



PEMANTAUAN DINAMIKA TUTUPAN MANGROVE PASCAEKSPANSI TAMBAK UDANG MENGUNAKAN ANALISIS *NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX* (NDVI) DI BULAKSETRA, PANGANDARAN

MONITORING MANGROVE COVER DYNAMICS FOLLOWING SHRIMP POND EXPANSION USING *NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX* (NDVI) ANALYSIS IN BULAKSETRA, PANGANDARAN

Muhammad Romdonul Hakim^{1*}, Anas Noor Firdaus¹, Arif Baswantara¹, Perdana Putra Kelana²

¹Program Studi Teknologi Kelautan Politeknik Kelautan dan Perikanan Pangandaran
Jalan Raya Babakan KM.2 Desa Babakan, Pangandaran, Jawa Barat, 46396

²Program Studi Perikanan Tangkap Politeknik Kelautan dan Perikanan Dumai
Jalan Wan Amir No 1 Kelurahan Pangkalan Sesai, Kota Dumai, Riau 28824

*Korespondensi: anugerah.hakim@gmail.com (MR Hakim)

ABSTRAK. Ekosistem mangrove di pesisir Bulaksetra, Pangandaran, Jawa Barat memiliki peran yang sangat penting untuk mitigasi potensi bencana tsunami. Namun dalam lima tahun terakhir, di kawasan ekosistem mangrove Bulaksetra ramai beroperasi tambak udang milik warga yang berdampak terhadap pertumbuhan mangrove yang ada di kawasan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk memantau perubahan tutupan mangrove dari tahun 2020 – 2024 di kawasan ekosistem mangrove Bulaksetra dengan menggunakan citra satelit Sentinel-2. Metode yang digunakan untuk menentukan luasan tutupan mangrove adalah dengan analisis *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) yang diolah menggunakan *Google Earth Engine* (GEE). Hasil penelitian menunjukkan telah terjadi degradasi habitat ekosistem mangrove di Bulaksetra yang ditunjukkan dengan hilangnya kelas kerapatan Lebat sebesar 96,94% pada tahun 2024. Bergesernya kelas kerapatan Lebat ke kelas kerapatan Jarang (54,37%) dan Sedang (42,58%), diikuti dengan penurunan luasan total mangrove sebesar 5,18%. Di sisi lain, luasan tambak udang terus bertambah luas dengan laju pertumbuhan mencapai 1,31 ha per tahun. Ekspansi tambak udang menunjukkan korelasi yang negatif dengan tutupan mangrove di kawasan mangrove Bulaksetra selama tahun 2020 – 2024.

KATA KUNCI: Bulaksetra, mangrove, *normalized difference vegetation index*, sentinel-2.

ABSTRACT. The mangrove ecosystem along the coast of Bulaksetra, Pangandaran, West Java, plays a crucial role in mitigating potential tsunami disasters. However, over the last five years, the Bulaksetra mangrove ecosystem area has seen intensive operation of local shrimp ponds, which has negatively impacted the growth and health of the surrounding mangrove stands. This study aims to monitor the changes in mangrove cover from 2020 to 2024 within the Bulaksetra mangrove ecosystem using Sentinel-2 satellite imagery. The methodology employed to determine the extent and condition of mangrove cover involves the analysis of the *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) processed using the *Google Earth Engine* (GEE) platform. The results indicate significant habitat degradation within the Bulaksetra mangrove ecosystem, evidenced by a 96.94% loss of the Dense canopy class by 2024. This shift in density class is characterized by a transition from the Dense class to the Sparse (54.37%) and Moderate (42.58%) classes, accompanied by a 5.18% decrease in the total mangrove area. Conversely, the area occupied by shrimp ponds has continuously expanded, with a growth rate reaching 1.31 hectares per year. The expansion of shrimp ponds demonstrates a negative correlation with mangrove cover in the Bulaksetra mangrove area during the 2020 – 2024 period.

KEYWORDS: Bulaksetra, mangrove, *normalized difference vegetation index*, sentinel-2.

1. Pendahuluan

Kawasan ekosistem mangrove di pesisir Bulaksetra (Pangandaran) lahir, sebagai bentuk respon dan upaya warga desa setempat, dalam memitigasi bencana alam tsunami pasca peristiwa tsunami yang

pernah melanda wilayah tersebut pada tahun 2006. Hal ini penting dilakukan mengingat Kabupaten Pangandaran merupakan wilayah rawan gempa (Sumaryana *et al.*, 2018). Mangrove berfungsi sebagai pelindung pantai alami yang mampu meredam energi gelombang, membantu mencegah erosi pantai, dan memberikan perlindungan terhadap tsunami (Sunkur *et al.*, 2023; Van Hespen *et al.*, 2023). Selain itu, kawasan mangrove Bulaksetra juga dijadikan sebagai kawasan wisata edukasi berbasis ekosistem (Kusmana *et al.*, 2016).

Tahun 2021, ekosistem mangrove di kawasan ini mulai mendapatkan tantangan serius dengan beroperasinya sejumlah tambak udang milik warga yang terus bertambah banyak, terletak tepat di seberang kawasan mangrove Bulaksetra dipisahkan oleh aliran sungai. Adapun, status legalitasnya dalam kaitannya dengan kawasan konservasi pesisir perlu dikaji lebih lanjut oleh pihak berwenang. Ekspansi tambak udang ini berpotensi memiliki dampak terhadap kesehatan pertumbuhan mangrove di kawasan mangrove Bulaksetra.

Pada saat ini, keberadaan teknologi penginderaan jauh memungkinkan pemantauan perubahan luasan tutupan mangrove dapat dilakukan secara mudah, efektif, dan berkala melalui citra satelit. Informasi ini penting untuk memantau tingkat kerentanan wilayah pesisir terhadap potensi bencana (Duncan *et al.*, 2018; Huang *et al.*, 2025; Sunkur *et al.*, 2024). Penelitian Safitri *et al.* (2023) dan Semedi *et al.* (2023) telah membuktikan bahwa penggunaan metode NDVI efektif dalam mengkaji perubahan luas tutupan mangrove dan dapat mengidentifikasi kepadatan vegetasi mangrove dengan menggunakan citra satelit Sentinel-2.

Fenomena ekspansi tambak udang di kawasan mangrove Bulaksetra menimbulkan kekhawatiran terhadap keberlanjutan ekosistem mangrove yang berperan penting dalam perlindungan pesisir dan mitigasi bencana. Hingga saat ini, belum terdapat kajian yang secara spesifik menganalisis perubahan luasan dan kepadatan mangrove pascaekspansi tambak udang di wilayah tersebut dengan menggunakan pendekatan penginderaan jauh. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk memantau perubahan tutupan mangrove di kawasan mangrove Bulaksetra, Pangandaran, pada tahun 2020 – 2024 menggunakan citra satelit Sentinel-2 melalui analisis NDVI.

2. Metode Penelitian

2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di kawasan mangrove Bulaksetra, Pangandaran, Jawa Barat pada bulan Februari – Maret tahun 2025 (**Gambar 1**). Kawasan tersebut memiliki luas sekitar 4,83 ha dan secara astronomis kawasan ekosistem mangrove Bulaksetra terletak pada koordinat 7°40'42,586" LS – 7°40'52,117" LS dan 108°40'34,300" BT – 108°40'57,092" BT. Secara geografis, ekosistem mangrove Bulaksetra berada diantara Pangandaran *Integrated Aquarium and Marine Research Institute* (PIAMARI Aquarium) dan Politeknik Kelautan dan Perikanan Pangandaran.

2.2 Prosedur Penelitian

Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini dimulai dengan pengumpulan data, survei lapangan, pengolahan, dan analisis data. Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder yaitu citra satelit Sentinel-2 dari tahun 2020 – 2024 yang diperoleh langsung dari GEE yang sudah terkoreksi radiometrik *Bottom of Atmosphere* (BoA). Citra Sentinel-2 dipilih karena memiliki resolusi spasial yang tinggi (**Tabel 1**). sehingga sangat baik digunakan untuk keperluan analisis indeks vegetasi (Dharma *et al.*, 2022). Sementara itu, data *shapefile polygon area* penelitian didapatkan dari hasil digitasi citra resolusi tinggi (ESRI *satellite imagery*) yang dikomparasi dengan survei lapangan. Batas-batas kawasan mangrove Bulaksetra yang jelas terlihat dari citra (terletak di pesisir dan dipisahkan oleh aliran sungai dari tambak udang dan vegetasi darat lainnya) memungkinkan delineasi yang akurat. Survei lapangan dilakukan untuk memverifikasi batas-batas ini dan memastikan bahwa area yang dianalisis hanya

mencakup vegetasi mangrove. Wawancara juga dilakukan kepada warga di sekitar kawasan mangrove Bulaksetra mengenai waktu pembukaan tambak udang.



Gambar 1. Lokasi Penelitian.

Proses pengolahan data dilakukan melalui tiga tahapan utama, yaitu prapemrosesan, pemrosesan, dan pascapemrosesan. Pada tahapan prapemrosesan, kegiatan yang dilakukan adalah meliputi penentuan *Area of Interest* (AOI) dan pemilihan data yang akan dipakai. Citra Sentinel-2 yang diperoleh dari GEE kemudian dipotong (*cropping*) berdasarkan data *shapefile polygon* kawasan mangrove Bulaksetra. Kemudian, dilanjutkan dengan *cloud masking* dengan menggunakan algoritma *Fmask* dengan tujuan meningkatkan kualitas citra pada areal kajian yang memiliki banyak tutupan awan (Nahari & Alfita, 2017; Sinabutar *et al.*, 2020).

Tabel 1. Karakteristik Citra Sentinel-2.

Band	Panjang Gelombang (µm) dan Resolusi Spasial	Aplikasi
1	0,443 (60 m)	Coastal aerosol
2	0,490 (10 m)	Blue
3	0,560 (10 m)	Green
4	0,665 (10 m)	Red
5	0,705 (20 m)	Vegetation Red Edge
6	0,740 (20 m)	Vegetation Red Edge
7	0,783 (20 m)	Vegetation Red Edge
8	0,842 (10 m)	NIR
8A	0,865 (20 m)	Narrow NIR
9	0,945 (60 m)	Water Vapour
10	1,375 (60 m)	SWIR – Cirrus
11	1,610 (20 m)	SWIR
12	2,190 (20 m)	SWIR

Sumber: Dharma *et al.*, 2022

Tahap pemrosesan dilanjutkan dengan penerapan algoritma NDVI. Menurut Pratama *et al* (2018) untuk mengetahui nilai kerapatan mangrove dapat menggunakan hasil dari perhitungan metode NDVI. NDVI adalah indeks vegetasi yang dapat digunakan untuk menentukan kawasan vegetasi mangrove dan vegetasi non mangrove. Nilai NDVI berkisar dari nilai minimum -1 hingga nilai maksimum 1, dengan persamaan sebagai berikut:

$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)} \quad (1)$$

Keterangan:

NDVI = *Normalized Difference Vegetation Index*

NIR = Nilai spektral kanal *near infrared* (band 8 citra Sentinel-2)

RED = Nilai spektral kanal *red* (band 4 citra Sentinel-2)

Analisis tingkat kerapatan mangrove mengacu kepada *Pedoman Inventarisasi dan Identifikasi Lahan Kritis Mangrove (Tabel 2)* yang mana hasil perhitungan nilai NDVI kemudian diklasifikasikan menjadi tiga kelas kerapatan mangrove, yaitu: Jarang, Sedang, dan Lebat (Departemen Kehutanan, 2005). Selanjutnya dihitung luasan dari setiap kelas yang telah ditentukan kisaran nilainya dalam satuan hektar (ha). Setelah didapat luasan dari setiap kelas kerapatan dari tahun 2020 – 2024 maka dilakukan analisis perubahan luasan setiap kelas kerapatan mangrove per tahunnya. Perhitungan luasan mangrove per tahun penting dilakukan untuk melihat sejauh mana area mangrove yang hilang, sedangkan tingkat kerapatan mangrove penting untuk mengetahui seberapa sehat kondisi vegetasi mangrove yang ada di suatu tempat. Terakhir, tahap pascapemrosesan mencakup pembuatan *layouting* peta hasil analisis perubahan luasan dan kerapatan mangrove pada tahun 2020 – 2024 (Haris *et al.*, 2022; Semedi *et al.*, 2023; Sukojo & Arindi, 2019).

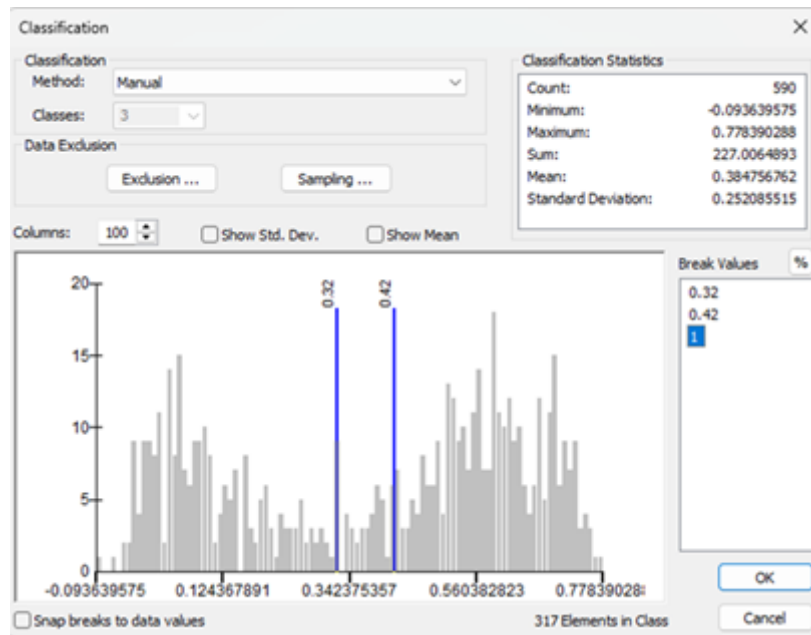
Tabel 2. Kriteria Nilai Kerapatan Mangrove berdasarkan Nilai NDVI

Kriteria	Kisaran Nilai NDVI
Lebat	> 0,42
Sedang	0,32 – 0,42
Jarang	< 0,32

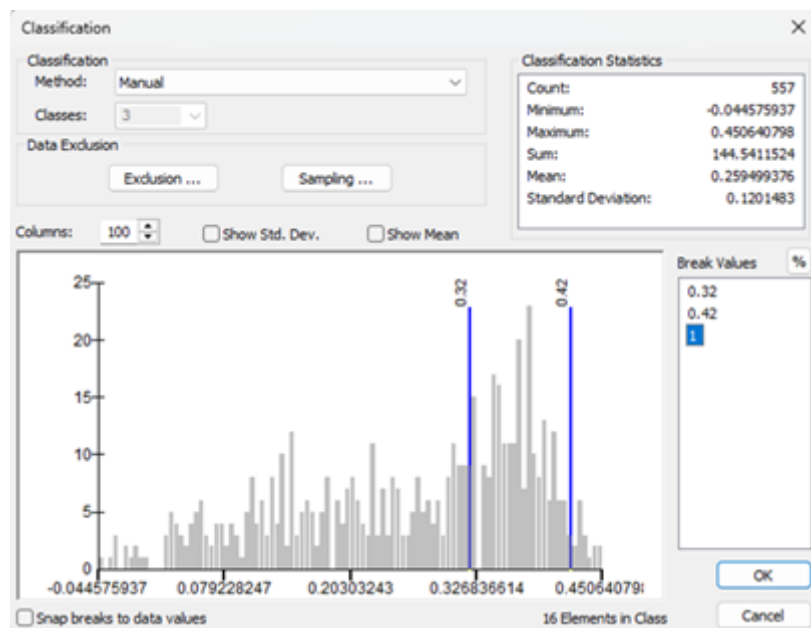
Sumber: Departemen Kehutanan, 2005

3. Hasil dan Pembahasan

Analisis temporal kondisi kerapatan mangrove di Bulaksetra didasarkan pada pengolahan nilai NDVI selama tahun 2020 – 2024. Perbandingan histogram antara tahun 2020 dan 2024 menunjukkan adanya degradasi atau penurunan kualitas vegetasi mangrove yang sangat jelas di area kajian. Tahun 2020 (**Gambar 2**) distribusi nilai NDVI cenderung menyebar ke kanan (nilai NDVI tinggi) dengan puncak yang signifikan di atas nilai 0,42 (Lebat). Hal ini menunjukkan adanya populasi besar vegetasi mangrove yang rapat dan sehat. Namun, pada tahun 2024 (**Gambar 3**) distribusi nilai bergeser jauh ke kiri (nilai NDVI rendah). Sebagian besar piksel terkonsentrasi di bawah nilai 0,32 dan 0,42. Puncak-puncak tertinggi berada di antara nilai 0,32 dan 0,42 serta hampir tidak ada piksel yang mencapai nilai NDVI tinggi (di atas 0,45). Dengan demikian, area yang pada tahun 2020 diklasifikasikan sebagai vegetasi rapat (NDVI > 0,42) telah bergeser menjadi vegetasi sedang (NDVI 0,32 – 0,42) atau bahkan vegetasi jarang (NDVI < 0,32) pada tahun 2024. Nilai rata-rata NDVI turun dari 0,38 menjadi 0,26 yang mengkonfirmasi bahwa kondisi vegetasi secara keseluruhan telah memburuk dalam periode lima tahun tersebut (2020 – 2024).



Gambar 2. Graffik Interval NDVI tahun 2020.



Gambar 3. Graffik Interval NDVI tahun 2024.

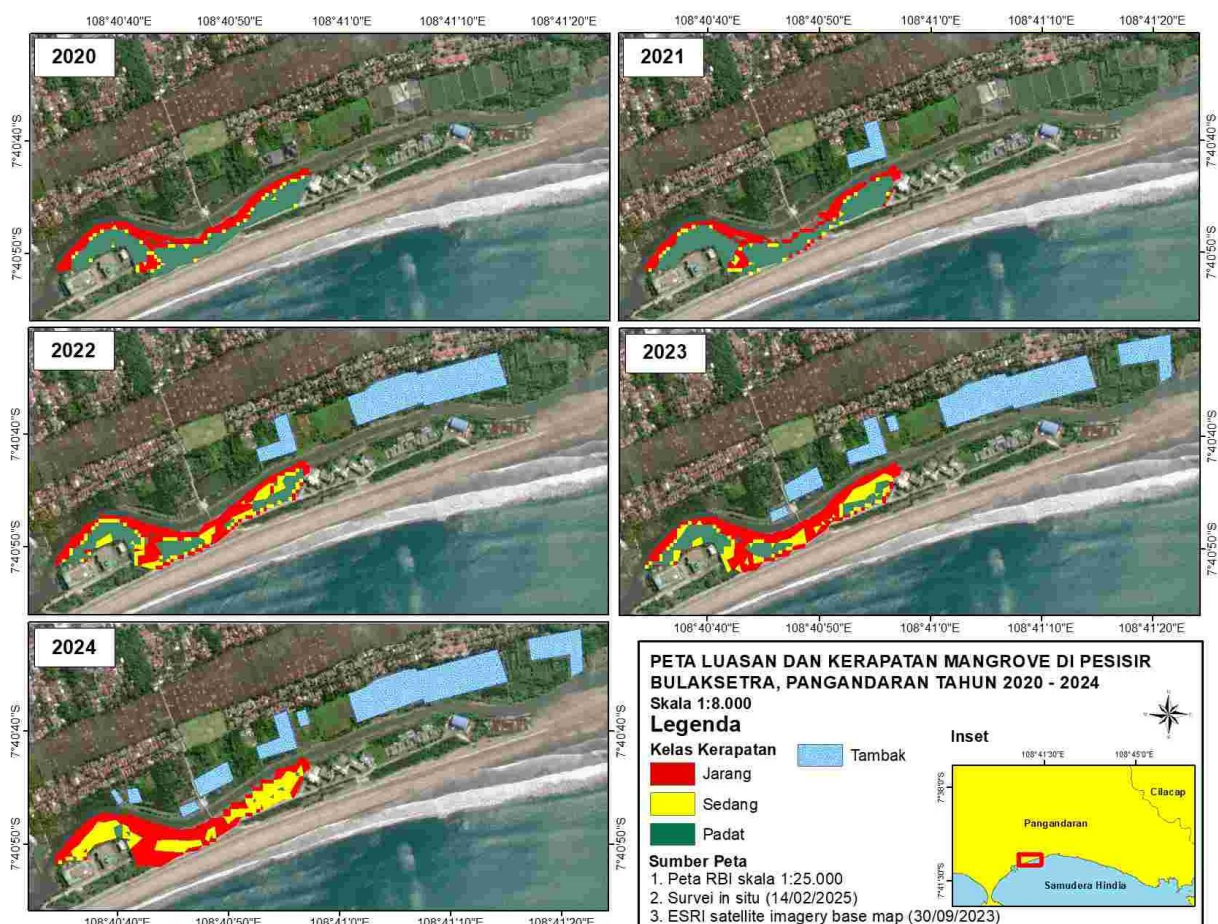
Dalam tahap analisis NDVI, telah diklasifikasikan mangrove menjadi tiga kelas kerapatan yaitu kerapatan jarang, kerapatan sedang, dan kerapatan Lebat sesuai dengan sebaran nilai NDVI. Adapun, untuk luasan setiap kelas kerapatan di Bulaksetra dari tahun 2020 – 2024 dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Luasan Kerapatan Mangrove Bulakstera Tahun 2020 – 2024.

Kelas Kerapatan	Luasan (Ha)				
	2020	2021	2022	2023	2024
Jarang	1,56	1,23	1,84	2,08	2,49
Sedang	0,38	0,30	1,12	1,26	1,95
Rapat	2,7	2,95	1,74	1,39	0,14

Pada **Tabel 3** dapat dilihat bahwa luasan mangrove untuk setiap kelas kerapatan mengalami kenaikan dan penurunan sepanjang tahun 2020 – 2024. Laju penambahan luasan mangrove untuk kelas kerapatan Lebat yang semula positif meningkat dari 2,7 ha di tahun 2020 menjadi 2,95 ha di tahun 2021, justru pada tahun-tahun berikutnya terus menurun hingga hanya seluas 0,14 ha di tahun 2024. Di sisi lain, mangrove dengan kelas kerapatan jarang dan sedang yang masing-masing sempat turun berturut-turut dari 1,56 ha menjadi 1,23 ha dan 0,38 ha menjadi 0,30, setelah tahun 2021 menjadi terus meningkat hingga di akhir tahun 2024 masing-masing memiliki luasan berturut-turut 2,49 ha dan 1,95 ha.

Berdasarkan data luasan kerapatan vegetasi mangrove di Bulaksetra selama tahun 2020 – 2024, berkurangnya luasan pada kelas kerapatan Lebat hingga tinggal seluas 0,14 ha (5,19%) menunjukkan telah terjadi degradasi habitat mangrove di kawasan mangrove Bulaksetra. Hal ini menyebabkan berpindahnya luasan mangrove dari semula kerapatan Lebat menjadi kerapatan sedang dan jarang. Degradasi habitat lingkungan mangrove terjadi karena adanya penurunan kualitas air akibat beroperasinya sejumlah tambak udang milik warga yang dimulai dari tahun 2021. Tambak udang tersebut didirikan di lahan-lahan bekas sawah milik warga yang ada di seberang sungai kawasan mangrove Bulaksetra. Hasil analisis secara spasial terkait perubahan luasan kelas kerapatan mangrove di Bulaksetra sepanjang tahun 2020 – 2024 ditunjukkan pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Peta Luasan dan Kerapatan Mangrove di Pesisir Bulaksetra, Pangandaran Tahun 2020 – 2024.

Pada **Gambar 4** terlihat bahwa luasan tambak udang milik warga bertambah luas dari tahun ke tahun. Tambak tersebut mulai aktif beroperasi pada tahun 2021 dengan luasan kolam tambak mula-mula sebesar 0,12 ha, kemudian meningkat di tahun 2022 menjadi 1,22 ha, dan terus meningkat hingga akhirnya sebesar 6,65 ha (2024) lebih luas dari kawasan ekosistem mangrove Bulaksetra yang hanya

4,83 ha. Mangrove dengan kelas kerapatan Lebat yang ditunjukkan dengan area berwarna hijau yang semula mendominasi kawasan mangrove Bulaksetra di tahun 2020 dengan persentase 58,19%, perlahan-lahan berubah menjadi didominasi oleh area berwarna merah (kelas kerapatan Jarang) sebesar 54,37% dan kuning (kelas kerapatan Sedang) sebesar 42,58% di tahun 2024. Menurunnya kelas kerapatan mangrove dari Lebat menjadi Jarang merupakan masalah yang serius. Hal ini menjadi indikator kuat telah terjadinya degradasi ekosistem yang dapat memicu dampak negatif mulai dari hilangnya perlindungan fisik bagi pesisir, ancaman bagi keanekaragaman hayati, pelepasan karbon ke atmosfer, hingga kerugian ekonomi bagi masyarakat lokal (Arifanti *et al.*, 2022; Beselly *et al.*, 2023)

Ekspansi luasan kolam tambak udang berdampak terhadap penurunan tingkat kerapatan dan luasan mangrove sebesar 5,18% dari total luas kawasan. Penurunan tingkat kerapatan dan luasan mangrove ini disebabkan karena air limbah dari tambak udang dapat menyebabkan ketidakseimbangan nutrisi, melalui reaksi kimia yang disebabkan oleh disinfektan seperti kapur tohor yang digunakan dalam akuakultur. Hal ini dapat mengganggu rasio nitrogen/fosfor (N/P) alami yang penting bagi pertumbuhan mangrove dan tumbuhan air, sehingga memengaruhi seluruh ekosistem akuatik mangrove. Nutrisi dan polutan berlebih seperti logam berat dan kontaminan organik dapat menyebabkan penipisan oksigen di substrat mangrove sehingga dapat menyebabkan kematian mangrove (Sari & Soeprbowati, 2021; X. Yang *et al.*, 2024; Y. Yang *et al.*, 2025).

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis NDVI terhadap citra satelit Sentinel-2 selama tahun 2020 – 2024 di kawasan mangrove Bulaksetra, Pangandaran, diperoleh kesimpulan bahwa hasil analisis status tutupan mangrove menunjukkan bahwa meskipun luasan total mangrove hanya berkurang 5,18% dari tahun 2020 ke 2024 namun terjadi pergeseran yang signifikan dalam hal kerapatan. Area dengan kelas kerapatan Lebat menurun sebesar 96,94% dan area tersebut kini didominasi oleh kelas kerapatan Jarang sebesar 54,37%. Hal ini mengindikasikan adanya degradasi kualitas habitat yang serius. Ekspansi tambak udang menunjukkan peningkatan luas yang pesat, dengan laju pertumbuhan mencapai 1,31 ha per tahun hingga mencapai luas 6,65 ha pada tahun 2024. Ekspansi tambak udang menunjukkan hubungan negatif dengan tutupan mangrove di kawasan mangrove Bulaksetra sehingga semakin luas area tambak maka akan semakin menurun tingkat kerapatan dan luasan mangrove yang ada di sana. Diperlukan pengendalian ekspansi tambak, peningkatan kualitas air, serta program sosialisasi dan rehabilitasi untuk menjaga keberlanjutan ekosistem mangrove di kawasan mangrove Bulaksetra.

Daftar Pustaka

- Arifanti, V. B., Sidik, F., Mulyanto, B., Susilowati, A., Wahyuni, T., Yuniarti, N., Aminah, A., Suita, E., Karlina, E., Suharti, S., Turjaman, M., Hidayat, A., Rachmat, H. H., Imanuddin, R., Yeny, I., Darwiati, W., Sari, N., Hakim, S. S., Slamet, W. Y., & Novita, N. (2022). Challenges and Strategies for Sustainable Mangrove Management in Indonesia : A Review. *Forests*, 13(695), 1–18.
- Beselly, S. M., Grueters, U., Wegen, M. Van Der, Reyns, J., & Dijkstra, J. (2023). Modelling mangrove-mudflat dynamics with a coupled individual-based-hydro-morphodynamic model. *Environmental Modelling and Software*, 169(2023), 1–25.
- Departemen Kehutanan. (2005). *Pedoman Inventarisasi dan Identifikasi Lahan Kritis Mangrove*. Direktorat Jenderal Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial, Jakarta.
- Dharma, F., Aulia, A., Subhan, F., Ridwana, R., & Somantri, L. (2022). Pemanfaatan Citra Sentinel-2 dengan Metode NDVI untuk Perubahan Kerapatan Vegetasi Mangrove di Kabupaten Indramayu. *Jurnal Pendidikan Geografi Undiksha*, 10(2), 155–165.

- Duncan, C., Owen, H. J. F., Thompson, J. R., Koldewey, H. J., Primavera, J. H., & Pettoirelli, N. (2018). Satellite remote sensing to monitor mangrove forest resilience and resistance to sea level rise. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(8), 1837–1852.
- Haris, N. A., Jatmiko, R. H., & Farda, N. M. (2022). Utilization of Optical Image and Radar Image in Identification of Ponds in the Coastal District of Pati, Central Java Province. *Jurnal Enviromental Science*, 4(2), 125–136.
- Huang, X., Fu, Y., Ding, H., Tang, G., Ma, P., Liu, L., Xue, Y., Wu, S., & Chen, Y. (2025). Inter-annual changes and growth trends mapping of mangrove using Landsat time series imagery. *GIScience and Remote Sensing*, 62(1), 1–25.
- Kusmana, C., Rahayu, D., & Ningrum, P. (2016). Tipologi dan Kondisi Vegetasi Kawasan Mangrove Bulaksetra Kabupaten Pangandaran Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Silvikultur Tropika*, 07(2), 137–145.
- Nahari, R. V., & Alfita, R. (2017). Classification Sensing Image of Remote Using Landsat 8 through Unsupervised Classification Technique (Case Study of Bangkalan Regency). *International Journal of Advanced Engineering, Management and Science*, 3(8), 878–881.
- Pratama, M. R. (2018). Analisis Sebaran dan Kerapatan Mangrove di Teluk Balikpapan. *The Indonesian Green Technology Journal*, 7(2), 40–46.
- Safitri, F., Adrianto, L., & Nurjaya, I. W. (2023). Pemetaan Kerapatan Ekosistem Mangrove Menggunakan Analisis Normalized Difference Vegetation Index di Pesisir Kota Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 26(2), 399–406.
- Sari, K., & Soeprobawati, T. R. (2021). Impact of Water Quality Detorioration in Mangrove Forest in Semarang Coastal Area. *Indonesian Journal of Limnology*, 2(2), 37–48.
- Semedi, B., Marjono, M., Savitri, N. L. E., Hikmawati, V. F., Bayuaji, G. D. A. P., Syam's, N. D. S., & Diza, N. F. (2023). Pemanfaatan Google Earth Engine Untuk Memantau Perubahan Luasan Hutan Mangrove Di Probolinggo. *JFMR-Journal of Fisheries and Marine Research*, 7(2), 79–87.
- Sinabutar, J. J., Sasmito, B., & Sukmono, A. (2020). Studi Cloud Masking Menggunakan Band Quality Assessment, Function of Mask Dan Multi-Temporal Cloud Masking Pada Citra Landsat 8. *Jurnal Geodesi Undip*, 9(3), 51–60.
- Sukojo, B. M., & Arindi, Y. N. (2019). Analisa Perubahan Kerapatan Mangrove Berdasarkan Nilai Normalized Difference Vegetation Index Menggunakan Citra Landsat 8 (Studi Kasus: Pesisir Utara Surabaya). *Geoid*, 14(2), 1–5.
- Sumaryana, A., Utami, S. B., & Pancasilawan, R. (2018). Sosialisasi Model Kolaborasi Dalam Manajemen Bencana Alam Di Kabupaten Pangandaran. *Dharmakarya*, 7(2), 134–137.
- Sunkur, R., Kantamaneni, K., Bokhoree, C., Rathnayake, U., & Fernando, M. (2024). Mangrove mapping and monitoring using remote sensing techniques towards climate change resilience. *Scientific Reports*, 14(1), 1–14.
- Sunkur, R., Kantamaneni, K., Bokhoree, C., & Ravan, S. (2023). Mangroves' role in supporting ecosystem-based techniques to reduce disaster risk and adapt to climate change: A review. *Journal of Sea Research*, 196(2023), 1–13.
- Van Hespén, R., Hu, Z., Borsje, B., De Dominicis, M., Friess, D. A., Jevrejeva, S., Kleinhans, M. G., Maza, M., van Bijsterveldt, C. E. J., Van der Stocken, T., van Wesenbeeck, B., Xie, D., & Bouma, T. J. (2023). Mangrove forests as a nature-based solution for coastal flood protection: Biophysical and ecological considerations. *Water Science and Engineering*, 16(1), 1–13.
- Yang, X., Wen, R., Qu, M., Zhang, C., Luo, J., Zhu, W., Jiang, T., Liu, X., & Liu, X. (2024). Health assessment of mangrove ecosystem of natural protected areas in Guangdong Province, China. *Frontiers in Marine Science*, 11(September), 1–20.
- Yang, Y., Li, Z., Zhou, N., Lin, Y., Sheng, Q., Thiri, M., & Wang, Y. (2025). Analysis of the causes of N/P imbalance in mangrove water caused by high elevation shrimp ponds. *Scientific Reports*, 15(1), 1–10.