*. Data tersebut sebagian besar bersifat tertutup, sehingga memerlukan perizinan terlebih dahulu untuk mendapatkannya. Klasifikasi terbimbing sangat penting untuk analisis perubahan tutupan lahan karena menghasilkan hasil yang lebih akurat dengan menggunakan data pelatihan yang representatif dan pengetahuan ahli. Dengan menerapkan klasifikasi terbimbing, peneliti dapat mengidentifikasi perubahan tutupan lahan secara tepat, yang berguna untuk perencanaan, pengelolaan sumber daya alam, dan pengambilan keputusan yang lebih baik.

## II.8 Sistem Informasi Geografis

Menurut Bernhardsen (2002) dalam Sodikin (2018), Sistem Informasi Geografis merupakan sistem komputer yang digunakan untuk memanipulasi data geografi. Sistem ini diimplementasikan dengan perangkat keras dan perangkat lunak komputer yang berfungsi untuk akuisisi dan verifikasi data, kompilasi data, penyimpanan data, perubahan dan pembaharuan data, manajemen dan pertukaran data, manipulasi data, pemanggilan dan presentasi data serta analisa data. Data spasial merupakan salah satu item dari informasi dimana didalamnya terdapat informasi mengenai bumi, termasuk permukaan bumi, perairan, kelautan dan bawah atmosfer. Sistem Informasi Geografis (SIG) sendiri terdiri atas lima komponen pokok, yaitu data, perangkat keras, perangkat lunak, dan manajemen, dan sumber daya manusia kelima komponen tersebut dapat membangun sebuah Sistem Informasi Geografis yang mana dijelaskan pada Gambar 2.8.

Institusi yang memiliki dan mengoperasikan satelit mereka sendiri sering kali juga mengembangkan Sistem Informasi Geografis (SIG). Beberapa di antaranya juga menawarkan akses publik secara gratis, memungkinkan peneliti, ilmuwan, dan masyarakat umum di seluruh dunia untuk memanfaatkan data tersebut untuk berbagai keperluan analisis dan penelitian. Salah satu contoh terkemuka adalah USGS (*United States Geological Survey*), yang menyediakan platform *USGS Earth Explorer*. Platform ini sangat berguna dalam menyediakan data dari serangkaian satelit Landsat, termasuk Landsat 8 dengan sensor *Operational Land Imager (OLI)* dan *Thermal Infrared Sensor (TIRS)* nya. Negara di Eropa, ESA (*European Space Agency*) mengoperasikan *Copernicus Open Access Hub* yang menyediakan data terutama dari satelit Sentinel. Sentinel-1 dan Sentinel-2 adalah dua satelit dalam program ini. Di Asia, JAXA (*Japan Aerospace Exploration Agency*) melalui portal *JAXA G-Portal* menyediakan data dari satelit ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) dan GCOM-W (*Global Change Observation Mission - Water*).

## III. Metodologi Penelitian

Berikut adalah daftar data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

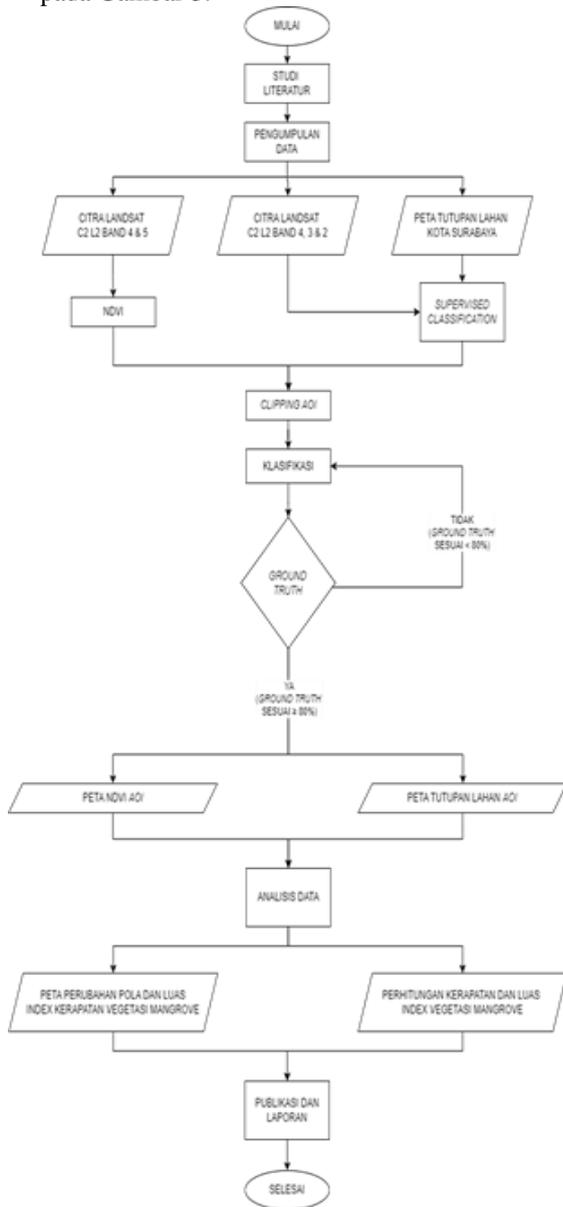
1. Citra Satelit Landsat 8 *Collection 2 Level 2 Science Product* yang diperoleh pada tanggal 11 Juni 2019, 13 Juni 2020, 20 September 2021, 21 Juli 2022, dan 10 September 2023. Sumber data ini adalah United States Geological Survey.
2. Data Batas Administrasi Provinsi Indonesia dan Batas Administrasi Kota Surabaya, yang disediakan oleh Badan Informasi Geospasial.
3. Data Tutupan Lahan dan Wilayah Mangrove Kota Surabaya, yang diperoleh dari Dinas Perumahan Rakyat dan Kawasan Permukiman serta Pertanahan. Detail lebih lanjut tersedia di [dprkp.surabaya.go.id](http://dprkp.surabaya.go.id).
4. Data Citra *Google Earth* tahun 2019 dan 2023.
5. Data Citra *Sentinel-5P Near Real-Time Nitrogen Dioxide* yang diperoleh dari *European Space Agency*.

Peralatan yang digunakan pada skripsi ini yaitu:

1. Perangkat Keras
  - Laptop Advan Workplus 14" dengan spesifikasi:
    - a) Sistem Operasi: *Windows 11 Pro*.
    - b) CPU / GPU: *AMD Ryzen 5 6600H with Integrated Graphics Radeon 780M*
    - c) Memory: *16 GB LPDDR5 6400MHz Dual Channel 128-bit*.
2. Perangkat Lunak
  - a) *ESRI ArcGIS™ ver. 10.8 for Desktop*.
  - b) *Microsoft Office 365*.
  - c) *Google Earth Engine*

III.1 Diagram Alir Penelitian

Tahapan dari penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian.

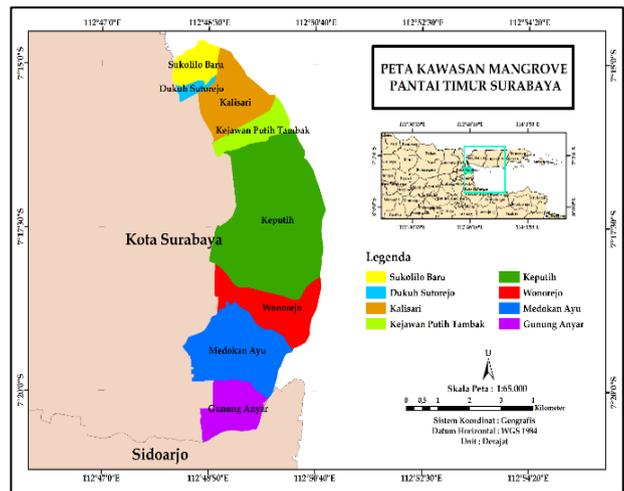
IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1 Kondisi Lahan Pantai Timur Surabaya

Citra satelit yang digunakan pada skripsi ini adalah Citra Satelit *Landsat 8 Collection 2 Level 2 Science Product* yang disediakan oleh *United States Geological Survey (USGS)*. Citra ini dibuat dari citra *Collection 2 Level 1*, dengan perbedaan utama pada penerapan algoritma *LaSRC (Land Surface Reflectance Code)* di Level 2. Algoritma *LaSRC* bertujuan untuk melakukan koreksi radiometrik dan atmosferik. Koreksi atmosferik menghilangkan efek atmosfer pada data citra untuk mendapatkan reflektansi permukaan yang sebenarnya, sedangkan koreksi radiometrik mengkalibrasi data radiometrik untuk memastikan bahwa data reflektansi konsisten.

Dengan reflektansi permukaan yang lebih akurat, algoritma *LaSRC* menguntungkan analisis spasial yang mengandalkan reflektansi gelombang warna, seperti perhitungan indeks vegetasi, contohnya adalah algoritma *NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)*. Citra satelit tersebut diambil pada rentang waktu bulan Juni hingga September, pada saat bukan musim penghujan untuk mendapatkan citra satelit dengan tutupan awan yang rendah.

Kawasan Pantai Timur Surabaya terbagi menjadi lima wilayah kecamatan, yaitu Bulak, Mulyorejo, Sukolilo, Rungkut, dan Gunung Anyar. Terdapat delapan kelurahan yang memiliki wilayah Mangrove, antara lain Kelurahan Sukolilo Baru, Dukuh Sutorejo, Kalisari, Kejawan Putih Tambak, Keputih, Wonorejo, Medokan Ayu, dan Gunung Anyar. Posisi geografis wilayah tersebut ditunjukkan pada Gambar 4 dan Tabel 4.1.



Gambar 4. Metode Klasifikasi NDVI.

Dari tampilan *multispektral* atau RGB pada Gambar 4.2 hingga 4.3 dengan skala 1:65.000, diketahui bahwa wilayah Pantai Timur Surabaya dalam segi pembangunan tidak banyak mengalami pertumbuhan. Hal ini disebabkan wilayah tersebut merupakan kawasan konservasi hutan mangrove yang ditetapkan oleh Pemerintah Kota Surabaya sebagaimana dijelaskan pada studi pustaka. Hanya saja, terdapat perluasan wilayah tambak di pesisir Pantai Timur Surabaya. Pada semua sisi wilayah Pantai Timur Surabaya, terdapat perubahan kerapatan mangrove yang fluktuatif dalam rentang waktu 2019 hingga 2023. Hal ini ditandai dengan perubahan tingkat kehijauan yang menunjukkan mangrove menjadi kurang terlihat hijau.

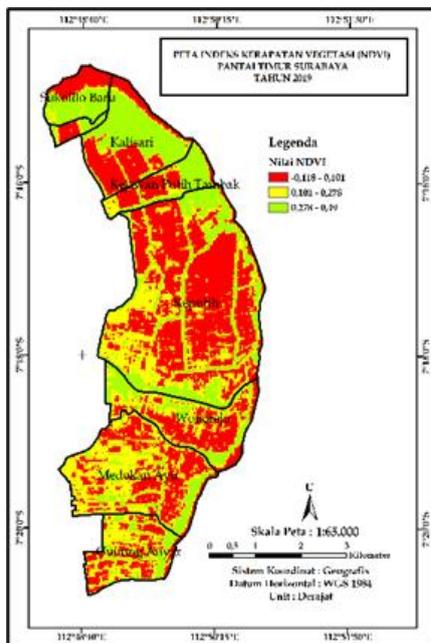
Sedangkan untuk wilayah tambak, tidak ada perubahan yang signifikan atau perluasan wilayah tambak yang terjadi di Pantai Timur Surabaya. Yang terjadi adalah fluktuasi tingkat indeks kerapatan vegetasi pada sisi jalan sekitar tambak. Secara visual, juga terlihat pertumbuhan yang signifikan pada sisi utara Pantai Timur Surabaya yang ditandai dengan adanya mangrove yang tumbuh di pesisir pantai yang menjorok ke laut.

**IV.2 Indeks Kerapatan Pantai Timur Surabaya**

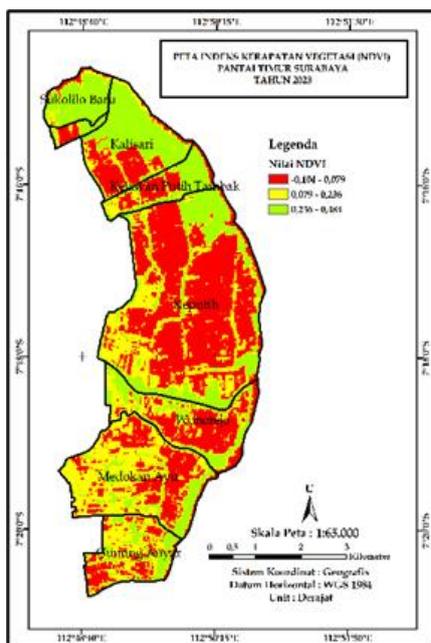
Kerapatan vegetasi di Pantai Timur Surabaya dapat diklasifikasikan menjadi empat kelas berdasarkan nilai hasil algoritma NDVI, yaitu: mangrove tinggi, mangrove sedang, mangrove jarang, dan tidak bervegetasi. Tabel 2 menunjukkan deskripsi Tabel Klasifikasi Nilai NDVI untuk Mangrove di Pantai Timur Surabaya.

**Tabel 2.** Klasifikasi Nilai NDVI.

Nilai NDVI	Deskripsi Kategori
$-1 \leq 0,1$	Tidak Bervegetasi (TB)
$0,11 \leq 0,20$	Mangrove Jarang (MJ)
$0,21 \leq 0,35$	Mangrove Sedang (MS)
$0,36 \leq 0,55$	Mangrove Tinggi (MT)



Gambar 5. NDVI 2019 Belum Terklasifikasi.



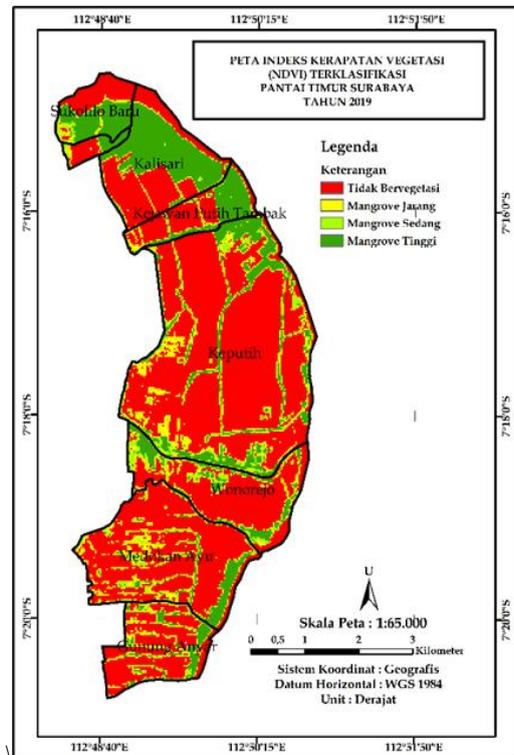
Gambar 6. NDVI 2023 Belum Terklasifikasi.

Gambar 5 dan 6 menampilkan peta NDVI Pantai Timur Surabaya yang belum diklasifikasikan. Nilai maksimal NDVI pada peta ini digunakan untuk menghitung rata-rata nilai NDVI tiap tahun, dengan nilai NDVI maksimal sebagai batas atas dan nilai terendah dari kategori mangrove jarang sebagai batas bawah. Berdasarkan rata-rata Nilai NDVI Pantai Timur Surabaya antara tahun 2019 hingga 2020, terjadi penurunan NDVI sebesar 1,33%. Namun, pada tahun berikutnya dari 2020 ke 2021, NDVI menunjukkan kenaikan sebesar 6,08%. Penurunan nilai NDVI sebesar 0,64% terjadi dari tahun 2021 ke 2022. Pada tahun 2023 terjadi penurunan yang cukup tajam, dengan nilai NDVI turun sebesar 4,81% dibandingkan tahun sebelumnya. Secara keseluruhan, nilai NDVI tertinggi dicapai pada tahun 2021 dengan angka 0,314, sementara nilai terendah tercatat pada tahun 2020 dengan angka 0,296.

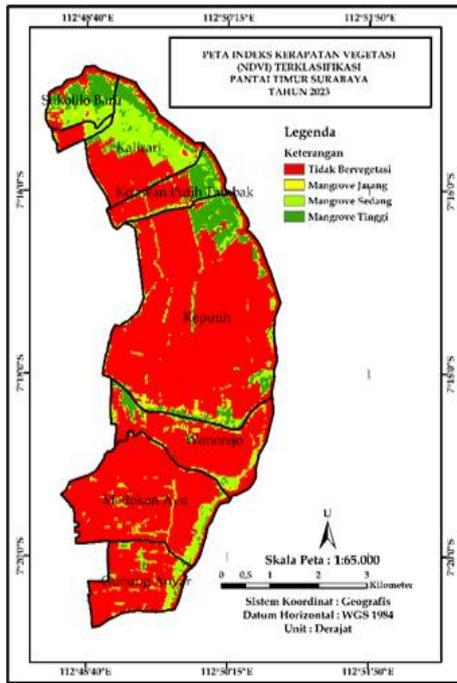


Gambar 7. Rata – Rata Nilai NDVI Pantai Timur Surabaya Tahun 2019 – 2023.

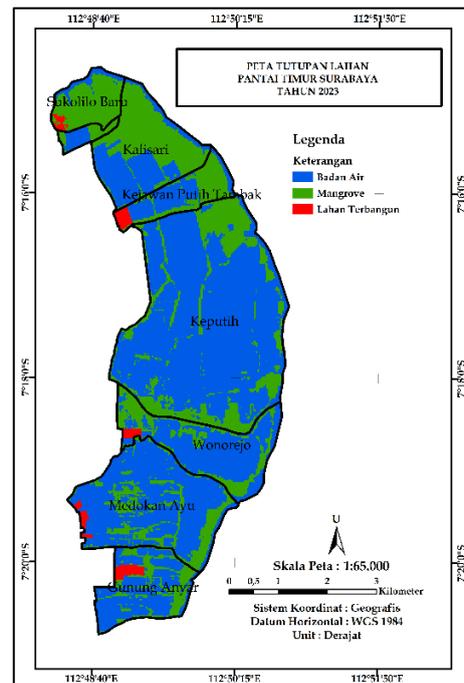
Gambar 8 dan Gambar 9 menampilkan peta NDVI yang sudah terklasifikasi sesuai dengan Tabel 4.1.



Gambar 8. NDVI Tahun 2019.



Gambar 9. NDVI Tahun 2023.

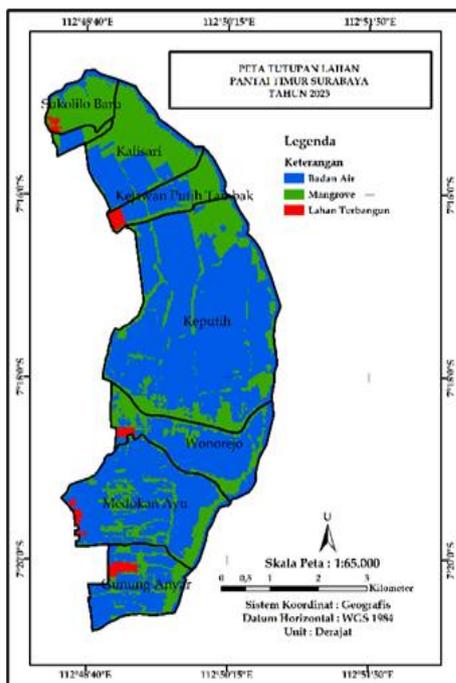


Gambar 11. Tutupan Lahan Tahun 2023.

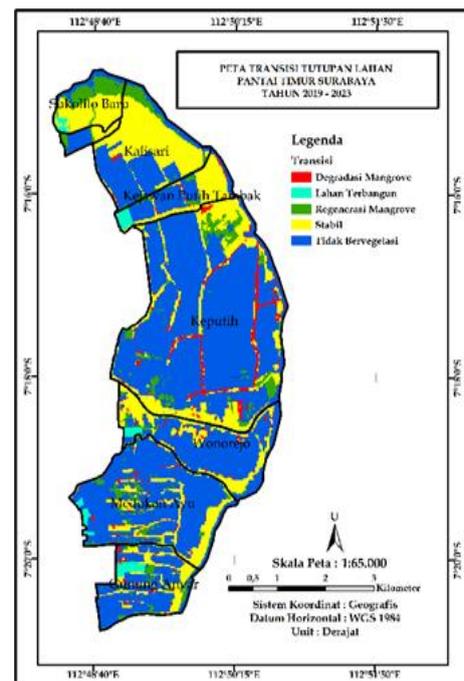
### IV.3 Tutupan Lahan Pantai Timur Surabaya

Berdasarkan pengolahan citra satelit Landsat 8 dan data penggunaan lahan Kota Surabaya untuk tahun 2022, telah dibuat peta tutupan lahan Pantai Timur Surabaya untuk tahun 2019 dan 2023. Proses pembuatan peta ini menggunakan teknik klasifikasi terbimbing. Citra yang digunakan telah melalui proses *pansharpening* untuk meningkatkan kualitas visual citra. Gambar 10 hingga 11 menunjukkan hasil klasifikasi tutupan lahan Pantai Timur Surabaya Tahun 2019 dan 2023.

Gambar 12 menunjukkan peta perubahan tutupan lahan dari tahun 2019 hingga 2023. Pada peta tersebut, terlihat adanya regenerasi mangrove di wilayah utara Pantai Timur Surabaya, serta beberapa area degradasi mangrove yang ditandai dengan warna merah. Gambar 4.9 dapat dijadikan acuan untuk memverifikasi hasil klasifikasi NDVI; semakin mirip peta tersebut dengan hasil klasifikasi NDVI, maka data yang diperoleh akan semakin akurat. Peta tutupan lahan ini dibuat berdasarkan klasifikasi terbimbing dengan tingkat pengenalan objek yang tinggi, sementara klasifikasi NDVI sangat bergantung pada penentuan nilai klasifikasi oleh pengguna.



Gambar 10. Tutupan Lahan Tahun 2023.



Gambar 12. Pola Tutupan Lahan Tahun 2019 - 2023.

**IV.4 Validasi Data**

Validasi data adalah proses untuk memastikan keakuratan data yang diperoleh. Dalam penelitian ini, metode validasi data dilakukan dengan membandingkan hasil peta tutupan lahan dan peta NDVI yang telah dibuat. Tujuan dari perbandingan ini adalah untuk memastikan akurasi data. Metode yang digunakan adalah rumus Relative Changes atau perubahan relatif untuk tiap luasan per kelurahan di Pantai Timur Surabaya. Jika persentase perbedaan relatif terhadap nilai maksimal kecil, maka semakin tinggi akurasi data. Selanjutnya, perlu dilakukan validasi lapangan dengan melakukan Ground Truth untuk memastikan bahwa peta tutupan lahan dan peta NDVI yang telah dibuat akurat, baik secara data maupun secara nyata.

$$RC = \frac{|X-Y|}{MAX(X,Y)} \dots\dots\dots 1$$

(Sumber: Brauen, dkk. 2020)

Dimana:  
 RC = *Relative Changes* (Perubahan Relatif)  
 X = Nilai Awal  
 Y = Nilai Akhir  
 MAX (X,Y) = Nilai maksimum dari X dan Y

Rata-rata akurasi data Lahan Terbangun dan Badan Air (Tutupan Lahan) terhadap Tidak Bervegetasi (NDVI) tercatat sebesar 84,3% pada tahun 2019, meningkat menjadi 89,2% pada tahun 2021, dan mencapai 95,8% pada tahun 2023. Untuk data Mangrove (Tutupan Lahan) terhadap Mangrove Jarang, Sedang, dan Tinggi (NDVI), akurasi tercatat 80,1% pada tahun 2019, naik menjadi 94,5% pada tahun 2021, dan kemudian turun menjadi 89,7% pada tahun 2023. Hasil tersebut mencerminkan konsistensi data yang relatif tinggi, dengan semua tingkat akurasi di atas 80%. *Ground Truth* adalah data yang dikumpulkan secara langsung dari lapangan. Dalam konteks penginderaan jauh, *Ground Truth* mencakup informasi mengenai kondisi sebenarnya dari objek yang sedang diteliti. Objek yang diteliti adalah parameter Mangrove, Lahan Terbangun, dan Badan Air. Dalam penelitian ini, *Ground Truth* diambil dari 21 titik sampel yang tersebar di berbagai wilayah di pantai timur Surabaya, dengan 9 titik berada di kawasan mangrove dan 12 titik di lahan terbangun atau badan air. Proses *Ground Truth* ini dilakukan untuk memvalidasi data peta tutupan lahan dan NDVI yang telah dibuat. Kesimpulan yang didapat dari hasil *Ground Truth* adalah bahwa semua sampel yang diambil menunjukkan data yang sesuai. *Inter-rater reliability* adalah reliabilitas yang dilihat dari tingkat kesepakatan (*agreement*) antara penilai (*rater*), yang akan memberikan gambaran (berupa skor) tentang sejauh mana tingkat kesepakatan/persetujuan yang diberikan oleh ahli. Salah satu koefisien IRR adalah *Cohen Kappa* ( $\kappa$ ), yang merupakan ukuran reliabilitas yang menyatakan konsistensi pengukuran oleh dua orang penilai (*rater*). (McHugh, 2012). Rumus 4.2 adalah persamaan *Cohen's Kappa*.

*Ground Truth* adalah data yang dikumpulkan secara langsung dari lapangan. Dalam konteks penginderaan jauh, *Ground Truth* mencakup informasi mengenai kondisi sebenarnya dari objek yang sedang diteliti. Objek yang diteliti adalah parameter Mangrove, Lahan Terbangun, dan Badan Air. Dalam penelitian ini, *Ground Truth* diambil dari 21 titik sampel yang tersebar di berbagai wilayah di pantai timur Surabaya, dengan 9 titik berada di kawasan mangrove dan 12 titik di lahan terbangun atau badan air.

$$\kappa = \frac{p_o - p_e}{1 - p_e} \dots\dots\dots 2$$

Keterangan:  
 $\kappa$  = Koefisien *Cohen's Kappa*.  
 $p_o$  = Proporsi kesesuaian yang diamati antara dua penilai (*actual observed agreement*).  
 $p_e$  = Proporsi kesesuaian yang diharapkan secara kebetulan (*chance agreement*).

Dalam penelitian ini, perhitungan *Cohen's Kappa* digunakan sebagai tolak ukur tingkat akurasi data *Ground Truth* terhadap peta NDVI dan Tutupan Lahan. Terdapat dua penilai yang terlibat: penilai pertama adalah penulis, yang memberikan skor berdasarkan kategori yang sama untuk data tutupan lahan pada data *Ground Truth*, sedangkan penilai kedua adalah data dari peta tutupan lahan itu sendiri. Tabel 4.2 menampilkan tabel kontingensi yang menggambarkan hasil penilaian dari kedua penilai tersebut.

$$p_o = \frac{\text{total nilai diagonal}}{\text{total nilai}} = \frac{7+9+5}{21} = \frac{21}{21} = 1 \dots\dots\dots 3$$

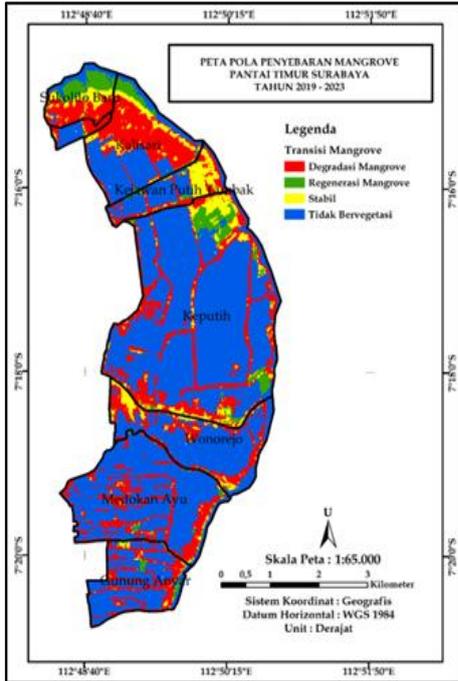
$$p_e = \left(\frac{7}{21}\right)^2 + \left(\frac{9}{21}\right)^2 + \left(\frac{5}{21}\right)^2 = \left(\frac{49}{441}\right) + \left(\frac{81}{441}\right) + \left(\frac{25}{441}\right) \approx 0,351 \dots\dots\dots 4$$

$$\kappa = \frac{p_o - p_e}{1 - p_e} = \frac{1 - 0,351}{1 - 0,351} = \frac{0,649}{0,649} = 1 \dots\dots\dots 5$$

Dapat disimpulkan bahwa dari uji akurasi kappa yang dilakukan, koefisien *Cohen's Kappa* yang diperoleh dari *Ground Truth* adalah 1. Hal ini berarti semua 21 titik sampel koordinat *Ground Truth* sesuai dengan data tutupan lahan, dan tingkat reabilitas data pada kategori sangat kuat.

**IV.5 Analisis Temporal**

Analisis yang dilakukan terhadap pola penyebaran mangrove, yang divisualisasikan dalam peta pada gambar 13, menunjukkan dinamika yang berubah-ubah dari tahun 2019 hingga 2023. Awalnya, terdapat peningkatan dalam penyebaran mangrove antara tahun 2019 dan 2021, menandakan regenerasi mangrove dalam kerapatan mangrove. Namun, periode tahun 2020 hingga 2021 diikuti oleh degradasi mangrove yang relatif kecil dalam kerapatan mangrove. Degradasi mangrove yang lebih signifikan terjadi dari tahun 2021 hingga 2022, mencerminkan penurunan paling tinggi dalam kerapatan vegetasi tersebut.



Gambar 13. Pola NDVI 2019 – 2023.

Fluktuasi nilai NDVI mencerminkan regenerasi dan degradasi mangrove yang dipengaruhi oleh faktor antropogenik dan alam. Aktivitas manusia seperti deforestasi dan peningkatan emisi NO<sub>2</sub> dari transportasi serta industri selama dan setelah PPKM berperan penting dalam menurunkan kualitas habitat mangrove. Selain itu, faktor alam seperti suhu permukaan tanah mempengaruhi penyerapan air dan aktivitas mikroba, esensial untuk pertumbuhan mangrove. Akumulasi NO<sub>2</sub>, yang merugikan fotosintesis dan mengubah komposisi kimia tanah serta kualitas air, dapat menurunkan kualitas habitat dan mengancam keanekaragaman hayati serta fungsi ekologis mangrove.

Tabel 4.2 Rata – Rata Suhu Permukaan Tanah

Klasifikasi	Suhu °C		
	2019	2021	2023
Nilai Maksimum	26,25	30,65	34,31
Nilai Minimum	20,76	22,84	23,12
Rata - Rata	23,50	26,75	28,72

Berdasarkan Tabel 4.2, terdapat tren peningkatan suhu dari tahun 2019 hingga 2023. Pada tahun 2019, suhu maksimum tercatat sebesar 26,25°C, sementara pada tahun 2021 meningkat menjadi 30,65°C, dan pada tahun 2023 mencapai 34,3195°C. Hal ini menunjukkan peningkatan yang signifikan dan konsisten dalam suhu maksimum selama periode tersebut. Untuk nilai rata-rata suhu, pada tahun 2019, suhu rata-rata adalah 23,50°C, meningkat menjadi 26,75°C pada tahun 2021, dan lebih lanjut naik menjadi 28,72°C pada tahun 2023. Faktor-faktor yang mungkin berkontribusi terhadap fenomena ini termasuk perubahan pola cuaca, peningkatan aktivitas industri, atau perubahan alami lainnya yang mempengaruhi iklim lokal. Gambar 14 menampilkan

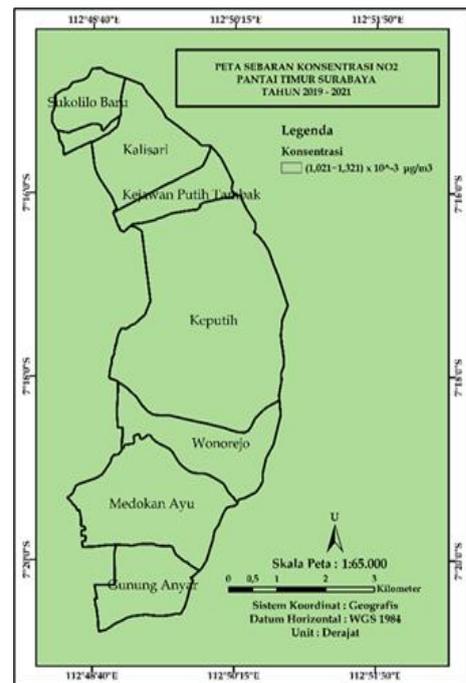
grafik yang diambil dari data pada Tabel 4.2.



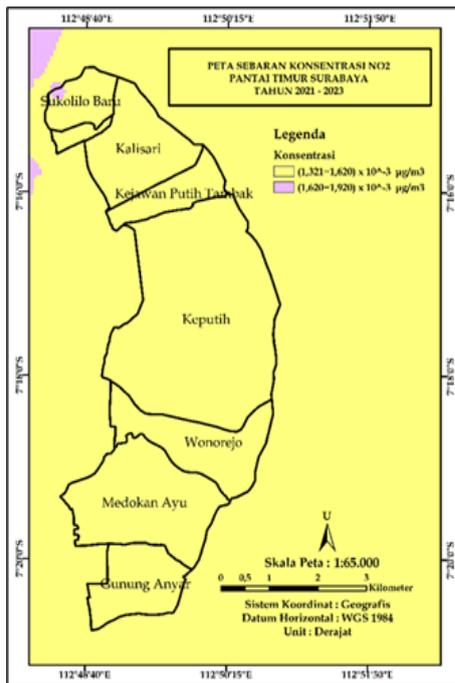
Gambar 14. Rata-Rata Suhu Permukaan Tanah 2019 – 2023.

Konsentrasi NO<sub>2</sub> dari emisi transportasi publik berdampak signifikan pada kualitas udara perkotaan dan kesehatan mangrove. Data satelit Sentinel-5P menunjukkan bahwa konsentrasi NO<sub>2</sub> di Pantai Timur Surabaya meningkat dari (2,220 - 2,871) x 10<sup>-5</sup> mol/m<sup>2</sup> pada 2019-2021 menjadi (2,871 - 3,522) x 10<sup>-5</sup> mol/m<sup>2</sup> pada 2021-2023, meskipun masih di bawah batas aman WHO.

Peningkatan ini sejalan dengan analisis citra satelit yang menunjukkan degradasi signifikan mangrove selama periode tersebut. Peningkatan NO<sub>2</sub> berdampak kronis pada kesehatan mangrove, mengganggu fotosintesis, dan mengubah komposisi kimia tanah. Oleh karena itu, penting untuk terus memantau konsentrasi NO<sub>2</sub> dan dampaknya serta menerapkan upaya mitigasi untuk melindungi ekosistem mangrove.



Gambar 15. Sebaran NO<sub>2</sub> Tahun 2019 – 2021.



Gambar 16. Sebaran NO<sub>2</sub> Tahun 2021 – 2023.

V. Penutup

V.1 Kesimpulan

1. Rata-rata nilai NDVI Pantai Timur Surabaya mengalami fluktuasi dari tahun 2019 hingga 2023. Setelah penurunan 1,33% dari 2019 (0,3) ke 2020 (0,296), NDVI meningkat 6,08% ke 2021 (0,314). Namun, terjadi penurunan berturut-turut sebesar 0,64% pada 2022 (0,312) dan 4,81% pada 2023 (0,297). Nilai tertinggi tercatat pada 2021 (0,314) dan terendah pada 2020 (0,296).
2. Terjadi degradasi total pada area seluas 166,56 ha yang sebelumnya ditumbuhi mangrove jarang, kini menjadi tidak bervegetasi (2019-2023). Mangrove dengan kerapatan vegetasi tinggi juga mengalami degradasi, berubah menjadi mangrove dengan kerapatan sedang di area 275,01 ha, jarang di area 64,23 ha, dan tidak bervegetasi di area 29,80 ha.
3. Tutupan Lahan menunjukkan penurunan luas badan air dari 2178,16 Ha di tahun 2019 menjadi 2031,86 Ha pada tahun 2023, yang mengindikasikan transisi dari Badan Air ke Mangrove. Sementara itu, luas lahan terbangun tetap stabil pada 46,89 Ha dari tahun 2019 hingga 2021, namun mengalami peningkatan signifikan menjadi 68,21 Ha pada tahun 2023. Hal ini menunjukkan adanya aktivitas pembangunan dan urbanisasi yang meningkat. Di sisi lain, luas mangrove juga meningkat signifikan dari 809,76 Ha pada tahun 2019 menjadi 957,47 Ha pada tahun 2023, mengindikasikan ekspansi wilayah mangrove.

V.2 Saran

1. Gunakan citra satelit resolusi tinggi untuk memperoleh gambaran yang akurat dan detail mengenai kondisi mangrove dan kawasan badan air

yang berdekatan.

2. Peta *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dan tutupan lahan dianjurkan untuk dikembangkan dengan teknik pemrosesan citra yang lebih baik agar akurasi klasifikasi dapat ditingkatkan.

DAFTAR PUSTAKA

Pustaka dari Peraturan dan Jurnal Penelitian:

Ana, et al. (2015). Laporan Kelompok Kuliah Kerja Nyata (KKN) Kelompok 2061 Dusun Gedongan, Desa Bangunjiwa, Kecamatan Kasihan, Kabupaten Bantul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.

Aryani, Dian Eka., Sasmito, Bandi., Wijaya, Arwan Putra. (2014). Pembuatan Peta Potensi Curah Hujan Dengan Menggunakan Citra Satelit Mtsat di Pulau Jawa. Jurnal Geodesi Undip. Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. Volume 3, Nomor 1, Tahun 2014, (ISSN: 2337-845X).

Badan Perencanaan dan Pembangunan Kota. (2016). Rencana Detail Tata Ruang (RDTR) Kota Surabaya Tahun 2016. Surabaya: Pemerintah Kota Surabaya.

Basuki, H.I., Putri. (2019). Inovasi Masyarakat Lokal Terhadap Pemanfaatan Hutan Mangrove Di Tanjung Api – Api Kecamatan Banyuasin II Kabupaten Banyuasin. Jurnal Geografi 08, No. 2. Fakultas Ilmu Sosial Universitas Negeri Padang.

Brauen, S., Erpf, P., & Wasem, M. (2020). On Absolute and Relative Change. SSRN Electronic Journal. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3739890>

Danoedoro, Projo. (1996). Pengolahan Citra digital Teori dan Aplikasinya dalam Bidang Penginderaan Jauh, Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.

Faraj, et al. (2017). Detection of Structural Control on Formation Water Quality, in Hemrin Oilfield, northern Iraq, Using Lineament Analysis and Hydrochemical Data. Tikrit Journal of Pure Science, 22(2), 146-158. DOI:10.25130/tjpsv22i2.641

Fawzi, N.I. (2021). Landsat 8-Sebuah Teori dan Teknik Pemrosesan Tingkat Dasar. ResearchGate. [https://www.researchgate.net/publication/350819219\\_Landsat\\_8\\_-\\_Sebuah\\_Teori\\_dan\\_Teknik\\_Pemrosesan\\_Tingkat\\_Dasar](https://www.researchgate.net/publication/350819219_Landsat_8_-_Sebuah_Teori_dan_Teknik_Pemrosesan_Tingkat_Dasar).

Hadi, Bambang Syaeful. (2019). Penginderaan Jauh. Yogyakarta: UNY Press.

Kusumaningrum, T.E., Sukojo, B.M. (2013). Analisa Kesehatan Mangrove Berdasarkan Nilai Normalized

- Difference Vegetation Index Menggunakan Citra ALOS AVNIR-2. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Matatula, J., Poedjirahajoe, E., & Pudyatmoko, S. (2019). Sebaran Spasial Kondisi Lingkungan Hutan Mangrove Di Pesisir Pantai Kota Kupang. DOAJ (DOAJ: Directory of Open Access Journals). <https://doi.org/10.29244/jpsl.9.2.467-482>
- McHugh, M. L. (2012). Interrater reliability: The kappa statistic. *Biochemia Medica*, 22(3), 276-282.
- Mus'af, M. (2019). Kondisi Kimia Tanah Pada Dua Level Ketinggian Tempat Di Kawasan Taman Nasional Lore Lindu Sulawesi Tengah. Mus'af | Jurnal Warta Rimba. <http://jurnal.untad.ac.id/jurnal/index.php/WartaRimba/article/view/15226>
- NASA Earth Observatory. (2000). Measuring Vegetation. Diakses dari: [https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/measuring\\_vegetation\\_2.php#:~:text=NDVI%20is%20calculated%20from%20the,and%20less%20near%20infrared%20light](https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php#:~:text=NDVI%20is%20calculated%20from%20the,and%20less%20near%20infrared%20light).
- Pemkot Surabaya. (2018). Peraturan Daerah Kota Surabaya Nomor 8 Tahun 2018 tentang Rencana Detail Tata Ruang dan Peraturan Zonasi Kota Surabaya Tahun 2018-2038. [https://jdih.surabaya.go.id/t\\_detail.php?prokum=3637](https://jdih.surabaya.go.id/t_detail.php?prokum=3637).
- Poedjirahajoe, E., Widyorini, R., & Mahayani, N. P. D. (2011). Kajian Ekosistem Mangrove Hasil Rehabilitasi pada Berbagai Tahun Tanam untuk Estimasi Kandungan Ekstrak Tanin di Pantai Utara Jawa Tengah. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 5(2), 99-107. <https://doi.org/10.22146/jik.1854>.
- Pramudji. (2001). Ekosistem Hutan Mangrove Dan Peranannya Sebagai Habitat Berbagai Fauna Aquatik. *Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia*, 26(4), 13-23.
- Prasita, V. D., Subianto, A., & Soegianto, A. (2019). Assessment of the mangrove protected area in the Eastern Coast of Surabaya. ResearchGate. [https://www.researchgate.net/publication/335492329\\_Assessment\\_of\\_the\\_mangrove\\_protected\\_area\\_in\\_the\\_Eastern\\_Coast\\_of\\_Surabaya](https://www.researchgate.net/publication/335492329_Assessment_of_the_mangrove_protected_area_in_the_Eastern_Coast_of_Surabaya).
- Priscillia Harly O, P., & Kristi J., P. Eunike, S.T., M.Des.Sc. 2013. "Fasilitas Edu-wisata Pembudidayaan Mangrove Wonorejo di Surabaya". *eDIMENSI ARSITEKTUR*, 1(1-2): 70-76. Prodi Arsitektur, Universitas Kristen Petra. Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya. E-mail: [cyl\\_91@windowslive.com](mailto:cyl_91@windowslive.com); [kristi@petra.ac.id](mailto:kristi@petra.ac.id).
- Purwanto, A. (2015). Pemanfaatan Citra Landsat 8 Untuk Identifikasi Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Di Kecamatan Silat Hilir Kabupaten Kapuas Hulu. *Edukasi: Jurnal Pendidikan*, 13(1), 27-36. <https://doi.org/10.31571/edukasi.v13i1.17>
- Rega, Kestrelia P., Christianto, Ivan O., & Setiawan, Hendry. 2018. "Implementasi Convolutional Neural Network untuk Sistem Prediksi Pigmen Fotosintesis pada Tanaman Secara Real Time". *JUTISI*, 4(2). Teknik Informatika, Universitas Ma Chung. Villa Puncak Tidar N-01, Malang-Jawa Timur. DOI: <http://dx.doi.org/10.28932/jutisi.v4i2.812>.
- Riwayati, R. (2014). Manfaat Dan Fungsi Hutan Mangrove Bagi Kehidupan. Pusdibang-KS LPPM Unimed. <https://doi.org/10.24114/jkss.v12i24.357>.
- Rusdi, M. (2008). Perbandingan Object Oriented Classification Dan Maximum Likelihood Classification Pada Pemetaan Penutupan. ResearchGate. <http://tiny.cc/qz66vz>.
- Sapitri, E. (2022). Implementasi Metode Normalized Differenced Vegetation Indeks (Ndvi) Untuk Analisis Kerapatan Mangrove Di Sepanjang Pesisir Timur Sumatera Selatan. Diploma Thesis, Universitas Pgri Palembang.
- Sodikin, D. (2018). Sistem Informasi Geografis Pemetaan Tempat Kost Berbasis Web. Sarjana thesis, Universitas Siliwangi. <http://repositori.unsil.ac.id/195/>.
- Soerianegara, I. 1988. *Ekologi Hutan Indonesia*. Bogor: Laboratorium Ekologi Hutan Fakultas Kehutanan IPB.
- Susilo, S.B. 2000. *Penginderaan Jauh Kelautan Terapan*. Bogor: Penerbit Institut Pertanian Bogor.
- Syamsu, I.F. 2018. *Kajian Perubahan Tutupan Lahan di Ekosistem Mangrove Pantai Timur Surabaya*. Researchgate. Tersedia di: <http://tiny.cc/zk76vz>.
- U.S. Geological Survey. 2023. Landsat 8. Diakses dari: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>.
- World Health Organization. 2021. *WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM2.5 and PM10), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide*. Geneva: World Health Organization. Lisensi: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.