

KAJIAN PERUBAHAN LUASAN HUTAN MANGROVE MEMANFAATKAN GOOGLE EARTH ENGINE DI KECAMATAN PULAU LAUT UTARA KOTABARU

Ferry Sobatnu¹⁾, Ade Rizqi Nurhidayati Suyitno²⁾

email: sobatnu@poliban.ac.id, elysianade@gmail.com

^{1,2} Jurusan Teknik Sipil dan Kebumihan, Politeknik Negeri Banjarmasin

Ringkasan

Kabupaten Kotabaru termasuk salah satu kabupaten di Provinsi Kalimantan Selatan Indonesia. Ibu kota kabupaten ini di wilayah Pulau Laut, tepatnya di Kecamatan Pulau Laut Utara, yang terpisah dari Pulau Kalimantan sehingga memiliki karakteristik ekosistem yang beragam jenisnya salah satunya adalah ekosistem mangrove. Hutan mangrove berfungsi sebagai benteng alami, melindungi pesisir dari erosi dan serangan gelombang besar. Hutan mangrove secara ekonomi berfungsi yaitu penghasil kebutuhan rumah tangga, penghasil keperluan industri, habitat burung dan ikan dan penghasil bibit. Metode pengukuran kerapatan atau tingkat kehijauan hutan mangrove yaitu algoritma indeks vegetasi. Penelitian ini menggunakan klasifikasi Normalized Different Vegetation Index (NDVI) sebagai indikator untuk mengukur biomassa daun hijau dan indeks luas daun untuk klasifikasi vegetasi mangrove di Kecamatan Pulau Laut Utara Kabupaten Kotabaru. Data geospasial perubahan kerapatan vegetasi memanfaatkan citra satelit tahun 2020 sampai dengan 2023. Google Earth Engine (GEE) adalah platform berbasis cloud dimanfaatkan untuk mengakses dan memproses kumpulan data geospasial yang sangat besar untuk analisis NDVI. Hasil Analisis, mengategorikan menjadi empat kelas kerapatan, yaitu rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Berdasarkan data luasan dari tahun 2020-2023, dapat dilihat luasan mangrove bertambah setiap tahunnya dengan rata-rata 27 ha. Berkurangnya luas kelas kerapatan sedang, bukan karena kerusakan mangrove, melainkan karena berubah ke kelas yang tinggi.

Kata Kunci : Mangrove, Pulau Laut Utara, GEE, NDVI

1. PENDAHULUAN

Kabupaten Kotabaru, Kalimantan Selatan, memiliki ekosistem mangrove yang sangat luas, mencapai 86.000 ha atau sekitar 73,62% dari total luas mangrove di provinsi tersebut. Di Kecamatan Pulau Laut Utara, ekosistem ini memiliki karakteristik unik karena terpisah dari daratan utama Pulau Kalimantan dan kini menghadapi tekanan alih fungsi lahan menjadi pemukiman, perkebunan, hingga tempat wisata. Permasalahan utama yang muncul adalah perlunya pemantauan kondisi luasan dan kerapatan vegetasi secara akurat untuk menjaga fungsi ekologis mangrove sebagai pelindung pesisir dan pencegah intrusi air laut. Penelitian ini mendesak dilakukan untuk menyediakan data spasial terkini mengenai kondisi mangrove. Penggunaan teknologi konvensional seringkali memakan waktu, sehingga penggunaan Google Earth Engine (GEE) menjadi rasional karena kemampuannya dalam memproses data geospasial skala besar secara cepat berbasis cloud tanpa memerlukan komputasi lokal yang berat. Pemanfaatan citra Sentinel-2A melalui GEE memungkinkan pemantauan perubahan vegetasi dari tahun ke tahun secara efisien.

Teknologi penginderaan jauh memberikan kemudahan dalam mengumpulkan data secara temporal, arsip maupun real-time. Perkembangan Algoritma digital menghadirkan GEE sehingga memungkinkan pengaksesan data dimaksud secara sekaligus. Pembuktian secara langsung di lokasi penelitian harus tetap dilaksanakan. Penelitian ini menitik beratkan pengujian kualitas data citra satelit dengan kondisi kenyataan di area objek penelitian secara langsung di lapangan. Dengan demikian metode penelitian ini dapat menjadi alternatif solusi cepat untuk mempelajari kawasan ekosistem mangrove sehingga berdampak dalam pelaksanaan tata kelola fungsi lahan.

Tujuan kegiatan yaitu; menerapkan teknologi penginderaan jauh berbasis GEE untuk analisis geospasial hutan mangrove di Pulau Laut Utara. Memetakan luasan wilayah dan mengklasifikasikan tingkat kerapatan mangrove berdasarkan indeks vegetasi dan menganalisis perubahan luasan

mangrove dalam rentang waktu tertentu. Akuisisi data menggunakan script Google Earth Engine untuk mengambil data citra satelit Sentinel-2A dalam rentang waktu 2020 hingga 2023. Analisis vegetasi menerapkan algoritma Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) untuk mengidentifikasi kepadatan vegetasi mangrove. Lingkup penelitian fokus pada lokasi spesifik di Desa Sungai Taib, Stagen, Sebelimbing, dan Pantai Baru dengan batasan analisis pada luasan dan tingkat kepadatan (tidak mencakup varian sub-spesies mangrove).

2. KAJIAN PUSTAKA

Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh (remote sensing) sering disingkat inderaja, adalah ilmu dan seni untuk memperoleh informasi tentang suatu obyek, daerah, atau fenomena melalui analisis data yang diperoleh dengan suatu alat tanpa kontak langsung dengan obyek, daerah, atau fenomena yang dikaji (Lillesand dan Kiefer dalam Putra, 2011). Penginderaan jauh berarti melihat obyek dari jarak jauh. Obyek, daerah, atau gejala yang dikaji dalam definisi tersebut dapat berada di permukaan bumi, di atmosfer, atau planet di luar angkasa (Kusumowigado, dkk., 2007). Sistem Penginderaan Jauh ialah serangkaian komponen yang digunakan untuk penginderaan jauh. Rangkaian komponen itu berupa tenaga, objek, sensor, data dan pengguna data (Sutanto, 1986).

Mangrove

Hutan mangrove adalah hutan yang terdapat di sepanjang pantai atau muara sungai dan dipengaruhi oleh gerakan pasang surut perpaduan antara air sungai dan air laut, yang tergenang pasang dan bebas dari genangan pada saat surut yang komunitasnya bertoleransi terhadap garam. Sungai mengalirkan air tawar untuk mangrove, dan pada saat pasang pohon mangrove dikelilingi oleh air garam atau air payau (Waryono, 2000). Hutan mangrove merupakan komunitas vegetasi pantai tropis, yang didominasi oleh beberapa jenis pohon mangrove yang mampu tumbuh dan berkembang pada daerah pasang surut pantai berlumpur. Hutan mangrove banyak ditemui di pantai, pertemuan antara muara sungai dan air laut, teluk yang dangkal, estuaria, delta, dan daerah pantai yang terlindung (Gunarto, 2004). Mangrove adalah jenis tanaman dikotil yang hidup di habitat air payau. Lokasi ini yang kemudian menjadi pelindung daratan dari gelombang air laut yang besar. Hutan mangrove juga dikenal dengan istilah tidal forest, coastal woodland, vloedbosschen, atau hutan payau. Banyak kalangan yang sering menyebut hutan pinggir pantai tersebut sebagai hutan bakau. Sebenarnya hutan tersebut lebih tepat disebut hutan mangrove. Istilah "mangrove" disini digunakan sebagai pengganti istilah bakau untuk menghindarkan adanya salah pengertian dengan hutan yang terdiri atas pohon bakau *Rhizophora* sp. Hal ini dikarenakan bukan hanya pohon bakau saja yang tumbuh di sana, namun masih terdapat banyak jenis tumbuhan lain yang hidup di dalamnya diantaranya; Bakau, Tancang, Api-api, Pedada, Nipah, Nyirih dan Bogem. Istilah mangrove tidak hanya diperuntukkan untuk klasifikasi spesies tertentu saja, tetapi istilah ini dideskripsikan untuk tanaman tropis yang bersifat halophytic atau toleran terhadap garam. Selain itu, mampu tumbuh di tanah basah lunak, habitat air laut, dan mampu terkena fluktuasi pasang surut juga merupakan cakupan deskripsi tumbuhan yang dapat disebut sebagai spesies tumbuhan "mangrove".

Google Earth Engine

Sebuah platform yang menerapkan aplikasi penginderaan jauh dikembangkan oleh Google untuk memproses dan menganalisis data geospasial dalam skala yang besar. Selain menjalankan operasi pemrosesan data, Google Earth Engine memiliki koleksi lengkap data penginderaan jauh. Platform menggabungkan katalog multi-petabyte dari citra satelit dan kumpulan data geospasial dengan kemampuan analisis skala planet dan membuatnya digunakan untuk berbagai keperluan, termasuk penelitian ilmiah, manajemen sumber daya alam, pemantauan lingkungan, dan pengambilan keputusan kebijakan. Keunggulan platform Google Earth Engine adalah pengguna dibebaskan dari proses pre processing image yang membutuhkan waktu serta data storage pada hardware pengguna karena database maupun proses komputasi dilakukan berbasiskan cloud service.

Sentinel-2A

Salah satu satelit dalam program Copernicus yang diluncurkan oleh Badan Antariksa Eropa (European Space Agency, ESA). Program Copernicus bertujuan untuk menyediakan data pengamatan bumi secara berkelanjutan dan dapat diakses oleh berbagai pengguna di seluruh dunia. Sentinel-2A, diluncurkan pada 23 Juni 2015, adalah bagian dari misi Sentinel-2 yang terdiri dari dua satelit, Sentinel-

2A dan Sentinel-2B, yang bekerja sama untuk memberikan cakupan global yang komprehensif. Sentinel-2A memiliki sejumlah kelebihan yang membuatnya sangat berguna dalam berbagai aplikasi pengamatan bumi karena menghasilkan resolusi tinggi, multi-spektral, cakupan secara global, frekuensi pengulangan tinggi, swath width, akses data terbuka dan gratis, dan teknologi mutakhir. Dengan semua keunggulan ini, Sentinel-2A menjadi alat yang sangat penting untuk berbagai aplikasi pengamatan bumi, mendukung upaya global dalam konservasi lingkungan, manajemen sumber daya alam, dan pengambilan keputusan berbasis data.

NDVI

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) adalah algoritma yang digunakan untuk mengetahui indeks tingkat kehijauan tumbuhan (vegetasi) berasal dari citra satelit. Indeks NDVI sendiri dihasilkan melalui kombinasi antara dua kanal (band) citra satelit yakni merah (red) dan inframerah dekat atau Near-Infrared Radiation (NIR). Nilai NDVI antara -1 hingga +1, dimana nilai (-) menunjukkan obyek air atau lahan berair dan basah dan nilai (+) menunjukkan obyek vegetasi. Parameter ini diperoleh dengan mengekstrak nilai spektral band infra merah dengan band merah pada hasil rekaman citra satelit. Dalam penerapannya NDVI digunakan untuk mendeteksi objek vegetasi di permukaan bumi, mengukur tingkat kesehatan vegetasi dan estimasi tingkat pertumbuhan maupun degradasi vegetasi. Oleh karena itu NDVI bisa saja dimanfaatkan untuk memantau sejauh mana dampak alih fungsi lahan yang biasanya bertujuan mengimbangi pertumbuhan penduduk terhadap lingkungan eksisting.

$$NDVI = (N - R) / (N + R)$$

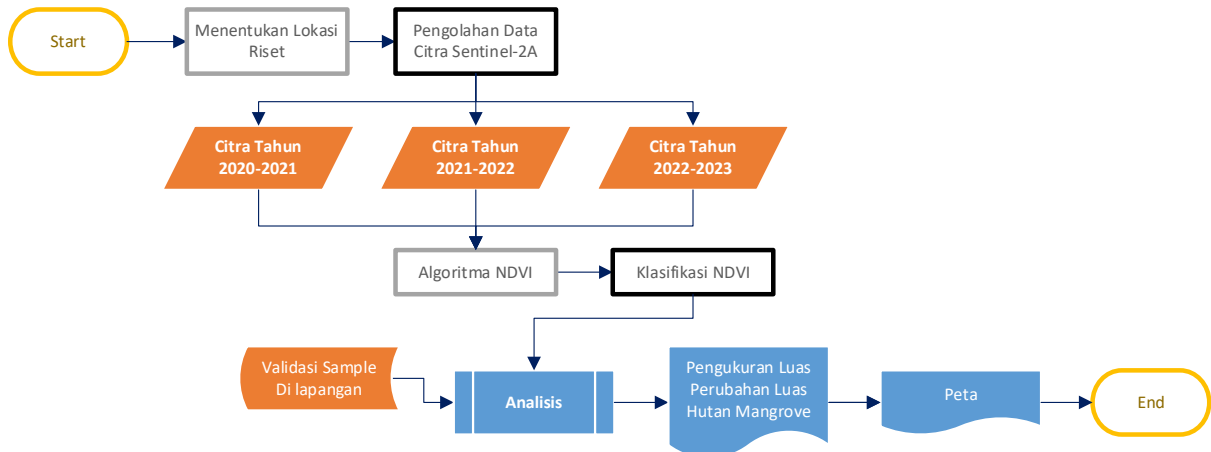
NDVI = Nilai Normalized Difference Vegetation Index
 N = Near Infrared (band 8)
 R = Red (band 4)

Tabel 1. Klasifikasi/rentang nilai indeks vegetasi NDVI berdasarkan kelas kerapatan vegetasi

Kelas	Klasifikasi	
	NDVI	Keterangan
1.	-1 s/d 0	Lahan tidak bervegetasi
2.	0 s/d 0,3	Kehijauan rendah
3.	0,3 s/d 0,5	Kehijauan sedang
4.	0,5 s/d 1	Kehijauan tinggi

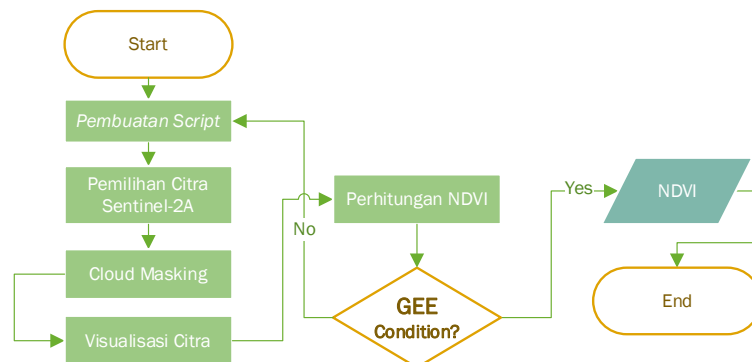
3. METODE PENELITIAN

Wilayah kajian penelitian berada di kecamatan Pulau Laut Utara, kabupaten Kotabaru adalah sebuah wilayah yang terletak di Provinsi Kalimantan Selatan, Indonesia. Kabupaten ini merupakan salah satu kabupaten pertama dalam provinsi Kalimantan pada zaman dahulu. Pada masa Hindia Belanda, kabupaten ini dinamakan Afdeeling Pasir en de Tanah Boemboe dengan ibu kota di Kotabaru. Kabupaten ini memiliki luas wilayah 9.442,46 km² dan berpenduduk sebanyak 334.158 jiwa pada tahun 2022. Sumber data yang dipakai adalah citra Sentinel-2A dari tahun 2020 hingga 2022 dan validasi lapangan menggunakan citra Sentinel-2A tahun 2023 untuk perbandingan. Gambar 1 memperlihatkan alur kajian yang dilakukan.



Gambar 1. Alur Kajian Perubahan Luasan Hutan Mangrove

Pengolahan data dilakukan dengan metode NDVI untuk mengetahui vegetasi, kerapatan dan luasan, dengan bantuan perangkat Google Earth Engine (GEE) terlihat pada gambar 2. Tahap pengolahan menggunakan bahasa pemrograman javascript. Tahap pengolahan awal meliputi memasukkan data citra satelit sentinel-2A yang sudah dipilih dan memasukkan batas wilayah. Selanjutnya akan dilakukan filtering cloud mask pada citra untuk menghilangkan tutupan awan pada daerah penelitian. Transformasi indeks vegetasi menggunakan algoritma NVDI (Normalized Difference Vegetation Index). Pada citra sentinel-2A, band yang digunakan dalam perhitungan merupakan band 8 (NIR) dan band 4 (Merah).

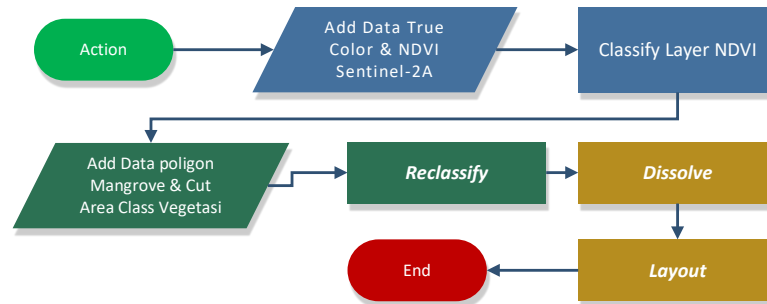


Gambar 2. Pengolahan data citra dengan Google Earth Engine

Pengambilan data sample hasil pengamatan langsung dilapangan yaitu berupa foto dokumentasi dan data koordinat yang digunakan untuk perbandingan peta hasil pengolahan GEE dengan kenyataan dilapangan.

Analisis NDVI Analisis perubahan menggunakan identifikasi NDVI dengan memanfaatkan perangkat ArcGIS. Langkah pertama yaitu *Add Data*, kemudian pilih *true color* dan NDVI. Berikutnya pilih opsi kotak dialog *properties* pada layer NDVI. Gunakan alat *classify* dan bisa memilih kelas yang ingin di klasifikasikan. Setelah diklasifikasikan, tambahkan *layer* dengan *Add Data* batas area mangrove dan area akan dipotong mengikuti vegetasi yang sudah di klasifikasikan. Selanjutnya akan dilakukan *reclassify* untuk membuat klasifikasi ulang agar sesuai dengan kelas yang digunakan. Kemudian proses *dissolve*, pada data atribut tambahkan satu kolom untuk luas masing-masing kelas vegetasi dan kemudian akan dihitung dengan *calculate geometry*. Langkah selanjutnya yaitu *layout* peta hasil dari klasifikasi vegetasi mangrove.

Proses klasifikasi yang dilakukan menggunakan ArcGIS dengan alat *classify* pada layer NDVI untuk menampilkan kelas kerapatan vegetasi mangrove terlihat pada gambar 3. Metode ini menjelaskan hasil *overlay* citra dan hasil pengambilan data lapangan untuk mengetahui perubahan vegetasi yang terjadi di hutan mangrove di Kecamatan Pulau Laut Utara, Kabupaten Kotabaru.



Gambar 3. Klasifikasi menggunakan ArcGIS dengan tool *classify* pada layer NDVI

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Akuisisi Citra Sentinel-2A

Pemanfaatan GEE dengan menuliskan Script pada citra Sentinel-2A bagian yang harus dilakukan dalam mengakuisisi data. Bagian filter date untuk mengatur rentang waktu citra yang ingin diolah, kemudian filter untuk menyaring tutupan awan pada citra, selanjutnya pada clip bagian () diisi nama area yang telah dipilih. Var RGBTrue digunakan untuk memasukan band True Color. Var nir yaitu infra merah dekat berupa band 8. Var red untuk citra merah berupa band 4. Pada Map.addLayer isi 'NDVI mangrove' sesuai dengan area yang telah dipilih. Gambar 4 menunjukkan penulisan Script.

```

new data mangrove 19-23
Get Link Save Run Reset Apps

Imports (1 entry)
var mangrove: Polygon, 4 vertices
1 var S2A = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_SR')
2   .filterDate('2022-01-01', '2023-01-01')
3   // Pre-filter to get less cloudy granules.
4   .filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 30))
5   .map(maskS2clouds)
6   .median()
7   .clip(mangrove);
19
20 var RGBTrue = S2A.select(['B4', 'B3', 'B2']);
21 var RGBparam = { min: 0, max: 3000, };
22 Map.addLayer(RGBTrue, RGBparam, 'Sentinel RGB 432');
23
24 var nir = S2A.select('B8');
25 var red = S2A.select('B4');
26 var ndvi = nir.subtract(red).divide(nir.add(red)).rename('NDVI S2A');
27
28 var NDVIparam = {min: -1, max: 1, palette: ['blue', 'white', 'green']}
29 Map.addLayer(ndvi, NDVIparam, 'NDVI mangrove');
30
31 Export.image.toDrive({
32   image: ndvi,
33   description: 'ndvi_base4',
34   scale: 10,
35   region: mangrove,
36 });
    
```

Gambar 4. Script GEE citra Sentinel-2A

Perubahan kerapatan mangrove di Kecamatan Pulau laut Utara Kabupaten Kotabaru pada tahun 2020 hingga 2023, terdapat tiga kelas klasifikasi yaitu rendah, sedang dan tinggi. Mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi luas mangrove dapat dianalisis secara spasial berdasarkan data overlay mangrove tahun 2020-2023, sehingga dapat diidentifikasi perubahan yang terjadi di kawasan mangrove dan faktor-faktor yang mempengaruhinya. Salah satu yang dominan dalam bertambahnya luasan kelas kerapatan di beberapa titik, yaitu faktor sedimentasi dan kegiatan reboisasi.

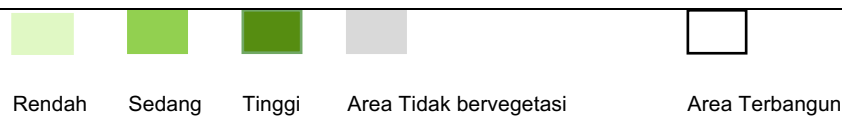


Hasil NDVI 2020-2021

Hasil NDVI 2021-2022

Hasil NDVI 2022-2023

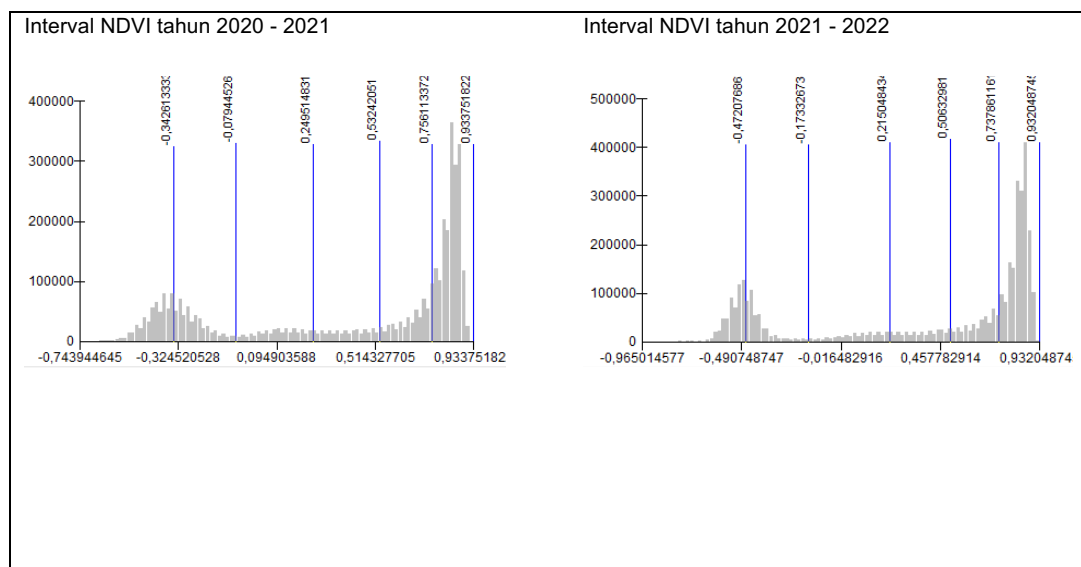
Klasifikasi tingkat kerapatan vegetasi;

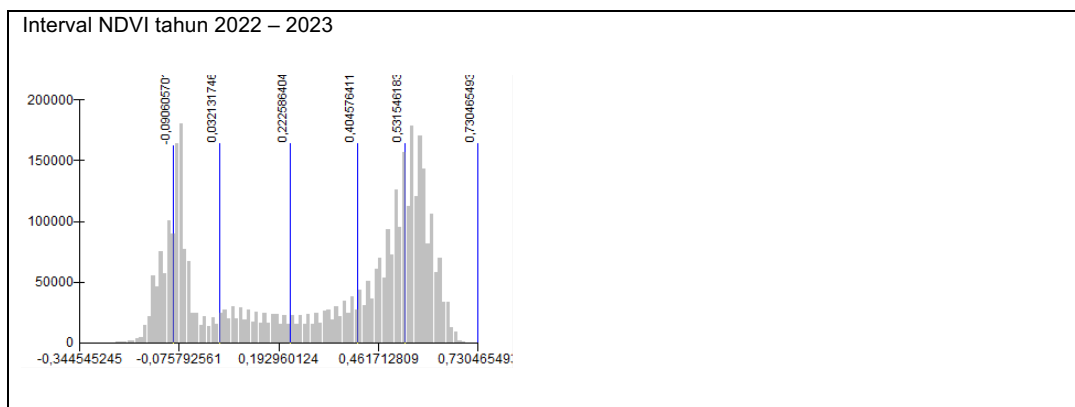


Gambar 5. Klasifikasi Vegetasi 2020-2023

Perubahan Vegetasi

Indeks vegetasi merupakan suatu algoritma yang diterapkan terhadap citra (biasanya multi saluran), 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 (Arnanto, 2015). Rentang kelas klasifikasi NDVI yang dihasilkan dari penyerapan radiasi matahari selalu berkisar antara -1 hingga +1 (Danoedoro, 2012). Berdasarkan hal tersebut, penulis melakukan pengolahan citra sentinel-2 wilayah Kecamatan Pulau Laut Utara, Kabupaten Kotabaru dengan menggunakan metode NDVI, didapatkan hasilnya mulai dari tingkat rendah yaitu -0,03 sampai tingkat tinggi yaitu 0,93. Jika dilihat berdasarkan klasifikasinya, semakin besar nilai NDVI maka semakin tinggi kerapatan vegetasinya (Irawan & Sirait, 2017). Apabila dilihat dari citra secara segmentasi maka akan terlihat kerapatan mangrove di Kecamatan Pulau Laut Utara Kabupaten Kotabaru sangat tinggi. Adapun grafik interval hasil NDVI tahun 2020 sampai dengan 2023 sebagai berikut.





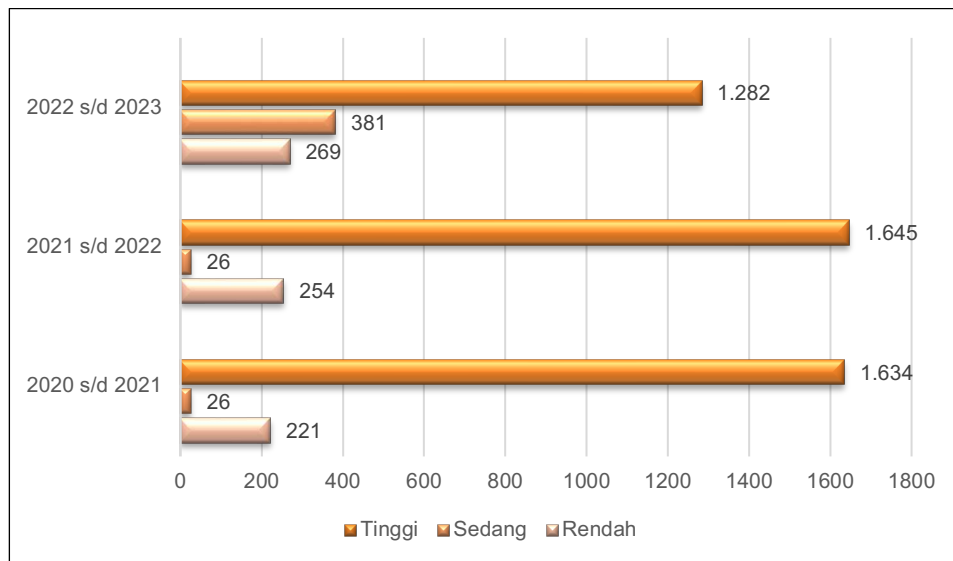
Gambar 6. Grafik Interval NDVI

Hasil analisis NDVI mengkategorikan menjadi tiga kelas kerapatan, yaitu rendah, sedang dan tinggi. Berdasarkan kelas kerapatan vegetasi itu, maka dapat ditentukan luasan vegetasi mangrove di kecamatan Pulau Laut Utara sebagai berikut.

Tabel 2. Tingkat Luasan Hutan Mangrove

Kelas Kerapatan	Akusisi Citra Satelit Sentinel-2A periode tahun		
	2020 – 2021	2021 – 2022	2022 – 2023
Rendah	221	254	269
Sedang	26	26	381
Tinggi	1.634	1.645	1.282
Luas Mangrove (Ha)	1.881	1.925	1.932

Tabel 2 menunjukkan perbandingan luasan kerapatan mangrove pada tahun 2020 memiliki kelas kerapatan rendah seluas 221 ha. Pada tahun 2021, kelas kerapatan rendah bertambah luas menjadi 254 ha. Kemudian pada tahun 2022 kelas kerapatan rendah bertambah luas menjadi 269 ha. Kelas kerapatan sedang pada tahun 2020 dan 2021 memiliki luas 26 ha dan di tahun berikutnya luasan bertambah menjadi 381 ha pada tahun 2022. Pada kelas dengan kerapatan tinggi, semula pada tahun 2020 memiliki luas 1.634 ha, kemudian bertambah luas menjadi 1.645 ha pada tahun 2021, dan pada tahun 2022 berkurangnya luas menjadi 1.282 ha.



Gambar 7. Perubahan Luasan Hutan Mangrove tahun 2020-2023

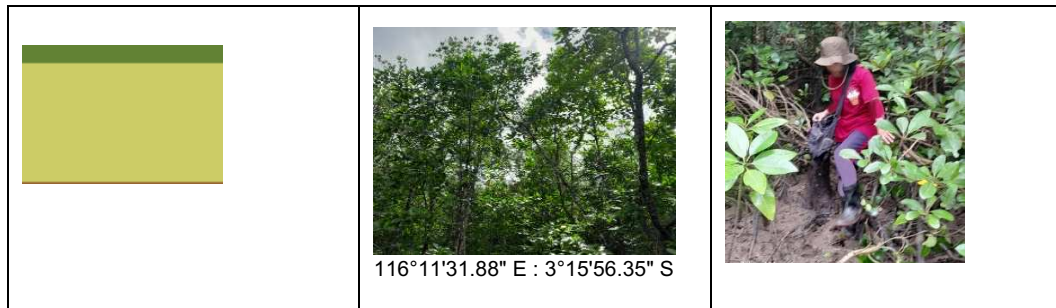
Berdasarkan jumlah data luasan tersebut, dapat dilihat luasan mangrove bertambah setiap tahunnya dengan rata-rata 17 ha. Berkurangnya luas kelas kerapatan sedang, bukan karena kerusakan mangrove, melainkan karena berubah ke kelas yang tinggi. Ini menunjukkan kondisi vegetasi mangrove di Kecamatan Pulau Laut Utara Kabupaten Kotabaru terjaga kelestariannya.

Identifikasi Kesesuaian Mangrove

Lokasi pengambilan validasi data lapangan berada di Desa Sungai Taib, Kecamatan Pulau Laut Utara. Kegiatan survei validasi di lapangan dilakukan pada tanggal 2 Juli hingga 4 Juli 2024 pengambilan koordinat dan foto dokumentasi pada titik sampel vegetasi yang telah diamati. Hal ini bertujuan untuk memastikan kesesuaian jenis vegetasi terhadap index NDVI hasil analisis klasifikasi pada citra. Berikut adalah dokumentasi kegiatan yang telah dilaksanakan.

Tabel 3. Validasi Data Lapangan

Fiksel Citra	Validasi	Objek
	 116°11'31,86" E : 3°15'55,03" S	
	 116°11'31.69" E : 3°15'55.32" S	



5. KESIMPULAN DAN SARAN-SARAN

Kesimpulan

1. Telah terjadi perubahan kerapatan pada vegetasi mangrove di Kecamatan Pulau Laut Utara, Kabupaten Kotabaru dari tahun 2020 hingga 2023. Untuk mengetahui kerapatan mangrove dapat menggunakan metode NDVI, yang mana mempunyai hasil kerapatan tiga kelas dengan dominan kelas vegetasi tinggi pada tahun 2020 memiliki luas 1.881 ha, pada tahun 2021 memiliki luas 1.925 ha dan tahun 2022 memiliki luas 1.932 ha.
2. Kelas rendah mengalami kenaikan sebesar 48 ha, kelas sedang mengalami penurunan sebesar 355 ha, kelas tinggi mengalami kenaikan sebesar 11 ha pada tahun 2021 dan mengalami penurunan sebesar 363 ha.
3. Faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan luas dan kerapatan mangrove adalah aktivitas manusia melalui kegiatan reboisasi dan faktor alam terjadinya sedimentasi.

Saran

Setelah diidentifikasi dan dibuat perbandingan berdasarkan validasi lapangan, penampakan yang ada dicitra satelit dengan keadaan sebenarnya terdapat berbeda. Ini memberikan indikasi bahwa perubahan alam sangat cepat pada wilayah penelitian ini dan atau data citra tersebut tidak sepenuhnya akurat. Agar hasil penelitian selanjutnya lebih baik dan akurat disarankan mengidentifikasi faktor yang mempengaruhi luasan hutan mangrove dan membandingkan dengan penggunaan jenis citra yang lain.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Andrie Ridzki Prasetyo, N. V. 2024. *Analisis Komparatif Tutupan Mangrove Menggunakan Citra Landsat 9 dan Sentinel 2A di Desa Labuan Tereng Kabupaten Lombok Barat*. Nusa Tenggara Barat: Universitas Mataram.
2. Febriansyah Dharma, A. A. 2022. *Pemanfaatan Citra Sentinel-2 dengan Metode NDVI untuk Perubahan Kerapatan Vegetasi Mangrove di Kabupaten Indramayu*. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
3. Ferry Sobatnu, F. A. 2016. *Kajian Tingkat Kerapatan Hutan Mangrove Menggunakan Teknologi Remote Sensing*. Banjarmasin: Politeknik Negeri Banjarmasin.
4. Haripin, R. L. 2016. *Analisis Vegetasi Hutan Mangrove di Kawasan Muara Sungai Serukam Kabupaten Bengkayang*. Pontianak: Universitas Tanjungpura.
5. Kementerian Kehutanan Republik Indonesia. 2012. *Perubahan Kedua atas Peraturan Menteri Kehutanan Nomor P.32/Menhut-II/2009 tentang Tata Cara Penyusunan Rencana Teknik Rehabilitasi Hutan dan Lahan Daerah Aliran Sungai*. Jakarta: Kementerian Kehutanan Republik Indonesia.
6. NATIONS, F. A. 2007. *The world's mangroves 1980 - 2005*. Rome: -.
7. Philia Christi Latue, H. R. 2023. *Analisis Kerapatan Vegetasi Kota Ambon Menggunakan Data Sentinel-2 dengan Metode MSARVI Berbasis Machine Learning pada Google Earth Engine*. Ambon: Universitas Pattimura.
8. Teguh Hariyanto, C. B. 2023. *Analisis Hasil Identifikasi Persebaran Mangrove Berdasarkan Algoritma Normalized Vegetation Index dan Mangrove Vegetation Index Menggunakan Citra Satelit Sentinel-2 (Studi Kasus: Taman Nasional Alas Purwo)*. Surabaya: Kampus ITS Sukolio.
9. Trida Ridho Fariz, P. I. 2021. *Pemetaan Ekosistem Mangrove di Kabupaten Kubu Raya Menggunakan Machine Learning pada Google Earth Engine*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
10. Wim Giesen, S. W. 2006. *Mangrove Guidebook for Southeast Asia*. Wageningen, The Netherlands: Dharmasarn Co., Ltd.

11. Andrie Ridzki Prasetyo, N. V. 2024. *Analisis Komparatif Tutupan Mangrove Menggunakan Citra Landsat 9 dan Sentinel 2A di Desa Labuan Tereng Kabupaten Lombok Barat*. Nusa Tenggara Barat: Universitas Mataram.
12. Febriansyah Dharma, A. A. 2022. *Pemanfaatan Citra Sentinel-2 dengan Metode NDVI untuk Perubahan Kerapatan Vegetasi Mangrove di Kabupaten Indramayu*. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.