ESTIMASI KONDISI TUTUPAN MANGROVE BERDASARKAN INDEKS NDVI MENGGUNAKAN CITRA SENTINEL-2B DI PESISIR NEGERI WAAI

ESTIMATION OF MANGROVE COVER CONDITION BASED ON THE NDVI INDEX USING SENTINEL-2B IMAGERY IN THE COASTAL AREA OF WAAI VILLAGE

Janson Hans Pietersz[1*], Reinhardus Pentury[1], Prulley Annette Uneputty[1]

[1] Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Pattimura, Indonesia
*e-mail: janson.pietersz@lecturer.unpatti.ac.id

ABSTRAK

Ekosistem mangrove memiliki peranan penting dalam menjaga kestabilan wilayah pesisir, namun keberadaannya menghadapi berbagai tekanan lingkungan yang dapat mempengaruhi kondisi tutupan vegetasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi komposisi jenis mangrove serta mengestimasi kondisi tutupan mangrove berdasarkan indeks *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) menggunakan citra Sentinel-2B di pesisir Negeri Waai, Kecamatan Salahutu, Kabupaten Maluku Tengah. Pengambilan data lapangan dilakukan melalui survei eksploratif dengan observasi langsung, identifikasi jenis mangrove, pengambilan titik koordinat, pengukuran salinitas, dan pengamatan kondisi substrat. Analisis data dilakukan menggunakan citra Sentinel-2B Level-2A dengan kombinasi band 8-11-4 dan metode *maximum likelihood classification*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kawasan pesisir Negeri Waai memiliki 11 jenis mangrove. Hasil uji akurasi klasifikasi menunjukkan nilai *overall accuracy* sebesar 92% dan *kappa accuracy* sebesar 88%. Analisis NDVI menunjukkan bahwa kondisi tutupan mangrove di kawasan penelitian secara umum masih tergolong baik dan didominasi kategori tutupan padat hingga sangat padat dengan persentase mencapai 60,28% dari total kawasan mangrove. Penggunaan citra Sentinel-2B dan indeks NDVI mendukung estimasi kondisi tutupan mangrove secara spasial di pesisir Negeri Waai serta dapat digunakan sebagai sumber informasi dalam kegiatan monitoring dan pengelolaan ekosistem mangrove secara berkelanjutan.

Kata kunci: Mangrove; NDVI; Penginderaan jauh; Sentinel-2B; Tutupan mangrove

ABSTRACT

Mangrove ecosystems are important for coastal stability, but environmental pressures can reduce vegetation cover. This study identifies mangrove species composition and estimates mangrove cover condition using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) from Sentinel-2B imagery on the coast of Negeri Waai, Salahutu District, Central Maluku Regency. Field data were collected through exploratory surveys with direct observation, species identification, coordinate recording, salinity measurement, and substrate observation. Data analysis used Sentinel-2B Level-2A imagery with an 8-11-4 band combination and the maximum likelihood classification method. The results showed that the coastal area of Waai village has 11 mangrove species. The classification accuracy test showed an overall accuracy of 92% and a kappa accuracy of 88%. NDVI analysis showed that mangrove cover in the study area was generally still good and dominated by dense to very dense categories, reaching 60.28% of the total mangrove area. The use of Sentinel-2B imagery and the NDVI index supports spatial estimation of mangrove cover conditions on the coast of Waai village and can be used as information for sustainable mangrove monitoring and management.

Keywords: Mangrove; Mangrove cover; NDVI; Remote sensing; Sentinel-2B

 © Hak Cipta oleh Jurnal Harpodon Borneo Tahun 2026

PENDAHULUAN

Ekosistem mangrove merupakan salah satu ekosistem pesisir yang memiliki peranan penting dalam menjaga stabilitas lingkungan pantai serta mendukung keberlanjutan ekosistem perairan pesisir. Mangrove berfungsi sebagai pelindung alami pantai dari abrasi, gelombang, dan intrusi air laut, sekaligus menjadi habitat, daerah pemijahan (*spawning ground*), daerah pembesaran (*nursery ground*), dan tempat mencari makan (*feeding ground*) bagi berbagai biota perairan. Selain itu, mangrove juga memiliki kemampuan tinggi dalam menyerap dan menyimpan karbon biru (*blue carbon*) sehingga berperan penting dalam mitigasi perubahan iklim global (Alongi, 2020; Rahman et al., 2024). Indonesia merupakan salah satu negara dengan luasan mangrove terbesar di dunia sehingga keberadaan ekosistem mangrove memiliki kontribusi penting terhadap keseimbangan ekologis wilayah pesisir serta keberlanjutan sumber daya pesisir dan laut (Giri et al., 2011; Sasmito et al., 2023).

Meskipun memiliki fungsi ekologis yang sangat penting, ekosistem mangrove saat ini menghadapi berbagai tekanan lingkungan akibat aktivitas antropogenik maupun perubahan kondisi pesisir. Degradasi mangrove dapat terjadi akibat perubahan penggunaan lahan, pembangunan kawasan pesisir, sedimentasi, pencemaran, serta aktivitas eksploitasi sumber daya pesisir yang tidak terkendali (Hagger et al., 2022; Cahyaningsih et al., 2022). Tekanan terhadap ekosistem mangrove juga dapat menyebabkan penurunan kualitas habitat, terganggunya fungsi ekologis mangrove, serta menurunkan kemampuan mangrove dalam melindungi wilayah pesisir dari pengaruh lingkungan eksternal.

Salah satu ancaman yang banyak ditemukan pada kawasan mangrove pesisir adalah akumulasi sampah plastik yang berasal dari aktivitas pembuangan sampah domestik ke badan sungai maupun laut. Sampah plastik yang terbawa arus dapat terperangkap pada akar dan vegetasi mangrove sehingga berpotensi mengganggu pertumbuhan dan kondisi vegetasi mangrove (Turker, 2022). Selain itu, aktivitas pengambilan material seperti pasir dan batu kerikil di sekitar kawasan pesisir juga dapat memengaruhi kondisi fisik habitat mangrove, meningkatkan potensi erosi dan abrasi pesisir, serta menyebabkan perubahan kondisi lingkungan apabila dilakukan secara terus-menerus (Subiyanto, 2025; Cahyaningsih et al., 2022). Aktivitas antropogenik tersebut berpotensi menyebabkan perubahan kondisi tutupan mangrove dan menurunkan fungsi ekologis ekosistem pesisir apabila tidak dikelola secara berkelanjutan.

Negeri Waai yang berada di Kecamatan Salahutu, Kabupaten Maluku Tengah, Pulau Ambon merupakan salah satu wilayah pesisir yang memiliki ekosistem mangrove dan berperan penting dalam mendukung keseimbangan lingkungan pesisir setempat. Kawasan mangrove di Negeri Waai memiliki fungsi ekologis sebagai habitat berbagai biota perairan serta mendukung kehidupan masyarakat pesisir (Pelupessy & Arini, 2016; Pietersz et al., 2024). Selain itu, komunitas mangrove di wilayah ini juga memiliki potensi ekologis yang penting bagi perlindungan wilayah pesisir dan keberlanjutan sumber daya pesisir. Namun demikian, tekanan lingkungan akibat aktivitas antropogenik seperti akumulasi sampah plastik di wilayah pesisir dan aktivitas pengambilan material pesisir di sekitar kawasan mangrove masih ditemukan hingga saat ini sehingga berpotensi memengaruhi kondisi vegetasi mangrove di wilayah tersebut.

Pemantauan kondisi mangrove secara berkala diperlukan untuk memperoleh informasi spasial mengenai kondisi tutupan mangrove serta mendukung pengelolaan wilayah pesisir secara berkelanjutan. Salah satu metode yang banyak digunakan dalam pemantauan mangrove adalah teknologi penginderaan jauh karena mampu menyediakan informasi spasial secara cepat, luas, dan efisien. Penginderaan jauh

memungkinkan pemantauan kondisi vegetasi mangrove tanpa harus melakukan survei lapangan secara menyeluruh serta dapat digunakan untuk analisis kondisi lingkungan pesisir (Fu et al., 2022; Duncan et al., 2018). Penggunaan citra satelit dalam pemetaan mangrove juga dinilai efektif dalam mendukung kegiatan monitoring dan konservasi mangrove secara berkelanjutan (Maurya et al., 2021).

Salah satu data penginderaan jauh yang banyak dimanfaatkan dalam analisis vegetasi mangrove adalah citra Sentinel-2. Citra Sentinel-2 memiliki resolusi spasial yang cukup baik untuk analisis vegetasi pesisir serta tersedia secara gratis sehingga banyak digunakan dalam penelitian pemetaan mangrove dan monitoring lingkungan pesisir (Maurya et al., 2021; Liu et al., 2021). Penggunaan citra Sentinel-2 dalam analisis mangrove dinilai efektif karena mampu memberikan informasi spasial vegetasi dengan detail yang cukup baik untuk mendukung kegiatan pemantauan wilayah pesisir (Fu et al., 2022; Sugara et al., 2024).

Analisis kondisi vegetasi mangrove menggunakan citra satelit umumnya dilakukan melalui pendekatan indeks vegetasi. Salah satu indeks vegetasi yang paling banyak digunakan adalah *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), yang memanfaatkan reflektansi kanal merah (*red*) dan inframerah dekat (*Near Infrared*) untuk mengidentifikasi tingkat kehijauan dan kerapatan vegetasi (Maurya et al., 2021). Indeks NDVI banyak digunakan dalam analisis vegetasi karena mampu menggambarkan kondisi tutupan mangrove berdasarkan tingkat kehijauan dan kerapatan vegetasi secara spasial. Berbagai penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa NDVI efektif digunakan dalam analisis tutupan dan kerapatan vegetasi mangrove menggunakan citra Sentinel-2 (Faizal et al., 2023; Fu et al., 2022; Pietersz et al., 2024a; Sugara et al., 2024).

Beberapa penelitian sebelumnya telah memanfaatkan citra Sentinel-2 dan indeks NDVI untuk analisis kondisi vegetasi mangrove di berbagai wilayah pesisir Indonesia. Namun, informasi spasial mengenai kondisi tutupan mangrove berbasis penginderaan jauh di kawasan pesisir Negeri Waai masih sangat terbatas, sementara tekanan antropogenik terhadap ekosistem mangrove di wilayah tersebut masih terus berlangsung. Hingga saat ini belum ditemukan penelitian yang secara khusus mengkaji kondisi tutupan mangrove menggunakan citra Sentinel-2B dan indeks NDVI pada seluruh kawasan pesisir Negeri Waai melalui analisis spasial berbasis poligon mangrove serta validasi lapangan. Ketersediaan informasi mengenai kondisi tutupan mangrove diperlukan sebagai dasar dalam kegiatan monitoring, pengelolaan, dan konservasi ekosistem mangrove secara berkelanjutan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi komposisi jenis mangrove serta mengestimasi kondisi tutupan mangrove berdasarkan indeks NDVI menggunakan citra Sentinel-2B di pesisir Negeri Waai, Kecamatan Salahutu, Kabupaten Maluku Tengah.

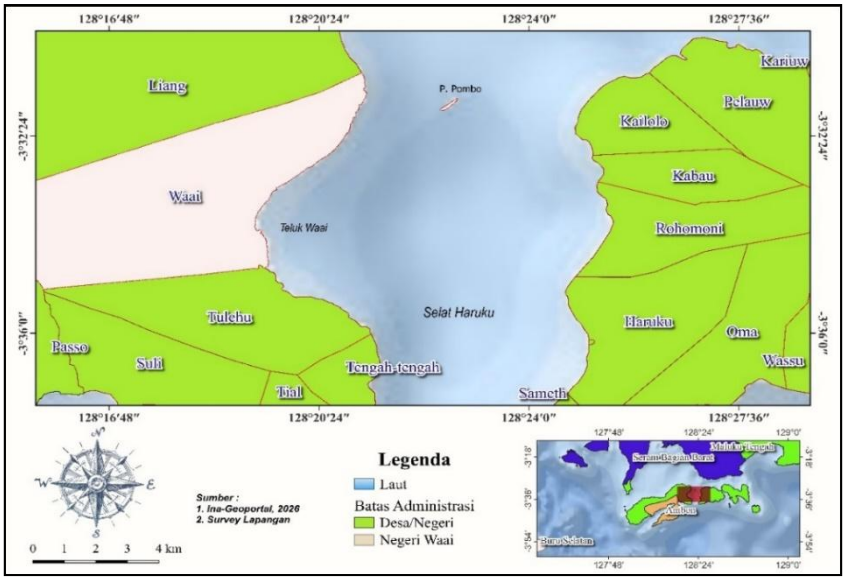
METODOLOGI

Lokasi dan Data Citra

Waktu dan tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei 2026 di kawasan mangrove Negeri Waai, Kecamatan Salahutu, Kabupaten Maluku Tengah, Provinsi Maluku. Secara astronomis, lokasi penelitian terletak pada koordinat 128°19'30,86"–128°19'31,17" BT dan 3°33'30,41"–3°34'48,38" LS (Gambar 1).

 © Hak Cipta oleh Jurnal Harpodon Borneo Tahun 2026



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi perangkat *Global Positioning System* (GPS) Garmin eTrex 22x untuk menentukan titik koordinat pengamatan, refraktometer untuk mengukur salinitas perairan, telepon pintar (*smartphone*) untuk dokumentasi dan pengambilan titik koordinat lapangan, serta perangkat lunak ArcGIS 10.8, QGIS 3.40.5, dan Microsoft Excel 2019 untuk pengolahan dan analisis data spasial. Bahan yang digunakan berupa citra Sentinel-2B Level-2A tanggal akuisisi 19 April 2026 yang diperoleh dari Copernicus Open Access Hub, peta administrasi lokasi penelitian, poligon mangrove, serta data hasil pengamatan lapangan.

Metode

Pengambilan data lapangan untuk jenis mangrove dan *ground truth* dilakukan melalui survei eksploratif dengan metode koleksi bebas (*free collection*) pada seluruh kawasan mangrove di lokasi penelitian (Baderan et al., 2018). Data lapangan yang dikumpulkan meliputi identifikasi jenis mangrove yang ditemukan, dokumentasi lapangan, dan pengambilan titik koordinat menggunakan GPS Garmin eTrex 22x. Sebanyak 60 titik ground truth digunakan sebagai data pelatihan dan validasi pada proses klasifikasi citra. Selain itu, pengukuran parameter lingkungan juga dilakukan melalui pengukuran salinitas perairan menggunakan refraktometer serta pengamatan kondisi substrat secara visual pada setiap lokasi pengamatan.

Pengolahan data citra dilakukan menggunakan perangkat lunak QGIS 3.40.5 dan ArcGIS 10.8. Data yang digunakan berupa citra Sentinel-2B Level-2A tanggal akuisisi 19 April 2026 dengan resolusi spasial 10 meter. Citra Level-2A telah terkoreksi atmosfer sehingga dapat langsung digunakan untuk analisis reflektansi permukaan. Tahapan pengolahan data diawali dengan proses komposit band menggunakan kombinasi kanal 8-11-4 (*Near Infrared, Shortwave Infrared,* dan *Red*) untuk mempermudah interpretasi dan pemisahan objek mangrove dengan objek lainnya. Kombinasi kanal tersebut digunakan karena mampu menampilkan perbedaan karakteristik objek vegetasi dan non-vegetasi secara lebih jelas (Adinegoro et al., 2023). Proses klasifikasi citra dilakukan menggunakan metode *maximum likelihood classification* untuk memisahkan kelas mangrove dan non-mangrove (Ahmad & Quegan, 2012; Miranda et al., 2018).

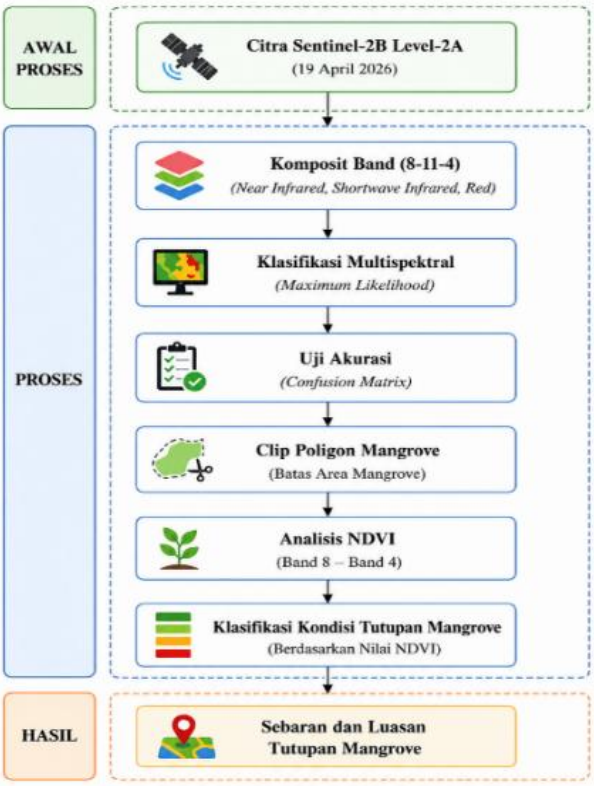
Selanjutnya dilakukan uji akurasi menggunakan *confusion matrix* untuk

mengetahui tingkat ketelitian hasil klasifikasi citra berdasarkan data *ground truth* lapangan (Simamora et al., 2015). Data *ground truth* digunakan sebagai data pelatihan dan validasi pada proses klasifikasi citra. Hasil klasifikasi yang telah diuji kemudian digunakan untuk membentuk poligon mangrove sebagai batas area analisis. Poligon tersebut selanjutnya digunakan dalam proses *clipping* sehingga analisis difokuskan hanya pada kawasan mangrove di lokasi penelitian.

Analisis kondisi tutupan mangrove dilakukan menggunakan metode *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) berdasarkan kanal *Near Infrared* (Band 8) dan kanal *Red* (Band 4) pada citra Sentinel-2B. Nilai NDVI digunakan untuk mengestimasi kondisi tutupan mangrove berdasarkan tingkat kerapatan vegetasi. Analisis NDVI merupakan salah satu metode indeks vegetasi yang paling umum digunakan dalam mendeteksi tingkat kehijauan dan kondisi vegetasi mangrove menggunakan data penginderaan jauh (Huang et al., 2021; Safitri et al., 2023). Persamaan NDVI yang digunakan mengacu pada Tucker (1979), yaitu:

$$\textbf{NDVI} = \frac{\text{band NIR - band Red}}{\text{band NIR + band Red}}$$

Hasil analisis NDVI kemudian diklasifikasikan menjadi beberapa kelas kondisi tutupan mangrove yang terdiri atas kategori jarang, sedang, padat, dan sangat padat. Klasifikasi kondisi tutupan mangrove dilakukan berdasarkan rentang nilai NDVI yang dimodifikasi dari penelitian sebelumnya (Pietersz et al., 2024a). Klasifikasi tersebut dilakukan untuk mengetahui sebaran spasial dan luas masing-masing kondisi tutupan mangrove di kawasan pesisir Negeri Waai.



Gambar 2. Diagram Alir Pengolahan Data Citra Sentinel-2B dan Analisis NDVI Mangrove

sebanyak 11 jenis mangrove yang tergolong ke dalam 8 famili dan 9 genera (Tabel 1). Jenis mangrove yang ditemukan terdiri atas *Acanthus ebracteatus*, *Acrostichum*

 © Hak Cipta oleh Jurnal Harpodon Borneo Tahun 2026

aureum, *Avicennia officinalis*, *Aegiceras corniculatum*, *Excoecaria agallocha*, *Bruguiera gymnorrhiza*, *Rhizophora mucronata*, *Rhizophora apiculata*, *Sonneratia alba*, *Sonneratia caseolaris*, dan *Nypa fruticans* (Gambar 3). Keberadaan berbagai jenis mangrove tersebut menunjukkan bahwa kawasan pesisir Negeri Waai masih memiliki komunitas mangrove yang cukup beragam dan berperan penting dalam menjaga kestabilan ekosistem pesisir.

Famili Rhizophoraceae merupakan famili dengan jumlah jenis terbanyak yang ditemukan pada lokasi penelitian, yaitu *Bruguiera gymnorrhiza*, *Rhizophora mucronata*, dan *Rhizophora apiculata*.

Dominannya famili Rhizophoraceae menunjukkan karakteristik umum mangrove tropis Indo-Pasifik yang banyak didominasi oleh genus *Rhizophora*, *Bruguiera*, dan *Ceriops*. Penelitian Pietersz et al. (2026) pada komunitas mangrove Pulau Nila, Maluku Tengah juga menunjukkan bahwa famili Rhizophoraceae merupakan kelompok mangrove yang paling dominan pada kawasan pesisir pulau kecil di Maluku. Selain itu, kelompok Rhizophoraceae memiliki kemampuan adaptasi yang baik terhadap kondisi pasang surut, salinitas, dan substrat berlumpur pada kawasan intertidal (Dissanayake et al., 2018; Lechthaler et al., 2016). Kemampuan penyimpanan air pada jaringan tumbuhan juga membantu kelompok Rhizophoraceae bertahan terhadap perubahan kondisi lingkungan pesisir (Lechthaler et al., 2016).

Tabel 1. Komposisi jenis mangrove

Famili	Genus	Jenis	Kode
Acanthaceae	*Acanthus*	*Acanthus ebracteatus* Vahl.	AE
Pteridaceae	*Acrostichum*	*Acrostichum aureum* Linn.	AA
Avicenniaceae	*Avicennia*	*Avicennia officinalis* Bl.	AO
Myrsinaceae	*Aegiceras*	*Aegiceras corniculatum* (L.) Blanco	AC
Euphorbiaceae	*Excoecaria*	*Excoecaria agallocha* L.	EA
Rhizophoraceae	*Bruguiera*	*Bruguiera gymnorrhiza* (L.) Lamk.	BG
	Rhizophora	*Rhizophora mucronata* Lmk.	RM
		Rhizophora apiculata Bl.	RA
Sonneratiaceae	*Sonneratia*	*Sonneratia alba* J.E. Smith	SA
		Sonneratia caseolaris (L.) Engl.	SC
Arecaceae	*Nypa*	*Nypa fruticans* Wurmb.	NF

Keberadaan *Avicennia officinalis* pada kawasan pesisir Negeri Waai menunjukkan adanya habitat pesisir yang dipengaruhi oleh salinitas cukup tinggi dan kondisi pasang surut yang aktif. *Avicennia officinalis* merupakan mangrove halofit yang memiliki kemampuan toleransi terhadap tekanan salinitas melalui keberadaan kelenjar garam (*salt glands*) pada permukaan daun. Jyothi-Prakash et al. (2014) menjelaskan bahwa *Avicennia officinalis* memiliki mekanisme fisiologis dan molekuler dalam mengeluarkan garam berlebih melalui daun sehingga mampu bertahan pada lingkungan pesisir dengan kondisi salinitas tinggi. Selain itu, spesies ini juga memiliki respons fisiologis terhadap cekaman garam dan kekeringan melalui ekspresi gen tertentu yang berperan dalam toleransi stres lingkungan (Jyothi-Prakash et al., 2014). Pietersz et al. (2026) juga menjelaskan bahwa *Avicennia officinalis* cenderung tumbuh pada area dengan sedimentasi tinggi dan salinitas relatif tinggi pada zona luar mangrove. Kehadiran *Avicennia officinalis* pada lokasi penelitian mengindikasikan bahwa kawasan pesisir Negeri Waai masih menyediakan kondisi lingkungan yang sesuai bagi pertumbuhan mangrove toleran salinitas tinggi.

Jenis *Sonneratia alba* dan *Sonneratia caseolaris* juga ditemukan pada kawasan mangrove pesisir Negeri Waai. Keberadaan kedua jenis tersebut berkaitan dengan karakteristik habitat pesisir Negeri Waai yang dipengaruhi oleh pasang surut, salinitas, serta kondisi substrat pesisir. Penelitian sebelumnya pada kawasan mangrove Negeri Waai juga melaporkan bahwa *Sonneratia alba* merupakan salah satu jenis yang dominan ditemukan pada kawasan mangrove setempat (Rahman et al., 2024; Pietersz et al., 2024). Selain itu, *Sonneratia alba* memiliki kemampuan adaptasi yang baik terhadap fluktuasi salinitas pada lingkungan intertidal sehingga mampu tumbuh pada kawasan pesisir dengan pengaruh salinitas yang tinggi (Feng et al., 2020). Zona depan mangrove umumnya didominasi oleh *Avicennia* spp. dan *Sonneratia* spp. karena memiliki kemampuan adaptasi yang baik terhadap pengaruh pasang surut dan salinitas tinggi (Sanggor et al., 2024).

Kondisi substrat pada bagian depan kawasan mangrove Negeri Waai didominasi tipe pasir berbatu dan pasir berlumpur, sedangkan pada bagian belakang kawasan mangrove didominasi substrat berlumpur. Variasi tipe substrat tersebut menjadi salah satu faktor lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhan dan distribusi jenis mangrove pada wilayah pesisir (Pentury et al., 2020; Tuapattinaja et al., 2024). Kondisi substrat lumpur berpasir dan berlumpur merupakan habitat yang umum mendukung pertumbuhan jenis *Rhizophora*, *Sonneratia*, dan *Bruguiera* pada kawasan mangrove pesisir (Husuna et al., 2019). Faktor lingkungan seperti salinitas, frekuensi genangan, dan tekstur substrat sangat mempengaruhi kesesuaian habitat bagi pertumbuhan mangrove (Kusmana & Chaniago, 2017). Perbedaan kondisi substrat dan hidrologi menjadi faktor penting yang mempengaruhi distribusi dan zonasi mangrove pada kawasan pesisir (Pietersz et al., 2026). Dominannya kehadiran *Sonneratia alba* pada bagian depan kawasan mangrove Negeri Waai menunjukkan kesesuaian habitat bagi pertumbuhan jenis tersebut, terutama pada area pesisir terbuka dengan pengaruh pasang surut yang kuat dan salinitas yang relatif tinggi.

Kondisi salinitas pada kawasan mangrove Negeri Waai menunjukkan variasi berdasarkan posisi habitat dan pengaruh aliran air tawar. Area belakang mangrove yang berdekatan dengan aliran sungai memiliki kisaran salinitas lebih rendah dibandingkan area depan yang langsung berhadapan dengan laut. Pada area belakang yang didominasi *Nypa fruticans* tercatat nilai salinitas sebesar 8 ppt. Selain itu, pada area belakang yang didominasi *Nypa fruticans*, *Sonneratia caseolaris*, *Excoecaria agallocha*, dan *Aegiceras corniculatum* memiliki kisaran salinitas sebesar 6–13 ppt. Sementara itu, pada area depan mangrove yang didominasi *Sonneratia alba*, *Rhizophora* spp., *Bruguiera gymnorrhiza*, dan *Aegiceras corniculatum* memiliki kisaran salinitas sebesar 25 ppt. Area depan lainnya yang didominasi *Sonneratia alba*, *Rhizophora apiculata*, *Aegiceras corniculatum*, dan *Avicennia officinalis* memiliki kisaran salinitas sebesar 25–30 ppt.

Variasi salinitas tersebut menggambarkan bahwa distribusi jenis mangrove di kawasan pesisir Negeri Waai dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, khususnya pengaruh air laut dan masukan air tawar dari aliran sungai. Zonasi mangrove terbentuk akibat perbedaan kemampuan adaptasi setiap jenis mangrove terhadap kondisi lingkungan seperti salinitas, substrat, pasang surut, dan suplai air tawar (Sanggor et al., 2024; Irawan et al., 2025). Pola distribusi mangrove pada kawasan pesisir Negeri Waai menunjukkan adanya kecenderungan zonasi dimana area depan lebih didominasi *Sonneratia alba*, *Rhizophora* spp., dan *Avicennia officinalis*, sedangkan area belakang yang dipengaruhi aliran sungai lebih banyak ditemukan *Nypa fruticans*, *Sonneratia caseolaris*, dan *Excoecaria agallocha*. Pola tersebut sejalan

 © Hak Cipta oleh Jurnal Harpodon Borneo Tahun 2026

dengan penelitian (Irawan et al., 2025) yang melaporkan bahwa zona luar mangrove umumnya didominasi *Avicennia* spp. dan *Sonneratia* spp., sedangkan area yang lebih dekat dengan daratan dan pengaruh air tawar banyak ditemukan *Nypa fruticans* dan *Excoecaria agallocha*.

Distribusi jenis mangrove pada kawasan pesisir Negeri Waai menunjukkan adanya pengaruh faktor lingkungan seperti salinitas, substrat, dan masukan air tawar terhadap keberadaan masing-masing spesies. Jenis *Bruguiera gymnorrhiza* banyak ditemukan pada substrat berlumpur dan kaya bahan organik, sedangkan *Excoecaria agallocha* umumnya ditemukan pada area yang dipengaruhi aliran sungai dan fluktuasi salinitas. Kondisi tersebut sesuai dengan hasil pengamatan pada kawasan mangrove Negeri Waai dimana distribusi jenis mangrove berbeda antara area depan yang berhadapan langsung dengan laut dan area belakang yang dipengaruhi aliran sungai.



Gambar 3. Jenis-jenis mangrove yang ditemukan pada pesisir pantai Negeri Waai (Sumber: dokumentasi penelitian)

Setiap jenis mangrove memiliki kemampuan toleransi yang berbeda terhadap kondisi salinitas dan tekanan lingkungan pesisir. *Sonneratia caseolaris* mampu tumbuh pada kawasan estuari dengan pengaruh salinitas rendah hingga sedang dan substrat berlumpur (Zhou et al., 2022). Kondisi tersebut sesuai dengan hasil pengamatan lapangan di kawasan pesisir Negeri Waai dimana *Sonneratia caseolaris* lebih banyak ditemukan pada area belakang mangrove yang dipengaruhi aliran sungai dan memiliki salinitas lebih rendah. Selain itu, *Rhizophora mucronata* memiliki kemampuan adaptasi terhadap kondisi salinitas tinggi dan perubahan kondisi lingkungan pesisir melalui mekanisme fisiologis tertentu untuk mempertahankan pertumbuhan dan transportasi air pada jaringan tumbuhan (Dissanayake et al., 2018). Kemampuan adaptasi tersebut menyebabkan jenis *Rhizophora* spp. tetap mampu tumbuh pada area pesisir dengan pengaruh salinitas yang cukup tinggi.

Keberadaan jenis mangrove seperti *Acanthus ebracteatus*, *Acrostichum*

aureum, dan *Nypa fruticans* menunjukkan adanya variasi kondisi habitat pada kawasan pesisir Negeri Waai. Jenis-jenis tersebut umumnya ditemukan pada area yang dipengaruhi oleh aliran air tawar, kondisi pasang surut, dan substrat berlumpur. *Nypa fruticans* banyak ditemukan pada kawasan estuari dan daerah dengan pengaruh air tawar yang cukup kuat serta kondisi salinitas relatif rendah (Irawan et al., 2025). Kehadiran jenis-jenis tersebut turut mendukung kompleksitas komunitas mangrove dan kestabilan ekosistem pesisir. Keberadaan komunitas mangrove di kawasan pesisir Negeri Waai juga memiliki peranan ekologis penting sebagai habitat berbagai organisme perairan. Ekosistem mangrove berfungsi sebagai tempat mencari makan (*feeding ground*), tempat pembesaran (*nursery ground*), serta tempat berlindung bagi berbagai biota perairan (Pelupessy & Arini, 2016). Selain itu, ekosistem mangrove Negeri Waai juga dimanfaatkan oleh masyarakat pesisir untuk aktivitas pengambilan sumber daya perairan seperti moluska dan biota pesisir lainnya (Pietersz, et al., 2024).

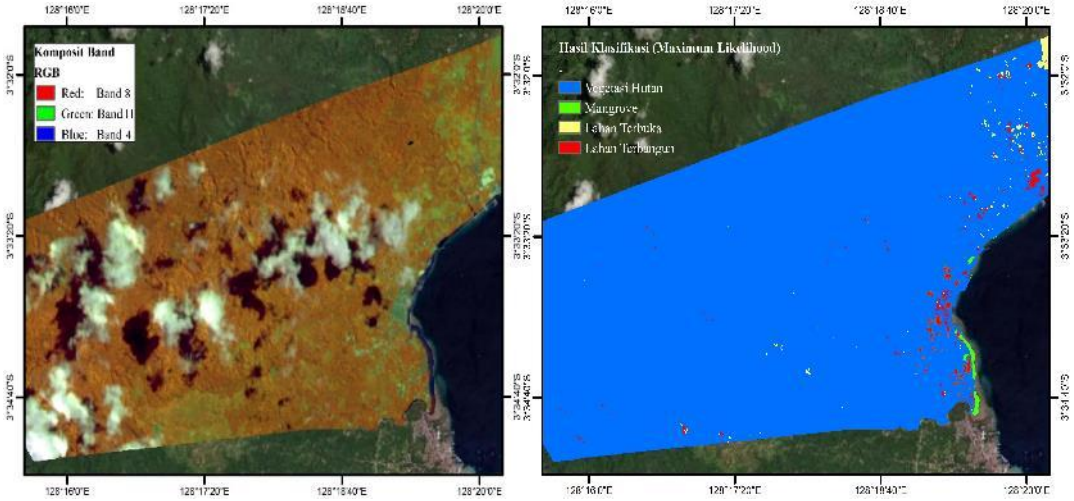
Berdasarkan hasil observasi lapangan masih ditemukan tekanan antropogenik pada kawasan mangrove pesisir Negeri Waai, terutama berupa akumulasi sampah plastik dan aktivitas pengambilan material pesisir seperti pasir dan batu kerikil di sekitar kawasan mangrove. Sampah plastik yang terakumulasi pada akar dan vegetasi mangrove berpotensi mengganggu kondisi habitat dan pertumbuhan mangrove (Turker, 2022). Selain itu, aktivitas pengambilan material pesisir secara terus-menerus juga dapat mempengaruhi stabilitas substrat dan kondisi habitat mangrove pada kawasan pesisir (Numbere, 2019). Tekanan antropogenik juga dapat mempengaruhi kondisi tutupan dan kesehatan ekosistem mangrove pada wilayah pesisir (Liao et al., 2019; Bhowmik et al., 2022). Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa ekosistem mangrove di pesisir Negeri Waai masih memerlukan upaya pengelolaan dan pemantauan secara berkelanjutan untuk menjaga keberlanjutan fungsi ekologisnya.

Klasifikasi dan Uji Akurasi

Hasil klasifikasi citra Sentinel-2B menggunakan metode *maximum likelihood classification* berhasil membedakan beberapa kelas penutup lahan pada kawasan pesisir Negeri Waai, yaitu mangrove, lahan terbuka, lahan terbangun, dan vegetasi hutan (Gambar 4). Proses klasifikasi dilakukan berdasarkan karakteristik spektral masing-masing objek pada citra hasil komposit band 8-11-4 (*Near Infrared*, *Shortwave Infrared*, dan *Red*) sehingga objek vegetasi mangrove dapat dibedakan dengan objek penutup lahan lainnya. Kombinasi kanal tersebut mampu menampilkan perbedaan karakteristik vegetasi dan non-vegetasi pada wilayah pesisir (Adinegoro et al., 2023).

Berdasarkan hasil klasifikasi, ekosistem mangrove di pesisir Negeri Waai umumnya tersebar mengikuti garis pantai dan berada pada area pesisir yang berdekatan dengan wilayah pemukiman atau area terbangun. Sebaran mangrove juga terlihat berkembang pada beberapa bagian pesisir yang dipengaruhi oleh aliran sungai dan zona pasang surut. Kondisi tersebut menggambarkan bahwa keberadaan mangrove di kawasan pesisir Negeri Waai masih memiliki keterkaitan yang erat dengan dinamika lingkungan pesisir dan aktivitas masyarakat di sekitar kawasan pantai. Penelitian sebelumnya juga menjelaskan bahwa distribusi mangrove pada kawasan pesisir umumnya dipengaruhi oleh kondisi lingkungan pesisir, hidrologi, dan aktivitas pemanfaatan wilayah pesisir oleh masyarakat (Kusmana & Chaniago, 2017; Irawan et al., 2025).

 © Hak Cipta oleh Jurnal Harpodon Borneo Tahun 2026



Gambar 4. Hasil Komposit Band (8-11-4) dan Hasil Klasifikasi

Hasil uji akurasi klasifikasi menunjukkan nilai *overall accuracy* sebesar 92% dan nilai *kappa accuracy* sebesar 88% (Tabel 2). Nilai tersebut mengindikasikan bahwa hasil klasifikasi citra memiliki tingkat ketelitian yang baik dalam membedakan kelas penutup lahan pada kawasan pesisir Negeri Waai. Nilai *user accuracy* dan *producer accuracy* pada kelas mangrove masing-masing mencapai 100%, yang menunjukkan bahwa kelas mangrove dapat diidentifikasi dengan baik pada proses klasifikasi citra. Sementara itu, kelas lahan terbuka dan lahan terbangun memiliki nilai akurasi yang lebih rendah dibandingkan kelas mangrove dan vegetasi hutan karena adanya kemiripan karakteristik spektral pada beberapa area tertentu.

Nilai akurasi klasifikasi yang tinggi menunjukkan bahwa citra Sentinel-2B memiliki kemampuan yang cukup baik dalam mendeteksi dan memetakan vegetasi mangrove pada kawasan pesisir. Sentinel-2 memiliki resolusi spasial 10 meter dan resolusi spektral yang sesuai untuk analisis vegetasi pesisir sehingga banyak digunakan dalam kegiatan pemetaan dan monitoring mangrove berbasis penginderaan jauh (Baloloy et al., 2021; Zhang et al., 2021). Selain itu, penggunaan metode klasifikasi berbasis spektral juga dinilai mampu meningkatkan ketelitian pemetaan vegetasi mangrove pada kawasan pesisir tropis (Maurya et al., 2021; Wang et al., 2025).

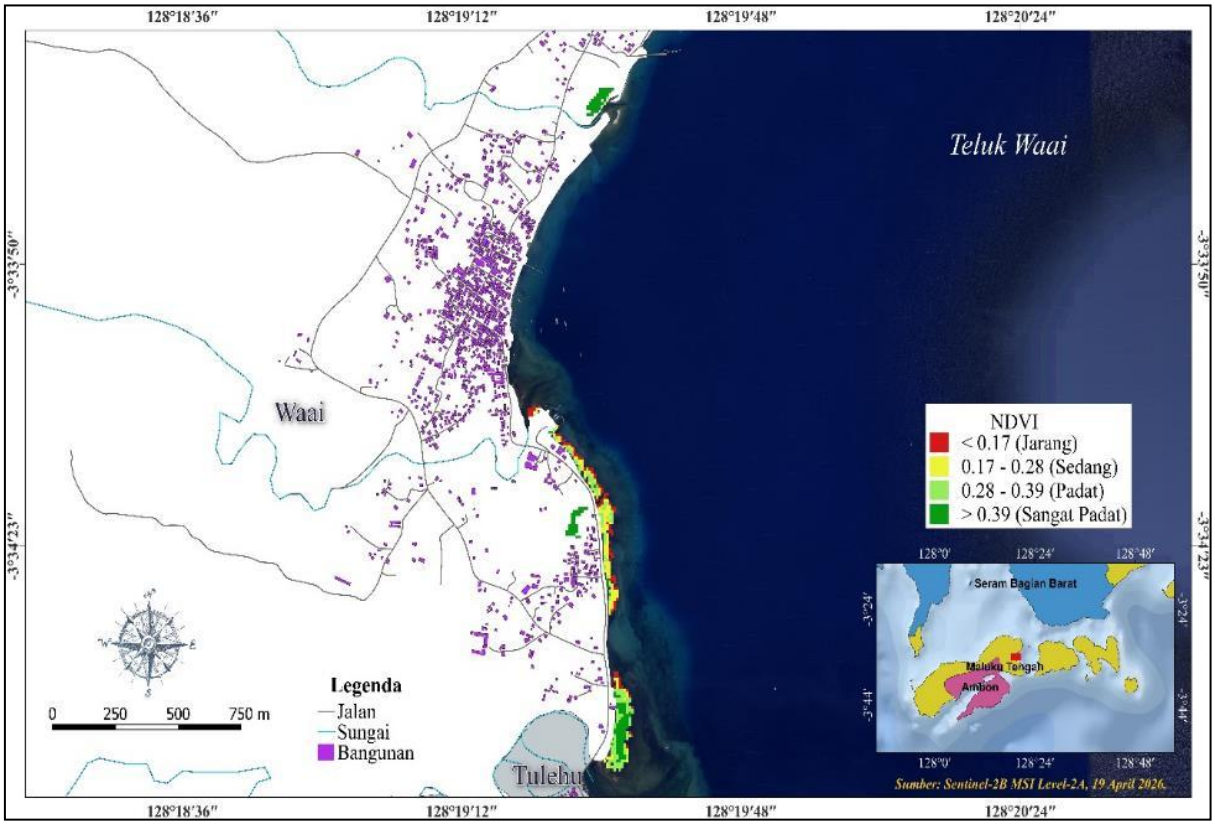
Tingginya nilai akurasi pada kelas mangrove menunjukkan bahwa kombinasi citra Sentinel-2B, komposit band 8-11-4, dan data ground truth lapangan memberikan hasil yang baik dalam proses mendeteksi sebaran mangrove di kawasan pesisir Negeri Waai. Hasil klasifikasi yang memiliki tingkat akurasi tinggi juga menjadi dasar penting dalam analisis kondisi tutupan mangrove berbasis NDVI sehingga hasil estimasi kondisi tutupan mangrove pada penelitian ini dapat digunakan untuk mendukung kegiatan monitoring dan pengelolaan ekosistem mangrove di kawasan pesisir Negeri Waai secara berkelanjutan.

Tabel 2. Hasil uji akurasi klasifikasi

Kelas Penutupan Lahan	***User Accuracy* (%)**	***Producer Accuracy* (%)**	***Overall Accuracy* (%)**	***Kappa Accuracy* (%)**
Mangrove	100	100	92	88
Lahan Terbuka	80	80		
Lahan Terbangun	80	100		
Vegetasi Hutan	100	90		

Kondisi Tutupan Mangrove

Hasil analisis *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) menggunakan citra Sentinel-2B menggambarkan bahwa kondisi tutupan mangrove di pesisir Negeri Waai terbagi ke dalam empat kelas tutupan, yaitu jarang, sedang, padat, dan sangat padat (Gambar 5 dan Tabel 3). Luas tutupan mangrove tertinggi berada pada kelas sangat padat dengan luas 1.75 ha atau 32.29% dari total luas mangrove, diikuti kelas padat seluas 1.52 ha atau 27.99%, kelas sedang seluas 1.28 ha atau 23.57%, dan kelas jarang seluas 0.88 ha atau 16.21%.



Gambar 5. Kondisi tutupan mangrove berdasarkan indeks NDVI

Kondisi tutupan mangrove yang diperoleh dari analisis NDVI menunjukkan keterkaitan dengan hasil pengamatan lapangan pada kawasan penelitian. Sebagian besar kawasan mangrove di pesisir Negeri Waai memiliki kondisi vegetasi dengan tajuk yang relatif rapat sehingga teridentifikasi sebagai kategori tutupan padat hingga sangat padat. Sebaliknya, area dengan nilai NDVI yang lebih rendah umumnya ditemukan pada lokasi dengan kondisi kanopi yang lebih terbuka. Hasil tersebut menunjukkan bahwa variasi nilai NDVI yang diperoleh sejalan dengan kondisi vegetasi mangrove yang diamati secara langsung di lapangan.

Dominannya kelas tutupan padat dan sangat padat menunjukkan bahwa sebagian besar kawasan mangrove di pesisir Negeri Waai masih memiliki kondisi vegetasi yang relatif baik dengan tingkat kerapatan kanopi yang tinggi. Nilai NDVI yang tinggi umumnya menunjukkan tingkat kehijauan vegetasi yang baik, biomassa vegetasi yang tinggi, serta kondisi tutupan yang relatif rapat (Faizal et al., 2023; Pietersz et al., 2024a). Nilai NDVI juga memiliki hubungan erat dengan struktur kanopi, *leaf area index* (LAI), dan kondisi biofisik vegetasi sehingga banyak digunakan dalam pemantauan kesehatan vegetasi mangrove menggunakan data penginderaan jauh (Guo et al., 2021; Baloloy et al., 2021). Selain itu,

 © Hak Cipta oleh Jurnal Harpodon Borneo Tahun 2026

indeks NDVI banyak digunakan untuk menggambarkan kondisi vegetasi mangrove berdasarkan tingkat kerapatan dan kehijauan vegetasi menggunakan citra Sentinel-2 (Sugara et al., 2024).

Tabel 3. Kondisi tutupan mangrove berdasarkan NDVI

NDVI	Kondisi Tutupan	Luas (ha)	Persentase (%)
0-0.17	Jarang	0.88	16.21
0.17-0.28	Sedang	1.28	23.57
0.28-0.39	Padat	1.52	27.99
0.39-1	Sangat Padat	1.75	32.29
Jumlah		5.43	100

Citra Sentinel-2 memiliki resolusi spasial 10 meter yang mampu memberikan informasi vegetasi pesisir dengan detail spasial yang cukup baik sehingga banyak dimanfaatkan dalam pemetaan dan monitoring ekosistem mangrove (Baloloy et al., 2021; Zhang et al., 2021). Selain itu, kombinasi resolusi spasial dan resolusi spektral pada Sentinel-2 banyak digunakan dalam mendeteksi karakteristik vegetasi mangrove dan kondisi tutupan pada kawasan pesisir (Guo et al., 2021; Wang et al., 2025). Penggunaan penginderaan jauh juga dinilai sangat efektif dalam monitoring ekosistem mangrove karena mampu menyediakan informasi spasial vegetasi secara cepat dan berkelanjutan pada kawasan pesisir yang relatif sulit dijangkau melalui survei lapangan secara menyeluruh (Maurya et al., 2021).

Kondisi tutupan mangrove dengan kategori padat dan sangat padat pada kawasan pesisir Negeri Waai berkaitan dengan masih baiknya kondisi komunitas mangrove pada beberapa bagian kawasan pesisir, terutama pada area yang didominasi oleh *Rhizophora* spp., *Sonneratia alba*, dan *Bruguiera gymnorrhiza*. Jenis-jenis tersebut mampu membentuk tutupan yang relatif rapat pada kawasan mangrove tropis (Pietersz, et al., 2024a). Selain itu, kondisi substrat berlumpur dan pasir berlumpur pada beberapa lokasi juga mendukung pertumbuhan vegetasi mangrove yang lebih rapat (Pentury et al., 2020; Husuna et al., 2019).

Sebaran tutupan mangrove dengan kategori sangat padat umumnya ditemukan pada area mangrove yang masih relatif terjaga dan jauh dari aktivitas masyarakat. Kondisi tersebut menggambarkan bahwa kawasan mangrove pada lokasi tersebut masih memiliki tingkat kerapatan vegetasi yang baik dan kondisi lingkungan yang masih mendukung pertumbuhan mangrove. Faktor lingkungan seperti salinitas, substrat, pasang surut, dan masukan air tawar sangat mempengaruhi pertumbuhan dan distribusi vegetasi mangrove pada kawasan pesisir (Kusmana & Chaniago, 2017; Irawan et al., 2025).

Sementara itu, keberadaan kelas tutupan jarang dan sedang mengindikasikan bahwa beberapa bagian kawasan mangrove di pesisir Negeri Waai memiliki kondisi tutupan mangrove yang lebih rendah dibandingkan area lainnya. Berdasarkan hasil observasi lapangan, beberapa area dengan kategori tutupan jarang didominasi oleh pohon *Sonneratia alba* berukuran besar dan berumur tua dengan kondisi tajuk yang tidak terlalu rapat, jumlah daun yang relatif sedikit, serta beberapa individu yang hanya didominasi ranting (Gambar 6). Kondisi tersebut menyebabkan tingkat kehijauan vegetasi menjadi lebih rendah sehingga mempengaruhi nilai NDVI pada area tersebut. Nilai NDVI sangat dipengaruhi oleh kondisi tutupan, struktur vegetasi, biomassa, dan tingkat kehijauan vegetasi pada permukaan lahan (Faizal et al., 2023; Sugara et al., 2024). (Guo et al., 2021) juga menjelaskan bahwa indeks

vegetasi memiliki hubungan yang erat dengan kondisi tutupan dan *leaf area index* vegetasi mangrove, sedangkan Jia et al. (2025) menyebutkan bahwa struktur kanopi mangrove merupakan salah satu parameter penting dalam menggambarkan kondisi biofisik vegetasi mangrove berbasis penginderaan jauh.



Gambar 6. Kondisi mangrove kategori tutupan jarang yang didominasi *Sonneratia alba* di pesisir Negeri Waai (Sumber: dokumentasi penelitian)

Selain dipengaruhi oleh kondisi tutupan, variasi nilai NDVI pada kawasan mangrove juga dapat berkaitan dengan perbedaan kondisi lingkungan pada masing-masing lokasi pengamatan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa nilai NDVI pada vegetasi mangrove dipengaruhi oleh tingkat kerapatan vegetasi, kondisi tutupan, biomassa, serta kondisi ekologis kawasan pesisir (Faizal et al., 2023; Guo et al., 2021). Oleh karena itu, variasi nilai NDVI pada kawasan pesisir Negeri Waai menunjukkan adanya perbedaan kondisi tutupan mangrove berdasarkan karakteristik vegetasi dan kondisi habitat setempat.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi 11 jenis mangrove yang tersebar di kawasan pesisir Negeri Waai. Hasil analisis NDVI menggunakan citra Sentinel-2B menunjukkan bahwa kondisi tutupan mangrove di kawasan penelitian secara umum masih tergolong baik dan didominasi oleh kategori tutupan padat hingga sangat padat. Variasi kondisi tutupan mangrove yang teridentifikasi berkaitan dengan perbedaan struktur vegetasi dan kondisi habitat pada masing-masing lokasi, dimana area dengan tutupan jarang umumnya ditemukan pada tegakan *Sonneratia alba* berumur tua yang memiliki tajuk lebih terbuka. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa citra Sentinel-2B dan indeks NDVI dapat digunakan untuk menyediakan informasi spasial mengenai kondisi tutupan mangrove sebagai dasar monitoring dan pengelolaan ekosistem mangrove di pesisir Negeri Waai.

Saran

Pemantauan kondisi mangrove di pesisir Negeri Waai perlu dilakukan secara berkala menggunakan data penginderaan jauh untuk mengetahui perubahan kondisi tutupan mangrove dari waktu ke waktu. Selain itu, diperlukan upaya pengelolaan kawasan pesisir secara berkelanjutan untuk mengurangi tekanan antropogenik seperti akumulasi sampah plastik dan aktivitas pengambilan material pesisir di sekitar kawasan mangrove.

 © Hak Cipta oleh Jurnal Harpodon Borneo Tahun 2026

DAFTAR PUSTAKA

Adinegoro, R. D. S., Putra, I. D. N. N., & Putra, I. N. G. (2023). Pemetaan Perubahan Luasan Mangrove Menggunakan Citra Sentinel-2A Pasca Kematian Massal Mangrove di Denpasar-Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, *8*(1), 66. https://doi.org/10.24843/jmas.2022.v08.i01.p08

Ahmad, A., & Quegan, S. (2012). Analysis of Maximum Likelihood Classification on Multispectral Data. *Applied Mathematical Sciences*, *6*(129), 6425–6436.

Alongi, D. M. (2020). Global significance of mangrove blue carbon in climate change mitigation. *Sci*, *2*(67), 1–15. https://doi.org/10.3390/sci2030057

Baderan, D. W. K., Utina, R., & Lapolo, N. (2018). Vegetation structure, species diversity, and mangrove zonation patterns in the Tanjung Panjang Nature Reserve Area, Gorontalo, Indonesia. *International Journal of Applied Biology*, *2*(2), 1–12. https://doi.org/10.20956/ijab.v2i2.5752

Baloloy, A. B., Blanco, A. C., Sharma, S., & Nadaoka, K. (2021). Development of a Rapid Mangrove Zonation Mapping Workflow Using Sentinel 2-Derived Indices and Biophysical Dataset. *Frontiers in Remote Sensing*, *2*, 730238. https://doi.org/10.3389/frsen.2021.730238

Bhowmik, A. K., Padmanaban, R., Cabral, P., & Romeiras, M. M. (2022). Global Mangrove Deforestation and Its Interacting Social-Ecological Drivers: A Systematic Review and Synthesis. *Sustainability*, *14*(4433), 4433–24. https://doi.org/10.3390/su14084433

Cahyaningsih, A. P., Deanova, A. K., Pristiawati, C. M., Ulumuddin, Y. I., Kusumawati, L., & Setyawan, A. D. (2022). Review: Causes and impacts of anthropogenic activities on mangrove deforestation and degradation in Indonesia. *International Journal of Bonorowo Wetlands*, *12*(1), 12–22. https://doi.org/10.13057/bonorowo/w120102

Dissanayake, N. P., Kodikara, K. A. S., Premachandra, S., & Jayatissa, L. P. (2018). Structural and functional responses of xylem in *Rhizophora mucronata* Lam. seedlings under drought and hypersaline conditions. *Ruhuna Journal of Science*, *9*(1), 13–31. https://doi.org/10.4038/rjs.v9i1.38

Duncan, C., Owen, H. J. F., Thompson, J. R., Koldewey, H. J., Primavera, J. H., & Pettorelli, 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. https://doi.org/10.1111/2041-210X.12923

Faizal, A., Mutmainna, N., Amran, M. A., Saru, A., Amri, K., & Nessa, M. N. (2023). Penerapan transformasi NDVI pada citra sentinel 2A untuk pemetaan kondisi mangrove di Kota Makassar. *Akuatikisle: Jurnal Akuakultur, Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil*, *7*(1), 59–66. https://doi.org/10.29239/j.akuatikisle.7.1.59-66

Feng, X., Xu, S., Li, J., Yang, Y., Chen, Q., Lyu, H., Zhong, C., He, Z., & Shi, S. (2020). Molecular adaptation to salinity fluctuation in tropical intertidal environments of a mangrove tree *Sonneratia alba*. *BMC Plant Biology*, *20*(178), 1–14. https://doi.org/10.1186/s12870-020-02395-3

Fu, C., Song, X., Xie, Y., Wang, C., Luo, J., Fang, Y., Cao, B., & Qiu, Z. (2022). Research on the Spatiotemporal Evolution of Mangrove Forests in the Hainan Island from 1991 to 2021 Based on SVM and Res-UNet Algorithms. *Remote Sensing*,

14(5554), 1–27. https://doi.org/10.3390/rs14215554

Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L. L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., Masek, J., & Duke, N. (2011). Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, *20*(1), 154–159. https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x

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*(102493), 1–8. https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102493

Hagger, V., Worthington, T. A., Lovelock, C. E., Adame, M. F., Amano, T., Brown, B. M., Friess, D. A., Landis, E., Mumby, P. J., Morrison, T. H., O'Brien, K. R., Wilson, K. A., Zganjar, C., & Saunders, M. I. (2022). Drivers of global mangrove loss and gain in social-ecological systems. *Nature Communications*, *13*(6373), 1–16. https://doi.org/10.1038/s41467-022-33962-x

Huang, S., Tang, L., Hupy, J. P., Wang, Y., & Shao, G. (2021). A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*, *32*(1), 1–6. https://doi.org/10.1007/s11676-020-01155-1

Husuna, R., Wantasen, A. S., & Rondonuwu, A. B. (2019). Struktur komunitas mangrove di pantai Tabulo Selatan Kabupaten Boalemo. *Jurnal Ilmiah Platax*, *7*(1), 309–319. https://doi.org/10.35800/jip.7.1.2019.23406

Irawan, S. E., Duryat, D., Riniarti, M., Yuwono, S. B., Maryono, T., & Rodiani, R. (2025). Pola zonasi mangrove di wilayah Rawajitu Kabupaten Tulang Bawang Provinsi Lampung. *ULIN: Jurnal Hutan Tropis*, *9*(1), 74–80. https://doi.org/10.32522/ujht.v9i1.11860

Jia, M., Zhang, R., Zhao, C., Zhou, Y., Ren, C., Mao, D., Li, H., Sun, G., Zhang, H., Yu, W., Wang, Z., & Wang, Y. (2025). Synergistic estimation of mangrove canopy height across coastal China: Integrating SDGSAT-1 multispectral data with sentinel-1/2 time-series imagery. *Remote Sensing of Environment*, *323*(114719), 1–16. https://doi.org/10.1016/j.rse.2025.114719

Jyothi-Prakash, P. A., Mohanty, B., Wijaya, E., Lim, T.-M., Lin, Q., Loh, C.-S., & Kumar, P. P. (2014). Identification of salt gland-associated genes and characterization of a dehydrin from the salt secretor mangrove *Avicennia officinalis*. *BMC Plant Biology*, *14*(291), 1–16. https://doi.org/10.1186/s12870-014-0291-6

Kusmana, C., & Chaniago, Z. A. (2017). Kesesuaian lahan jenis pohon mangrove di Bulaksetra, Pangandaran Jawa barat. *Jurnal Silvikultur Tropika*, *8*(1), 48–54. https://doi.org/10.29244/j-siltrop.8.1.48-54

Lechthaler, S., Robert, E. M. R., Tonné, N., Prusova, A., Gerkema, E., Van As, H., Koedam, N., & Windt, C. W. (2016). Rhizophoraceae mangrove saplings use hypocotyl and leaf water storage capacity to cope with soil water salinity changes. *Frontiers in Plant Science*, *7*(895), 1–13. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00895

Liao, J., Zhen, J., Zhang, L., & Metternicht, G. (2019). Understanding Dynamics of Mangrove Forest on Protected

 © Hak Cipta oleh Jurnal Harpodon Borneo Tahun 2026

Areas of Hainan Island, China: 30 Years of Evidence from Remote Sensing. *Sustainability*, *11*(19), 5356. https://doi.org/10.3390/SU11195356

Liu, X., Fatoyinbo, T. E., Thomas, N. M., Guan, W. W., Zhan, Y., Mondal, P., Lagomasino, D., Simard, M., Trettin, C. C., Deo, R., & Barenblitt, A. (2021). Large-scale high-resolution coastal mangrove forests mapping across West Africa with machine learning ensemble and satellite big data. *Frontiers in Earth Science*, *8*(560933), 1–15. https://doi.org/10.3389/feart.2020.560933

Maurya, K., Mahajan, S., & Chaube, N. (2021). Remote sensing techniques: mapping and monitoring of mangrove ecosystem—a review. *Complex and Intelligent Systems*, *7*(6), 2797–2818. https://doi.org/10.1007/s40747-021-00457-z

Miranda, E., Mutiara, A. B., Ernastuti, & Wibowo, W. C. (2018). Classification of Land Cover from Sentinel-2 Imagery Using Supervised Classification Technique (Preliminary Study). *Proceedings of 2018 International Conference on Information Management and Technology, ICIMTech*, 69–74. https://doi.org/10.1109/ICIMTech.2018.8528122

Numbere, A. O. (2019). Effect of salinity on buoyancy of Mangrove (*Rhizophora racemosa*) and Nypa Palm (*Nypa fruticans*) seedlings in the Niger Delta, Nigeria. *Journal of Ecology and Environmental Sciences*, *7*(2), 23–29.

Pelupessy, L., & Arini, I. (2016). Keseragaman jenis-jenis ikan pada komunitas mangrove Desa Waai Kecamatan Salahutu Kabupaten Maluku Tengah. *Biopendix*, *3*(1), 1–8. https://doi.org/10.30598/biopendixvol3issue1page1-8

Pentury, R., Pietersz, J. H., Tuapattinaja, M. A., Pello, F. S., Huliselan, N. V, Hulopi, M., & Tupan, C. I. (2020). Potensi komunitas mangrove pantai Tial Kabupaten Maluku Tengah. *TRITON: Jurnal Manajemen Sumberdaya Perairan*, *16*(2), 1–8. https://doi.org/10.30598/TRITONvol16issue2page1-8

Pietersz, J. H., Pribadi, R., Pentury, R., & Ario, R. (2024). Estimasi tutupan kanopi berdasarkan NDVI dan kondisi tutupan tajuk pada ekosistem mangrove Negeri Passo, Teluk Ambon Dalam. *Jurnal Kelautan Tropis*, *27*(2), 197–208. https://doi.org/10.14710/jkt.v27i2.22090

Pietersz, J. H., Soukotta, I. V. T., Palinussa, E. M., & Anaktototy, Y. (2024). Persebaran dan Habitat Gafrarium tumidum Roding, 1798 Pada Ekosistem Mangrove Negeri Rutong dan Negeri Waai, Pulau Ambon. *Jurnal Moluska Indonesia*, *8*(1), 29–40. https://doi.org/10.54115/jmi.v8i1.99

Pietersz, J. H., Tupan, C. I., Rijoly, S. M. A., & Pentury, R. (2026). Comparative study of mangrove diversity and canopy cover on the North and South Coasts of Nila Island, Central Maluku Regency. *Depik: Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir Dan Perikanan*, *15*(1), 104–116. https://doi.org/10.24815/depik.15.1.729

Rahman, R., Tuahatu, J. W., & Tuhehay, C. (2024). Blue Carbon Potential of Mangrove Ecosystem on the Coast of Negeri Waai, Central Maluku Regency. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, *18*(1), 7–15. https://doi.org/10.22146/jik.v18i1.8814

Safitri, F., Adrianto, L., & Nurjaya, I. W. (2023). Mapping of mangrove ecosystem density using normalized difference vegetation index in coastal of Semarang City. *Jurnal Kelautan*

Tropis, *26*(2), 400–406. https://doi.org/10.14710/jkt.v26i2.18173

Sanggor, M. P., Rampengan, M. M. F., Lawalata, H. J., Tengker, A. C. C., & Djarang, R. H. (2024). Identification of mangrove zonation in Sondaken Village, Bunaken National Park Area. *Advances in Tropical Biodiversity and Environmental Sciences*, *8*(1), 8–12. https://doi.org/10.24843/atbes.2024.v08.i01.p02

Sasmito, S. D., Basyuni, M., Kridalaksana, A., Saragi-Sasmito, M. F., Lovelock, C. E., & Murdiyarso, D. (2023). Challenges and opportunities for achieving Sustainable Development Goals through restoration of Indonesia's mangroves. *Nature Ecology and Evolution*, *7*(1), 62–70. https://doi.org/10.1038/s41559-022-01926-5

Simamora, F. B. M., Sasmito, B., & Hani'ah. (2015). Kajian Metode Segmentasi Untuk Identifikasi Tutupan Lahan Dan Luas Bidang Tanah Menggunakan Citra Pada Google Earth (Studi Kasus: Kecamatan Tembalang, Semarang). *Jurnal Geodesi Undip*, *4*(4), 43–51.

Subiyanto, Y. (2025). Conversion of mangrove forests in the Mahakam Delta (East Kalimantan): Threats to fisheries and coastal erosion. *KnE Social Sciences*, *10*(26), 471–479. https://doi.org/10.18502/kss.v10i26.20026

Sugara, A., Hanami, C. C., Lukman, A. H., Rudiastuti, A. W., Zamdial, Bakhtiar, D., Anggoro, A., Zulhendri, R., & Utami, R. T. (2024). Evaluating the Efficacy of Sentinel-2B and landsat 8 OLI satellite imagery for accurate mangrove mapping in Bengkulu City, Indonesia. *Proceedings - 2024 2nd International Conference on Technology Innovation and Its Applications, ICTIIA 2024*, 1–6. https://doi.org/10.1109/ICTIIA61827.2024.10761864

Tuapattinaja, M. A., Pentury, R., Ayal, F. W., Abrahamsz, J., & Pietersz, J. H. (2024). Kondisi Komunitas Mangrove di Pesisir Pantai Namaea Negeri Pelauw, Kabupaten Maluku Tengah. *TRITON: Jurnal Manajemen Sumberdaya Perairan*, *20*(1), 44–53. https://doi.org/10.30598/TRITONvol20issue1page44-53

Tucker, C. J. (1979). Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. *Remote Sensing of Environment*, *8*, 127–150.

Turker, S. B. (2022). The impact of plastic waste in the mangrove coastal area, the service area of the fisherman group "Segara Guna Batu Lumbang", South Denpasar Bali. *Prosiding SINAPTEK*, *5*(2022), 163–178.

Wang, S., Chen, T., Li, Z., & Sang, H. (2025). Fine monitoring method for mangrove wetland ecosystem based on sentinel data fusion and RF optimization. *Systems and Soft Computing*, *7*(200376), 1–10. https://doi.org/10.1016/j.sasc.2025.200376

Zhang, R., Jia, M., Wang, Z., Zhou, Y., Wen, X., Tan, Y., & Cheng, L. (2021). A comparison of gaofen-2 and sentinel-2 imagery for mapping mangrove forests using object-oriented analysis and random forest. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, *14*, 4185–4193. https://doi.org/10.1109/JSTARS.2021.3070810

Zhou, Y., Wen, L., Liao, L., Lin, S., Zheng, E., Li, Y., & Zhang, Y. (2022). Comparative transcriptome analysis unveiling reactive oxygen species scavenging system of Sonneratia caseolaris under salinity stress. *Frontiers in Plant Science*, *13*(953450), 1–15. analysis unveiling reactive oxygen species scavenging system of *Sonneratia*

 © Hak Cipta oleh Jurnal Harpodon Borneo Tahun 2026

caseolaris under salinity stress. *Frontiers in Plant Science*, *13*(953450), 1–15. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.953450

© Hak Cipta oleh Jurnal Harpodon Borneo Tahun 2026