

KORELASI *NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX* (NDVI) DAN TUTUPAN KANOPI PADA EKOSISTEM MANGROVE DI TELUK KENDARI

Boi Herman¹, Sawaludin², Tahir³, Arif Nur Alfiyan⁴, Alfirman⁵

Program Studi Geografi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Halu Oleo Jalan H.E.A Mokodompit, Kota Kendari Prov. Sulawesi Tenggara^{1,2,3},

Program Studi Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Halu Oleo Jalan H.E.A Mokodompit, Kota Kendari Prov. Sulawesi Tenggara⁴,

Program Studi Ilmu Lingkungan, Fakultas Kehutanan dan Ilmu Lingkungan, Universitas Halu Oleo Jalan H.E.A Mokodompit, Kota Kendari Prov. Sulawesi Tenggara⁵

e-mail: hermanboy22@uho.ac.id

Diterima: 07/01/2026; Direvisi: 02/02/2026; Diterbitkan: 04/02/2026

ABSTRAK

Ekosistem mangrove memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan ekologi pesisir, sehingga diperlukan informasi spasial yang akurat terkait sebaran, kerapatan, dan kondisi tutupan tajuknya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis luas dan distribusi ekosistem mangrove, tingkat kerapatan vegetasi, kondisi tutupan kanopi, serta hubungan antara nilai *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dan persentase tutupan tajuk mangrove di wilayah pesisir Kota Kendari. Analisis kerapatan dan sebaran mangrove dilakukan menggunakan citra Sentinel-2A melalui pendekatan NDVI, sedangkan tutupan kanopi dianalisis menggunakan metode *Hemispherical Photography* yang diolah dengan perangkat lunak ImageJ. Data citra diperoleh dari laman Copernicus, kemudian ditentukan sebanyak 33 stasiun atau plot sampel berdasarkan klasifikasi tingkat kerapatan mangrove. Hasil penelitian menunjukkan bahwa total luasan mangrove di pesisir Kota Kendari mencapai sekitar 275,67 hektar yang tersebar di delapan kecamatan. Berdasarkan nilai NDVI, ekosistem mangrove diklasifikasikan ke dalam tiga tingkat kerapatan, yaitu kerapatan rendah seluas 30,69 ha, kerapatan sedang 68,28 ha, dan kerapatan tinggi 176,70 ha. Persentase tutupan tajuk mangrove bervariasi mengikuti tingkat kerapatan vegetasi, dengan nilai tertinggi sebesar 88,08% dan terendah 16,56%. Analisis korelasi menunjukkan hubungan yang sangat kuat antara nilai NDVI dan persentase tutupan kanopi dengan koefisien korelasi (r) sebesar 0,93. Temuan ini menegaskan bahwa NDVI citra Sentinel-2A dapat digunakan secara efektif untuk menduga kondisi tutupan kanopi mangrove di wilayah pesisir.

Kata kunci: ekosistem mangrove, NDVI, tutupan kanopi, *Hemispherical Photography*, Kota Kendari

ABSTRACT

Mangrove ecosystems play a crucial role in maintaining coastal environmental stability, requiring accurate spatial information on their distribution, density, and canopy cover conditions. This study aims to assess the extent and spatial distribution of mangrove ecosystems, vegetation density levels, canopy cover conditions, and the relationship between *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) values and mangrove canopy cover percentages in the coastal area of Kendari City. Mangrove distribution and density were analyzed using Sentinel-2A imagery through the NDVI approach, while canopy cover was measured using the *Hemispherical Photography* method processed with ImageJ software.

Satellite imagery was obtained from the Copernicus platform, and a total of 33 sampling stations or plots were determined based on mangrove density classification criteria. The results indicate that the total mangrove area along the coast of Kendari City is approximately 275.67 hectares, distributed across eight sub-districts. NDVI analysis classified mangrove vegetation into three density categories: low density covering 30.69 ha, medium density covering 68.28 ha, and high density covering 176.70 ha. Mangrove canopy cover varied in accordance with vegetation density, ranging from 16.56% to a maximum of 88.08%. Correlation analysis revealed a very strong relationship between NDVI values and canopy cover percentage, with a correlation coefficient (r) of 0.93. These findings demonstrate that Sentinel-2A-derived NDVI is a reliable indicator for estimating mangrove canopy cover conditions in coastal environments.

Keywords: mangrove ecosystem, NDVI, canopy cover, Hemispherical Photography, Kendari City

PENDAHULUAN

Wilayah pesisir merupakan ruang ekologis yang memiliki dinamika lingkungan tinggi serta berperan strategis dalam menopang keseimbangan ekosistem laut dan daratan. Kota Kendari sebagai salah satu kota pesisir di Indonesia memiliki karakter geomorfologi khas berupa teluk yang dikelilingi perbukitan, dengan luas wilayah sekitar 29.589 ha dan garis pantai mencapai 85,6 km. Kondisi fisik tersebut menjadikan kawasan pesisir Kendari sebagai habitat alami bagi berbagai ekosistem pesisir, salah satunya adalah ekosistem mangrove yang berkembang secara alami di zona peralihan antara darat dan laut (Jumadil et al., 2015). Berdasarkan data terbaru, luas mangrove di Kota Kendari mencapai sekitar 200,58 ha, namun luasan tersebut masih menghadapi tekanan akibat aktivitas antropogenik dan perubahan tata guna lahan yang terus meningkat (BPS & DLH Kota Kendari, 2021; BPS Sultra, 2024).

Ekosistem mangrove memiliki nilai ekologis yang sangat tinggi karena kemampuannya dalam mendukung produktivitas perairan pesisir dan menjaga stabilitas lingkungan. Secara ekologi, mangrove berfungsi sebagai pelindung alami garis pantai dari abrasi, peredam energi gelombang, serta penyaring sedimen dan polutan dari daratan sebelum memasuki perairan laut (Pramudji, 2019; Alongi, 2009). Selain itu, mangrove dikenal sebagai salah satu ekosistem dengan kemampuan penyimpanan dan penyerapan karbon yang sangat besar, sehingga berkontribusi signifikan dalam mitigasi perubahan iklim global (Clough, 1992; Twilley et al., 1995). Fungsi ekologis tersebut menjadikan mangrove sebagai komponen penting dalam sistem ekologi pesisir yang keberadaannya harus dijaga secara berkelanjutan.

Dari perspektif sosial dan ekonomi, ekosistem mangrove juga menyediakan berbagai jasa lingkungan yang secara langsung maupun tidak langsung mendukung kesejahteraan masyarakat pesisir. Mangrove menjadi habitat penting bagi berbagai jenis biota perairan yang bernilai ekonomi, sekaligus menyediakan sumber mata pencaharian, meningkatkan ketahanan pangan, serta berkontribusi pada keberlanjutan sosial masyarakat lokal (Walters et al., 2008). Namun demikian, tekanan terhadap ekosistem mangrove di kawasan Teluk Kendari terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk, pembangunan wilayah pesisir, serta rendahnya kesadaran dan pengetahuan masyarakat terkait pengelolaan sumber daya alam secara berkelanjutan (Khaery et al., 2023). Kondisi ini berpotensi mempercepat degradasi mangrove yang salah satunya ditunjukkan oleh penurunan kerapatan vegetasi dan tutupan kanopi.

Tutupan kanopi merupakan indikator struktural penting dalam menilai kondisi kesehatan dan tingkat kerapatan vegetasi mangrove. Kanopi yang rapat mencerminkan kondisi tegakan yang relatif sehat, produktif, dan mampu menjalankan fungsi ekologisnya secara

optimal (Soerianegara & Indrawan, 1998; Korhonen et al., 2006). Pengukuran tutupan kanopi dapat dilakukan melalui pendekatan lapangan maupun analisis berbasis citra. Salah satu metode lapangan yang berkembang dan relatif mudah diterapkan adalah *Hemispherical Photography*, yaitu teknik pengambilan foto dari bawah tajuk ke arah atas untuk mengestimasi bukaan kanopi berdasarkan transmisi cahaya yang menembus vegetasi (Rich, 1990; Jonckheere et al., 2004). Metode ini dinilai efektif karena memiliki biaya rendah, fleksibel, serta mampu memberikan estimasi tutupan kanopi yang akurat pada skala tapak (Baksir et al., 2018; Chianucci & Cutini, 2012).

Seiring dengan perkembangan teknologi, penginderaan jauh multispektral menjadi pendekatan penting dalam pemantauan vegetasi pada skala luas dan berkelanjutan. Citra Sentinel-2 dengan resolusi spasial 10–60 m dan 13 band spektral memungkinkan analisis distribusi serta kerapatan vegetasi mangrove secara lebih detail dan efisien. Salah satu indeks vegetasi yang paling umum digunakan dalam analisis citra satelit adalah *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), yang mampu merepresentasikan tingkat kehijauan dan kerapatan vegetasi berdasarkan perbedaan reflektansi spektral kanal merah dan inframerah dekat (Lo, 1996; Kawamuna et al., 2017). NDVI telah banyak diaplikasikan dalam pemantauan kondisi mangrove dan terbukti sensitif terhadap perubahan struktur kanopi dan biomassa vegetasi (Du et al., 2015; Marlina, 2022).

Meskipun NDVI широко digunakan dalam pemetaan dan pemantauan mangrove, hubungan kuantitatif antara nilai NDVI dan persentase tutupan kanopi mangrove masih menunjukkan variasi antar lokasi dan kondisi ekosistem. Beberapa penelitian menunjukkan adanya korelasi yang kuat antara NDVI dan tutupan kanopi mangrove, namun model regresi yang dihasilkan bersifat spesifik lokasi dan dipengaruhi oleh karakteristik biofisik setempat (Umarhadi & Syarif, 2018; Fanela et al., 2024). Oleh karena itu, kajian yang mengintegrasikan pengukuran lapangan menggunakan *Hemispherical Photography* dengan analisis NDVI citra Sentinel-2 menjadi penting untuk menghasilkan model hubungan yang lebih akurat dan kontekstual.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan regresi terbaik antara nilai NDVI dan tutupan kanopi mangrove di wilayah Teluk Kendari. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah dalam pengembangan metode pemantauan mangrove yang efektif, akurat, dan berkelanjutan, serta mendukung upaya konservasi dan rehabilitasi ekosistem mangrove di kawasan pesisir Kota Kendari.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di wilayah pesisir Teluk Kendari pada periode Juni hingga September 2025. Data utama yang digunakan berupa citra satelit Sentinel-2A hasil akuisisi tanggal 19 Juni 2024 serta data lapangan (*in situ*) berupa foto tutupan kanopi mangrove. Pengolahan citra dilakukan melalui beberapa tahapan, meliputi koreksi geometrik dengan bantuan titik GPS lapangan, penggabungan kanal (komposit band), serta pemotongan citra berdasarkan batas wilayah administrasi area studi. Komposit band yang digunakan mengombinasikan kanal merah, inframerah dekat, dan inframerah gelombang pendek untuk memperjelas kenampakan vegetasi mangrove pada kawasan lahan basah. Selanjutnya, dilakukan klasifikasi tidak terbimbing untuk mengidentifikasi kelas tutupan lahan mangrove, yang kemudian dikonversi ke data vektor melalui digitasi *on screen*. Analisis indeks vegetasi dilakukan dengan menghitung nilai *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) menggunakan kanal merah dan inframerah dekat citra Sentinel-2A. Nilai NDVI yang diperoleh

kemudian diklasifikasikan ulang menjadi tiga kelas kerapatan vegetasi, yaitu rendah, sedang, dan tinggi, guna menggambarkan tingkat kerapatan tajuk mangrove secara spasial.

Pengambilan sampel lapangan dilakukan berdasarkan peta sebaran kerapatan mangrove hasil analisis NDVI dengan metode *purposive sampling*. Sebanyak 33 plot pengamatan ditentukan dengan mempertimbangkan keterwakilan kelas kerapatan serta kemudahan akses lokasi. Setiap plot berukuran 20 × 20 m dan digunakan sekaligus sebagai titik pengujian akurasi. Pengukuran tutupan kanopi dilakukan menggunakan metode *hemispherical photography* dengan pengambilan lima foto pada setiap plot, yaitu satu foto di titik tengah plot dan empat foto pada masing-masing kuadran. Foto-foto tersebut diolah menggunakan perangkat lunak pengolahan citra untuk menghasilkan nilai persentase tutupan kanopi pada tingkat plot. Nilai tutupan kanopi dari setiap plot diperoleh melalui perhitungan proporsi piksel vegetasi terhadap total piksel citra biner, kemudian dirata-ratakan. Analisis hubungan antara nilai NDVI dan persentase tutupan kanopi dilakukan menggunakan uji korelasi dan regresi setelah data memenuhi asumsi normalitas. Hasil analisis regresi digunakan untuk menentukan model hubungan terbaik antara nilai spektral NDVI dan kondisi tutupan kanopi mangrove di wilayah Teluk Kendari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Wilayah pesisir Teluk Kendari merupakan kawasan perairan semi tertutup yang dipengaruhi oleh keberadaan muara sungai dan dinamika pasang surut, sehingga menyediakan kondisi lingkungan yang sesuai bagi pertumbuhan ekosistem mangrove. Hasil interpretasi citra Sentinel-2A yang dikombinasikan dengan verifikasi lapangan menunjukkan bahwa mangrove di Kota Kendari tidak tersebar merata pada seluruh wilayah administratif, melainkan terkonsentrasi pada beberapa segmen pesisir tertentu. Secara keseluruhan, total luasan mangrove yang teridentifikasi di Teluk Kendari mencapai **275,67 hektar**, yang menunjukkan bahwa kawasan ini masih memiliki tutupan mangrove yang relatif luas.

Distribusi Luasan Mangrove per Kecamatan

Sebaran luasan mangrove antar kecamatan menunjukkan perbedaan yang cukup mencolok. Beberapa kecamatan memiliki luasan mangrove yang dominan, sedangkan kecamatan lainnya hanya menyisakan area mangrove dalam skala terbatas. Variasi ini mengindikasikan adanya perbedaan kondisi fisik wilayah pesisir serta tingkat tekanan pemanfaatan ruang. Rincian luasan mangrove pada masing-masing kecamatan disajikan pada **Tabel 1**, yang menggambarkan kontribusi setiap kecamatan terhadap total luasan mangrove di Teluk Kendari.

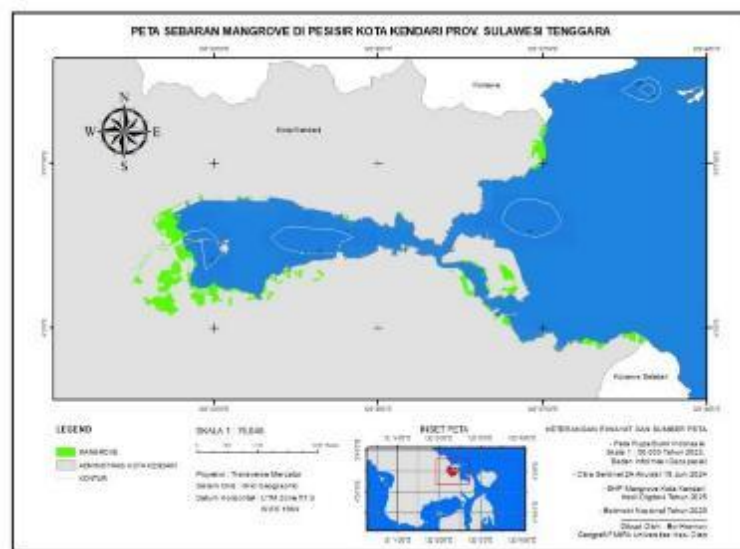
Tabel 1. Potensi Mangrove PerKecamatan di Kota Kendari tahun 2025

No	Kecamatan	Luasan (Ha)	Persentase(%)
1	Abeli	1,87	0,68
2	Baruga	0	0
3	Kadia	0,95	0,34
4	Kambu	87,21	31,64
5	Kendari	25,11	9,11
6	Kendari Barat	15,18	5,51
7	Mandongga	35,34	12,82

8	Nambo	60,89	22,08
9	Poasia	49,12	17,82
10	Puuwatu	0	0
11	Wuawua	0	0
Total		275,67	100

Sumber : Hasil Analisis data, 2025

Secara spasial, sebaran mangrove di Teluk Kendari memperlihatkan pola yang mengikuti garis pantai dan muara sungai. Pola ini mencerminkan preferensi habitat mangrove terhadap wilayah dengan akumulasi sedimen dan suplai nutrisi yang relatif stabil. Gambaran sebaran spasial ekosistem mangrove di wilayah studi ditampilkan pada **Gambar 1**, yang memperjelas lokasi-lokasi konsentrasi mangrove di pesisir Teluk Kendari.



Gambar 1. Peta Sebaran Mangrove di Teluk Kendari

Tingkat Kerapatan Mangrove Berdasarkan NDVI

Hasil analisis indeks vegetasi NDVI menunjukkan bahwa kondisi kerapatan mangrove di Teluk Kendari dapat diklasifikasikan ke dalam tiga kelas, yaitu kerapatan rendah, sedang, dan tinggi. Mangrove dengan kerapatan tinggi mendominasi kawasan penelitian, yang menunjukkan bahwa sebagian besar ekosistem mangrove masih berada dalam kondisi vegetasi yang relatif baik. Sementara itu, mangrove dengan kerapatan sedang dan rendah tersebar pada area yang lebih terbatas. Luasan mangrove berdasarkan masing-masing kelas kerapatan NDVI disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Luas Mangrove Berdasarkan Tingkat Kerapatan Pada Ekosistem Mangrove Kota Kendari

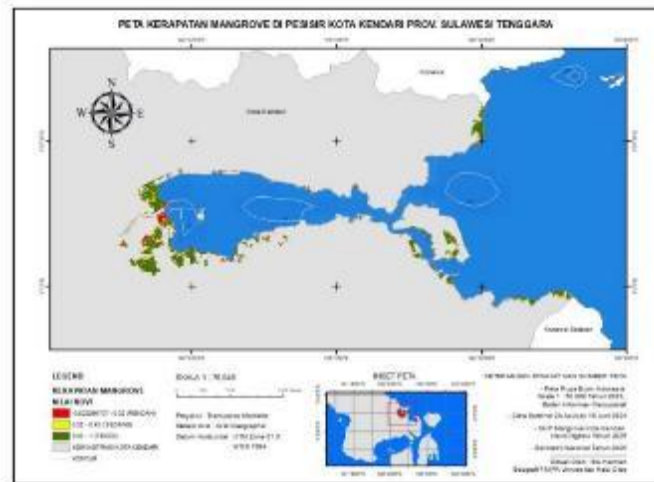
Kelas Kerapatan	Luasan (Ha)	Persentase (%)
Tinggi	176,70	64,10
Sedang	68,28	24,77
Rendah	30,69	11,13
Total	275,67	100

Sumber: Hasil Analisis Data, 2025

Copyright (c) 2026 CENDEKIA: Jurnal Ilmu Pengetahuan

 <https://doi.org/10.51878/cendekia.v6i2.9045>

Distribusi spasial kelas kerapatan mangrove memperlihatkan perbedaan pola yang jelas antar wilayah pesisir. Area dengan kerapatan tinggi umumnya berada pada lokasi yang relatif jauh dari pusat aktivitas manusia, sedangkan kerapatan sedang hingga rendah cenderung ditemukan pada wilayah yang lebih terpapar aktivitas pesisir. Pola sebaran kelas kerapatan mangrove berdasarkan nilai NDVI ditampilkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Peta Sebaran Kerapatan Mangrove di Pesisir Kota Kendari

Tutupan Kanopi dan Hubungannya dengan NDVI

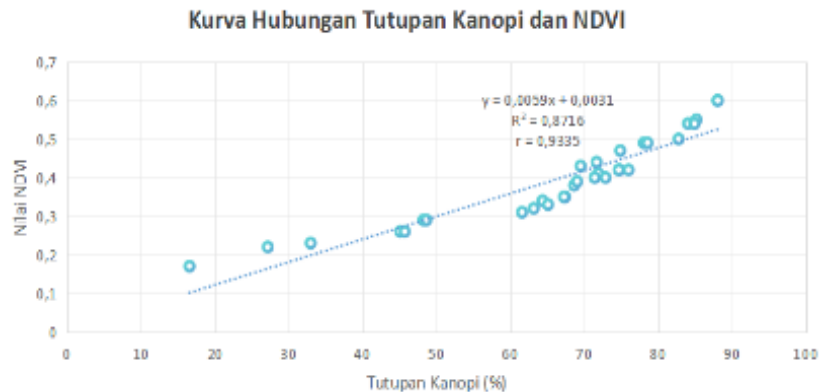
Pengukuran tutupan kanopi mangrove menggunakan metode hemispherical photography menunjukkan adanya variasi nilai tutupan kanopi yang cukup besar antar plot pengamatan. Persentase tutupan kanopi berkisar antara **16,56% hingga 88,08%**, yang mencerminkan perbedaan tingkat keterbukaan tajuk dan struktur vegetasi mangrove. Ringkasan nilai tutupan kanopi dan nilai NDVI hasil pengamatan lapangan disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Statistik Deskriptif Nilai NDVI dan Tutupan Kanopi Mangrove di Teluk Kendari

Parameter	Minimum	Maksimum	Rata-rata
Nilai NDVI	0,17	0,60	0,41
Tutupan Kanopi (%)	16,56	88,08	67,32

Keterangan: Data diperoleh dari 33 plot pengamatan lapangan.

Analisis hubungan antara persentase tutupan kanopi dan nilai NDVI menunjukkan adanya hubungan linier positif yang sangat kuat. Peningkatan nilai tutupan kanopi diikuti oleh peningkatan nilai NDVI, yang menegaskan keterkaitan erat antara struktur kanopi dan respons spektral vegetasi. Hubungan antara kedua variabel tersebut divisualisasikan dalam bentuk grafik regresi pada **Gambar 3**, yang memperlihatkan kecenderungan searah antara tutupan kanopi mangrove dan nilai NDVI.



Gambar 3. Grafik Hubungan tutupan Kanopi Mangrove dan NDVI di teluk Kendari

Pembahasan

Keberadaan ekosistem mangrove di Teluk Kendari dengan total luasan mencapai 275,67 ha menunjukkan bahwa kawasan pesisir ini masih memiliki kapasitas ekologis yang signifikan dalam mendukung fungsi-fungsi lingkungan pesisir. Pola distribusi mangrove yang dominan mengikuti garis pantai dan muara sungai menegaskan bahwa faktor biofisik, seperti suplai sedimen, pasang surut, serta aliran nutrisi dari daratan, merupakan determinan utama dalam perkembangan vegetasi mangrove. Kondisi ini sejalan dengan pandangan Alongi (2009) dan Clough (1992) yang menyatakan bahwa mangrove berkembang optimal pada wilayah dengan dinamika sedimen dan produktivitas perairan yang tinggi. Muara sungai di Teluk Kendari berperan sebagai zona deposisi alami yang menyediakan substrat dan unsur hara yang mendukung pertumbuhan serta regenerasi mangrove secara berkelanjutan.

Perbedaan luasan mangrove antar kecamatan mencerminkan adanya variasi tekanan antropogenik dan perbedaan pola pemanfaatan ruang pesisir. Kecamatan dengan luasan mangrove yang relatif besar umumnya berada pada wilayah yang masih memiliki keterbatasan akses dan aktivitas pembangunan, sementara kecamatan dengan luasan mangrove kecil atau bahkan tidak memiliki mangrove cenderung telah mengalami konversi lahan untuk permukiman, infrastruktur, dan kegiatan ekonomi pesisir. Fenomena ini menguatkan temuan Hanan et al. (2020) serta Iswahyudi et al. (2020) yang menyebutkan bahwa intensitas aktivitas manusia merupakan faktor dominan dalam menurunkan luas dan kualitas ekosistem mangrove di wilayah pesisir perkotaan. Tanpa pengendalian pemanfaatan ruang yang terintegrasi, fragmentasi ekosistem mangrove berpotensi terus meningkat dan menurunkan daya dukung ekologis kawasan pesisir.

Hasil analisis kerapatan mangrove berbasis NDVI menunjukkan dominasi kelas kerapatan tinggi dengan persentase lebih dari 60% dari total luasan mangrove. Dominasi ini mengindikasikan bahwa secara umum struktur vegetasi mangrove di Teluk Kendari masih berada dalam kondisi yang relatif baik. NDVI sebagai indeks vegetasi telah terbukti efektif dalam merepresentasikan tingkat kehijauan dan kerapatan vegetasi melalui perbedaan reflektansi kanal merah dan inframerah dekat (Lo, 1996; Kawamuna et al., 2017). Nilai NDVI yang tinggi mencerminkan kondisi vegetasi yang rapat, sehat, dan memiliki biomassa yang besar, sebagaimana juga dilaporkan oleh Du et al. (2015) dan Marlina (2022) dalam kajian vegetasi berbasis penginderaan jauh.

Distribusi spasial kerapatan mangrove menunjukkan bahwa kelas kerapatan tinggi umumnya berada pada lokasi yang relatif jauh dari pusat aktivitas manusia, sedangkan

kerapatan sedang hingga rendah banyak ditemukan di wilayah pesisir yang lebih terbuka terhadap tekanan antropogenik. Pola ini memperlihatkan adanya hubungan erat antara intensitas gangguan manusia dan kondisi struktur vegetasi mangrove. Departemen Kehutanan (2005) serta Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 201 Tahun 2004 menegaskan bahwa degradasi mangrove umumnya ditandai oleh penurunan kerapatan dan keterbukaan tajuk akibat konversi lahan, penebangan, dan aktivitas pesisir yang tidak terkendali.

Pengukuran tutupan kanopi mangrove menggunakan metode hemispherical photography menunjukkan variasi persentase tutupan kanopi yang cukup lebar, mulai dari 16,56% hingga 88,08%. Variasi ini mencerminkan perbedaan tingkat keterbukaan tajuk dan kompleksitas struktur kanopi antar lokasi pengamatan. Metode hemispherical photography dinilai efektif dalam menangkap karakteristik tutupan tajuk secara detail pada skala lapangan, sebagaimana dikemukakan oleh Chianucci dan Cutini (2012) serta Baksir et al. (2018). Keunggulan metode ini terletak pada kemampuannya merepresentasikan kondisi kanopi secara kuantitatif dan objektif, sehingga sering digunakan sebagai acuan dalam validasi data penginderaan jauh.

Analisis hubungan antara nilai NDVI dan persentase tutupan kanopi menunjukkan adanya hubungan linier positif yang sangat kuat, dengan koefisien korelasi sebesar 0,93. Temuan ini menegaskan bahwa peningkatan nilai NDVI sejalan dengan peningkatan tutupan kanopi mangrove, yang berarti bahwa NDVI mampu merepresentasikan kondisi struktur tajuk secara cukup akurat. Hasil ini konsisten dengan penelitian Umarhadi dan Syarif (2018), Fanela et al. (2024), serta Fariz et al. (2023) yang menemukan korelasi kuat antara NDVI dan tutupan kanopi pada berbagai ekosistem mangrove di Indonesia. Namun demikian, sebagaimana dikemukakan Jia et al. (2017), hubungan kuantitatif antara NDVI dan tutupan kanopi bersifat spesifik lokasi dan dipengaruhi oleh karakteristik biofisik setempat, sehingga diperlukan kalibrasi berbasis data lapangan.

Integrasi data penginderaan jauh citra Sentinel-2A dengan pengukuran lapangan menggunakan hemispherical photography dalam penelitian ini memberikan gambaran yang komprehensif mengenai kondisi ekosistem mangrove di Teluk Kendari. Pendekatan ini mendukung upaya pemantauan mangrove secara efisien dan berkelanjutan, terutama pada wilayah pesisir yang memiliki akses terbatas dan tekanan pembangunan yang tinggi. Hasil penelitian ini juga relevan dengan kebijakan pengelolaan pesisir terpadu dan pengembangan kawasan berbasis ekowisata yang berkelanjutan di Teluk Kendari (Dewi & Suriani, 2022), serta dapat menjadi dasar ilmiah dalam perencanaan rehabilitasi dan konservasi mangrove di tingkat lokal dan regional.

KESIMPULAN

Ekosistem mangrove di Teluk Kendari memiliki luasan yang relatif signifikan dan didominasi oleh vegetasi dengan tingkat kerapatan tinggi, yang menunjukkan bahwa secara umum kondisi mangrove masih berada dalam keadaan ekologis yang cukup baik. Distribusi mangrove yang mengikuti garis pantai dan muara sungai menegaskan peran penting faktor biofisik, khususnya dinamika hidrologi dan sedimentasi, dalam menentukan pola sebaran dan perkembangan mangrove.

Analisis NDVI berbasis citra Sentinel-2A berhasil mengklasifikasikan kerapatan mangrove secara spasial dan menunjukkan kesesuaian yang sangat kuat dengan hasil pengukuran tutupan kanopi di lapangan. Hubungan linier positif yang sangat kuat antara nilai

NDVI dan persentase tutupan kanopi membuktikan bahwa NDVI dapat digunakan sebagai indikator yang andal dalam menduga kondisi struktur kanopi mangrove di wilayah pesisir.

Integrasi pendekatan penginderaan jauh dan pengukuran lapangan dalam penelitian ini memberikan dasar ilmiah yang kuat bagi pengembangan sistem pemantauan mangrove yang efektif, akurat, dan berkelanjutan. Temuan ini diharapkan dapat mendukung pengambilan keputusan dalam pengelolaan, konservasi, dan rehabilitasi ekosistem mangrove di Teluk Kendari, khususnya dalam menghadapi tekanan pembangunan dan perubahan tata guna lahan pesisir yang semakin intensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Alongi, D. M. (2009). *The energetics of mangrove forests*. Springer.
- Badan Pusat Statistik & Dinas Lingkungan Hidup Kota Kendari. (2021). *Luas kegiatan reboisasi hutan mangrove (ha) menurut kabupaten/kota, 2019–2021*. BPS Kota Kendari.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). *SNI 7724:2011 tentang pengukuran dan perhitungan cadangan karbon: Pengukuran lapangan untuk penaksiran cadangan karbon hutan (ground based forest carbon accounting)*. Badan Standardisasi Nasional.
- Baksir, A., Mutmainnah, Akbar, N., & Ismail, F. (2018). Penilaian kondisi menggunakan metode hemispherical photography pada ekosistem mangrove di pesisir Desa Minaluli, Kecamatan Mangoli Utara, Kabupaten Kepulauan Sula, Provinsi Maluku Utara. *Jurnal Sumberdaya Akuatik Indopasifik*, 2(2), 69–80. <https://doi.org/10.30862/jsai-fpik-unipa.2018.Vol.2.No.2.52>
- BPS Sulawesi Tenggara. (2024). *Reforested area (ha) in Sulawesi Tenggara 2020–2023*. BPS Sulawesi Tenggara.
- Chianucci, F., & Cutini, A. (2012). Digital hemispherical photography for estimating forest canopy properties: Current controversies and opportunities. *iForest – Biogeosciences and Forestry*, 5, 290–295. <https://doi.org/10.3832/for077-005>
- Clough, B. F. (1992). Primary productivity and growth of mangrove forests. In A. I. Robertson & D. M. Alongi (Eds.), *Tropical mangrove ecosystems* (Coastal and Estuarine Studies 41, pp. 225–249). American Geophysical Union. <https://doi.org/10.1029/CE041p0225>
- Departemen Kehutanan. (2005). *Pedoman inventarisasi dan identifikasi lahan kritis mangrove*. Direktorat Jenderal Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial.
- Dewi, A. L., & Suriani, B. T. (2022). Implementation of integrated coastal protection and management policies on the development of the Kendari bay mangrove area based on ecotourism. *International Journal of Management and Education in Human Development*, 2(01), 085-090. <https://ijmehd.com/index.php/ijmehd/article/view/55>
- Du, J., Shu, J., Yin, J., Yuan, X., Jiaerheng, A., Xiong, S., & Liu, W. (2015). Analysis on spatiotemporal trends and drivers in vegetation growth during recent decades in China. *Remote Sensing*, 7(12), 17122–17143. <https://doi.org/10.3390/rs71215895>
- Fanela, M. A. P., Silubun, D. T., & Singerin, R. M. (2024). Analisis Hubungan NDVI (Nomalized Deferens Vegetasi Index) dengan Tutupan Kanopi Mangrove di Pulau Dullah Selatan Kota Tual. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 4(6), 9762-9768. <https://doi.org/10.31004/innovative.v4i6.18458>

- Fariz, T. R., Ihsan, H. M., Lutfiananda, F., Sartohadi, J., Darmajati, Y., & Syahputra, A. (2023). Perbandingan Pengukuran Kerapatan Kanopi Dari Hemispherical Photography Dan UAV Untuk Pemetaan Menggunakan Citra Sentinel-2. *Jurnal Hutan Tropis Volume, 11*(1), 123-132. <https://doi.org/10.20527/jht.v11i1.16000>
- Hanan, A. F., Pratikto, I., & Soenardjo, N. (2020). Analisa distribusi spasial vegetasi mangrove di Desa Pantai Mekar, Kecamatan Muara Gembong. *Journal of Marine Research, 9*(3), 271–280. <https://doi.org/10.14710/jmr.v9i3.27573>
- Indonesia. Kementerian Negara Lingkungan Hidup. (2004). *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 201 Tahun 2004 tentang kriteria baku dan pedoman penentuan kerusakan mangrove*. <https://citramelati.co.id/regulasi/keputusan-menteri-negara-lingkungan-hidup-nomor-201-tahun-2004/>
- Iswahyudi, I., Kusmana, C., Hidayat, A., & Noorachmat, B. P. (2020). Lingkungan biofisik hutan mangrove di Kota Langsa, Aceh. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management), 10*(1), 98-110. <https://doi.org/10.29244/jpsl.10.1.98-110>
- Jia, K., Li, Y., Liang, S., Wei, X., & Yao, Y. (2017). Combining estimation of green vegetation fraction in an arid region from Landsat 7 ETM+ data. *Remote Sensing, 9*(11), Article 1121. <https://doi.org/10.3390/rs911121>
- Jonckheere, I., Fleck, S., Nackaerts, K., Muys, B., Coppin, P., Weiss, M., & Baret, F. (2004). Review of methods for in situ leaf area index determination: Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. *Agricultural and forest meteorology, 121*(1-2), 19-35. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2003.08.027>
- Jumadil, K., & Hamzah, A. (2015). Penerapan Program Adiwiyata pada Aspek Kognitif, Afektif dan Psikomotor Tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup Sekolah Dasar di Kota Kendari. *Jurnal Sains dan Teknologi, 15*(2), 115-125. <https://doi.org/10.31332/atdb.v0i0.1133>
- Kawamuna, A., Suprayogi, A., & Wijaya, A. P. (2017). Analisis kesehatan hutan mangrove berdasarkan metode klasifikasi NDVI pada citra Sentinel-2 (Studi kasus: Teluk Pangpang Kabupaten Banyuwangi). *Jurnal Geodesi Undip, 6*(1), 277-284. <https://doi.org/10.14710/jgundip.2017.15439>
- Khaery, A., Dustan, & Randi, Z. (2023). Upaya pengelolaan ekosistem mangrove berkelanjutan di Teluk Kendari Provinsi Sulawesi Tenggara. *Biowallaceae: Jurnal Penelitian Biologi, 10*(1), 21–31. <https://doi.org/10.33772/biowallacea.v10i1.40407>
- Korhonen, L., Korhonen, K. T., Rautiainen, M., & Stenberg, P. (2006). Estimation of forest canopy cover: A comparison of field measurement techniques. *Silva Fennica, 40*(4), 577–588. <https://doi.org/10.14214/sf.315>
- Lo, C. P. (1996). *Penginderaan jauh terapan*. Universitas Indonesia.
- Marlina, D. (2022). Klasifikasi Tutupan Lahan pada Citra Sentinel-2 Kabupaten Kuningan dengan NDVI dan Algoritme Random Forest. *STRING (Satuan Tulisan Riset Dan Inovasi Teknologi), 7*(1), 41-49. <http://dx.doi.org/10.30998/string.v7i1.12948>
- Nurdiansah, D., & Dharmawan, I. W. E. (2021). Struktur dan kondisi kesehatan komunitas mangrove di Pulau Middleburg–Miossu, Papua Barat. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis, 13*(1), 81–96. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v13i1.34484>
- Pramudji. (2019). *Mangrove di Indonesia*. LIPI.
- Purnama, M., Pribadi, R., & Soenardjo, N. (2020). Analisa tutupan kanopi mangrove dengan metode hemispherical photography di Desa Betahwalang, Kabupaten Demak.



Journal of Marine Research, 9(3), 317–325.
<https://doi.org/10.14710/jmr.v9i3.27577>

- Rich, P. M. (1990). Characterizing plant canopies with hemispherical photographs. *Remote sensing reviews*, 5(1), 13-29. <https://doi.org/10.1080/02757259009532119>
- Soerianegara, I., & Indrawan, A. (1998). *Ekologi hutan Indonesia*. Laboratorium Ekologi Hutan, Fakultas Kehutanan IPB.
- Sugiyono. (2013). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D* (19th ed.). Alfabeta.
- Umarhadi, D. A., & Syarif, M. A. (2018). Regression model accuracy comparison on mangrove canopy density mapping. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Science and Technology* (pp. 1–11). <https://doi.org/10.29037/digitalpress.11249>
- Walters, B. B., Rönnbäck, P., Kovacs, J. M., Crona, B., Hussain, S. A., Badola, R., Primavera, J. H., Barbier, E., & Dahdouh-Guebas, F. (2008). Ethnobiology, socio-economics and management of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany*, 89, 220–236. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2008.02.009>