



Analisis Kerusakan Mangrove di Kota Pasuruan Menggunakan Data Citra Satelit

Danardana Muhammad¹, Fachrol A.Mochti Tanjung², Nisrina Sekar Harum³, Robert Kurniawan⁴

^{1, 2, 3}Program Studi Statistika, Politeknik Statistika STIS, Jakarta, Indonesia
⁴Program Studi Komputasi Statistik, Politeknik Statistika STIS, Jakarta, Indonesia

¹212111976@stis.ac.id

²212112029@stis.ac.id

³212112264@stis.ac.id

⁴robertk@stis.ac.id

Corresponding author email: 212112264@stis.ac.id

Abstract: *Mangroves have many benefits for living beings, such as providing human livelihoods, habitats for flora and fauna, and the ability to store CO₂. However, in recent times, mangrove forest areas have been experiencing degradation, including in Kota Pasuruan, Jawa Timur. By using data from Copernicus satellite imagery, the determination of mangrove areas was trained using the random forest model. Variables in the mangrove areas were used to build an index to determine the level of damage. This study aims to classify the damage to mangrove forest areas in Kota Pasuruan according to the criteria of the National Ministry of Forestry. The results of the study indicate that the mangrove forests in Kota Pasuruan are experiencing degradation due to land conversion into fish ponds.*

Keywords: *Degradation, fish ponds, mangroves, random forest, satellite imagery*

Abstrak: Mangrove memiliki banyak manfaat untuk makhluk hidup seperti mata pencaharian manusia, habitat untuk flora dan fauna, serta dapat menyimpan CO₂. Namun, dewasa ini lahan hutan mangrove mengalami degradasi termasuk di Kota Pasuruan, Jawa Timur. Dengan menggunakan data dari citra satelit Copernicus, penentuan kawasan mangrove dilatih dengan menggunakan model *random forest*. Variabel pada kawasan mangrove digunakan untuk membangun indeks sehingga dapat ditentukan tingkat kerusakannya. Penelitian ini bertujuan untuk mengklasifikasikan kerusakan lahan hutan mangrove di Kota Pasuruan sesuai dengan kriteria Kementerian Kehutanan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hutan mangrove di Kota Pasuruan mengalami degradasi akibat alih fungsi lahan menjadi tambak.

Kata kunci: citra satelit, degradasi, mangrove, *random forest*, tambak

I. PENDAHULUAN

Mangrove merupakan ekosistem yang terletak di muara dan perairan yang memiliki peran penting untuk lingkungan [1]. Sumber daya hayati mangrove dapat dimanfaatkan untuk kesejahteraan manusia seperti mata pencaharian, penyedia bahan bakar, pangan, kayu, bahan bangunan, penjernihan air, dan perlindungan pantai dari kerusakan [2–4]. Mangrove juga menjadi habitat bagi flora dan fauna serta spesies langka. Selain itu, mangrove juga memiliki manfaat yang lebih besar seperti pengurangan emisi gas rumah kaca dan dampak negatif yang ditimbulkan dari *global warming* hingga batas tertentu [5]. Hal ini karena mangrove dapat menyimpan karbon pada satuan luas tertentu lima kali lebih besar dibandingkan hutan tropis terestrial, beriklim sedang, dan hutan bioma [6].

Dewasa ini, permasalahan pada hutan mangrove adalah terjadinya degradasi lahan dalam seratus tahun terakhir [7]. Penurunan jumlah hutan mangrove disebabkan oleh alih fungsi lahan seperti pembangunan proyek akibat urbanisasi yang pesat [8]. Degradasi tersebut dikarenakan lahan hutan mangrove dialihkan untuk fungsi lain yang lebih menguntungkan seperti industrialisasi, perluasan kota, dan aktivitas pertanian [8,9]. Selain itu, permintaan atas kayu yang meningkat menjadi motivasi manusia untuk melakukan eksploitasi berlebih. Aktivitas manusia lainnya yang dapat merusak mangrove yaitu pembukaan tambak untuk budidaya perairan [10]. Kurangnya kesadaran masyarakat mengenai fungsi ekologi hutan mangrove menjadi alasan utama. Dampak negatif yang dapat



ditimbulkan antara lain hilangnya habitat flora fauna, suhu bumi yang meningkat, rendahnya penyerapan karbon, dan kerusakan lingkungan lainnya.

Sekitar satu pertiga hutan mangrove di dunia sudah hilang atau dialihkan untuk fungsi lain dalam lima puluh tahun terakhir [11]. Peralihan fungsi tersebut menyumbang 8 hingga 20 persen emisi karbon dioksida (CO₂) [12]. Degradasi mangrove pernah terjadi di Provinsi Shandong, Tiongkok. Hampir 40% hutan mangrove mengalami degradasi akibat aktivitas manusia seperti konstruksi, eksploitasi sumber daya berlebih, dan pencemaran lingkungan terutama di wilayah pesisir Tiongkok [13]. Penelitian yang dilakukan di Sundarbans, Bangladesh menunjukkan bahwa terjadinya degradasi hutan mangrove akibat eksploitasi sumber daya yang berlebihan, perubahan penggunaan lahan pesisir, tumpahan minyak, polusi dari industri, wabah penyakit, perubahan iklim, kebakaran, kenaikan permukaan laut, dan peningkatan konflik manusia-hewan [14].

Salah satu wilayah Indonesia yang juga mengalami degradasi hutan mangrove adalah Kota Pasuruan, Jawa Timur. Penelitian yang pernah dilakukan di pesisir Pantai Pasuruan termasuk pantai utara Kabupaten Pasuruan dan pantai utara Kota Pasuruan menunjukkan bahwa telah terjadi degradasi hutan mangrove baik secara luas lahan maupun keanekaragaman hayatinya [10,15]. Pemerintah telah melakukan berbagai upaya melalui alokasi dana reboisasi untuk hutan mangrove tiap tahunnya, tetapi keberhasilan yang dicapai hanya sekitar 50% dan kerusakan hutan mangrove masih saja terjadi. Apabila degradasi ini dibiarkan maka keberadaan hutan mangrove akan mengkhawatirkan dan mengancam aktivitas manusia. Kurangnya partisipasi masyarakat dalam melestarikan bahkan perilaku yang merusak hutan mangrove menjadi salah satu alasan utama terjadinya degradasi mangrove di Pasuruan.

Pengelolaan ekosistem mangrove berperan penting dalam mencapai *Sustainable Development Goals* (SDGs) khususnya tujuan nomor 14 yaitu berfokus pada melindungi ekosistem laut dan pesisir untuk menghindari dampak buruk. Keberadaan hutan mangrove juga membantu mencapai SDGs lainnya, seperti menjamin penghidupan dan pertumbuhan ekonomi (tujuan 8), menangani dampak perubahan iklim (tujuan 13), dan menghentikan hilangnya keanekaragaman hayati (tujuan 15). Tujuan tersebut tidak akan tercapai dengan baik jika pemerintah dan masyarakat tidak memiliki kesadaran yang cukup akan pentingnya hutan mangrove. Oleh karena itu, diperlukan kajian mengenai kondisi kerapatan dan kerusakan mangrove.

Kerapatan mangrove dapat diketahui melalui pengamatan atau pengukuran langsung ke lapangan dan melalui penginderaan jarak jauh. Penginderaan jauh didefinisikan sebagai sebuah cara untuk memperoleh informasi tanpa melakukan kontak fisik. Informasi diperoleh dengan mendeteksi dan mengukur perubahan yang ditimbulkan suatu benda pada medan di sekitarnya baik itu medan elektromagnetik, akustik atau potensial [16]. Penginderaan jarak jauh merupakan alternatif solusi untuk metode estimasi kerapatan di permukaan hutan mangrove secara spasial. Penginderaan jarak jauh memiliki keunggulan seperti memperoleh data lingkungan yang tidak dapat diakses dan wilayah yang sulit dijangkau [2]. Sejumlah citra satelit telah digunakan untuk melakukan analisis kerapatan hutan mangrove termasuk TM/ETM, SPOT, Sentinel 2-a, dan ALOS. Sedangkan citra satelit Copernicus masih jarang digunakan.

Penelitian terkait mangrove sudah cukup banyak dilakukan oleh para peneliti terdahulu. Penelitian yang dilakukan di Teluk Ambon mengenai perubahan tutupan lahan mangrove dengan metode *Object Based Image Classification* menggunakan citra satelit landsat menunjukkan terjadinya perubahan tutupan luas lahan [17]. Penelitian lain yang dilakukan di Luwu Timur untuk memantau luas wilayah mangrove dari tahu 2000 sampai 2020 dengan menggunakan metode *Random Forest* (RF)



menunjukkan adanya trend penurunan jumlah luas wilayah mangrove di Luwu Timur. Penelitian mengenai pemetaan lahan mangrove di wilayah Taman Nasional Sembilang dengan membandingkan metode klasifikasi *Decision Tree* dan *Random Forest*. Hasil menunjukkan bahwa *Random Forest* memiliki akurasi yang lebih baik [18]. Penelitian mengenai kerusakan lahan mangrove juga sudah dilakukan di Kecamatan Tugu Kota Semarang dengan menggunakan citra Landsat [19]. Kemudian terkait tingkat kerusakan mangrove telah dilakukan penelitian di kecamatan Lembar, kabupaten Lombok Barat dengan metode skoring berdasarkan tiga kriteria yaitu penggunaan lahan, kerapatan mangrove dan ketahanan tanah terhadap erosi [20].

Penelitian mengenai hutan mangrove di Pasuruan pernah dilakukan. Peneliti melakukan wawancara terhadap masyarakat di sekitar Pantai Pasuruan. Hasil wawancara memberikan kesimpulan bahwa luas hutan mangrove mengalami penurunan akibat aktivitas manusia seperti eksploitasi berlebih dan pembentukan tambak. Selain itu, perilaku merusak mangrove yang dilakukan oleh wisatawan yang datang ke Pantai Pasuruan juga menjadi penyebab degradasi hutan mangrove [10]. Penelitian mengenai sebaran kerusakan mangrove di Kota Pasuruan menggunakan data citra satelit belum pernah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengklasifikasikan kerusakan lahan hutan mangrove di Kota Pasuruan sesuai dengan kriteria Kementerian Kehutanan. Diharapkan penelitian ini memiliki kontribusi terhadap SDGs dan menjadi sumber baca bagi masyarakat maupun peneliti lainnya. Selain itu, penelitian ini bisa menjadi saran bagi pemerintah untuk membuat kebijakan reboisasi hutan mangrove yang lebih optimal.

II. METODE PENELITIAN

Berdasarkan Pedoman Inventarisasi dan Identifikasi Lahan Kritis Mangrove [21], jenis pemanfaatan lahan, kerapatan tajuk mangrove, dan ketahanan tanah terhadap abrasi pada kawasan mangrove mampu menjadi indikator tingkat kerusakan mangrove. Pemanfaatan atau penggunaan lahan menunjukkan kenampakan lahan yang dikaitkan dengan penggunaan lahan yang digunakan oleh manusia dalam melakukan aktivitas [16]. Kerapatan tajuk adalah ukuran yang menunjukkan jumlah atau persentase tutupan kanopi pohon atau tanaman di area tertentu. Hal ini menunjukkan seberapa banyak tanah yang tertutupi oleh daun dan ranting pohon atau tanaman.

Proses kerja dimulai dengan melakukan *tagging* data citra satelit Copernicus berserta label klasifikasi: daratan, perairan, dan mangrove berupa titik sebagai sampel. Pada proses *tagging* data digunakan sampel sebanyak 125 titik sampel. Pada proses *tagging* ini diambil data citra satelit yang berada dalam rentang waktu tahun 2023 yaitu dari 01 Januari 2023 hingga 31 Desember 2023. Berikut merupakan contoh sampel proses *tagging* yang dilakukan untuk tiga kategori klasifikasi :

Gambar 1 menunjukkan contoh sampel gambar proses *tagging* manual untuk wilayah daratan, mangrove dan perairan. Gambar 1a yang ditandai dengan pin hijau menunjukkan wilayah daratan atau pemukiman atau non-vegetasi. Gambar 1b yang ditandai dengan pin warna merah menunjukkan wilayah kawasan mangrove. Gambar 1c yang ditandai dengan pin warna biru merepresentasikan area perairan atau tambak.

Titik sampel dari proses *tagging* manual akan dilakukan pemisahan data dengan cara acak sehingga diperoleh 80% data latih sebagai pembangun model dengan algoritma *Random Forest* (RF). Data uji berasal dari 20% data lainnya akan digunakan untuk memeriksa kebaikan model. Model yang diajukan dapat diterima saat tingkat akurasi memadai. Citra satelit Sentinel-2 yang diolah oleh ESA telah mengklasifikasikan data penggunaan lahan di Pasuruan sehingga dapat dilakukan pengkodean

ulang menjadi tiga kategori: kawasan hutan, kawasan tumpang sari dan perkebunan, serta kawasan non vegetasi.

$$NDVI = \frac{B8 - B4}{B8 + B4} \quad (1)$$



Gambar 1a



Gambar 1b



Gambar 1c

Gambar 1. Tagging Manual: (1a) Wilayah Daratan (1b) Kawasan Mangrove (1c) Area Perairan atau Tambak

Tabel 1. Klasifikasi Kerapatan Tajuk Berdasarkan Nilai NDVI

Kerapatan Tajuk	NDVI	Klasifikasi
70–100%	0,43-1,00	lebat
50-69%	0,33-0,42	sedang
<50%	-1,00-0,32	jarang

Kerapatan tajuk mangrove diperoleh dari data Copernicus yang berupa data raster turunan dari spektral merah (B4) dan spektral inframerah-dekat (B8). NDVI diperoleh dari kedua gelombang tersebut dengan formula seperti persamaan 1. Nilai yang diperoleh nantinya akan dikategorisasi menjadi kerapatan tajuk lebat, sedang, dan jarang. Berdasarkan tabel 1, nilai NDVI yang berada direntang 0,43 hingga 1 dapat diklasifikasikan mejadi kerapatan tajuk lebat, nilai NDVI antara 0,33 hingga 0,42 diklasifikasikan menjadi kerapatan tajuk sedang, dan nilai NDVI antara -1 hingga 0,32 diklasifikasikan menjadi kerapatan tajuk jarang. Penentuan klasifikasi ini didasarkan pada kriteria Pedoman Inventarisasi Mangrove Departemen Kehutanan Kementerian Kehutanan [21].

Tabel 2. Kuantifikasi Nilai Variabel

Variabel	Kategori	Skor
Jenis Penggunaan Lahan (JPL)	hutan dan kawasan hutan	3
	tumpang sari dan perkebunan	2
	non vegetasi	1
Kerapatan Tajuk (KT)	lebat	3
	sedang	2
	jarang	1
Kepekaan Tanah terhadap Abrasi (KTA)	tidak peka	3
	peka	2
	sangat peka	1

Berdasarkan tabel 2, jenis kepekaan tanah terhadap pengikisan tanah, baik erosi pada tepian sungai maupun abrasi pada pesisir, akan dikategorisasi menjadi tiga jenis, yaitu tanah yang tidak peka (lempung), peka (campuran), dan sangat peka (berpasir). Data tanah diambil dari *Food and Agriculture Organization* yang berarti perlu penyesuaian konsep dan definisi dengan standar Kementerian Kehutanan. Nilai dari variabel-variabel yang telah dikategorisasi akan dikuantifikasikan

dalam skala data baru berupa skor bilangan bulat mulai dari 1 sampai dengan 3 berdasarkan Pedoman Inventarisasi Mangrove Departemen Kehutanan [21].

$$TNS = JPL \times 45 + KT \times 35 + KTA \times 20 \quad (2)$$

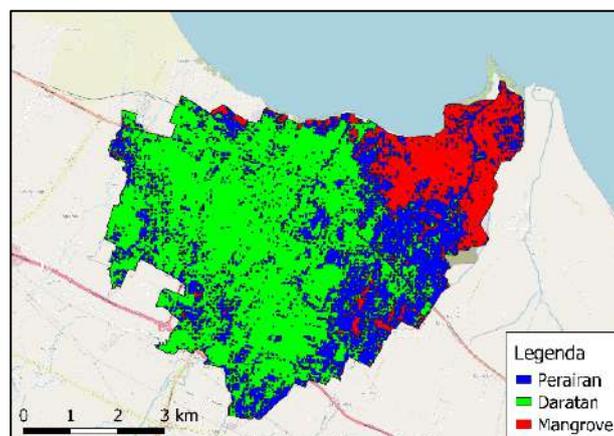
Tabel 3. Klasifikasi Kerusakan Mangrove Berdasarkan Indikator

TNS	Klasifikasi
100-166	Rusak berat
167-233	Rusak
234-300	Tidak rusak

Hasil dari pembobotan pada tabel 2 akan dikalkulasi dengan persamaan 2 untuk memperoleh Total Nilai Skoring (TNS) sesuai kriteria Pedoman Inventarisasi Mangrove Departemen Kehutanan Kementerian Kehutanan [21]. Total Nilai Skoring menunjukkan kualitas kawasan Mangrove. Semakin rendah indikator TNS berarti semakin buruk kelestarian mangrove. Kerusakan mangrove berdasarkan indikator di atas terbagi menjadi menjadi tiga kelas. Berdasarkan tabel 3, nilai TNS sebesar 100 hingga 166 dikategorikan menjadi rusak berat, TNS sebesar 167 hingga 233 dikategorikan menjadi rusak, dan TNS sebesar 243 hingga 300 dikategorikan menjadi tidak rusak. Tingkat kerusakan mangrove di wilayah Pasuruan yang telah dikelompokkan sesuai tabel 3 akan dianalisis lebih lanjut dengan metode deskriptif.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

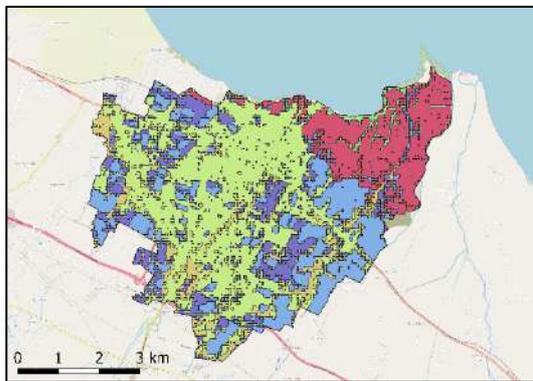
Titik-titik sampel dipilih sesuai tangkapan citra satelit yang terlihat oleh peneliti di dalam wilayah administrasi Kota Pasuruan. Titik yang dipilih adalah lokasi yang mudah diidentifikasi dengan data yang tersedia dan merujuk juga pada data pada tahun dan penelitian sebelumnya sehingga dapat diberi label dengan mudah dan akurat. Selanjutnya, 80% sampel yang telah terpilih akan dijadikan data latih untuk model random forest. Setelah model terbentuk, model digunakan untuk mengklasifikasikan citra satelit menjadi tiga kelas: perairan, daratan, atau mangrove.



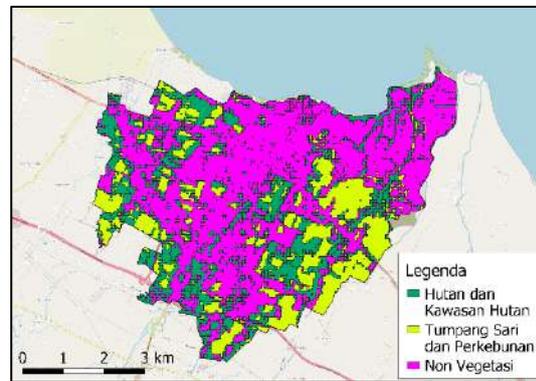
Gambar 2. Hasil klasifikasi dengan algoritma random forest

Apabila dibandingkan dengan referensi tambahan, seperti citra Google Maps, gambar 2 menunjukkan bahwa hasil klasifikasi sudah cukup bagus dengan sedikit kesalahan seperti ditemukan mangrove yang ada di tengah kota yang penuh permukiman. Namun, kesalahan ini masih dalam taraf wajar. Hasil uji akurasi berdasar 20% sampel lainnya menunjukkan model mampu melakukan

klasifikasi dengan akurasi sebesar 82 persen. Selanjutnya, identifikasi variabel yang telah dijelaskan di tabel 2 akan dilakukan untuk menentukan tingkat kerusakan kawasan mangrove.



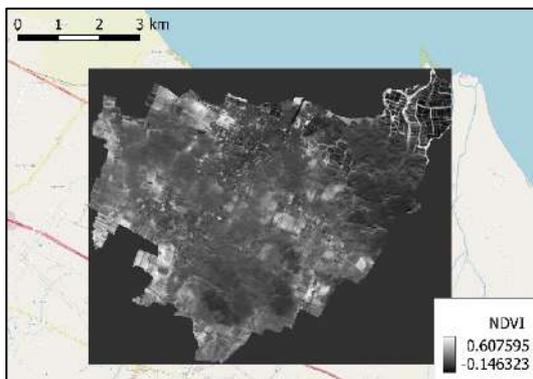
Gambar 3a



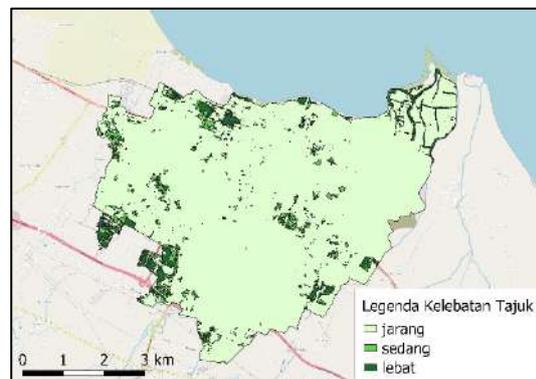
Gambar 3b

Gambar 3. Jenis Penggunaan Lahan: (3a) Jenis-jenis penggunaan lahan Sentinel-2 (3b) Hasil pengkodean ulang jenis penggunaan lahan

Peta jenis penggunaan lahan dari ESA merupakan data raster dan akan divektorisasi dengan peranti QGIS. Gambar 3a mengkategorikan penggunaan lahan menjadi belasan kategori sesuai dengan definisi oleh ESA. Pada penelitian ini, peta tersebut disederhanakan menjadi tiga kategori saja yaitu kawasan hutan, kawasan tumpang sari dan perkebunan, serta kawasan non vegetasi. Pengkodean ulang dilakukan dengan menyamakan konsep sesuai dengan standar metode yang digunakan. Hasil pengkodean disajikan pada gambar 3b.



Gambar 4a

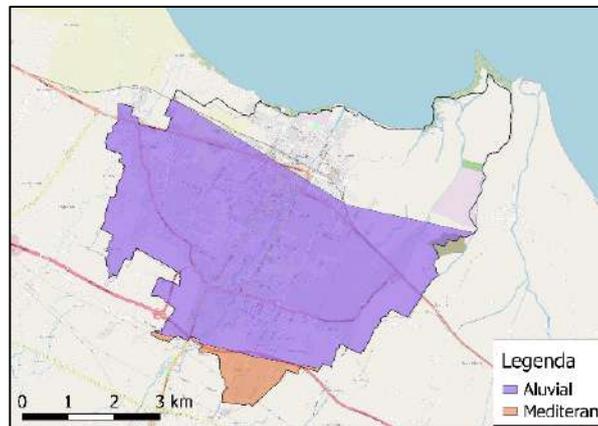


Gambar 4b

Gambar 4. Visualisasi Kerapatan Vegetasi : (4a) *Normalized Difference Vegetation Index* (4b) Klasifikasi kelebatan tajuk

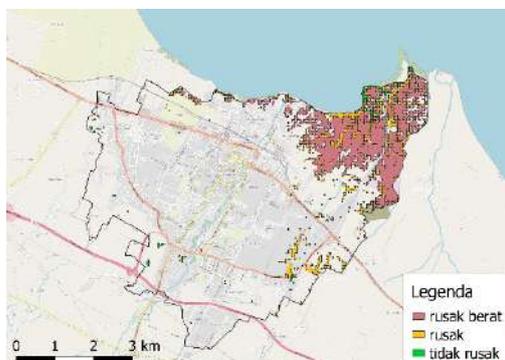
Satelit Copernicus memiliki data raster yang dapat didekomposisi berdasarkan gelombang tertentu seperti gambar 4. Data besaran NDVI dapat ditentukan dengan menurunkan variabel gelombang merah dan infra merah dekat. Berdasarkan gambar 4a, diperoleh nilai NDVI di Kota Pasuruan berkisar antara -0,15 sampai dengan 0,60. Hasil penghitungan besaran turunan tersebut dapat dikonversi menjadi data kategorik. Kelas dari tingkatan NDVI melambangkan kelebatan tajuk yang dapat dilihat pada gambar 4b. Mayoritas wilayah memiliki NDVI rendah yang dapat dikategorikan menjadi kelebatan tajuk jarang. Hal ini diakibatkan oleh wilayah urban yang didominasi dengan permukiman. Hanya beberapa wilayah yang dikategorikan menjadi kelebatan tajuk yang lebat atau

masih memiliki pepohonan yang mampu menahan sinar matahari mencapai permukaan tanah. Sedangkan sisanya yaitu kelebatan tajuk sedang juga hanya beberapa wilayah saja di Kota Pasuruan.

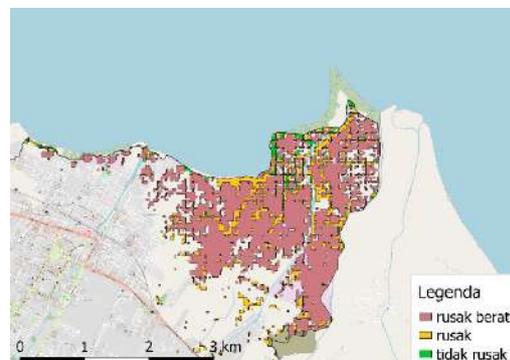


Gambar 5. Jenis Tanah

Variabel jenis tanah merupakan komponen spasial yang penting untuk menentukan kerusakan mangrove. Gambar 5 menunjukkan jenis tanah di Pasuruan relatif aman dari pengikisan sebab tanah aluvial dan mediteran sama-sama tidak peka terhadap erosi. Hal ini menunjukkan sifat kepekaan tanah di Pasuruan cenderung homogen. Oleh karena itu, elemen ini tidak akan dilibatkan dalam kalkulasi spasial untuk menghemat memori komputer, melainkan akan diasumsikan jenis tanah di Pasuruan memiliki skor tertinggi sesuai pada tabel 2 karena tanah tidak peka terhadap pengikisan.



Gambar 6a



Gambar 6b

Gambar 6. Sebaran Kerusakan Mangrove : (6a) Kerusakan Mangrove di Kota Pasuruan (6b) Diperbesar ke pesisir

Setelah melalui beberapa tahap proses data, diperoleh hasil yang diinginkan peneliti yaitu klasifikasi kerusakan mangrove di Pasuruan. Gambar 6 menunjukkan peta sebaran kerusakan mangrove pada tahun 2023 yang dapat dikategorikan menjadi rusak berat, rusak, dan tidak rusak. Pengkategorian tersebut menggunakan Total Nilai Skoring (TNS) sesuai kriteria Kementerian Kehutanan. Berdasarkan gambar 6a, diperoleh hasil bahwa kondisi hutan mangrove di Pasuruan sangat memprihatinkan. Terlihat bahwa mayoritas mangrove di wilayah kota pasuruan mengalami rusak berat. Apabila peta diperbesar ke wilayah pesisir seperti gambar 6b, sangat terlihat bahwa mayoritas luas hutan mangrove mengalami kerusakan yang dapat dikategorikan menjadi rusak berat.



Tabel 4. Hasil Klasifikasi Mangrove

Klasifikasi	Luas Area (m ²)	Proporsi (%)
Rusak berat	4.049.196	73,59
Rusak	1.275.908	23,19
Tidak rusak	176.895	3,22

Berdasarkan tabel 4, dapat diperoleh hasil bahwa sebesar 73,59% dari luas hutan mangrove mengalami rusak berat, 23,19% mengalami rusak, dan 3,22% tidak mengalami rusak di kota Pasuruan pada tahun 2023. Proporsi yang sangat dominan dari jumlah mangrove yang rusak berat ini akan memiliki dampak negatif terhadap ekosistem mangrove, ekosistem perairan dan perekonomian masyarakat di sekitar wilayah mangrove. Selain itu, serapan karbon dioksida akan berkurang sehingga menyebabkan emisi gas rumah kaca menjadi meningkat.

Hasil yang diperoleh sejalan dengan penelitian yang pernah dilakukan di pesisir Pantai Pasuruan termasuk pantai utara Kabupaten Pasuruan dan pantai utara Kota Pasuruan bahwa telah terjadi degradasi hutan mangrove. Hal ini disebabkan karena mata pencaharian beberapa penduduk di daerah pesisir adalah pengepul kayu mangrove. Melihat adanya peluang untuk memperoleh penghasilan, memaksa mereka untuk melakukan penebangan liar. Selain itu, mereka yang menjadi nelayan merasa bahwa pendapatan yang diperoleh lebih kecil dibandingkan pendapatan yang bersumber dari budidaya ikan atau udang di tambak [10]. Dengan demikian, hal tersebut mendorong terjadinya alih fungsi lahan hutan mangrove menjadi tambak-tambak. Hal ini didukung oleh pernyataan bahwa 50 persen degradasi mangrove disebabkan oleh alih fungsi hutan, urbanisasi, serta limbah minyak dan industri [22]. Disisi lain, Pantai Pasuruan yang dijadikan sebagai tempat wisata juga menimbulkan dampak negatif seperti sanitasi yang buruk, pembuangan limbah, dan kontaminasi [23]. Namun, dibalik itu semua ketidaktahuan masyarakat setempat akan pentingnya hutan mangrove menjadi alasan utama terjadinya degradasi. Apabila degradasi ini dibiarkan saja, mengakibatkan peningkatan potensi abrasi, hilangnya habitat flora fauna, meningkatnya emisi karbon dioksida bahkan peningkatan kasus malaria [12,24].

IV. KESIMPULAN

Terjadinya degradasi lahan hutan mangrove menimbulkan permasalahan yang serius seperti hilangnya habitat flora fauna, suhu bumi yang meningkat, rendahnya penyerapan karbon. Faktor penyebab terjadinya degradasi di Pasuruan, Jawa Timur pada tahun 2023 adalah penebangan liar atau eksploitasi berlebih, alih fungsi lahan menjadi tambak, dan kurangnya pengetahuan masyarakat akan pentingnya hutan mangrove. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi hutan mangrove di Pasuruan pada tahun 2023 sangat memprihatinkan. Dimana, lebih dari 70% luas hutan mangrove dikategorikan rusak berat. Jika hal ini tetap dibiarkan maka ketercapaian SDGs akan terganggu dan menjadi tantangan bagi kita semua. Oleh karena itu, penelitian ini dapat menjadi sumber pengetahuan baru mengenai sebaran kerusakan mangrove di Pasuruan khususnya dan dampak negatif yang ditimbulkan dari terjadinya degradasi lahan hutan mangrove. Temuan tersebut dapat menjadi saran bagi penelitian berikutnya seputar *trade off* antara ekologi kawasan mangrove dengan potensi sosioekonomi yang sama-sama menjadi permasalahan pembangunan berkelanjutan.



REFERENSI

1. J. W. Hill, V. Bennion, and C. E. Lovelock, “Mangrove tree strength estimated with field experiments,” *Ecol Eng*, vol. 203, no. March, p. 107259, 2024, doi: 10.1016/j.ecoleng.2024.107259.
2. K. Liu, X. Li, X. Shi, and S. Wang, “Monitoring mangrove forest changes using remote sensing and GIS data With decision-tree learning,” *Wetlands*, vol. 28, no. 2, pp. 336–346, 2008, doi: 10.1672/06-91.1.
3. W. Isoni, R. A. Islamy, M. Musa, and P. Wijanarko, “Short communication: Species composition and density of mangrove forest in Kedawang village, Pasuruan, east Java, Indonesia,” *Biodiversitas*, vol. 20, no. 6, pp. 1688–1692, 2019, doi: 10.13057/biodiv/d200626.
4. N. Thomas, R. Lucas, P. Bunting, A. Hardy, A. Rosenqvist, and M. Simard, “Distribution and drivers of global mangrove forest change, 1996-2010,” *PLoS One*, vol. 12, no. 6, pp. 1–14, 2017, doi: 10.1371/journal.pone.0179302.
5. L. T. H. Pham, T. Q. Vo, T. D. Dang, and U. T. N. Nguyen, “Monitoring mangrove association changes in the Can Gio biosphere reserve and implications for management,” *Remote Sens Appl*, vol. 13, pp. 298–305, 2019, doi: 10.1016/j.rsase.2018.11.009.
6. D. C. Donato, J. B. Kauffman, D. Murdiyarso, S. Kurnianto, M. Stidham, and M. Kanninen, “Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics,” *Nat Geosci*, vol. 4, no. 5, pp. 293–297, 2011, doi: 10.1038/ngeo1123.
7. M. J. Osland, N. M. Enwright, R. H. Day, C. A. Gabler, C. L. Stagg, and J. B. Grace, “Beyond just sea-level rise: Considering macroclimatic drivers within coastal wetland vulnerability assessments to climate change,” *Glob Chang Biol*, vol. 22, no. 1, pp. 1–11, 2016, doi: 10.1111/gcb.13084.
8. T. D. Pham, N. Yokoya, D. T. Bui, K. Yoshino, and D. A. Friess, “Remote sensing approaches for monitoring mangrove species, structure, and biomass: Opportunities and challenges,” *Remote Sens (Basel)*, vol. 11, no. 3, pp. 1–24, 2019, doi: 10.3390/rs11030230.
9. B. Satyanarayana, K. A. Mohamad, I. F. Idris, M. L. Husain, and F. Dahdouh-Guebas, “Assessment of mangrove vegetation based on remote sensing and ground-truth measurements at Tumpat, Kelantan Delta, East Coast of Peninsular Malaysia,” *Int J Remote Sens*, vol. 32, no. 6, pp. 1635–1650, 2011, doi: 10.1080/01431160903586781.
10. C. Muryani, Ahmad, S. Nugraha, and T. Utami, “Model Pemberdayaan Masyarakat Dalam Pengelolaan dan Pelestarian Hutan Mangrove di Pantai Pasuruan Jawa Timur,” *Jurnal Ekonomi Pembangunan*, vol. 12, no. 1, pp. 15–27, 2011.
11. D. M. Alongi, “Present state and future of the world’s mangrove forests,” *Environ Conserv*, vol. 29, no. 3, pp. 331–349, 2002, doi: 10.1017/S0376892902000231.
12. J. T. Randerson, “CO 2 emissions from forest loss,” vol. 2, no. November, pp. 9–11, 2009.
13. T. ting Jiang, J. fen Pan, X. M. Pu, B. Wang, and J. J. Pan, “Current status of coastal wetlands in China: Degradation, restoration, and future management,” *Estuar Coast Shelf Sci*, vol. 164, pp. 265–275, 2015, doi: 10.1016/j.ecss.2015.07.046.
14. S. M. D.-U. Islam and M. A. H. Bhuiyan, “Sundarbans mangrove forest of Bangladesh: causes of degradation and sustainable management options,” *Environmental Sustainability*, vol. 1, no. 2, pp. 113–131, 2018, doi: 10.1007/s42398-018-0018-y.
15. C. Muryani, “Analysis of Coastline Changes Using GIS and its Impact on The Community’s Life Around Rejoso River Estuary Pasuruan District,” *Universitas Sebelas Maret Surakarta*, vol. 24, no. 2, pp. 173–182, 2010.
16. C. Elachi and J. van Zyl, *Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing*. John Wiley & Sons, Inc, 2021. doi: 10.1002/9781119523048.
17. T. D. Rihulay and F. Samuel Papilaya, “Analisa Perubahan Luas Tutupan Lahan Mangrove di Teluk Ambon Dalam Menggunakan OBIA,” *Journal of Information System, Graphics, Hospitality and Technology*, vol. 4, no. 01, pp. 7–12, 2022, doi: 10.37823/insight.v4i01.183.
18. A. D. Purwanto, K. Wikantika, A. Deliar, and S. Darmawan, “Decision Tree and Random Forest Classification Algorithms for Mangrove Forest Mapping in Sembilang National Park, Indonesia,” *Remote Sens (Basel)*, vol. 15, no. 1, 2023, doi: 10.3390/rs15010016.
19. D. M. Ardiansyah and I. Buchori, “Pemanfaatan Citra Satelit Untuk Penentuan Lahan Kritis Mangrove Di Kecamatan Tugu, Kota Semarang,” *Geoplanning: Journal of Geomatics and Planning*, vol. 1, no. 1, pp. 1–12, 2014, doi: 10.14710/geoplanning.1.1.1-12.



SENADA
Seminar Nasional Sains Data

Seminar Nasional Sains Data 2024 (SENADA 2024)

E-ISSN 2808-5841

UPN “Veteran” Jawa Timur

P-ISSN 2808-7283

20. D. Permata Sari, M. H. Idris, and I. M. L. Aji, “Tingkat Kerusakan Kawasan Mangrove di Kecamatan Lembar Kabupaten Lombok Barat,” *Journal of Forest Science Avicennia*, vol. 5, no. 1, pp. 1–12, 2022, doi: 10.22219/avicennia.v5i1.19552.
21. Departemen Kehutanan, “Pedoman inventarisasi dan identifikasi lahan kritis mangrove,” *Departemen Kehutanan*, p. 13, 2005.
22. A. Kustanti, B. Nugroho, D. Darusman, and C. Kusmana, “Integrated Management of Mangroves Ecosystem in Lampung Mangrove Center (LMC) East Lampung Regency, Indonesia,” *Journal of Coastal Development*, vol. 15, no. 2, pp. 209–216, 2012.
23. S. Khanom, M. Aminur, R. Shah, and A. Chaudhary, “Towards ecotourism: issues of current tourism practices in the Sundarban mangrove forest, Bangladesh,” *Peace, Environment and Tourism Conference 2011*, no. September, pp. 20–21, 2011.
24. Onrizal and C. Kusmana, “Studi Ekologi Hutan Mangrove di Pantai Timur Sumatera Utara Ecological study on mangrove forest in East Coast of North Sumatra,” *Biodiversitas*, vol. 9, no. 1, pp. 25–29, 2008.