

Analisis Zonasi Ekosistem Dasar Laut Berbasis Penginderaan Jauh untuk Mendukung Strategi Konservasi di Pulau Ketawai, Bangka Tengah

Analysis of Seabed Ecosystem Zonation Using Remote Sensing to Support Conservation Strategies on Ketawai Island, Central Bangka

Fifin Fitriana^{1*)}, Eka Altirika²⁾

¹⁾Program Studi Konservasi Sumber Daya Alam, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Muhammadiyah Bangka Belitung, Pangkalpinang, Indonesia

²⁾Program Studi Ilmu Komputer, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Muhammadiyah Bangka Belitung, Pangkalpinang, Indonesia

*Penulis korespondensi: fifin.fitriana@unmuhbabel.ac.id

Received June 2025, Accepted July 2025, Published July 2025

ABSTRAK

Ekosistem dasar laut seperti terumbu karang dan padang lamun memainkan peranan penting dalam menjaga keseimbangan ekologi dan mendukung kehidupan masyarakat pesisir. Pulau Ketawai, Bangka Tengah, memiliki kekayaan ekosistem bentik yang kini menghadapi tekanan dari aktivitas antropogenik seperti penambangan timah, pariwisata tidak terkendali dan pencemaran. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi habitat dasar laut di Pulau Ketawai dan merumuskan zonasi konservasi berbasis pendekatan spasial. Data yang digunakan mencakup citra satelit Sentinel-2A dan 140 titik sampel yang dianalisis menggunakan algoritma *Support Vector Machine* (SVM). Hasil klasifikasi menghasilkan empat kelas substrat: puing/karang mati (39,06%), terumbu karang (34,95%), pasir (24,68%), dan lamun (1,31%), dengan akurasi klasifikasi mencapai 85% yang diperoleh melalui validasi menggunakan *confusion matrix* berdasarkan 140 titik referensi yang dibagi menjadi 70% untuk pelatihan dan 30% untuk validasi. Zonasi konservasi terbagi menjadi zona inti (perlindungan penuh terhadap habitat karang dan lamun yang masih baik), zona rehabilitasi (untuk restorasi ekosistem), zona pemanfaatan terbatas (untuk kegiatan wisata edukatif dan riset secara terbatas), dan zona penyangga (sebagai kawasan transisi untuk meredam tekanan eksternal dan mendukung keberlanjutan zona lainnya). Penelitian ini merekomendasikan perlindungan terhadap area terumbu karang dan lamun yang tersisa, serta restorasi pada wilayah yang terdegradasi. Zonasi ini dapat menjadi dasar bagi pengelolaan pesisir berkelanjutan dan strategi adaptasi terhadap perubahan iklim.

Kata kunci: habitat bentik, zonasi konservasi, Pulau Ketawai, pengelolaan pesisir.

ABSTRACT

Seabed ecosystems such as coral reefs and seagrass beds play a vital role in maintaining ecological balance and supporting the livelihoods of coastal communities. Ketawai Island, located in Central Bangka, harbors rich benthic ecosystems that are currently under pressure from anthropogenic activities such as tin mining, unregulated tourism, and pollution. This study aims to analyze the condition of seabed habitats around Ketawai Island and to develop a conservation zoning framework using a spatial approach. The data used includes Sentinel-2A satellite imagery and 140 sample points analyzed using the Support Vector Machine (SVM) algorithm. The classification resulted in four substrate classes: rubble/dead coral (39.06%), live coral reefs (34.95%), sand (24.68%), and seagrass (1.31%), with a classification accuracy of 85%, validated using a confusion matrix based on 140 reference points, divided into 70% for training and 30% for validation. The conservation zoning was divided into four categories: core zone (providing full protection for healthy coral and seagrass habitats), rehabilitation zone (for ecosystem restoration), limited-use zone (for educational tourism and research under strict regulation), and buffer zone (as a transitional area to mitigate external pressure and support the sustainability of other zones). This study recommends the protection of remaining coral reefs and seagrass areas, along with restoration efforts in degraded regions. The proposed zoning provides a scientific basis for sustainable coastal management and serves as a strategic approach for adapting to climate change.

Keywords: benthic habitat, coastal management, conservation zoning, Ketawai Island

PENDAHULUAN

Ekosistem dasar laut merupakan salah satu komponen penting dalam sistem pesisir dan laut yang menyediakan berbagai jasa lingkungan bagi kehidupan manusia dan keberlangsungan keanekaragaman hayati. Di antara berbagai jenis ekosistem bentik, terumbu karang dan padang lamun memiliki peranan penting dalam menstabilkan substrat laut, menyediakan tempat tinggal dan berkembang biak bagi berbagai spesies (Grech et al., 2012; Hughes et al., 2018). Terumbu karang dan padang lamun memainkan peran penting dalam mendukung rantai makanan di lautan dengan menyediakan habitat, nutrisi, dan konektivitas (Woodhead et al., 2019). Terumbu karang memiliki struktur yang kompleks dan daur ulang unsur hara, sedangkan padang lamun berfungsi sebagai tempat pembibitan dan serta menyerap karbon dalam jumlah besar (Lecours et al., 2015). Kesehatan ekosistem ini secara langsung mempengaruhi kualitas hidup masyarakat pesisir, khususnya yang menggantungkan hidup pada sektor perikanan dan pariwisata Bahari.

Pulau Ketawai, yang terletak di wilayah Bangka Tengah, merupakan salah satu lokasi yang memiliki potensi kekayaan ekosistem dasar laut, terutama terumbu karang dan padang lamun. Potensi ini menjadikan Pulau Ketawai sebagai destinasi wisata bahari yang cukup populer, serta sebagai lokasi penting dalam konteks konservasi laut daerah (Adibrata et al., 2013; Muftiadi et al., 2021). Namun, seiring dengan meningkatnya tekanan antropogenik seperti penambangan timah di wilayah pesisir dan laut, pencemaran air, penggunaan alat tangkap yang merusak, serta aktivitas wisata yang tidak terkendali, ekosistem dasar laut di kawasan ini menghadapi ancaman serius (Sulaiman et al., 2023).

Aktivitas perikanan yang destruktif, seperti penggunaan bom dan sianida, dapat menyebabkan kerusakan fisik langsung pada struktur karang (Ariasari et al., 2022). Di sisi lain, pariwisata yang tidak dikelola secara berkelanjutan dapat menimbulkan tekanan terhadap habitat bentik akibat aktivitas *snorkeling* dan *diving* tanpa pengawasan, serta pembangunan infrastruktur yang tidak ramah lingkungan (Bidayani et al., 2020), selain itu penambangan timah laut di pesisir lokasi yang dekat dengan Pulau Ketawai menyebabkan sedimentasi yang tinggi dan mengganggu kecerahan air, yang berdampak langsung pada fotosintesis lamun dan kesehatan terumbu karang (Syari et al., 2022).

Guna mengantisipasi kerusakan lebih lanjut, upaya konservasi berbasis data spasial menjadi krusial (Foo & Asner, 2019). Informasi yang akurat mengenai kondisi, sebaran, dan zonasi habitat dasar laut dapat digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan pengelolaan wilayah pesisir. Salah satu pendekatan yang berkembang pesat saat ini adalah pemanfaatan teknologi penginderaan jauh dan algoritma pembelajaran mesin (*Machine Learning*) seperti *Support Vector Machine* (SVM)

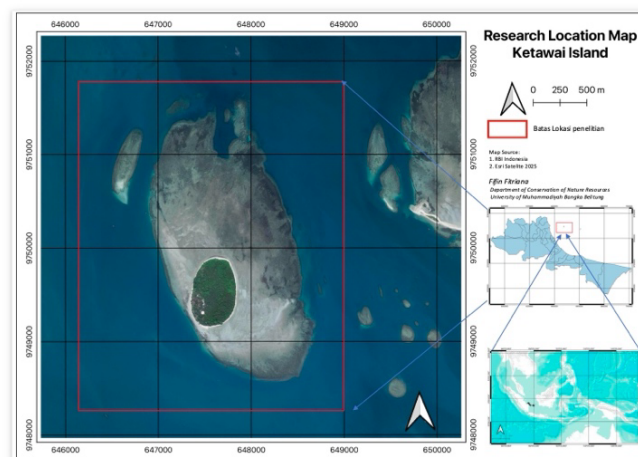
untuk melakukan klasifikasi tutupan lahan dasar laut (Hartoni et al., 2022a). Citra satelit seperti Sentinel-2A memiliki resolusi spasial dan spektral yang cukup baik untuk memetakan habitat bentik di perairan dangkal (Arum Sari et al., 2020; Dimara et al., 2020).

Dengan teknologi ini, pemetaan zonasi dapat dilakukan dengan efisien dan menghasilkan informasi yang penting untuk menyusun kebijakan perlindungan kawasan, menentukan zona inti konservasi, serta merencanakan rehabilitasi wilayah yang telah mengalami kerusakan (Nomenisoa et al., 2024). Selain itu, zonasi juga membantu dalam menentukan batasan pemanfaatan dan konservasi yang berbasis ekosistem. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis kondisi terkini dari habitat dasar laut di Pulau Ketawai melalui pendekatan spasial dan memberikan rekomendasi zonasi konservasi berbasis data ilmiah.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus hingga Oktober 2023 di perairan dan pesisir Pulau Ketawai, Desa Kurau, Kecamatan Koba, Kabupaten Bangka Tengah, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Pulau Ketawai merupakan pulau kecil yang dikelilingi oleh terumbu karang dan padang lamun dangkal, secara geografis terletak pada 02°57' LS dan 106°48' BT. Lokasi penelitian Pulau Ketawai dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian di Pulau Ketawai

Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh area tutupan habitat dasar laut di sekitar Pulau Ketawai. Sampel berupa titik-titik pengamatan kondisi dasar laut diambil sebanyak 140 titik, yang tersebar merata pada area dangkal yang terjangkau selama pasang surut. Teknik penentuan sampel dilakukan secara *purposive* untuk memastikan representasi yang seimbang dari variasi tutupan substrat yang teridentifikasi. Sebanyak 140 titik referensi dipilih guna menjamin distribusi spasial yang memadai dan mendukung proses klasifikasi dan validasi, dengan

proporsi 70% untuk pelatihan dan 30% untuk pengujian.

Alat dan Bahan

Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah, GPS (*Global Positioning System*), kamera, alat tulis, kamera under water, Platform GEE (*Google Earth Engine*) dan *Software* QGIS 3.26.

Jenis dan Metode Pengumpulan Data

Jenis data yang digunakan meliputi:

1. Data primer: Titik sampel lapangan berupa koordinat, dokumentasi substrat dasar laut (foto bawah air dan observasi langsung), serta catatan kondisi perairan, Citra satelit Sentinel-2A tahun 2023
2. Data sekunder: laporan Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil (RZWP3K) Provinsi Kepulauan Bangka Belitung dan publikasi penelitian sebelumnya terkait konservasi habitat bentik dan zonasi pesisir.

Tahapan penelitian

Penelitian dilakukan meliputi 5 tahap :

1. Pengumpulan data lapangan dilakukan dengan menggunakan GPS untuk menentukan lokasi titik sampel
2. Pembuatan peta klasifikasi habitat bentik yang terdiri dari :
 - a. *Pre-processing* citra: Koreksi atmosferik, pemotongan wilayah studi, dan penyesuaian kanal spektral Sentinel-2A. Tahapan *pre-processing* ini meliputi *sunlight correction* dan *water column correction*.
 - b. Klasifikasi substrat bentik: Menggunakan algoritma *Support Vector Machine* (SVM) dengan kernel (RBF) untuk membedakan kelas: terumbu karang, lamun, puing/karang mati, pasir, dan daratan, karena kemampuannya dalam menangani data *non-linear* khas citra habitat bentik.
 - c. Validasi hasil klasifikasi: Menggunakan data titik sampel lapangan untuk menghitung akurasi klasifikasi (*confusion matrix* dan *overall accuracy*).
3. Zonasi konservasi: Mengelompokkan hasil klasifikasi menjadi empat zona konservasi: zona inti, zona rehabilitasi, zona pemanfaatan terbatas, dan zona penyangga, berdasarkan luasan dan distribusi substrat.

Analisis Data

Klasifikasi Substrat

Tahapan klasifikasi substrat bentik dalam penelitian ini dilakukan menggunakan algoritma Machine Learning yaitu *Support Vector Machine* (SVM). Algoritma SVM termasuk dalam klasifikasi terarah (*supervised classification*) yang menggunakan data pelatihan dari titik lapangan sebagai referensi kelas (Hartoni et al., 2022b; Tzotsos, 2006). Algoritma ini dirancang untuk menyelesaikan masalah klasifikasi

dan regresi dengan pendekatan yang efisien dan akurat.

SVM bekerja dengan mencari sebuah *hyperplane* yang secara optimal dapat memisahkan data dari dua kelas atau lebih dalam ruang fitur (Dwikarsa & Basith, 2021). *Hyperplane* ini ditentukan oleh titik-titik data yang disebut *support vectors*, yaitu data pelatihan yang paling dekat dengan batas pemisah dan secara langsung memengaruhi posisi serta orientasi *hyperplane* tersebut (Nandika et al., 2023). Salah satu keunggulan dari SVM adalah kemampuannya dalam bekerja pada data dengan resolusi tekstur rendah, seperti data penginderaan jauh dari wilayah perairan dangkal, yang umumnya memiliki variasi spektral terbatas (Wahidin et al., 2015) . Secara matematis, SVM dapat dituliskan dalam bentuk fungsi (Tzotsos, 2006):

$$f(x) = \sum \lambda_i y_i K(x_i, x) + W_0$$

Dengan:

K : fungsi kernel

x_i : data pelatihan

λ_i : multiplier Lagrange

S : subset data pelatihan dengan $\lambda \neq 0$

W_0 : parameter *hyperplane*

Dalam penelitian ini, algoritma SVM diimplementasikan menggunakan *platform Google Earth Engine*, dengan input citra Sentinel-2A dan kanal spektral yang telah dikoreksi. Kelas substrat yang dipetakan meliputi: terumbu karang, lamun, pasir, dan puing/karang mati.

Uji Akurasi

Akurasi klasifikasi divalidasi menggunakan titik uji lapangan melalui *confusion matrix* untuk memastikan ketepatan model klasifikasi dalam merepresentasikan kondisi aktual di lapangan (Hadi & Wicaksono, 2021).

Pengelompokan Zonasi

Pengelompokan zonasi konservasi dilakukan berdasarkan hasil klasifikasi habitat dasar laut menggunakan citra satelit Sentinel-2A dan data titik lapangan. Zonasi ini mengikuti prinsip konservasi berbasis ekosistem dan mempertimbangkan tingkat tekanan terhadap habitat, nilai ekologis substrat, serta potensi pemulihan habitat tersebut (Fakhrurrozi et al., 2025).

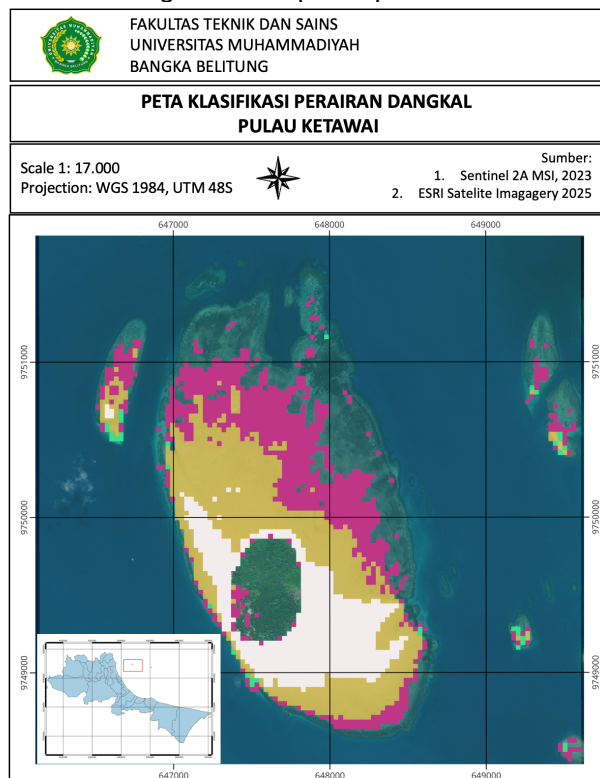
Tahapan pengelompokan zonasi konservasi meliputi:

1. Identifikasi Kelas Habitat: Lima kelas substrat hasil klasifikasi (terumbu karang, lamun, puing/karang mati, pasir, dan daratan) menjadi dasar penentuan zona.
2. Penilaian Nilai Ekologis dan Tekanan: Setiap kelas habitat dianalisis berdasarkan peran ekologisnya, kondisi kesehatan ekosistem, serta jenis tekanan lokal yang dihadapi (misalnya: aktivitas wisata, perburuan kerang kima, sedimentasi akibat tambang).
3. Penentuan Zona Konservasi:

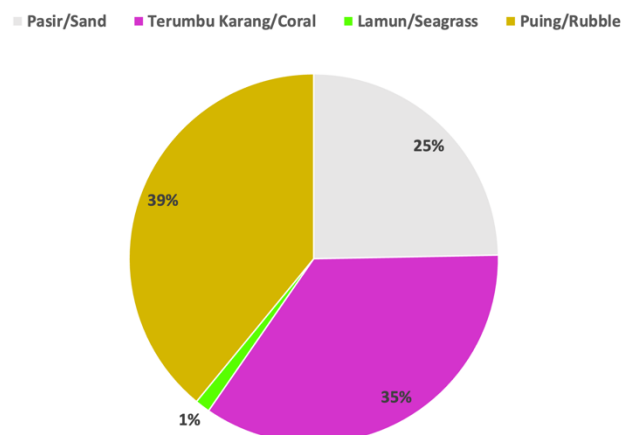
- Zonasi konservasi ditentukan berdasarkan nilai ekologis habitat bentik.
- Zona Inti Konservasi ditetapkan pada area terumbu karang dan lamun yang masih dalam kondisi baik dan berfungsi ekologis tinggi mengacu pada prinsip perlindungan ekosistem penting (Tran et al., 2020).
 - Zona Rehabilitasi ditetapkan pada area dominan puing/karang mati sebagai target restorasi ekosistem (Kenyon et al., 2023).
 - Zona Pemanfaatan Terbatas ditetapkan pada area pasir dan perairan terbuka yang cocok untuk aktivitas wisata berbasis edukasi atau riset dengan regulasi ketat (IUCN, 2012.).
 - Zona Penyangga ditetapkan sebagai kawasan transisi yang sebagai kawasan transisi untuk meredam tekanan eksternal dan mendukung keberlanjutan zona lainnya (IUCN, 2012).
4. Pemetaan Zonasi: Zonasi dikompilasi secara spasial menggunakan QGIS berdasarkan luasan dan distribusi kelas habitat. Setiap zona ditandai dengan warna dan label berbeda dalam peta konservasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil klasifikasi ekosistem dasar laut di Pulau Ketawai dengan menggunakan klasifikasi *machine learning SVM* menghasilkan empat kelas utama substrat bentik, yakni puing/karang mati (39,06%), terumbu karang (34,95%), pasir (24,68%), dan lamun (1,31%) dengan akurasi klasifikasi sebesar 85%. Peta hasil klasifikasi habitat bentik dapat dilihat pada Gambar 2, sedangkan komposisi tiap kelas substrat dalam bentuk grafik ditampilkan pada Gambar 3



Gambar 2. Distribusi Habitat Bentik di Pulau Ketawai



Gambar 3. Proporsi Kelas Substrat Bentik di Pulau Ketawai

Berdasarkan hasil klasifikasi tersebut dapat diketahui bahwa kondisi ekosistem dasar laut di Pulau Ketawai masih menghadapi tekanan yang cukup tinggi akibat adanya degradasi dari tekanan lingkungan dan aktivitas manusia. Substrat puing atau karang mati yang mencakup 39,06% dari total area mencerminkan tingkat degradasi habitat bentik yang tinggi, dan menjadi indikasi kuat bahwa ekosistem terumbu karang di wilayah ini telah mengalami kerusakan serius. Aktivitas antropogenik seperti perburuan kerang kima, pariwisata yang tidak terkendali (Aldyan et al., 2023), pencemaran dari desa terdekat, *coral bleaching* akibat pemanasan global menyebabkan rusaknya struktur karang yang seharusnya menjadi habitat utama biota laut. Kerusakan terumbu karang ini tidak hanya mengganggu fungsi ekologis tetapi juga berdampak pada sektor ekonomi masyarakat, terutama nelayan dan pelaku wisata bahari yang menggantungkan hidup pada kelestarian ekosistem tersebut (Kennedy et al., 2020).

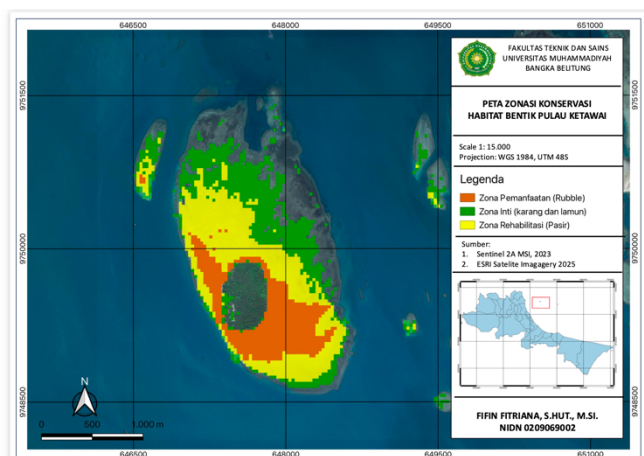
Sementara itu, Tutupan pasir sebesar 24,68% menunjukkan adanya area substrat terbuka yang cenderung tidak stabil dan minim tutupan vegetasi bawah laut. Wilayah ini pada dasarnya bersifat dinamis dan cenderung tidak stabil, namun berpotensi untuk dikembangkan sebagai zona restorasi lamun atau zona pemanfaatan terbatas untuk kegiatan wisata edukatif. Selain itu, kawasan pasir dan dangkalan di sekitar Pulau Ketawai juga menjadi lokasi terjadinya aktivitas pemburuan kerang kima (*Tridacna spp.*) oleh masyarakat lokal ketika air laut surut. Kegiatan ini berlangsung secara tradisional, namun dalam beberapa kasus menyebabkan tekanan terhadap populasi kima yang merupakan spesies terlindungi dan berperan penting dalam ekosistem terumbu karang. Kerang kima memiliki nilai ekologis tinggi karena kemampuannya menyaring air, menyediakan habitat mikro, dan berkontribusi pada keanekaragaman hayati (Neo et al., 2015). Oleh karena itu, area yang teridentifikasi sebagai habitat potensial kima perlu dipertimbangkan sebagai bagian dari zona konservasi terbatas, disertai upaya edukasi

masyarakat tentang pentingnya perlindungan spesies tersebut.

Substrat terumbu karang yang mencakup 34,95% dari area klasifikasi merupakan komponen penting dari ekosistem bentik. Terumbu karang yang sehat merupakan sistem kompleks yang mendukung keanekaragaman hayati laut dan berfungsi sebagai benteng alami yang melindungi garis pantai dari abrasi (Hoek & Bayoumi, 2017). Oleh karena itu, wilayah ini sangat layak dijadikan sebagai zona inti konservasi dengan pengawasan dan pembatasan aktivitas manusia secara ketat untuk menjaga keberlanjutan ekosistemnya.

Habitat lamun yang hanya mencakup 1,31% menunjukkan sebaran yang terbatas dan perlu mendapatkan perhatian khusus dalam upaya konservasi. Padang lamun berperan penting dalam siklus karbon biru (*blue carbon*), sebagai tempat berkembang biak dan berlindung bagi ikan-ikan muda, serta dalam menjaga kualitas air (Ginting & Arjasakusuma, 2021). Minimnya tutupan lamun ini kemungkinan disebabkan oleh peningkatan sedimentasi dan perubahan kualitas perairan akibat limpasan dari daratan serta aktivitas wisata.

Berdasarkan pertimbangan analisis zonasi tersebut, sehingga zonasi konservasi habitat bentik Pulau Ketawai di petakan sebagai berikut (Gambar 4).



Gambar 4. Peta Zona Konservasi Habitat Bantik Pulau Ketawai

Interpretasi spasial menunjukkan bahwa distribusi habitat dasar laut di Pulau Ketawai masih memerlukan perhatian serius dalam konteks pengelolaan berkelanjutan. Substrat puing atau karang mati yang mendominasi dapat menjadi indikasi degradasi ekosistem bentik yang cukup luas, menjadikan wilayah ini sebagai prioritas utama untuk kegiatan restorasi, seperti transplantasi terumbu karang. Keberadaan puing karang dalam luasan besar menunjukkan pentingnya intervensi rehabilitasi secara aktif dan berkelanjutan.

Zona pasir yang luas berpotensi dikembangkan untuk wisata edukatif berbasis konservasi dengan pendekatan regulatif. Selain sebagai zona transisi, area pasir juga memiliki potensi sebagai lokasi restorasi habitat lamun atau aktivitas

wisata ramah lingkungan, selama pengelolaannya mempertimbangkan daya dukung ekosistem.

Terumbu karang dan lamun yang tersisa harus menjadi sasaran perlindungan dalam bentuk zona inti konservasi, dengan pembatasan aktivitas antropogenik secara ketat.

Dalam konteks global, perubahan iklim telah menjadi salah satu faktor utama yang mempercepat degradasi ekosistem pesisir, termasuk ekosistem bentik (Danylchuk et al., 2023). Salah satu dampak nyata dari perubahan iklim terhadap habitat dasar laut adalah fenomena pemutihan karang (*coral bleaching*) (Liu et al., 2021). Pemutihan karang terjadi ketika suhu permukaan laut meningkat secara signifikan, menyebabkan stres pada karang dan mendorong pengeluaran *zooxanthellae*—*alga simbiosis* yang memberikan warna dan nutrisi penting bagi karang (Curran & Barnard, 2021). Tanpa alga ini, karang kehilangan warna dan tidak mampu memperoleh nutrisi secara optimal, sehingga rentan mengalami kematian.

Fenomena *coral bleaching* telah dilaporkan secara meluas di perairan tropis Indonesia (van Woesik & Kratochwill, 2022), termasuk wilayah Bangka Belitung yang memiliki tutupan terumbu karang cukup luas namun kini mengalami tekanan berat. Dalam konteks Pulau Ketawai, meskipun tidak dilakukan analisis suhu permukaan laut secara langsung dalam penelitian ini, keberadaan substrat puing atau karang mati dalam proporsi besar (48,53%) dapat menjadi indikasi terjadinya peristiwa *coral bleaching* yang berulang, terutama jika dikombinasikan dengan tekanan lokal seperti sedimentasi dan polusi.

Kondisi ini semakin memperkuat urgensi zonasi ekosistem bentik sebagai pendekatan konservasi adaptif terhadap perubahan iklim. Kawasan dengan tutupan terumbu karang yang masih baik harus dijadikan sebagai zona prioritas konservasi berbasis ketahanan iklim (*climate-resilient marine protected areas*) (Hoek & Bayoumi, 2017). Pengelolaan zona ini dapat mencakup pemantauan suhu permukaan laut, deteksi dini pemutihan karang, serta pembatasan aktivitas manusia saat terjadi *stres* lingkungan tinggi (Harris et al., 2017).

Lebih jauh lagi, zonasi konservasi perlu memperhatikan kerentanan ekosistem terhadap kejadian ekstrim iklim, seperti gelombang panas laut (*marine heatwaves*) yang telah terbukti menjadi pemicu utama *coral bleaching* masal (Danylchuk et al., 2023). Oleh karena itu, sistem informasi spasial dan pemetaan zonasi seperti yang dihasilkan dalam studi ini dapat menjadi dasar pengembangan sistem peringatan dini dan strategi adaptasi berbasis ekosistem laut.

Pengelolaan pesisir yang berkelanjutan membutuhkan pendekatan zonasi adaptif yang mempertimbangkan kondisi biofisik aktual, dinamika penggunaan lahan, serta partisipasi aktif masyarakat setempat. Penentuan zonasi konservasi dalam penelitian ini difokuskan pada karakteristik sebaran habitat bentik sebagai parameter utama. Meskipun

demikian, penyusunan peta zonasi konservasi secara komprehensif sebaiknya mempertimbangkan berbagai aspek tambahan sesuai dengan pedoman pengelolaan kawasan konservasi, meliputi faktor biofisik, sosial, ekonomi, serta tata kelola pesisir. Pengelolaan wilayah pesisir yang berkelanjutan idealnya mengadopsi pendekatan zonasi adaptif yang memperhatikan kondisi biofisik aktual, dinamika pemanfaatan sumber daya, serta partisipasi aktif masyarakat lokal.

Hasil interpretasi spasial dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan landasan awal bagi pemerintah daerah dalam proses penetapan zona konservasi maupun perumusan program pemberdayaan masyarakat pesisir secara lebih terarah dan berbasis data. Pada pengembangan penelitian di masa mendatang, disarankan agar memperluas cakupan analisis dengan mengintegrasikan variabel lingkungan tambahan, seperti arus laut, kedalaman perairan, dan kualitas air. Selain itu, penguatan integrasi dimensi sosial-ekonomi, seperti distribusi aktivitas nelayan tradisional, intensitas wisata, serta pola akses dan pemanfaatan sumber daya oleh masyarakat setempat, dinilai penting guna menghasilkan skema zonasi yang lebih holistik, implementatif, dan adaptif terhadap kebutuhan sosial-ekologi kawasan pesisir

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menganalisis kondisi terkini habitat dasar laut di Pulau Ketawai melalui pendekatan spasial berbasis penginderaan jauh dan algoritma klasifikasi *Support Vector Machine* (SVM). Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa ekosistem bentik di wilayah ini didominasi oleh substrat tidak hidup, yaitu puing/karang mati (39,06%) dan pasir (24,68%), sementara tutupan habitat hidup terdiri atas terumbu karang (34,95%) dan lamun (1,31%). Komposisi ini mencerminkan adanya tekanan ekologis yang nyata, terlihat pada area dengan tutupan puing dan pasir yang luas. Berdasarkan distribusi habitat serta pertimbangan nilai ekologis dan tingkat tekanan, penelitian ini menyusun zonasi konservasi habitat bentik ke dalam empat kategori utama: zona inti, zona rehabilitasi, zona pemanfaatan terbatas, dan zona penyangga. Zonasi ini dapat dijadikan sebagai dasar kebijakan pengelolaan wilayah pesisir yang lebih terarah dan berbasis data ilmiah, khususnya dalam mendukung upaya pelestarian dan rehabilitasi ekosistem bentik. Keberhasilan implementasi zonasi konservasi ini juga memerlukan peran aktif masyarakat lokal, baik dalam pengawasan, pemulihan habitat, maupun pemanfaatan sumber daya laut secara berkelanjutan, sehingga pengelolaan pesisir dapat berjalan secara partisipatif dan adaptif terhadap perubahan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adibrata, S., Pengajar, S., Manajemen, J., & Perairan, S. (2013). Evaluasi Kondisi Terumbu Karang Di Pulau Ketawai Kabupaten Bangka Tengah. *Jurnal Kelautan*, 6(1).
- Aldyan, R. A., Budiastuti, M. T. S. S., Wanto, W., & Wiwik, W. (2023). Impact of Coral Reef Damage Due to Tourism Activities in Karimunjawa National Park. *E3S Web of Conferences*, 448. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202344803063>
- Ariasari, A., Sugara, A., Lina, N., Nabiu, M., Wardhani, F. I., Agustini, N. T., Nisa, A., & Suci, N. (2022). Karakteristik Habitat Benthik Perairan Dangkal di Desa Banjarsari, Kabupaten Bengkulu Utara (Characteristic of Benthic Habitat Shallow Water in Banjarsari, North Bengkulu Regency). *Journal of Aceh Aquatic Science*, 6(2). <https://doi.org/10.35308/jaas.v6i2.6480>
- Arum Sari, C., Fachruddin Syah, A., Prayudha, B., Salatalohi, A., Ilmu Kelautan, P., Trunojoyo Madura, U., Penelitian Oseanografi, P., Ilmu Pengetahuan Indonesia Kontributor utama, L., & anggota, K. (2020). PEMETAAN HABITAT BENTIK MENGGUNAKAN CITRA SATELIT SENTINEL-2A DI PULAU LIKI, PAPUA (BENTHIC HABITAT MAPPING USING SENTINEL-2A SATELLITE IMAGERY ON LIKI ISLAND, PAPUA). *Jurnal Penginderaan Jauh Dan Pengolahan Data Citra Digital*, 17(1). <https://doi.org/10.30536/j.pjpdcd.2020.v17.a3322>
- Bidayani, E., Kurniawan, K., Anggeraini, L., & ... (2020). Utilization conflict analysis of fisheries resources with tin mining and marine tourism in east coast of Bangka Island. *Proceedings of the 13th ...* <https://doi.org/10.4108/eai.23-10-2019.2293011>
- Curran, A., & Barnard, S. (2021). What is the role of zooxanthellae during coral bleaching? Review of zooxanthellae and their response to environmental stress. In *South African Journal of Science* (Vol. 117, Issues 7–8). Academy of Science of South Africa. <https://doi.org/10.17159/SAJS.2021/8369>
- Danylchuk, A. J., Griffin, L. P., Ahrens, R., Allen, M. S., Boucek, R. E., Brownscombe, J. W., Casselberry, G. A., Danylchuk, S. C., Filous, A., Goldberg, T. L., Perez, A. U., Rehage, J. S., Santos, R. O., Shenker, J., Wilson, J. E. K., Adams, A. J., & Cooke, S. J. (2023). Cascading effects of climate change on recreational marine flats fishes and fisheries. *Environmental Biology of Fishes*, 106(2), 381–416. <https://doi.org/10.1007/s10641-022-01333-6>
- Developing capacity for a protected planet Guidelines for Applying the IUCN Protected Area Management Categories to Marine Protected Areas. (n.d.). www.iucn.org/pa_guidelines
- Dimara, A., Hamuna, B., & Dimara, L. (2020). Pemanfaatan citra satelit Sentinel-2A untuk pemetaan habitat dasar perairan dangkal (Studi Kasus: Teluk Humbolt, Kota Jayapura). *Jurnal Ilmu Kelautan Dan Perikanan Papua*, 3(1), 25–31. <https://doi.org/10.31957/acr.v3i1.1213>

- Dwikarsa, Y., & Basith, A. (2021). Benthic habitats classification using multi scale parameters of GEOBIA on orthophoto images of Karimunjawa waters. *Communications in Science and Technology*, 6(1), 55–59. <https://doi.org/10.21924/CST.6.1.2021.332>
- Fakhrurrozi, Idris, Rizan Ardiansyah, M. B., Muttaqin, A. D., & Mauludiyah. (2025). Assessing benthic habitat distribution in Tunda Island, Banten, Indonesia using Sentinel-2A imagery. *BIO Web of Conferences*, 168, 05014. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202516805014>
- Foo, S. A., & Asner, G. P. (2019). Scaling up coral reef restoration using remote sensing technology. *Frontiers in Marine Science*, 6(MAR). <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00079>
- Ginting, D. N. B., & Arjasakusuma, S. (2021). Pemetaan Lamun Menggunakan Machine Learning Dengan Citra PlanetScope Di Nusa Lembongan. *Jurnal Kelautan Tropis*, 24(3), 323–332. <https://doi.org/10.14710/jkt.v24i3.11180>
- Grech, A., Chartrand-Miller, K., Erftemeijer, P., Fonseca, M., McKenzie, L., Rasheed, M., Taylor, H., & Coles, R. (2012). A comparison of threats, vulnerabilities and management approaches in global seagrass bioregions. *Environmental Research Letters*, 7(2). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/2/024006>
- Hadi, A. A., & Wicaksono, P. (2021). Accuracy assessment of relative and absolute water column correction methods for benthic habitat mapping in Parang Island. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 686(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/686/1/012034>
- Harris, J. L., Estradivari, E., Fox, H. E., McCarthy, O. S., & Ahmadi, G. N. (2017). Planning for the future: Incorporating global and local data to prioritize coral reef conservation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 27, 65–77. <https://doi.org/10.1002/aqc.2810>
- Hartoni, Siregar, V. P., Wouthuyzen, S., & Agus, S. B. (2022a). Object based classification of benthic habitat using Sentinel 2 imagery by applying with support vector machine and random forest algorithms in shallow waters of Kepulauan Seribu, Indonesia. *Biodiversitas*, 23(1), 514–520. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230155>
- Hartoni, Siregar, V. P., Wouthuyzen, S., & Agus, S. B. (2022b). Object based classification of benthic habitat using Sentinel 2 imagery by applying with support vector machine and random forest algorithms in shallow waters of Kepulauan Seribu, Indonesia. *Biodiversitas*, 23(1), 514–520. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230155>
- Hoek, L. S. van den, & Bayoumi, E. K. (2017). Importance, Destruction and Recovery of Coral Reefs. *IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences*, 12(02), 59–63. <https://doi.org/10.9790/3008-1202025963>
- Hughes, T. P., Anderson, K. D., Connolly, S. R., Heron, S. F., Kerry, J. T., Lough, J. M., Baird, A. H., Baum, J. K., Berumen, M. L., Bridge, T. C., Claar, D. C., Eakin, C. M., Gilmour, J. P., Graham, N. A. J., Harrison, H., Hobbs, J. P. A., Hoey, A. S., Hoogenboom, M., Lowe, R. J., ... Wilson, S. K. (2018). Spatial and temporal patterns of mass bleaching of corals in the Anthropocene. *Science*, 359(6371), 80–83. <https://doi.org/10.1126/science.aan8048>
- Kennedy, E. V., Vercelloni, J., Neal, B. P., Ambariyanto, Bryant, D. E. P., Ganase, A., Gartrell, P., Brown, K., Kim, C. J. S., Hudatwi, M., Hadi, A., Prabowo, A., Prihatinningsih, P., Haryanta, S., Markey, K., Green, S., Dalton, P., Lopez-Marcano, S., Rodriguez-Ramirez, A., ... Hoegh-Guldberg, O. (2020). Coral reef community changes in Karimunjawa National Park, Indonesia: Assessing the efficacy of management in the face of local and global stressors. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(10), 1–27. <https://doi.org/10.3390/jmse8100760>
- Kenyon, T. M., Doropoulos, C., Wolfe, K., Webb, G. E., Dove, S., Harris, D., & Mumby, P. J. (2023). Coral rubble dynamics in the Anthropocene and implications for reef recovery. In *Limnology and Oceanography* (Vol. 68, Issue 1, pp. 110–147). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/lno.12254>
- Lecours, V., Devillers, R., Schneider, D. C., Lucieer, V. L., Brown, C. J., & Edinger, E. N. (2015). Spatial scale and geographic context in benthic habitat mapping: Review and future directions. In *Marine Ecology Progress Series* (Vol. 535, pp. 259–284). Inter-Research. <https://doi.org/10.3354/meps11378>
- Liu, B., Guan, L., & Chen, H. (2021). Detecting 2020 Coral Bleaching Event in the Northwest Hainan Island Using CoralTemp SST and Sentinel-2B MSI Imagery. *Remote Sensing*, 13(23). <https://doi.org/10.3390/rs13234948>
- Muftiadi, M. R., Supratman, O., & Gustomi, A. (2021). *Study On Coral Reef Ecosystem Health In The Of Ketawai Island Waters, Central Bangka Regency*. 15. <https://doi.org/https://doi.org/10.33019/akuatik.v15i2.3118>
- Nandika, M. R., Ulfa, A., Ibrahim, A., & Purwanto, A. D. (2023). Assessing the Shallow Water Habitat Mapping Extracted from High-Resolution Satellite Image with Multi Classification Algorithms. *Geomatics and Environmental Engineering*, 17(2), 69–87. <https://doi.org/10.7494/geom.2023.17.2.69>
- Neo, M. L., Eckman, W., Vicentuan, K., Teo, S. L. M., & Todd, P. A. (2015). The ecological significance of giant clams in coral reef ecosystems. In *Biological Conservation* (Vol. 181, pp. 111–123). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.11.004>

- Nomenisoa, A. L., Todinanahary, G., Edwin, H. Z., Razakarisoa, T., Israel, J. B., Raseta, S., Jaonalison, H., Mahafina, J., & Eeckhaut, I. (2024). Remote sensing of coral reef habitats in Madagascar using Sentinel-2 satellite images. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*, 23(2), 41–56. <https://doi.org/10.4314/wiojms.v23i2.4>
- Sulaiman, A., Ferdian, K. J., & Akbar, M. Y. (2023). Fighting Over the Bangka Sea: The Tin Mining Conflict in the Marine Area of Bangka Regency. *Journal of Governance*. <http://repository.ubb.ac.id/7768/>
- Syari, I. A., Nugraha, M. A., & Hudatwi, M. (2022). Dampak Penambangan Timah di Laut Terhadap Ekosistem Terumbu Karang di Pulau Pemuja dan Malang Duyung, Kabupaten Bangka Barat, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. *Journal of Tropical Marine Science*, 5(1), 63–69. <https://doi.org/10.33019/jour.trop.mar.sci.v5i1.2965>
- Tzotsos, A. (2006). *A Support Vector Machine Approach For Object Based Image Analysis*.
- van Woesik, R., & Kratochwill, C. (2022). A global coral-bleaching database, 1980–2020. *Scientific Data*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01121-y>
- Wahidin, N., Siregar, V. P., Nababan, B., Jaya, I., & Wouthuyzen, S. (2015). Object-based Image Analysis for Coral Reef Benthic Habitat Mapping with Several Classification Algorithms. *Procedia Environmental Sciences*, 24, 222–227. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.03.029>
- Woodhead, A. J., Hicks, C. C., Norström, A. V., Williams, G. J., & Graham, N. A. J. (2019). Coral reef ecosystem services in the Anthropocene. *Functional Ecology*, 33(6), 1023–1034. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13331>