

# Analisis Spasial Kerapatan dan Kondisi Ekologis Mangrove Menggunakan Citra Sentinel-2A di Desa Dusun Kecil Kabupaten Kayong Utara

Robin Saputra<sup>1\*</sup>, Zan Zibar<sup>1</sup>, Rizqan Khairan Munandar<sup>1</sup>, Hendi Santoso<sup>1</sup>, Dodi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas IPA dan Kelautan, Universitas OSO, Pontianak, Indonesia

\*Email : robinsaputra@oso.ac.id

## ARTICLE INFO

### Article history:

Received : February 14, 2026

Revised : March 3, 2026

Accepted : March 30, 2026

### Keywords:

NDVI

Pixel Classification

Mangrove Health

Sentinel-2A

### Kata Kunci:

NDVI

Klasifikasi Pksel

Kesehatan Mangrove

Sentinel-2A

## ABSTRACT

*This study aims to assess the health condition of mangrove ecosystems in Dusun Kecil Village, Kayong Utara District, by integrating Sentinel-2A remote sensing data, NDVI analysis, pixel-based classification, and water quality measurements. Image processing included atmospheric and geometric correction, NDVI computation, and Support Vector Machine (SVM) classification to distinguish mangrove, non-mangrove, and water bodies. Field data were used as validation samples to evaluate classification accuracy. The results show that the mangrove ecosystem covers an area of approximately 5,708.53 ha, consisting of eight species and dominated by *Rhizophora apiculata*, reflecting suitable muddy substrates and tidal conditions. NDVI analysis classified mangrove density into dense (3,357.59 ha), moderate (2,164.76 ha), and sparse (186.18 ha), with dense vegetation dominating the area, indicating relatively healthy ecological conditions. Water quality parameters also fall within the optimal range for mangrove growth, with temperature 29.72–32.69°C, DO 3.50–6.68 mg/L, salinity 11.21–29.04 ppt, and pH 7.69–8.29. The SVM classification yielded an Overall Accuracy of 75.73% and a Kappa value of 0.6579, indicating a performance for medium-resolution imagery. Overall, the integration of NDVI, SVM classification, and water quality data provides a comprehensive assessment of the mangrove ecosystem, showing generally stable conditions while highlighting sparse zones that require targeted conservation and continuous monitoring.*

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi kesehatan ekosistem mangrove di Desa Dusun Kecil, Kabupaten Kayong Utara, melalui integrasi data penginderaan jauh Sentinel-2A, indeks vegetasi NDVI, klasifikasi berbasis piksel, serta pengukuran kualitas air. Pengolahan citra meliputi koreksi atmosferik dan geometrik, perhitungan NDVI, serta klasifikasi (SVM) untuk membedakan mangrove, non-mangrove, dan perairan. Data lapangan digunakan sebagai sampel validasi untuk menilai akurasi hasil klasifikasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mangrove di wilayah kajian mencakup luas ±5.708,53 ha dengan delapan spesies utama, didominasi oleh *Rhizophora apiculata* yang mencerminkan kondisi substrat berlumpur dan dinamika pasang surut yang mendukung. Analisis NDVI mengidentifikasi tiga kelas kerapatan mangrove, yaitu rapat (3.357,59 ha), sedang (2.164,76 ha), dan jarang (186,18 ha), dengan dominasi kelas rapat yang menunjukkan kondisi ekologi yang relatif baik. Kualitas air di sekitar mangrove juga berada pada kisaran optimal untuk pertumbuhan, dengan suhu 29,72–32,69°C, DO 3,50–6,68 mg/L, salinitas 11,21–29,04 ppt, dan pH 7,69–8,29. Klasifikasi SVM menghasilkan nilai Akurasi Keseluruhan 75,73% dan Kappa 0,6579, sehingga dapat dikategorikan cukup baik untuk pemetaan tutupan lahan menggunakan citra resolusi menengah. Secara keseluruhan, integrasi NDVI, klasifikasi SVM, dan data kualitas air mengenai kondisi ekosistem mangrove yang masih relatif stabil, serta mengidentifikasi area berkerapatan rendah yang memerlukan perhatian konservasi dan pemantauan lebih lanjut.

## 1. PENDAHULUAN

Mangrove merupakan ekosistem pesisir

penting karena fungsinya dalam melindungi garis pantai dari abrasi, menyerap karbon biru (*blue*

*carbon*), menyediakan habitat bagi biota laut, serta menopang kehidupan masyarakat pesisir. Indonesia memiliki sekitar 3,36 juta hektar hutan mangrove, menjadikannya negara dengan tutupan mangrove terbesar di dunia (Donato *et al.*, 2011; Hamilton dan Friess, 2016).

Kalimantan Barat, khususnya Kabupaten Kayong Utara, mangrove memiliki nilai strategis dalam menjaga keseimbangan ekologi dan ekonomi pesisir. Namun, kawasan mangrove di wilayah ini mengalami tekanan besar akibat alih fungsi lahan, penebangan liar, pencemaran, serta dampak perubahan iklim seperti kenaikan muka laut. Tekanan ini menyebabkan penurunan kualitas dan luas mangrove, sehingga melemahkan peran ekologisnya (Ahmad *et al.*, 2017). Untuk mengatasi hal tersebut, dibutuhkan pemantauan yang cepat, akurat, dan berkelanjutan sebagai dasar program konservasi dan rehabilitasi yang efektif.

Pemanfaatan teknologi geospasial dan sistem informasi berbasis WebGIS juga mulai dikembangkan untuk mendukung pengelolaan konservasi mangrove secara digital dan terintegrasi di Kabupaten Kayong Utara, sehingga informasi spasial ekosistem pesisir dapat diakses secara lebih cepat dan akurat dalam proses pengambilan keputusan (Saputra *et al.*, 2025). Dalam perkembangan teknologi, Sentinel-2A menawarkan citra multispektral dengan resolusi 10 m dan revisit time 5 hari, menjadikannya sangat ideal untuk pemantauan vegetasi pesisir. Salah satu indeks vegetasi yang sering digunakan adalah NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), yang terbukti efektif menilai kesehatan vegetasi karena berkorelasi dengan kerapatan tajuk dan biomassa (Simarmata *et al.*, 2022). Selain itu, algoritma klasifikasi berbasis piksel seperti *Random Forest* dan *Support Vector Machine* (SVM) juga telah digunakan secara luas untuk pemetaan tutupan mangrove dengan akurasi tinggi (>85%) (Purwanto *et al.*, 2023; Zhang *et al.*, 2023).

Penelitian sebelumnya di Kecamatan Pulau Maya telah memetakan mangrove menggunakan metode interpretasi visual dan survei lapangan sederhana (Ahmad *et al.*, 2017). Namun, hasil tersebut bersifat makro dan belum mampu menggambarkan kondisi ekologis yang spesifik di tingkat desa. Padahal, prinsip “*environmental inferences are scale dependent*” menyatakan bahwa hasil pada satu skala belum tentu relevan untuk skala lain, seperti desa (Spake *et al.*, 2021). Selain itu, pendekatan NDVI dan klasifikasi

piksel berbasis Sentinel 2A belum banyak diterapkan untuk kajian berskala mikro di wilayah ini.

Beberapa studi terbaru menunjukkan efektivitas integrasi NDVI dengan klasifikasi pixel. Purwanto *et al.* (2023) menggunakan NDVI, NDMI, dan algoritma *Random Forest* untuk memetakan perubahan mangrove di Taman Nasional Sembilang dengan hasil akurat. Zhang *et al.* (2023) menggabungkan NDVI dengan indeks spektral lain dan metode klasifikasi ensemble untuk memetakan mangrove tropis. Simarmata *et al.* (2024) mengintegrasikan citra Sentinel-2 dan data spektral lapangan untuk meningkatkan ketelitian pemetaan spesies mangrove, menunjukkan bahwa kombinasi data penginderaan jauh dan pengukuran in situ mampu meningkatkan interpretasi ekologis. Temuan-temuan ini memperkuat relevansi penggunaan NDVI dan klasifikasi piksel dalam kajian kesehatan mangrove.

Tujuan penelitian ini adalah untuk memetakan dan menganalisis kesehatan mangrove di Desa Dusun Kecil menggunakan pendekatan NDVI dan klasifikasi piksel berbasis citra Sentinel 2A. Hasil yang diharapkan berupa peta tematik zonasi kesehatan mangrove yang dapat menjadi dasar strategi konservasi di tingkat desa. Selain itu, studi ini melengkapi kajian sebelumnya sekaligus memberikan kontribusi praktis dan akademik terhadap pengelolaan mangrove berkelanjutan di kawasan Pulau Maya Kabupaten Kayong Utara khususnya Desa Dusun Kecil.

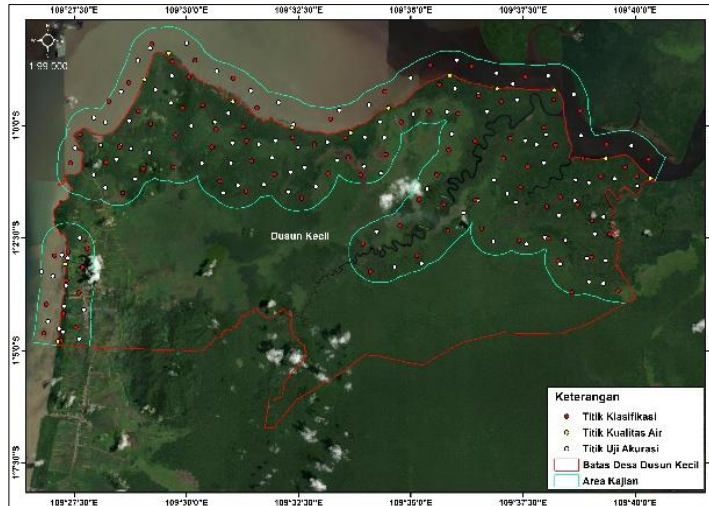
## 2. METODE

### 2.1 Lokasi dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Desa Dusun Kecil Kabupaten Kayong Utara (Gambar 1). Pengambilan data lapangan dilaksanakan selama 3 hari pada bulan Agustus 2025. Pelaksanaan penelitian dimulai dari persiapan dan pengumpulan data sekunder dan survei lapangan untuk mengumpulkan data *in situ*.

### 2.2 Data dan Peralatan

Penelitian ini menggunakan data penginderaan jauh dan data lapangan. Data penginderaan jauh berupa citra Sentinel-2A dengan resolusi 10 m yang digunakan untuk pemetaan mangrove (European Space Agency, 2021). Sementara itu, data lapangan mencakup koordinat sampel mangrove yang digunakan



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian Desa Dusun Kecil

untuk validasi hasil klasifikasi citra. Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini meliputi ENVI 5.1 untuk pemrosesan citra Sentinel-2A, ArcGIS Pro untuk analisis spasial.

### 2.3 Metode Pengolahan Data

#### 2.3.1 Preprocessing Citra Sentinel-2A

Tahap awal dalam pemrosesan data adalah melakukan *preprocessing* terhadap citra Sentinel-2A. Citra yang diperoleh akan dikoreksi atmosfer dan geometrik menggunakan piranti ENVI 5.1. Selanjutnya, area penelitian akan dipotong (*clipping*) menggunakan batas administrasi Desa Dusun Kecil. Setelah itu, dilakukan perhitungan Nilai Vegetasi Terindeks Normalisasi (NDVI) untuk menentukan kerapatan mangrove dengan persamaan:

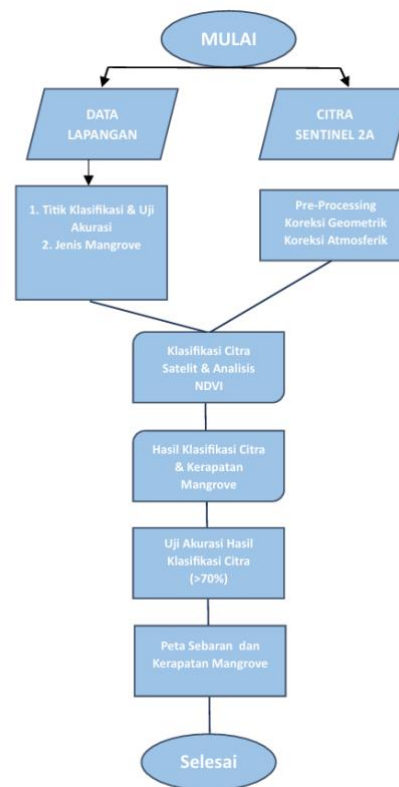
$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Dimana NIR (*Near-Infrared*) merupakan Band 8, dan RED (Red) merupakan *Band 4* dari citra Sentinel-2A (Rouse *et al.*, 1974).

#### 2.3.1 Klasifikasi Berbasis Pikel dengan Algoritma SVM

Setelah *preprocessing* citra selesai, dilakukan klasifikasi berbasis piksel. Klasifikasi citra dilakukan dengan menentukan kelas tutupan lahan yang terdiri atas mangrove, non-mangrove, dan perairan menggunakan *algoritma Support Vector Machine* (SVM), yaitu metode pembelajaran mesin berbasis teori statistik learning yang dikembangkan oleh Vapnik (1995). Sampel latih diambil dari citra dan data referensi lapangan untuk meningkatkan akurasi klasifikasi.

Algoritma SVM dengan kernel *Radial Basis Function* (RBF) diimplementasikan menggunakan ENVI 5.1 (Mountrakis *et al.*, 2011). Hasil klasifikasi kemudian dievaluasi menggunakan matriks konfusi dan perhitungan akurasi Kappa untuk mengukur tingkat keakuratan klasifikasi yang telah dilakukan (Congalton, 1991). Tahap pengolahan data dapat dilihat pada diagram alir penelitian pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Komposisi Jenis Mangrove

Komposisi jenis mangrove yang ditemukan di wilayah kajian menunjukkan keberadaan delapan spesies (Gambar 3), yaitu *Avicennia marina*, *Rhizophora apiculata*, *Bruguiera parviflora*, *Sonneratia alba*, *Xylocarpus granatum*, *Acanthus ilicifolius*, *Acrostichum aureum*, dan *Nypa fruticans*. Keberagaman tersebut mencerminkan kondisi ekologi pesisir yang masih mampu mendukung perkembangan mangrove sejati maupun spesies asosiasi.

Dominansi *Rhizophora apiculata* menunjukkan bahwa kondisi lingkungan (substrat berlumpur, genangan pasang surut reguler, sedimen tinggi) sesuai untuk spesies yang toleran terhadap sedimentasi hal ini konsisten dengan pola dominansi *Rhizophora* pada banyak hutan mangrove di Indonesia (Alongi, 2008; Akhrianti *et al.*, 2025). Di sisi lain, keberadaan *Avicennia marina* dan *Sonneratia alba* pada zona depan pesisir mencerminkan adaptasi terhadap salinitas dan kondisi pesisir terbuka (Alongi, 2008). Zona Tengah Landward, dengan kemunculan *Bruguiera* dan *Xylocarpus*, menunjukkan habitat yang lebih stabil dan terlindungi dari dinamika pasang surut langsung (Mughofar *et al.*, 2018).

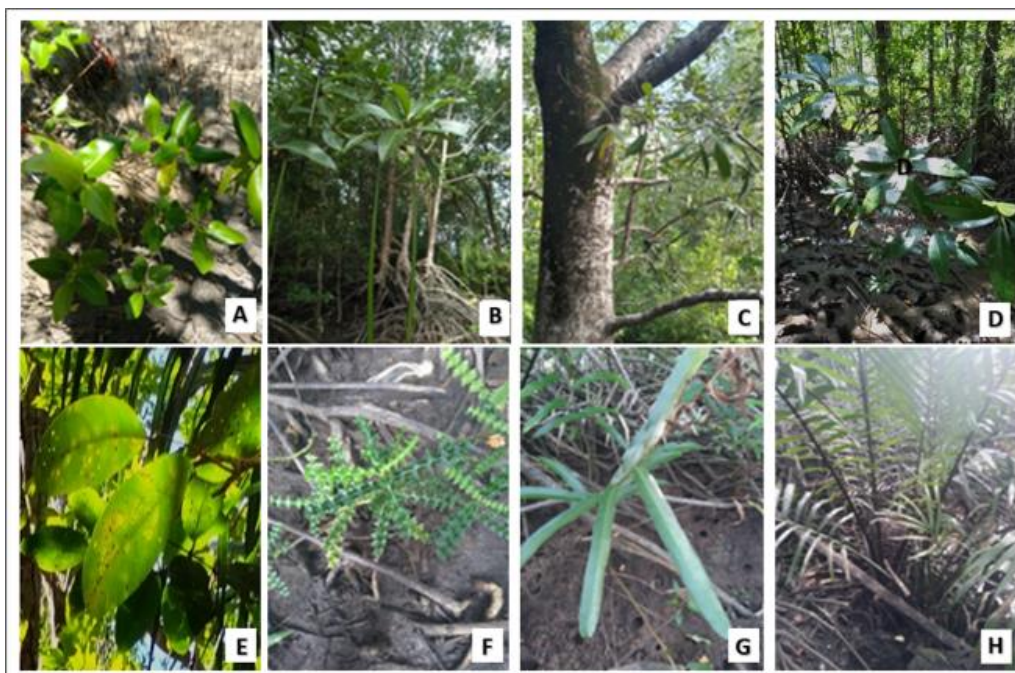
Adanya spesies asosiasi seperti *Acanthus*, *Acrostichum*, dan *Nypa* mengindikasikan area dengan karakter campuran baik dari segi kondisi

hidrologi maupun gangguan lingkungan (misalnya kanal, muara sungai, atau area transisi) (Rahman *et al.*, 2024). Secara keseluruhan, pola distribusi vegetasi ini menggambarkan zonasi ekologis yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan dasar seperti salinitas, genangan, dan substrat, serta mendasari rekomendasi konservasi dan restorasi berbasis zonasi.

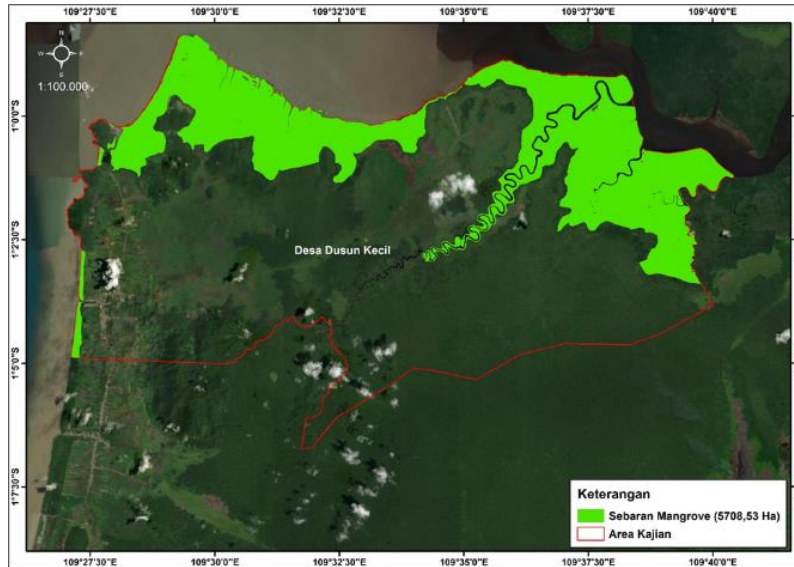
#### 3.2 Pemetaan Sebaran dan Kerapatan Mangrove

Hasil pemetaan citra Sentinel-2A menunjukkan bahwa vegetasi mangrove di Desa Dusun Kecil memiliki luasan total sekitar 5.708,53 ha, yang tersebar terutama di sepanjang pesisir utara dan mengikuti alur sungai utama (Gambar 4). Pola distribusi ini menggambarkan bahwa dinamika pasang surut dan suplai sedimen masih menjadi faktor dominan dalam mempertahankan keberadaan mangrove, sebagaimana lazim ditemukan pada ekosistem pesisir tropis (Alongi, 2008). Sebagian besar mangrove membentuk tegakan yang relatif kompak, terutama pada kawasan pesisir yang terlindung, sementara penyebaran yang lebih tipis tampak pada area yang berhadapan langsung dengan gelombang atau berada dekat bukan lahan.

Klasifikasi kerapatan berdasarkan nilai NDVI memperlihatkan tiga kategori utama, yaitu kerapatan rapat (3.357,59 ha), sedang (2.164,76



Gambar 3. Jenis-jenis mangrove yang ditemukan di lokasi A) *Avicennia marina*, B) *Rhizophora apiculata*, C) *Bruguiera parviflora*, D) *Sonneratia alba*, E) *Xylocarpus granatum*, F) *Acanthus ilicifolius*, G) *Acrostichum aureum*, H) *Nypa fruticans*



Gambar 4. Peta Sebaran Mangrove Desa Dusun Kecil

ha), dan jarang (186,18 ha) (Gambar 5). Dominasi kelas rapat menunjukkan bahwa sebagian besar kawasan mangrove masih berada dalam kondisiutupan vegetasi yang baik. Nilai NDVI tinggi pada kelas ini mengindikasikan struktur kanopi yang lebat dan tingkat kesehatan vegetasi yang relatif optimal (Akhrianti *et al.*, 2025). Sebaliknya, area dengan kerapatan jarang umumnya berada pada tepi pantai bagian barat dan zona yang memiliki pengaruh aktivitas manusia. Vegetasi yang jarang dapat mencerminkan kondisi lingkungan yang kurang stabil atau tekanan antropogenik yang lebih tinggi.

Kelas kerapatan sedang tersebar secara merata di antara kedua kategori lainnya dan menunjukkan area dengan tingkat dinamika ekologis yang lebih moderat. Zona ini umumnya berada pada batas antara vegetasi rapat dan kawasan terbuka, sehingga perubahannya dapat dipengaruhi oleh fluktuasi hidrologi dan kondisi substrat (Kathiresan dan Bingham, 2001).

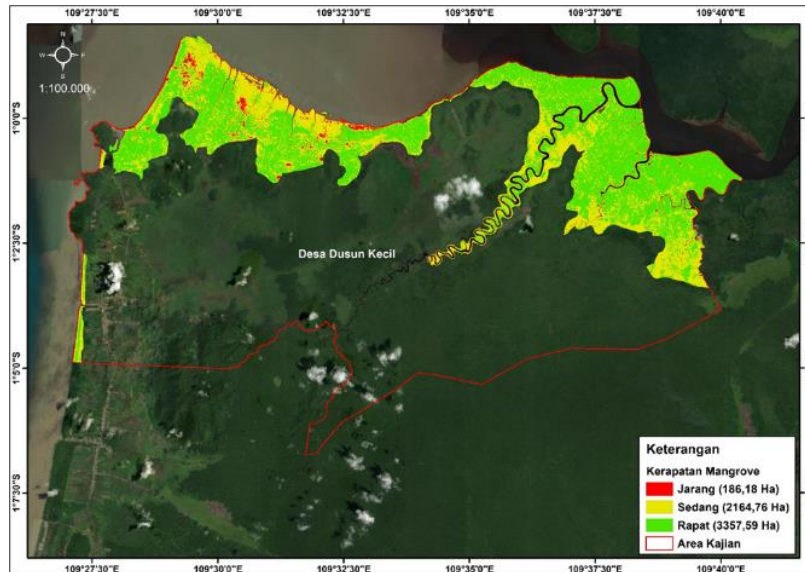
Secara keseluruhan, hasil klasifikasi penutup lahan menggunakan algoritma *Support Vector Machine* (SVM) menghasilkan Akurasi Keseluruhan sebesar 75,73% dan Kappa 0,6579, yang menunjukkan tingkat kesesuaian yang cukup baik antara hasil klasifikasi dan kondisi sebenarnya. Nilai Kappa di atas 0,60 menunjukkan konsistensi klasifikasi yang substansial (Foody, 2002). Hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan SVM dengan kernel RBF mampu membedakan kelas

mangrove dan non mangrove secara efektif pada citra Sentinel-2A.

Perbedaan tingkat akurasi antara penelitian ini dan studi sebelumnya dapat dipengaruhi oleh pendekatan klasifikasi yang digunakan. Metode berbasis objek dilaporkan mampu meningkatkan akurasi pemetaan mangrove karena mempertimbangkan konteks spasial citra (Saputra *et al.*, 2021), sedangkan penelitian ini menggunakan pendekatan berbasis piksel dengan algoritma SVM. Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan metode klasifikasi menjadi faktor penting dalam menentukan ketelitian pemetaan mangrove berbasis citra resolusi menengah.

Studi terbaru menunjukkan bahwa penggunaan model hibrid berbasis Sentinel-2 dengan strategi *active learning* mampu meningkatkan performa klasifikasi mangrove hingga menghasilkan pemisahan kelas yang lebih stabil pada lingkungan estuarin yang heterogen (M Jia *et al.*, 2024). Hal ini mengindikasikan bahwa pengembangan metode klasifikasi lanjutan berpotensi meningkatkan akurasi pemetaan pada penelitian selanjutnya.

Pola sebaran dan tingkat kerapatan yang diperoleh dari hasil pemrosesan citra ini memberikan gambaran komprehensif mengenai kondisi ekosistem mangrove di wilayah kajian. Dominasi kelas kerapatan rapat dan distribusi yang luas mengindikasikan bahwa kawasan mangrove di Desa Dusun Kecil masih memiliki peran ekologis yang kuat dalam melindungi garis pantai, menyediakan habitat biota pesisir, serta menyokong proses-proses ekologis penting



Gambar 5. Peta Sebaran Kerapatan Mangrove Desa Dusun Kecil

lainnya. Namun demikian, area berkategori jarang perlu mendapatkan perhatian lebih lanjut dalam rangka pengelolaan berbasis zonasi dan rehabilitasi kawasan pesisir.

### 3.3 Sebaran Kualitas Air di Sekitar Ekosistem Mangrove

Sebaran parameter kualitas air di wilayah pesisir Desa Dusun Kecil menunjukkan variasi spasial yang cukup jelas (Gambar 6), yang dipengaruhi oleh kondisi hidrologi, dinamika pasang surut, serta kedekatan dengan muara sungai. Parameter yang dianalisis meliputi suhu, oksigen terlarut (DO), salinitas, dan pH. Variasi nilai setiap parameter secara umum masih berada dalam kisaran yang dapat mendukung pertumbuhan vegetasi mangrove, meskipun terdapat perbedaan intensitas pada area yang lebih terbuka dan yang berdekatan dengan aliran sungai.

#### 3.3.1 Suhu

Sebaran suhu menunjukkan rentang nilai 29,72-32,69°C, dengan temperatur yang lebih tinggi berada di bagian pesisir yang langsung terpapar radiasi matahari dan perairan dangkal. Area dengan suhu yang lebih rendah teridentifikasi pada bagian timur dan wilayah yang lebih dekat dengan aliran sungai, di mana terjadi suplai air tawar dan pergerakan massa air yang lebih intens. Kisaran suhu ini masih sesuai untuk mendukung fisiologi mangrove, mengingat toleransi mangrove terhadap suhu relatif luas dan pertumbuhan optimal umumnya berada pada

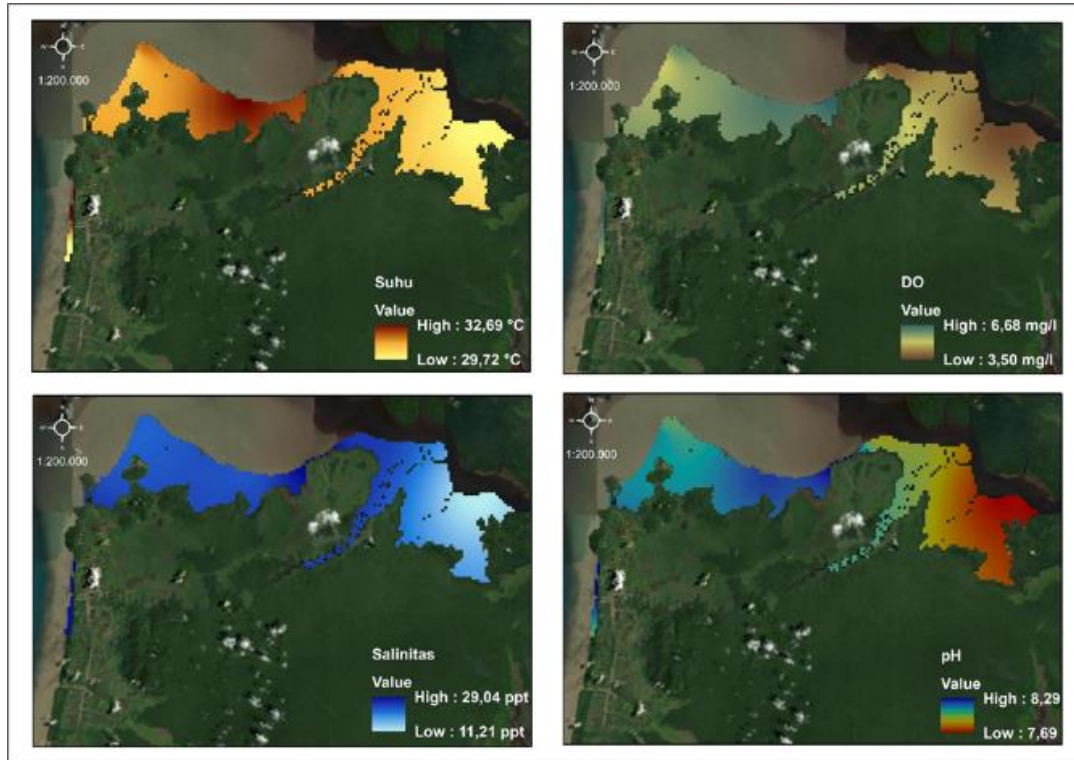
rentang 25-35°C (Kathiresan dan Bingham, 2001). Sebaran suhu yang stabil pada zona tengah kawasan menunjukkan bahwa tutupan vegetasi mangrove mampu memberikan efek peneduhan dan stabilisasi termal.

#### 3.3.2 Oksigen Terlarut (DO)

Nilai DO berkisar antara 3,50-6,68 mg/L. Konsentrasi tertinggi berada pada bagian timur dan area yang berdekatan dengan aliran sungai besar, yang dipengaruhi oleh meningkatnya agitasi air serta masukan air tawar yang membawa oksigen lebih tinggi. Sebaliknya, nilai DO rendah ditemukan pada area pesisir barat dan zona yang lebih tertutup, yang mengindikasikan/diduga dipengaruhi oleh kondisi substrat berlumpur, pergerakan air yang lambat, dan aktivitas dekomposisi bahan organik yang tinggi. Pada ekosistem mangrove, kondisi DO yang berfluktuasi seperti ini adalah hal yang umum, dan nilai di atas 3 mg/L masih dianggap memadai untuk mendukung proses ekologi dasar di kawasan pesisir (Alongi, 2008).

#### 3.3.3 Salinitas

Sebaran salinitas memperlihatkan rentang 11,21-29,04 ppt, dengan nilai tertinggi berada pada area yang langsung berhadapan dengan laut dan bagian pesisir terbuka. Sementara itu, nilai salinitas rendah ditemukan pada wilayah yang lebih dekat dengan muara sungai, yang menerima masukan atau pencampuran oleh aliran air tawar. Variasi salinitas ini mencerminkan adanya gradien lingkungan estuarin yang umum pada



Gambar 6. Peta Sebaran Kualitas Air di Mangrove Desa Dusun Kecil

ekosistem mangrove. Rentang nilai tersebut masih dalam batas toleransi mayoritas spesies mangrove, karena mangrove dikenal mampu hidup pada kisaran salinitas 10-35 ppt tergantung spesies dan kondisi substrat (Alongi, 2008). Gradien salinitas yang tampak pada peta (Gambar 6) juga mengindikasikan dinamika air pasang yang stabil dan adanya interaksi laut-sungai yang kuat.

### 3.3.4 pH

Nilai pH berkisar 7,69-8,29, yang berada dalam kategori netral hingga alkalis lemah. Area dengan pH lebih tinggi berada di bagian timur dan pesisir terbuka, sedangkan pH yang lebih rendah terletak pada bagian barat yang menerima pengaruh sedimentasi dan dinamika air yang lebih lambat. Secara umum, kisaran ini sangat ideal untuk mendukung pertumbuhan mangrove karena sebagian besar spesies dapat tumbuh baik pada kondisi perairan dengan pH 6,5-8,5 (Mughofar *et al.*, 2018). Distribusi pH yang relatif seragam menunjukkan bahwa proses pencampuran air laut dan sungai berlangsung cukup baik.

### 3.3.5 Interpretasi Ekologis

Variasi spasial dari keempat parameter kualitas air mencerminkan kondisi lingkungan yang dinamis, khas wilayah estuari yang

dipengaruhi oleh pasang surut, aliran sungai, dan karakteristik geomorfologi pesisir. Secara keseluruhan, parameter kualitas air berada dalam kisaran yang mendukung kelangsungan vegetasi mangrove. Nilai salinitas dan pH yang stabil, suhu berada pada rentang optimal, serta DO yang masih dapat dikategorikan cukup, menunjukkan bahwa kondisi perairan di sekitar mangrove Desa Dusun Kecil relatif baik

Kombinasi karakteristik ini diperkirakan turut mendukung dominasi mangrove berkepadatan tinggi yang telah diidentifikasi melalui analisis NDVI. Selain itu, area yang menunjukkan nilai DO rendah atau suhu tinggi dapat dijadikan indikator awal lokasi yang perlu dipantau secara berkala, khususnya pada zona yang berpotensi mengalami perubahan lingkungan atau tekanan antropogenik.

## 4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa ekosistem mangrove di Desa Dusun Kecil memiliki kondisi yang relatif baik dengan luas tutupan mencapai ±5.708,53 ha yang didominasi kerapatan vegetasi kategori rapat serta komposisi delapan spesies mangrove dengan dominansi *Rhizophora apiculata*. Pola sebaran vegetasi mengikuti garis pantai dan alur sungai yang

mencerminkan pengaruh faktor lingkungan seperti substrat, pasang surut, dan suplai sedimen. Parameter kualitas air yang masih berada dalam kisaran optimal turut mendukung pertumbuhan mangrove, sementara hasil klasifikasi citra Sentinel-2A menggunakan algoritma *Support Vector Machine* menunjukkan akurasi yang cukup baik (Akurasi Keseluruhan 75,73% dan Kappa 0,6579), sehingga metode penginderaan jauh efektif untuk pemetaan kondisi mangrove. Temuan ini menegaskan pentingnya pendekatan terpadu penginderaan jauh dan survei lapangan sebagai dasar pengelolaan pesisir berbasis zonasi, dengan perhatian khusus pada area berkategori kerapatan jarang untuk upaya rehabilitasi dan pemantauan berkelanjutan.

## 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas OSO melalui LPPM yang telah mendanai kegiatan penelitian ini melalui Dana HIBAH Tahun 2025 berdasarkan Surat Perjanjian Nomor 82/UNOSO.4/PL/VII/2025, Tanggal 20 Agustus 2025, serta pemerintah Kabupaten Kayong Utara dan Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Kalbar yang telah memfasilitasi kegiatan penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, B., Thamrin, Idham, M. 2017. Studi perubahan luasan hutan mangrove di Dusun Pintau Desa Tanjung Satai Kecamatan Pulau Maya Kabupaten Kayong Utara. *Jurnal Hutan Lestari*. 5(2): 437–451.
- Akhrianti, I., Arizona, M.O., Batubara, G.P. 2025. Structure and composition of mangrove vegetation on Kelasa Island: Dominance of *Rhizophora apiculata* and its implications for coastal ecosystem sustainability. *BIO Web of Conferences*. 157: 05005.
- Alongi, D.M. 2008. Mangrove forests: Resilience, protection from tsunamis, and climate change responses. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 76(1): 1–13.
- Spake, R., Mori, A.S., Beckmann, M., et al. 2021. Implications of scale dependence for cross-study syntheses of biodiversity differences. *Ecology Letters*. 24(2): 374–390.
- Congalton, R.G. 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment* 37(1): 35–46.
- Donato, D.C., Kauffman, J.B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., Kanninen, M. 2011. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*. 4: 293–297.
- European Space Agency. 2021. *Sentinel-2 User Handbook*.
- Foody, G.M. 2002. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*. 80(1): 185–201.
- Hamilton, S.E., Friess, D.A. 2016. Global carbon stocks and potential emissions due to mangrove deforestation from 2000 to 2012. *Nature Climate Change*. 8(3): 1–55
- Kathiresan, K., Bingham, B.L. 2001. Biology of mangroves and mangrove ecosystems. *Advances in Marine Biology*. 40: 81–251.
- Mountrakis, G., Im, J., Ogole, C. 2011. Support vector machines in remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 66(3): 247–259.
- Mughofar, A., Masykuri, M., Setyono, P. 2018. Zonasi dan komposisi vegetasi mangrove di Pantai Cengkong, Trenggalek. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 8(1): 77–85.
- M Jia, X Guo, L Zhang, M Wang, W Wang, C Lu, C Zhao, R Zhang, M Wang, H Yan, Z Wang, J Verrelst. 2024. Mapping mangrove functional traits from Sentinel-2 imagery based on hybrid models coupled with active learning strategies. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 130: 103905.
- Purwanto, A. D., Wikantika, K., Deliar, A., & Darmawan, S. (2023). Decision Tree and Random Forest Classification Algorithms for Mangrove Forest Mapping in Sembilang National Park, Indonesia. *Remote Sensing*. 15(1): 16.
- Rahman, K.S., Rahman, M.M., Dana, N.H., Adib, A., Al-Masud, A., Hossain, M.T., et al. 2024. Nypa-based land uses and ecosystem services in the tropics: A review. *Ecological Indicators*. 159: 111613.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W. 1974. *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*. NASA Special Publication.
- Saputra, R., Gaol, J.L., Agus, S.B. 2021. Studi perubahan tutupan lahan mangrove berbasis objek (OBIA) menggunakan citra satelit di Pulau Dompok, Provinsi

- Kepulauan Riau. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 13(1): 39–55.
- Simarmata, N.K., Wikantika, S. Darmawan, A.B. Harto, dan Santo, A.A. 2022. Evaluation of multispectral image for mangrove health assessment using Sentinel-2A and field spectrometer data. *Proceedings of ICARES*.
- Simarmata, N. 2024. Mangrove ecosystem species mapping from integrated Sentinel-2 imagery and field spectral data. *Journal of Applied Remote Sensing*. 18(2): 014509.
- Saputra, R., Zibar, Z., Raynaldo, A. 2025. Mangrove cerdas 4.0: Perancangan geodatabase untuk mendukung transformasi digital pengelolaan konservasi perairan Kayong Utara berbasis WebGIS. *Jurnal Laut Khatulistiwa*. 8(3): 179–190.
- Vapnik, V. 1995. *The Nature of Statistical Learning Theory*. Springer.
- Zhang, H., Xia, Q., Dai, S., Zheng, Q., Zhang, Y., Deng, X. 2023. Mangrove forest mapping from object oriented multi feature ensemble classification using Sentinel-2 images. *Frontiers in Marine Science*. 10: 1243116.