

Analisis Spasial Perubahan Luas Mangrove Berbasis Citra Sentinel-2A di Delta Upang, Kabupaten Banyuasin

Akhmad Tri Prasetyo*, Hartoni, Ikhlasul Amal, Risnita Tri Utami

Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya
Jl. Lintas Palembang - Prabumulih KM. 32, Ogan Ilir, 30862, Indonesia
Corresponding author, e-mail: akhmadtriprasetyo@mipa.unsri.ac.id

ABSTRAK: Delta Upang merupakan kawasan ekosistem mangrove yang mengalami perubahan signifikan akibat perluasan sektor perkebunan serta pertanian. Pengembangan algoritma untuk mendeteksi keberadaan mangrove terus dilakukan guna membedakannya dari vegetasi daratan. Penelitian ini menganalisis perubahan luasan mangrove di Delta Upang dengan memanfaatkan kombinasi algoritma NDVI dan NDMI. Analisis dilakukan menggunakan citra Sentinel-2A tahun 2016, 2020, dan 2024. Titik klasifikasi dipilih secara sistematis dengan interval 200 meter untuk keperluan validasi. Sebanyak 6581 titik klasifikasi divalidasi terhadap citra *google earth* dan dihitung tingkat akurasi menggunakan *matiks confusion*. Hasil kombinasi NDVI dan NDMI terbukti cukup efektif dalam memetakan vegetasi mangrove, dengan akurasi mencapai PA 90%, UA 96,92%, OA 96,2%, dan *F1 score* 93,33%. Luas area mangrove mengalami penurunan di seluruh desa yang berada di Delta Upang. Penurunan tersebut disebabkan oleh alih fungsi lahan menjadi area perkebunan. Tahun 2016 tercatat luas mangrove sebesar 2.857 hektar, berkurang menjadi 1.543 hektar pada 2020, dan terus menyusut hingga 1.013 hektar di tahun 2024. Desa Upang Makmur dan Sungsang IV menunjukkan penurunan luasan mangrove paling besar sepanjang periode pengamatan. Desa Sungai Semut tercatat mengalami laju degradasi mangrove paling tinggi selama periode yang sama. Sebaliknya, Desa Muara Baru dan Desa Tanjung Baru mengalami degradasi mangrove relatif rendah dibandingkan desa lainnya. Upaya restorasi lahan mangrove perlu dilakukan untuk mencegah tren penurunan lahan mangrove di Delta Upang kedepannya.

Kata kunci: Delta Upang; mangrove; NDVI; NDMI

Spatial Analysis of Mangrove Area Changes Based on Sentinel-2A Imagery in Upang Delta, Banyuasin Regency

ABSTRACT: The Upang Delta is a mangrove ecosystem area that has undergone significant changes due to the expansion of agricultural and plantation sectors. Algorithm development for detecting mangrove presence continues to advance in order to distinguish mangrove vegetation from terrestrial vegetation. This study analyzes changes in mangrove area in the Upang Delta using a combination of the NDVI and NDMI algorithms. The analysis utilizes Sentinel-2A imagery from the years 2016, 2020, and 2024. Classification points were systematically selected at 200-meter intervals for validation purposes. A total of 6,581 classification points were validated against Google Earth imagery and their accuracy calculated using a confusion matrix. The combination of NDVI and NDMI proved effective in mapping mangrove vegetation, with classification accuracies reaching a Producer Accuracy (PA) of 90%, User Accuracy (UA) of 96.92%, Overall Accuracy (OA) of 96.2%, and an F1-score of 93.33%. A decline in mangrove area was observed in all villages within the Upang Delta, primarily due to land conversion into plantation areas. In 2016, the mangrove area was recorded at 2,857 hectares, decreasing to 1,543 hectares in 2020, and further shrinking to 1,013 hectares by 2024. The villages of Upang Makmur and Sungsang IV experienced the largest reduction in mangrove area during the observation period. Then, Sungai Semut village recorded the highest rate of mangrove degradation. Conversely, Muara Baru and Tanjung Baru Village experienced low mangrove degradation compared to other villages. Mangrove restoration efforts are necessary to halt the declining trend of mangrove land in the Upang Delta in the future.

Keywords: Upang Delta; Mangrove; NDVI; NDMI

PENDAHULUAN

Hutan mangrove memiliki peran yang sangat vital bagi masyarakat setempat dan ekosistem laut secara keseluruhan. Mangrove memberikan banyak kontribusi dalam meningkatkan keanekaragaman hayati laut yang menjadi sumber utama nelayan. Akar-akar mangrove yang kuat dapat menahan tanah dan sedimen, sehingga mencegah abrasi dan menjaga stabilitas garis pantai. Selain itu, mangrove mampu meredam energi gelombang dan badai, mengurangi dampak bencana alam seperti tsunami dan badai tropis pada daerah pesisir.

Delta Upang di Kabupaten Banyuasin, Sumatera Selatan, memiliki sejarah panjang yang dimulai dari sedimentasi sungai-sungai besar seperti Sungai Musi. Endapan tersebut membawa berbagai material – material yang menyuburkan wilayah tersebut. Penduduk setempat awalnya merupakan masyarakat adat yang hidup dari bercocok tanam dan menangkap ikan. Mangrove merupakan ekosistem yang paling banyak dijumpai di Delta Upang pada awalnya. Mengingat tanahnya yang begitu subur, wilayah ini kemudian dikembangkan menjadi perkebunan dengan infrastruktur irigasi (Fahmi *et al.*, 2010). Kemajuan pertanian dan perkebunan memicu degradasi mangrove yang semakin meluas. Delta Upang merupakan daratan dengan substrat aluvial yang terbentuk akibat dari proses sedimentasi. Pesisir aluvial berpotensi besar mengalami erosi seperti yang terjadi di Pesisir Demak (Muskananfoli *et al.*, 2020), Kota Semarang (Yastika *et al.*, 2019) dan Cirebon (Triana *et al.*, 2023). Keberadaan mangrove menjadi penting bagi Delta Upang untuk mencegah erosi.

Penerapan indeks vegetasi dalam pemetaan kawasan mangrove menggunakan citra satelit telah mengalami perkembangan signifikan dalam beberapa dekade terakhir. NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) merupakan indeks vegetasi yang paling awal digunakan sejak tahun 1970-an untuk memantau kesehatan dan distribusi vegetasi, termasuk mangrove (Guo *et al.*, 2021). NDVI memanfaatkan perbedaan reflektansi antara pita merah dan inframerah dekat (NIR) untuk menilai kepadatan dan kondisi vegetasi. Khusus wilayah pesisir, algoritma NDWI (*Normalized Difference Water Index*) dikembangkan untuk membedakan wilayah daratan dan perairan. Indeks ini berperan untuk memisahkan vegetasi mangrove dan vegetasi pada perairan pesisir, seperti lamun (Singgalen & Manongga, 2022). Indeks vegetasi ini tergolong efektif, namun masih memiliki keterbatasan ketika digunakan pada wilayah pesisir dengan vegetasi yang beragam, terutama dalam membedakan vegetasi *terrestrial* dan vegetasi *intertidal* (Tran *et al.*, 2024).

Pemetaan mangrove di Delta Upang menjadi lebih rumit karena kawasan mangrove yang sangat berdekatan dengan kawasan perkebunan. Penggunaan NDVI dan NDWI dirasa masih kurang efektif dalam membedakan kawasan mangrove dan vegetasi nonmangrove. Mangrove memiliki karakteristik substrat yang basah, sehingga relatif sedikit dalam memantulkan gelombang *near infrared* (Yang *et al.*, 2022). Kondisi substrat berlumpur dapat dideteksi menggunakan *Normalized Difference Moisture Index* (NDMI) yang memanfaatkan pita *short-wave infrared* (SWIR) dan *near infrared* (NIR) (Zhang *et al.*, 2022). Salah satu indeks lain yang juga banyak digunakan dalam pemetaan mangrove adalah *Combined Mangrove Recognition Index* (CMRI) (Singgalen & Manongga, 2022; Veetil & Quang, 2019). Meskipun NDMI dikembangkan untuk mengukur kelembapan vegetasi, indeks ini diindikasikan lebih sesuai diterapkan pada studi kasus Delta Upang dibandingkan CMRI. NDMI mampu menyoroti perbedaan kondisi substrat basah dan kering di antara vegetasi pesisir dan vegetasi daratan yang terjadi di Delta Upang (Zhang *et al.*, 2022), sementara CMRI lebih efektif untuk membatasi area mangrove dari perairan pesisir (Yang *et al.*, 2022).

Delta Upang telah terdeteksi mengalami penurunan kawasan mangrove yang cukup signifikan. Analisis perubahan mangrove perlu terus diawasi dengan memanfaatkan perkembangan metode indeks vegetasi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji perubahan luas area mangrove menggunakan gabungan NDVI dan NDMI di Delta Upang.

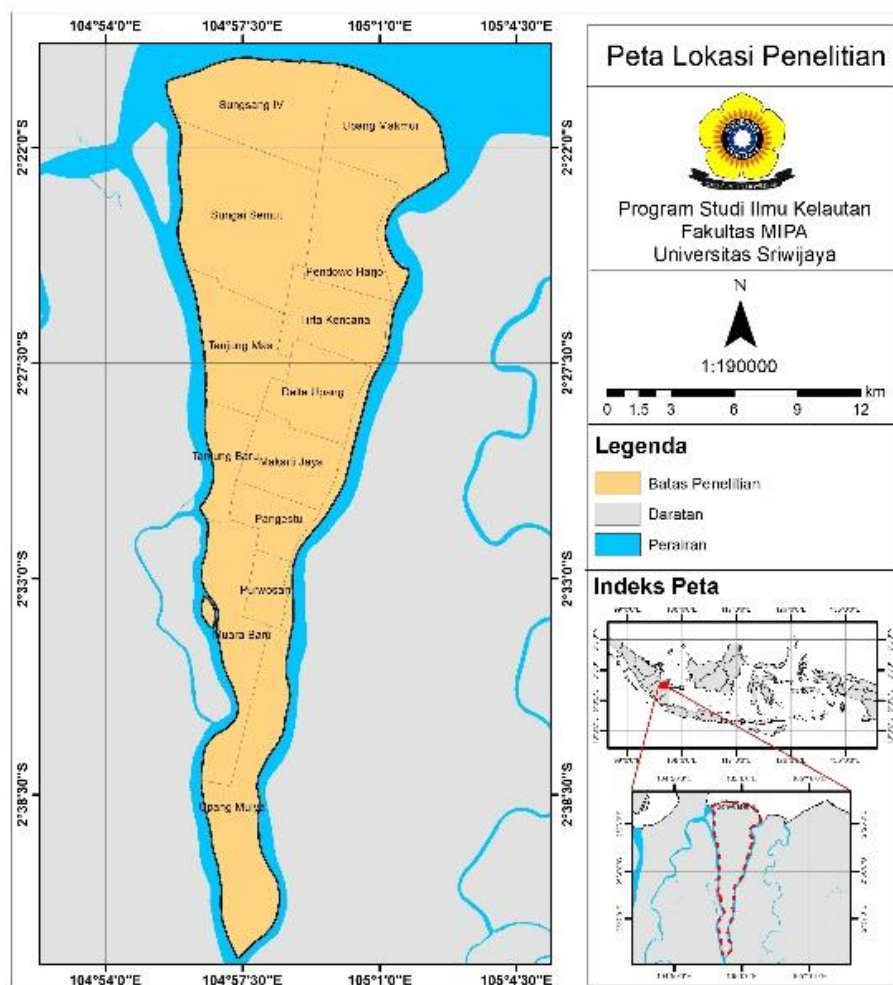
MATERI DAN METODE

Penelitian ini mengkaji pola perubahan lahan mangrove setiap desa di Delta Upang, Kabupaten Banyuasin, Sumatera Selatan dengan luas wilayah sebesar 26.000 hektar. Delta Upang

berada pada Kecamatan Makarti Jaya dan Banyuasin II, dengan dominan wilayahnya masuk dalam Kecamatan Makarti Jaya. Delta Upang terdiri dari 13 Desa dengan 7 desa diantaranya berbatasan dengan garis pantai yang berpotensi ditumbuhi mangrove (Gambar 1). Desa yang berbatasan langsung dengan garis pantai meliputi Sungsang IV, Upang Makmur, Sungai Semut, Tanjung Mas, Tanjung Baru, Muara Baru, dan Upang Mulya.

Perubahan mangrove dianalisis dari tahun 2016 hingga 2024 dengan interval waktu 4 tahun. Penelitian ini menggunakan citra sentinel 2a yang didistribusikan oleh *European Space Agency* (ESA) pada 48MVC datum WGS 1984 untuk mendeteksi kawasan mangrove di Delta Upang. Proses pemilihan citra dimulai dengan mengunduh citra sentinel-2 dengan tutupan awan kurang dari 25% melalui laman <https://scihub.copernicus.eu/> (Pinkeaw *et al.*, 2024), sehingga didapatkan citra pada bulan November 2016, Juni 2020, dan Juni 2024. Menurut ESA, citra sentinel-2 telah dianalisis *ortho-rectification* dan kalibrasi koordinat geografis pada setiap *pixel*. Proses tersebut mengurangi kebutuhan untuk koreksi radiometrik dan geometrik pada citra. *Digital number* yang telah tertera pada setiap 13 band sentinel-2 merupakan nilai reflektan dari *top of atmosphere* (TOA) dengan 3 resolusi spasial, yaitu 10 m, 20 m dan 60 m (Tran *et al.*, 2024).

Penelitian ini memanfaatkan 4 pita sentinel 2a untuk menguji kemampuannya dalam mendeteksi kawasan mangrove yang ada di Delta Upang, yaitu *green band*, *red band*, *near-infrared band*, dan *short-wave infrared band*. Pita gelombang tampak RGB pada Band 2 hingga 4 mampu membedakan wilayah tutupan vegetasi dan nonvegetasi di permukaan bumi (Yang *et al.*, 2022).



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Sensor *near-infrared* dapat mengidentifikasi variabel vegetasi seperti kerapatan kanopi (Guo *et al.*, 2021) dan kelembapan substrat ataupun daun vegetasi (Baloloy *et al.*, 2020). Menurut Hu *et al.*, (2020) vegetasi mangrove memiliki reflektan yang jauh lebih kecil pada band 11 SWIR dibandingkan kawasan pertanian dan hutan *terrestrial*. Terdapat 3 persamaan indeks yang digunakan dalam penelitian ini yaitu NDWI, NDVI dan NDMI.

$$NDWI = \frac{(\beta_{Green} - \beta_{SWIR})}{(\beta_{Green} + \beta_{SWIR})} \quad \dots (1)$$

$$NDVI = \frac{(\beta_{NIR} - \beta_{Red})}{(\beta_{NIR} + \beta_{Red})} \quad \dots (2)$$

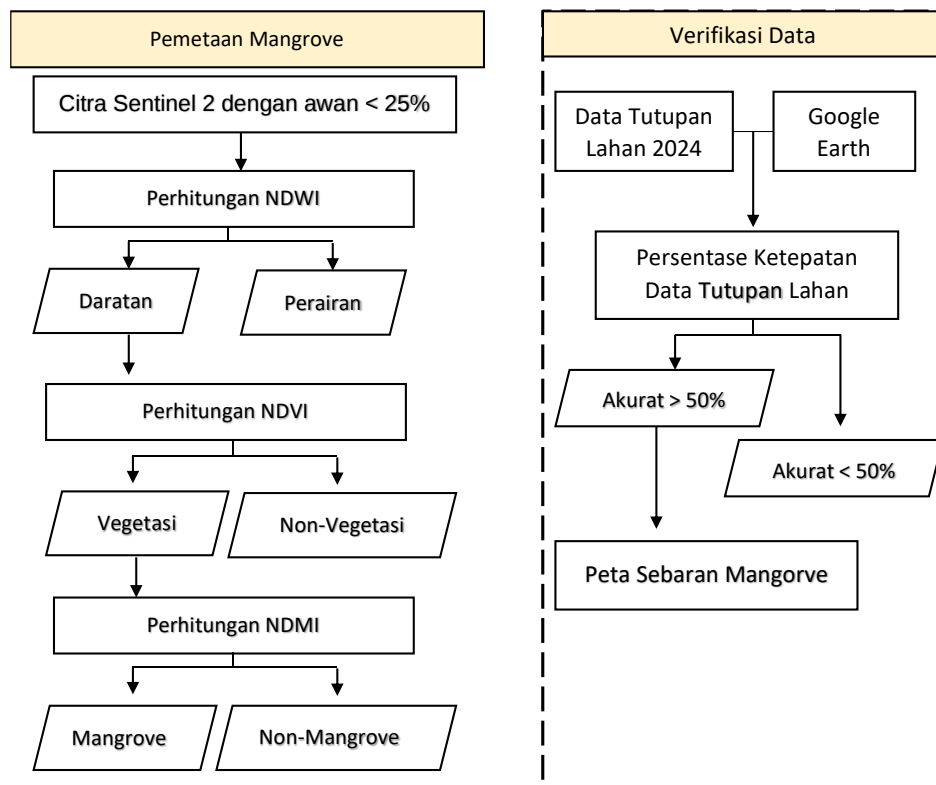
$$NDMI = \frac{(\beta_{NIR} - \beta_{SWIR})}{(\beta_{NIR} + \beta_{SWIR})} \quad \dots (3)$$

Keterangan:

β_{Green} : Band 3 β_{NIR} : Band 8

β_{Red} : Band 4 β_{SWIR} : Band 11

Gambar 2 mengilustrasikan tahapan dalam prosedur penelitian. Perhitungan indeks dimulai dengan menentukan garis pantai melalui NDWI untuk menghapuskan wilayah perairan dalam analisis. Nilai positif NDWI menandakan wilayah perairan, sementara nilai negatif menandakan wilayah daratan (Anand *et al.*, 2019). Kegiatan ini dapat meminimalisir kesalahan dalam perhitungan luasan mangrove yang berbatasan langsung dengan perairan pesisir. Analisis dilanjutkan dengan mendeteksi kawasan vegetasi dan nonvegetasi Delta Upang melalui algoritma NDVI. Hasil analisis NDVI masih belum dapat membedakan jenis vegetasi. Algoritma NDMI kemudian diperlukan untuk membedakan wilayah vegetasi mangrove dan vegetasi nonmangrove. Algoritma ini menggunakan sensor NIR dan SWIR yang dapat mengukur kelembapan vegetasi. Klasifikasi ditentukan dengan metode *thresholding* nilai NDVI dan NDMI yang disajikan pada Tabel 1.



Gambar 2. Alur Penelitian

Tabel 1. Kriteria Nilai NVI dan NDMI

Klasifikasi	NDVI	NDMI
Vegetasi Mangrove	0,3 – 0,7	0,2 – 0,5
Vegetasi Non Mangrove	0,1 – 0,7	0 – 0,2
Non Vegetasi	< 0,1	0 – -0,5

Sumber: Bidgoli *et al.*, 2020; Hamuna & Tanjung, 2018; Saputra *et al.*, 2021)

Titik validasi dipilih secara sistematis dalam radius 200 meter pada lingkup wilayah Delta Upang (Gambar 1). Klasifikasi dari model indeks vegetasi yang dikaji pada penelitian ini diverifikasi berdasarkan foto citra *google earth*. Klasifikasi yang divalidasi meliputi vegetasi mangrove, vegetasi nonmangrove, dan nonvegetasi (Tabel 1). *Google earth* dapat digunakan dalam melihat keakuratan objek permukaan bumi karena memberikan resolusi spasial yang sangat tinggi, yaitu 60 cm (Pinkeaw *et al.*, 2024). Namun *google earth* hanya memberikan data citra pada tahun terbaru, sehingga proses verifikasi hanya dapat dilakukan pada model indeks vegetasi pada tahun 2024. Tingkat akurasi dinilai melalui matiks confusion yang telah banyak diterapkan pada penelitian sebelumnya (Xiao *et al.*, 2021). Matriks confusion menghasilkan *Producer's Accuracy* (PA), *User's Accuracy* (UA), *Overall Accuracy* (OA) dan *F1 score*.

$$F1 = \frac{2 \times PA \times UA}{(PA + UA)}$$

Klasifikasi lahan yang diujikan yaitu vegetasi mangrove, vegetasi nonmangrove dan nonvegetasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pemetaan area mangrove dilakukan validasi akurasinya terhadap *google earth* yang dijadikan acuan kondisi lapangan pada penelitian ini. Titik validasi yang ditentukan secara sistematis dengan interval 200 meter menghasilkan sebagai 6.581 titik klasifikasi. Tabel 2 menjabarkan hasil validasi klasifikasi citra sentinel 2 terhadap *google earth*. Perhitungan menggunakan *confusion matrix* didapatkan nilai PA sebesar 90%, UA sebesar 96.92%, OA sebesar 96.2%, dan F1 sebesar 93.33%.

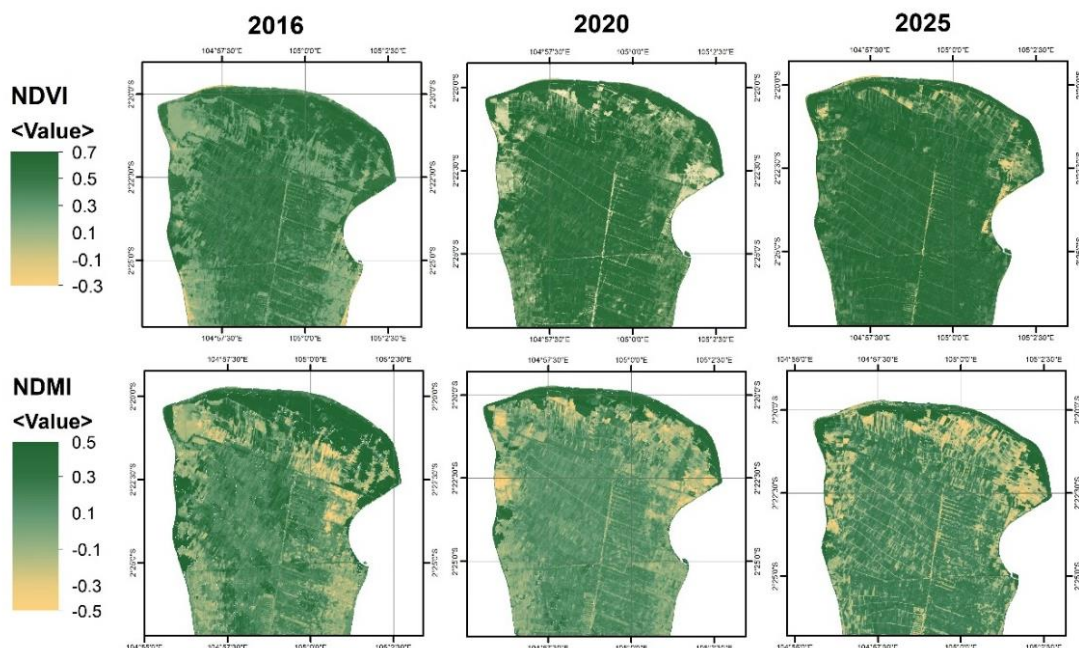
Pemetaan menggunakan algoritma NDVI mengindikasikan Delta Upang dipenuhi oleh tutupan vegetasi. Berdasarkan citra *google earth*, sebagian besar vegetasi tersebut berupa lahan perkebunan sawit yang diprediksikan telah ada sejak 2 dekade terakhir. Jarak antar lahan perkebunan dan lahan mangrove yang berdekatan menyebabkan kesulitan dalam mengidentifikasi kawasan mangrove. Kawasan mangrove berada pada wilayah pesisir yang relatif memiliki kelembapan yang tinggi pada tekstur tanahnya. Penggunaan NDMI telah berhasil membantu memisahkan vegetasi mangrove dengan vegetasi lainnya pada penelitian ini. Gambar 3 mengilustrasikan hasil klasifikasi NDVI dan NDMI dalam upaya pemetaan kawasan Mangrove di Delta Upang.

Penelitian ini membuktikan NDMI sebagai pendekatan alternatif dalam pemetaan area mangrove. Sebagian besar area mangrove ditransformasi menjadi area perkebunan di daerah ini, sehingga sulit mendeteksi penurunan hutan mangrove menggunakan NDVI. NDMI dihitung menggunakan pantulan cahaya pada kanal NIR dan SWIR (*Shortwave Infrared*). Kanal SWIR sangat sensitif terhadap perubahan kelembapan karena gelombangnya banyak terserap pada objek yang lembap (Xiao *et al.*, 2021). Hal itu menjadi alasan kanal SWIR lebih unggul dalam mendeteksi objek yang lembap dibandingkan dengan kanal *RED*. Permukaan tanah yang lembap di area mangrove menghasilkan nilai NDMI yang lebih tinggi dibandingkan dengan sawit yang ditanam di tanah relatif lebih kering (Gambar 3). Kombinasi NDMI dan NDVI memberikan gambaran yang lebih akurat dalam membedakan hutan mangrove sekitar lahan perkebunan di Delta Upang.

Hasil analisis menunjukkan perubahan tutupan mangrove di wilayah Delta Upang mengalami tren penurunan dalam dua periode pengamatan. Gambar 4 menunjukkan total luas mangrove pada tahun 2016 tercatat seluas 2.857 hektar. Luasan tersebut menurun drastis menjadi 1.543 hektar pada tahun 2020 dan 1.013 hektar pada tahun 2024. Penurunan lahan mangrove di Delta Upang selama periode 2016-2024 sebesar 1.844 hektar. Potensi kehilangan fungsi ekologis mangrove dapat berdampak pada berkurangnya perlindungan pantai (Hilmi, 2018) dan keragaman hayati (Zega *et al.*, 2024). Gambar 3 mengilustrasikan banyaknya kegiatan alokasi kawasan mangrove menjadi lahan perkebunan di Sungsang IV, Upang Makmur, dan Sungai Semut yang menjadi kawasan utama mangrove di Delta Upang. Indikasi tersebut diperlihatkan dari area alokasi mangrove menjadi perkebunan yang masih merupakan area vegetasi dalam algoritma NDVI namun kelembapan tanahnya menurun drastis dalam algoritma NDMI. Delta Upang mulai menjadi tujuan transmigrasi di Sumatera Selatan sejak tahun 1969. Arus transmigrasi ini membuka alokasi lahan rawa Delta Upang menjadi kawasan pertanian dan perkebunan sawit yang disebut reklamasi rawa pasang surut (Sobur *et al.*, 1978). Oleh karena itu, degradasi mangrove di Delta Upang diprediksikan telah terjadi jauh sebelum tahun 2016.

Tabel 2. Confusion Matrix

Confusion Matrix		Google earth		
		Mangrove	Vegetasi	Nonvegetasi
Klasifikasi	Mangrove	252	7	1
	Vegetasi	28	5895	214
	Non Vegetasi	0	0	184
PA (<i>producer's accuracy</i>)		90%		
UA (<i>user's accuracy</i>)		96.92%		
OA (<i>overall accuracy</i>)		96.2%		
F1 score		93.33%		

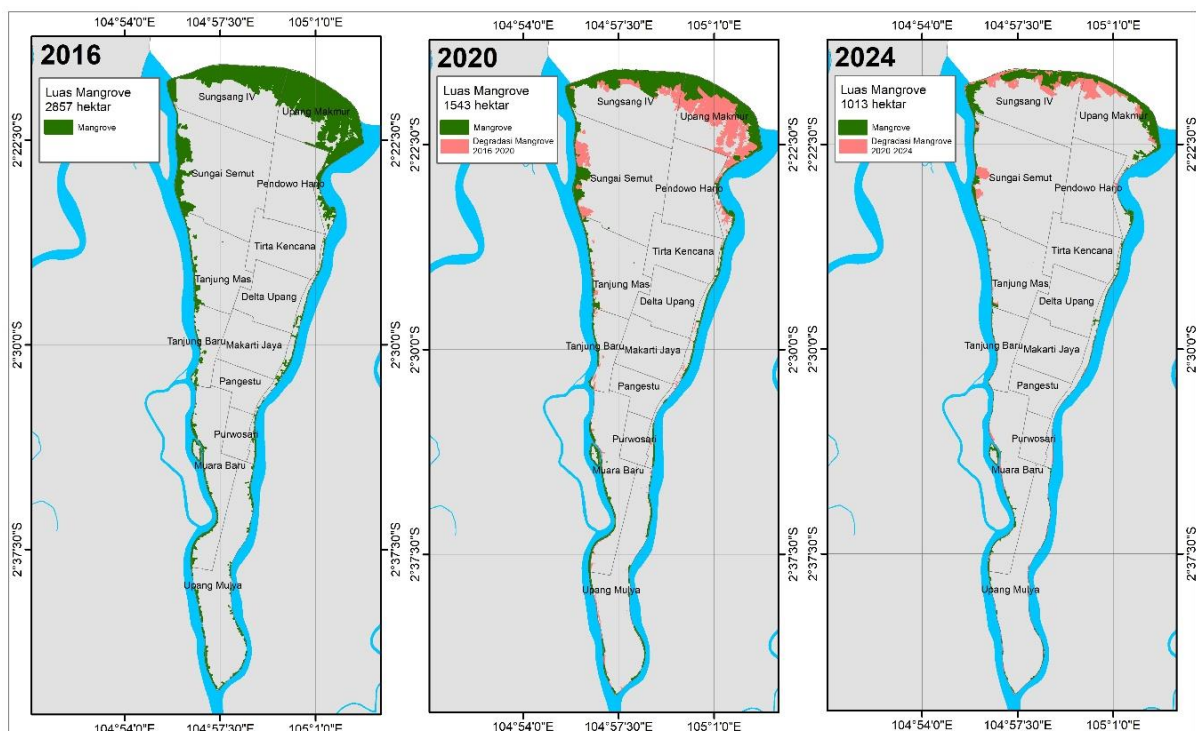


Gambar 3. Hasil Pemetaan Mangrove Menggunakan Algoritma NDVI dan NDMI

Tabel 3 menguraikan nilai penurunan area mangrove tiap desa di Delta Upang selama tahun 2016 – 2020. Upang Makmur tercatat sebagai desa dengan penurunan mangrove terbesar (Gambar 5). Luas mangrove di desa ini berkurang dari 1.540 hektar menjadi 590 hektar dengan tingkat degradasi mencapai 62%. Sungai Semut mengalami laju degradasi mangrove terbesar kedua sebesar 49%. Sungsang IV juga mengalami kehilangan area mangrove cukup besar seluas 185 hektar, meskipun laju degradasinya sebesar 22%. Tanjung Mas mencatat degradasi sebesar 44% dari 57 hektar turun menjadi 32 hektar. Upang Mulya dan Tanjung Baru mengalami penurunan mangrove masing-masing 14% dan 19%. Muara Baru memperlihatkan perubahan terkecil dengan degradasi hanya 5% dari total 61 hektar menjadi 58 hektar.

Tabel 3. Perubahan Luas Mangrove Delta Upang Tahun 2016-2020

Desa	Luas (hektar)		% Degradasi
	Mangrove 2016	Mangrove 2020	
Upang Makmur	1540	590	62%
Sungsang IV	854	669	22%
Sungai Semut	287	145	49%
Muara Baru	61	58	5%
Tanjung Mas	57	32	44%
Upang Mulya	42	36	14%
Tanjung Baru	16	13	19%
Total	2857	1543	46%



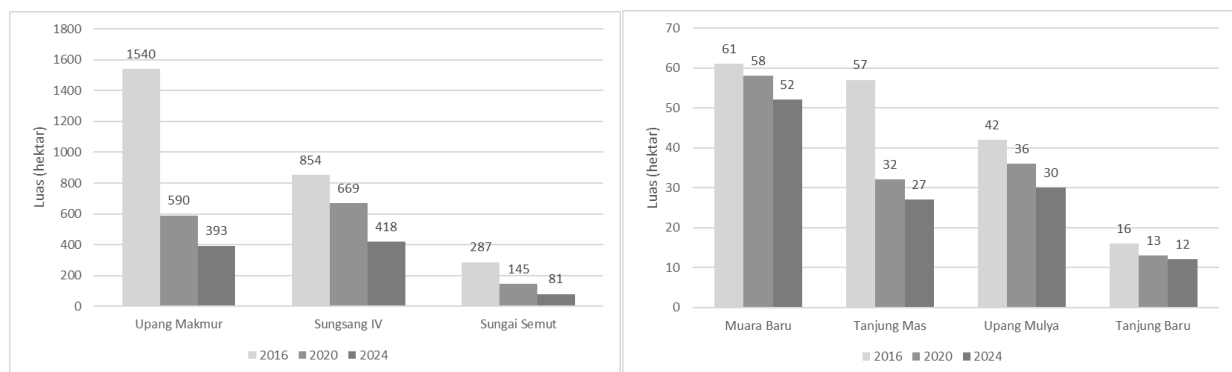
Gambar 4. Perubahan Luasan Mangrove di Delta Upang

Periode kedua pengamatan pada tahun 2020 hingga 2024 (Tabel 4) juga memperlihatkan Upang Makmur sebagai desa dengan penurunan mangrove yang besar, meski degradasinya turun menjadi 33%. Penurunan luas area mangrove terbesar terjadi pada Desa Sungsang IV yang kehilangan area mangrove seluas 251 hektar. Sungai Semut juga mengalami penurunan area mangrove yang paling signifikan. Desa tersebut mengalami laju degradasi mangrove sebesar 44%, meskipun area mangrove yang hilang seluas 81 hektar. Muara Baru memperlihatkan degradasi yang tetap rendah sebesar 10%. Tanjung Mas menunjukkan degradasi sebesar 16% sementara Upang Mulya dan Tanjung Baru masing-masing mengalami penurunan sebesar 17% dan 8%. Hasil ini memperlihatkan meskipun laju degradasi menurun, tekanan pada ekosistem mangrove masih berlangsung di hampir semua desa.

Gambar 5 menunjukkan tren degradasi mangrove di Delta Upang masih terus berlangsung di sebagian besar wilayah desa. Kondisi tersebut menegaskan pentingnya strategi konservasi yang lebih efektif dengan melibatkan partisipasi aktif masyarakat. Hasil penelitian Fahmi *et al.*, (2010) menyebutkan bahwa Delta Upang memiliki potensi besar untuk dilakukan penanaman ulang bibit mangrove. Jenis mangrove seperti *Rhizophora* dan *Bruguiera* dinilai sesuai untuk dikembangkan di kawasan ini. Keberhasilan program rehabilitasi juga dapat dilihat pada kasus pesisir Muara Gembong, Bekasi, yang mampu meningkatkan luas area mangrove hingga 1.017 hektar selama tahun 2014–2019 (Maulani *et al.*, 2021). Pengembangan area wisata mangrove menjadi alternatif lain yang dapat diterapkan di Delta Upang. Bukti keberhasilan ekowisata terlihat pada kawasan Binuanga, Bolaang Mongondow Utara, yang berhasil menambah area mangrove seluas 57 hektar (Yusuf *et al.*, 2024). Teluk Ambon juga menunjukkan keberhasilan serupa melalui pengelolaan ekowisata mangrove yang mampu memperluas hutan mangrove di wilayah tersebut (Rihulay & Samuel Papilaya, 2022). Dua pendekatan ini saling mendukung untuk meminimalkan degradasi sekaligus memberikan manfaat ekonomi bagi masyarakat pesisir.

Tabel 4. Perubahan Laus Mangrove Delta Upang Tahun 2020-2024

Desa	Luas (hektar)		% Degradasi
	Mangrove 2020	Mangrove 2024	
Upang Makmur	590	393	33%
Sungsang IV	669	418	38%
Sungai Semut	145	81	44%
Muara Baru	58	52	10%
Tanjung Mas	32	27	16%
Upang Mulya	36	30	17%
Tanjung Baru	13	12	8%
Total	1543	1013	34%



Gambar 5. Luas Mangrove Setiap Desa di Delta Upang Tahun 2016, 2020, 2024

KESIMPULAN

Penggunaan gabungan indeks NDVI dan NDMI terbukti efektif dalam membedakan area mangrove dan vegetasi nonmangrove yang relatif berdekatan seperti yang terjadi di Delta Upang. Hasil penelitian menunjukkan penurunan mangrove di Delta Upang terjadi akibat alih fungsi lahan menjadi perkebunan. Delta Upang telah kehilangan area mangrove sekitar 1.314 hektar selama 2016-2020 dan sekitar 530 hektar selama 2020-2024. Setiap desa di kawasan ini mencatat tingkat degradasi mangrove dengan variasi yang berbeda. Upang Makmur dan Sungsang IV menjadi desa dengan penurunan mangrove terbesar selama periode pengamatan. Sementara Sungai Semut menjadi desa dengan laju degradasi mangrove terbesar selama periode pengamatan. Desa Muara Baru dan Tanjung Baru menunjukkan tingkat degradasi yang relatif kecil dibandingkan desa lainnya. Upaya rehabilitasi dan pengembangan ekowisata mangrove menjadi langkah penting untuk meminimalkan laju degradasi yang terus terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anand, A., Kantharajan, G., Krishnan, P., Hakeem, K.A., Santosh, K.S., Rao, C.S., Lal, K.K., Choudhury, S.B., Manjulatha, C., & Babu, D.E., 2019. Mapping the Potential Areas for Enclosure Fish Culture in Tropical Reservoirs: Geo-Spatial Solutions for Sustainable Aquaculture Expansion. *Spatial Information Research*, 27(6): 733–747. DOI: 10.1007/s41324-019-00294-w
- Baloloy, A.B., Blanco, A.C., Rhommel, R.R.C., & Nadaoka, K., 2020. Development and Application of a New Mangrove Vegetation Index (MVI) for Rapid and Accurate Mangrove Mapping. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 166: 95–117. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2020.06.001
- Bidgoli, R.D., Koohbanani, H., Keshavarzi, A., & Kumar, V., 2020. Measurement and Zonation of Soil Surface Moisture in Arid and Semi-Arid Regions Using Landsat 8 Images. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(17): p.826. DOI: 10.1007/s12517-020-05837-2
- Fahmi, K., Dahlan, Z., & Sarno, 2010. Tingkat Keberhasilan Hidup Bibit Mangrove *Rhizophora mucronata*, *R. apiculata* dan *Bruguiera gymnorrhiza* di Delta Upang Banyuasin Sumatera Selatan. *Maspari Journal*, 1:69–72. DOI: 10.56064/maspari.v1i1.1124
- Guo, X., Wang, M., Jia, M., & Wang, W., 2021. Estimating Mangrove Leaf Area Index Based on Red-Edge Vegetation Indices: A Comparison among UAV, WorldView-2 and Sentinel-2 Imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 103: p.102493. DOI: 10.1016/j.jag.2021.102493
- Hamuna, B., & Tanjung, R.H.R., 2018. Deteksi Perubahan Luasan Mangrove Teluk Youtefa Kota Jayapura Menggunakan Citra Landsat Multitemporal. *Majalah Geografi Indonesia*, 32(2):1-15. DOI: 10.22146/mgi.33755
- Hilmi, E., 2018. Mangrove Landscaping Using the Modulus of Elasticity and Rupture Properties To Reduce Coastal Disaster Risk. *Ocean and Coastal Management*, 165: 71–79. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2018.08.002
- Hu, L., Xu, N., Liang, J., Li, Z., Chen, L., & Zhao, F., 2020. Advancing the Mapping of Mangrove Forests at National-Scale Using Sentinel-1 and Sentinel-2 Time-Series Data with Google earth Engine: A Case Study in China. *Remote Sensing*, 12(19): p.3120. DOI:10.3390/RS12193120
- Maulani, A., Taufiq, N., & Pratikto, I., 2021. Perubahan Lahan Mangrove di Pesisir Muara Gembong, Bekasi, Jawa Barat. *Journal of Marine Research*, 10(1): 55–63. DOI: 10.14710/jmr.v10i1.28396
- Muskananfolo, M.R., Supriharyono, & Febrianto, S., 2020. Spatio-Temporal Analysis of Shoreline Change along the Coast of Sayung Demak, Indonesia Using Digital Shoreline Analysis System. *Regional Studies in Marine Science*, 34: p.101060. DOI: 10.1016/j.rsma.2020.101060
- Pinkeaw, S., Boonrat, P., Koedsin, W., & Huete, A., 2024. Semi-Automated Mangrove Mapping at National-Scale Using Sentinel-2, Sentinel-1, and SRTM Data with Google earth Engine: A Case Study in Thailand. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 27(3): 555–564. DOI: 10.1016/j.ejrs.2024.07.001
- Rihulay, T.D., & Papilaya, F.S., 2022. Analisa Perubahan Luas Tutupan Lahan Mangrove di Teluk

- Ambon dalam Menggunakan OBIA. *Journal of Information System, Graphics, Hospitality and Technology*, 4(01): 7–12. DOI: 10.37823/insight.v4i01.183
- Saputra, R., Gaol, J.L., & Agus, S.B., 2021. Studi Perubahan Tutupan Lahan Berbasis Objek (OBIA) Menggunakan Citra Satelit di Kawasan Mangrove, Pulau Dompok, Provinsi Kepulauan Riau. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 13(1): 39–55. DOI: 10.29244/jitkt.v13i1.27886
- Singgalen, Y.A., & Manongga, D., 2022. Monitoring of Mangrove Ecotourism Area Using NDVI, NDWI, and CMRI in Dodola Island, Morotai Island Regency, Indonesia. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 14(1): 95–108. DOI: 10.29244/jitkt.v14i1.37605
- Sobur, A.S., Chambers, M.J., Chambers, R., Damopolii, J., Hadi, S., & Hanson, A.J., 1978. Remote Sensing Applications in the Southeast Sumatra Coastal Environment. *Remote Sensing of Environment*, 7(4): 281–303. DOI: 10.1016/0034-4257(78)90021-4
- Tran, T.V., Reef, R., Zhu, X., & Gunn, A., 2024. Characterising the Distribution of Mangroves along the Southern Coast of Vietnam Using Multi-Spectral Indices and a Deep Learning Model. *Science of the Total Environment*, 923: p.171367. DOI:10.1016/j.scitotenv.2024.171367
- Triana, K., Solihuddin, T., Husrin, S., Risandi, J., Mustikasari, E., Kepel, T.L., Salim, H.L., Sudirman, N., Prasetyo, A.T., & Helmi, M., 2023. An Integrated Satellite Characterization and Hydrodynamic Study in Assessing Coastal Dynamics in Cirebon, West Java. *Regional Studies in Marine Science*, 65: p.103107. DOI:10.1016/j.rsma.2023.103107
- Veettil, B.K., & Quang, N.X., 2019. Mangrove Forests of Cambodia: Recent Changes and Future Threats. *Ocean and Coastal Management*, 181: p.104895. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2019.104895
- Xiao, H., Su, F., Fu, D., Lyne, V., Liu, G., Pan, T., & Teng, J., 2021. Optimal and Robust Vegetation Mapping in Complex Environments Using Multiple Satellite Imagery: Application To Mangroves in Southeast Asia. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 99: p.102320. DOI:10.1016/j.jag.2021.102320
- Yang, G., Huang, K., Sun, W., Meng, X., Mao, D., & Ge, Y., 2022. Enhanced Mangrove Vegetation Index Based on Hyperspectral Images for Mapping Mangrove. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 189: 236–254. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2022.05.003
- Yastika, P.E., Shimizu, N., & Abidin, H.Z., 2019. Monitoring of Long-Term Land Subsidence from 2003 to 2017 in Coastal Area of Semarang, Indonesia by SBAS DInSAR Analyses Using Envisat-ASAR, ALOS-PALSAR, and Sentinel-1A SAR Data. *Advances in Space Research*, 63(5): 1719–1736. DOI: 10.1016/j.asr.2018.11.008
- Yusuf, D., Lahay, R.J., Thalib, H.Z., Zainuri, A., Faridawaty, W.O, Utina, R., & Baderan, D.K.W., 2024. Analisis Perubahan Alih Fungsi Lahan Mangrove di Binuanga Bolaang Mongondow Utara. *Journal Bionatural*, 11(1): 67–73. DOI: 10.61290/bio.v12i2
- Zega, A., Susanti, N.M, Tillah, R., Laoli, D., Telaumbanua, B.V., Zebua, R.D., Dawolo, J., Zebua, O., & Gea, A.S.A., 2024. Strategi Inovatif dalam Menghadapi Degradasi Ekosistem: Kajian Terbaru Tentang Peran Vital Hutan Mangrove dalam Konservasi Lingkungan. *Zoologi: Jurnal Ilmu Peternakan, Ilmu Perikanan, Ilmu Kedokteran Hewan*, 2(2): 71–83. DOI: 10.62951/zoologi.v2i2.65
- Zhang, R., Jia, M., Wang, Z., Zhou, Y., Mao, D., Ren, C., Zhao, C., & Liu, X., 2022. Tracking Annual Dynamics of Mangrove Forests in Mangrove National Nature Reserves of China Based on Time Series Sentinel-2 Imagery during 2016–2020. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 112: p.102918. DOI: 10.1016/j.jag.2022.102918