

Integration of Agisoft Metashape and eCognition for Mapping Mangrove Ecosystems and Benthic Habitats Using UAV Technology

(Integrasi Agisoft Metashape Dan Ecognition Untuk Pemetaan Ekosistem Mangrove Dan Habitat Benthik Menggunakan Teknologi Uav)

Adnan S. Wantasen^{1*}, Wilmy E. Pelle², Alex. D. Kambey¹, Ari B. Rondinuwu¹,
Xavier L. Tamu'u¹, Unstain N.W.J. Rembet¹.

¹Water Resources Management Study Program, Faculty of Fisheries and Marine Sciences,
Sam Ratulangi University

²Marine Science Study Program, Faculty of Fisheries and Marine Sciences, Sam Ratulangi University.

*Corresponding author: awantasen@unsrat.ac.id

Manuscript received: 19 Nov. 2025. Revision accepted: 19 Jan. 2026

Abstract. Accurate mapping of coastal ecosystems is essential for marine resource management and biodiversity conservation. This study integrates UAV (Unmanned Aerial Vehicle) technology, Agisoft Metashape photogrammetry, and Object-Based Image Analysis (OBIA) using eCognition to map mangrove ecosystems and benthic habitats in the coastal area of Tiwoho Village, North Minahasa Regency. Data acquisition using a DJI drone produced 949 aerial photos at an altitude of 60.1 meters with 80% overlap covering an area of 0.361 km². An orthophotography with a spatial resolution of 1.43 cm/pixel was generated through photogrammetric processing in Agisoft Metashape. Image classification was performed using a two-level hierarchical approach: Level 1 for general zonation (land, shallow water, deep water) using rule-based classification, and Level 2 for detailed benthic habitat identification (primary mangrove, secondary mangrove, sand, seagrass, coral) using a Support Vector Machine (SVM) algorithm. Classification results showed an Overall Accuracy of 89% and a Kappa Index of 94.03%, with User's Accuracy ranging from 0.89 to 0.97 and Producer's Accuracy ranging from 0.92 to 0.99. This integrated workflow proved effective for coastal ecosystem mapping, achieving high accuracy, and can be replicated in other regions.

Keywords: UAV, photogrammetry, OBIA, Support Vector Machine, benthic habitat, mangrove

Abstrak. Pemetaan ekosistem pesisir yang akurat sangat penting untuk pengelolaan sumber daya laut dan konservasi biodiversitas. Penelitian ini mengintegrasikan teknologi UAV (Unmanned Aerial Vehicle), fotogrametri Agisoft Metashape, dan klasifikasi berbasis objek (OBIA) menggunakan eCognition untuk memetakan ekosistem mangrove dan habitat benthik di pesisir Desa Tiwoho, Kabupaten Minahasa Utara. Akuisisi data menggunakan drone DJI menghasilkan 949 foto udara pada ketinggian 60,1 meter dengan overlap 80% mencakup area seluas 0,361 km². Orthophoto dengan resolusi spasial 1,43 cm/pixel dihasilkan melalui pemrosesan fotogrametri di Agisoft Metashape. Klasifikasi citra dilakukan menggunakan pendekatan hierarkis dua level: Level 1 untuk zonasi umum (daratan, laut dangkal, laut dalam) menggunakan rule-based classification, dan Level 2 untuk identifikasi habitat benthik detail (mangrove primer, mangrove sekunder, pasir, lamun, karang) menggunakan algoritma Support Vector Machine (SVM). Hasil klasifikasi menunjukkan Overall Accuracy 89% dan Kappa Index 94,03% dengan User's Accuracy berkisar 0,89-0,97 dan Producer's Accuracy 0,92-0,99. Integrasi workflow ini terbukti efektif untuk pemetaan ekosistem pesisir dengan akurasi tinggi dan dapat direplikasi di wilayah lain.

Kata kunci: UAV, fotogrametri, OBIA, Support Vector Machine, habitat benthik, mangrove

PENDAHULUAN

Ekosistem pesisir, khususnya mangrove dan habitat benthik, memiliki peran vital dalam menjaga keseimbangan ekologis, melindungi garis pantai dari abrasi, menyediakan habitat bagi berbagai spesies laut, serta mendukung mata pencaharian masyarakat pesisir (Mastu, 2018; Rondinuwu et al., 2021). Namun, tekanan antropogenik seperti konversi lahan, pencemaran, dan perubahan iklim mengancam keberadaan ekosistem ini, sehingga diperlukan sistem monitoring dan pemetaan yang akurat untuk mendukung upaya konservasi dan pengelolaan berkelanjutan.

Perkembangan teknologi UAV (Unmanned Aerial Vehicle) atau drone dalam beberapa tahun terakhir telah membuka peluang baru dalam pemetaan ekosistem pesisir dengan resolusi spasial tinggi, efisiensi waktu, dan biaya yang lebih rendah dibandingkan metode konvensional (Farhaby et al., 2023; Pamungkas et al., 2022). UAV mampu mengakuisisi data citra dengan resolusi sentimeter yang sangat detail, memungkinkan identifikasi fitur-fitur ekosistem pesisir dengan presisi tinggi. Namun, data citra beresolusi tinggi ini memerlukan metode analisis yang tepat untuk mengekstraksi informasi spasial secara akurat.

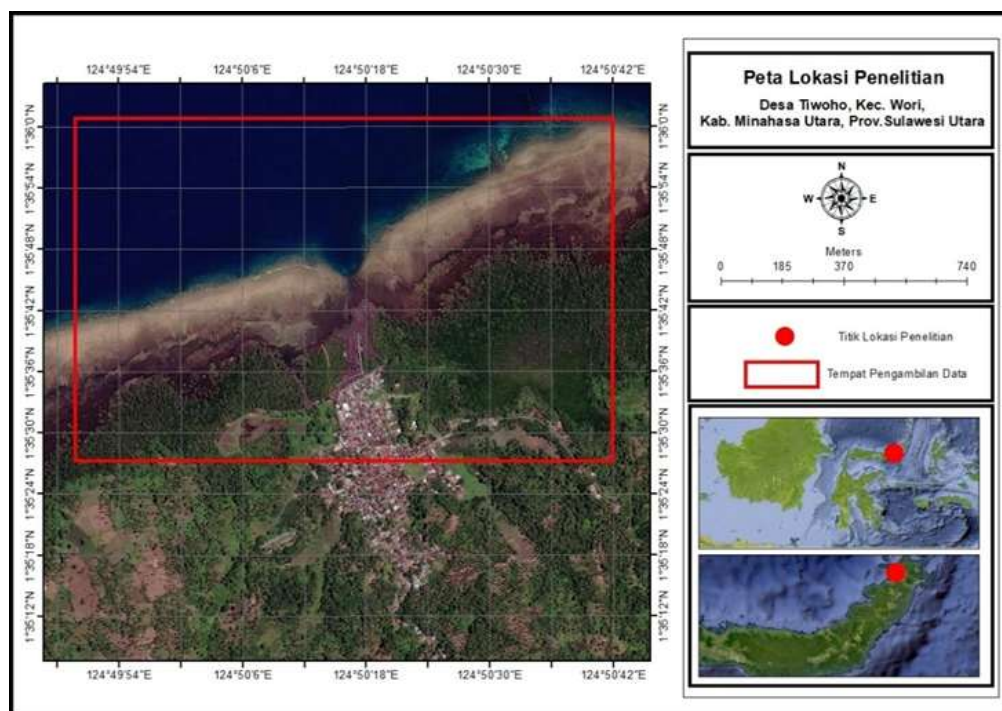
Agisoft Metashape merupakan perangkat lunak fotogrametri yang banyak digunakan untuk pemrosesan foto udara menjadi orthophoto dan Digital Elevation Model (DEM) berkualitas tinggi (Nugroho et al., 2024). Sementara itu, eCognition Developer menyediakan platform untuk klasifikasi citra berbasis objek (Object-Based Image Analysis/OBIA) yang mempertimbangkan tidak hanya nilai spektral pixel, tetapi juga konteks spasial, bentuk, tekstur, dan hubungan antar objek (Sari & Syah, 2021). Pendekatan OBIA terbukti lebih efektif dibandingkan klasifikasi berbasis pixel untuk citra beresolusi tinggi karena mampu mengurangi efek salt-and-pepper dan meningkatkan akurasi pemetaan (Rondonuwu et al., 2021).

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mendokumentasikan metodologi terintegrasi dari akuisisi data UAV, pemrosesan fotogrametri menggunakan Agisoft Metashape, hingga klasifikasi habitat menggunakan OBIA di eCognition untuk pemetaan ekosistem mangrove dan habitat bentik. Integrasi ini diharapkan dapat menghasilkan peta habitat pesisir dengan akurasi tinggi yang dapat direplikasi di wilayah lain sebagai referensi metodologis untuk penelitian dan pengelolaan ekosistem pesisir.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Desember 2025 di wilayah pesisir Desa Tiwoho, Kecamatan Wori, Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara (Gambar 01). Lokasi penelitian dipilih karena memiliki keanekaragaman ekosistem pesisir yang representatif, meliputi ekosistem mangrove, padang lamun, dan terumbu karang dalam satu wilayah yang kompak, sehingga cocok untuk pengembangan metodologi pemetaan terintegrasi.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Alat dan bahan penelitian

No	Alat / Bahan	Keterangan / Kegunaan
1	Drone DJI (quadcopter)	Mengambil citra foto udara wilayah pesisir
2	Smartphone (DroneDeploy)	Merencanakan jalur terbang otomatis
3	Laptop	Mengolah citra menggunakan berbagai perangkat lunak
4	Agisoft Metashape 2.2.1	Pemrosesan fotogrametri: alignment, depth maps, DEM, orthomosaic
5	ArcMap 10.8	Membuat training sample dan peta tematik
6	eCognition Developer	Segmentasi dan klasifikasi citra berbasis objek (OBIA)
7	Citra foto udara	Bahan utama untuk pemetaan, analisis spasial, segmentasi, dan klasifikasi

Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan utama yang terintegrasi, meliputi persiapan akuisisi data, pemotretan udara menggunakan UAV, pemrosesan fotogrametri, pembuatan training sample, klasifikasi citra berbasis objek, dan uji akurasi.

1. Persiapan dan Perencanaan Akuisisi Data

Sebelum pelaksanaan pemetaan, dilakukan pengecekan fisik terhadap kondisi drone meliputi baling-baling, baterai, kamera, dan kontroler untuk memastikan semua komponen berfungsi optimal. Perencanaan jalur terbang dibuat menggunakan aplikasi DroneDeploy dengan pengaturan parameter ketinggian terbang, sidelap, dan frontlap yang disesuaikan dengan tujuan pemetaan. Area survei ditentukan berdasarkan batas ekosistem pesisir yang akan dipetakan, dengan mempertimbangkan aksesibilitas dan kondisi cuaca.

2. Akuisisi Foto Udara

Akuisisi citra dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi perairan dan cuaca. Pemotretan dilakukan pada pagi hari (08:00-10:00 WITA) saat kondisi cahaya optimal dan air laut surut untuk memaksimalkan visibilitas habitat benthik. Drone diterbangkan pada ketinggian 60,1 meter dengan pengaturan overlap 80% (sidelap dan frontlap) untuk memastikan cakupan area yang memadai dan kualitas rekonstruksi 3D yang baik. Akuisisi menghasilkan 949 foto dengan tingkat keberhasilan 100% mencakup area seluas 0,361 km².

3. Pemrosesan Fotogrametri dengan Agisoft Metashape

Foto udara yang telah diakuisisi diproses menggunakan Agisoft Metashape 2.2.1 melalui tahapan berikut:

Alignment: Mengidentifikasi titik-titik yang sama pada setiap foto dan melakukan penyelarasan untuk membangun sparse point cloud. Proses ini menggunakan algoritma Structure from Motion (SfM) untuk menentukan posisi dan orientasi kamera.

Build Depth Maps: Rekonstruksi model tiga dimensi dari hasil pemotretan foto udara yang menjadi dasar pembuatan DEM. Depth maps menghitung kedalaman setiap pixel untuk membentuk dense point cloud.

Build Texture: Menghasilkan keseimbangan warna dan tingkat detail pada area pemotretan untuk model 3D, memastikan visualisasi yang realistis dari permukaan yang direkonstruksi.

Build DEM (Digital Elevation Model): Menghasilkan peta ketinggian yang menggambarkan geometri permukaan dari hasil penggabungan foto. DEM digunakan untuk analisis topografi dan sebagai input untuk koreksi orthophoto.

Build Orthomosaic: Menghasilkan citra foto udara yang telah terkoreksi secara geometrik dengan resolusi spasial 1,43 cm/pixel. Orthomosaic ini menjadi data dasar untuk analisis klasifikasi habitat.

4. Pembuatan Training Sample

Training sample dibuat menggunakan ArcMap 10.8 berdasarkan interpretasi visual citra ortofoto dan data lapangan. Digitalisasi manual dilakukan berdasarkan karakteristik spektral, tekstur, dan konteks spasial untuk setiap kelas habitat (mangrove primer, mangrove sekunder, pasir, lamun, karang, daratan, laut). Jumlah sampel disesuaikan dengan kompleksitas dan variabilitas masing-masing kelas untuk memastikan representasi yang memadai dalam proses supervised classification.

5. Klasifikasi Citra dengan eCognition (OBIA)

Klasifikasi dilakukan menggunakan pendekatan hierarchical OBIA dengan dua tingkat:

Klasifikasi Level 1 (Zonasi Umum): Segmentasi citra dilakukan dengan parameter scale 100, shape 0,1, dan compactness 0,5. Klasifikasi berbasis aturan (rule-based) diterapkan menggunakan threshold nilai spektral dan Normalized Difference Water Index (NDWI) untuk memisahkan wilayah menjadi tiga kelas utama: daratan (reflektansi tinggi pada band merah dan NIR), laut dangkal (nilai NDWI positif dengan kedalaman <3 meter), dan laut dalam (nilai NDWI sangat positif dengan kedalaman >3 meter).

Klasifikasi Level 2 (Habitat Bentik): Analisis difokuskan pada zona laut dangkal hasil Level 1. Dilakukan segmentasi ulang dengan parameter scale 50, shape 0,2, dan compactness 0,5 untuk mengidentifikasi objek-objek habitat yang lebih detail. Klasifikasi menggunakan algoritma Support Vector Machine (SVM) dengan kernel Radial Basis Function (RBF) yang telah dilatih menggunakan training sample. SVM dipilih karena kemampuannya menangani data multidimensional dan non-linear dengan akurasi tinggi. Kelas-kelas yang diidentifikasi meliputi: mangrove primer, mangrove sekunder, pasir, lamun, dan karang.

6. Uji Akurasi

Evaluasi akurasi dilakukan menggunakan matriks konfusi (confusion matrix) untuk menghitung Overall Accuracy (OA), User's Accuracy (UA), Producer's Accuracy (PA), dan Kappa Index. Data validasi diperoleh dari titik-titik ground truth yang dikumpulkan secara terpisah dari training sample untuk memastikan independensi evaluasi. Interpretasi tingkat akurasi mengacu pada kategori Viera & Garrett (2005) dimana nilai Kappa >0,81 menunjukkan kesepakatan yang hampir sempurna (almost perfect agreement).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Akuisisi Foto Udara

Akuisisi foto udara menghasilkan 949 foto dengan tingkat keberhasilan 100%, menunjukkan efisiensi proses pemetaan dan kesesuaian parameter yang ditetapkan. Informasi detail akuisisi data disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Informasi akuisisi data foto udara

Parameter	Nilai
Jumlah foto (terpakai)	949 foto (949 foto)
Ketinggian terbang	60,1 meter
Luas area penelitian	0,361 km ²
Overlap (sidelap & frontlap)	80%
Resolusi spasial orthophoto	1,43 cm/pixel

Ketinggian terbang 60,1-meter yang diterapkan sesuai dengan rekomendasi untuk pemetaan habitat pesisir yang membutuhkan resolusi spasial tinggi namun tetap mempertahankan coverage area yang memadai (Nugroho et al., 2024). Overlap 80% memastikan kualitas rekonstruksi fotogrametri yang optimal dan meminimalkan distorsi geometrik pada hasil orthophoto.

Orthophoto Digital

Orthophoto digital dihasilkan melalui pemrosesan 949 foto udara menggunakan Agisoft Metashape 2.2.1 dengan tahapan align photos, pembuatan depth maps, build texture, build DEM, dan build orthomosaic. Hasil akhir berupa citra orthophoto dengan resolusi spasial 1,43 cm/pixel yang telah terkoreksi secara geometrik dan siap untuk analisis klasifikasi habitat (Gambar 02).

Resolusi spasial yang sangat tinggi ini memungkinkan identifikasi fitur-fitur ekosistem pesisir secara detail, termasuk kanopi mangrove individu, patch lamun, dan formasi karang. Kualitas orthophoto yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh kondisi pemotretan, dengan pemotretan saat air surut dan cahaya optimal menghasilkan visibilitas habitat bentik yang maksimal.



Gambar 02. Orthophoto Wilayah Kajian

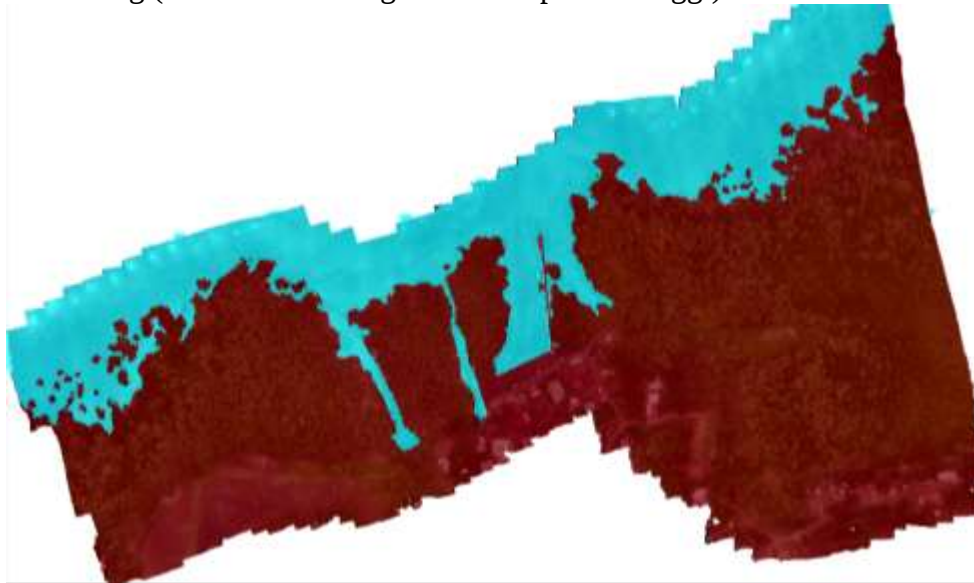
Klasifikasi Level 1: Zonasi Umum Wilayah Pesisir

Klasifikasi Level 1 berhasil memisahkan citra menjadi tiga kelas utama: daratan, laut dangkal, dan laut dalam menggunakan pendekatan rule-based classification. Parameter segmentasi (scale 100, shape 0,1, compactness 0,5) dipilih untuk menghasilkan objek-objek yang merepresentasikan zonasi umum wilayah pesisir tanpa over-segmentation. Threshold klasifikasi didasarkan pada analisis histogram nilai spektral dan indeks vegetasi/air, dengan daratan dicirikan oleh reflektansi tinggi pada band NIR, laut dangkal memiliki nilai NDWI positif dengan visibilitas dasar perairan, dan laut dalam ditandai dengan nilai NDWI sangat positif dan reflektansi rendah akibat absorpsi air yang dalam (Gambar 03).

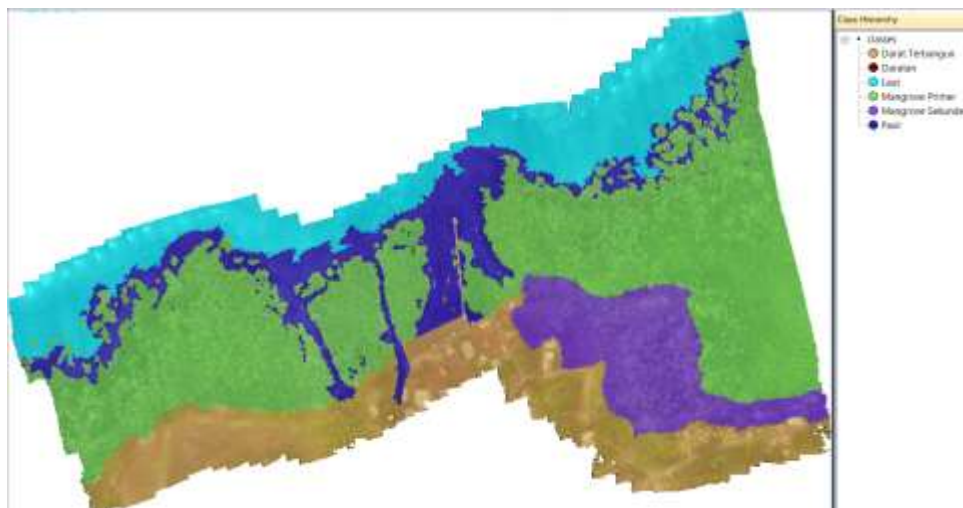
Klasifikasi Level 2: Identifikasi Habitat Laut Dangkal

Klasifikasi Level 2 difokuskan pada zona laut dangkal untuk mengidentifikasi habitat bentik secara detail menggunakan algoritma Support Vector Machine (SVM). Parameter segmentasi yang lebih halus (scale 50, shape 0,2, compactness 0,5) diterapkan untuk menghasilkan objek-objek habitat yang lebih spesifik (Gambar 04). SVM dengan kernel RBF mampu menangani kompleksitas spektral dan spasial habitat bentik yang saling berdekatan dan memiliki karakteristik yang overlap. Hasil klasifikasi mengidentifikasi lima kelas habitat

utama: mangrove primer (dengan kanopi rapat dan homogen), mangrove sekunder (kanopi lebih terbuka dengan gap), pasir (reflektansi sangat tinggi), lamun (tekstur halus dengan nilai spektral sedang), dan karang (tekstur kasar dengan variasi spektral tinggi)



Gambar 03. Hasil klasifikasi Level 1



Gambar 04. Hasil klasifikasi Level 2

Uji Akurasi Klasifikasi

Evaluasi akurasi menggunakan confusion matrix menunjukkan Overall Accuracy sebesar 89% dan Kappa Index 94,03% (Tabel 3). Berdasarkan kategori Viera & Garrett (2005), nilai Kappa $>0,81$ menunjukkan tingkat kesepakatan yang hampir sempurna (almost perfect agreement) antara hasil klasifikasi dengan data referensi, mengindikasikan reliabilitas tinggi dari metode yang digunakan.

User's Accuracy (UA) berkisar antara 0,89-0,97, dengan kelas mangrove primer dan daratan menunjukkan akurasi tertinggi (0,97). Producer's Accuracy (PA) berkisar antara 0,91-0,97, mengindikasikan konsistensi yang baik dalam pengenalan setiap kelas habitat. Kelas mangrove primer menunjukkan akurasi tertinggi (UA=0,97, PA=0,96) karena karakteristik spektral yang sangat khas dengan reflektansi tinggi pada band NIR dan struktur kanopi yang homogen. Sementara itu, kelas pasir menunjukkan akurasi sedikit lebih rendah (UA=0,91,

PA=0,91) akibat beberapa misklasifikasi dengan laut dangkal di area transisi, dimana sedimen tersuspensi dapat meningkatkan reflektansi air sehingga menyerupai substrat pasir.

Distribusi Luasan Habitat

Hasil klasifikasi habitat menunjukkan distribusi luasan yang bervariasi di area penelitian (Tabel 4). Analisis distribusi luasan habitat memberikan informasi kuantitatif yang penting untuk pemahaman struktur ekosistem pesisir dan perencanaan pengelolaan sumber daya

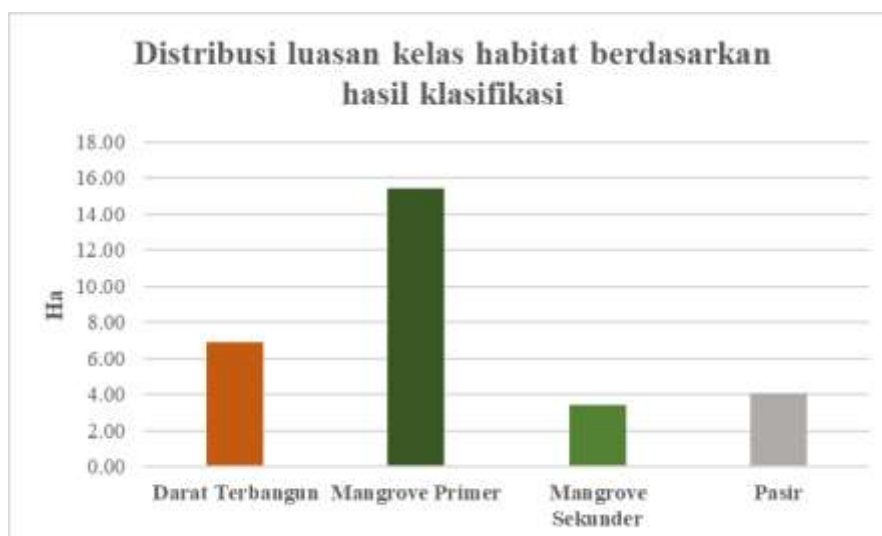
Tabel 3. Confusion matrix hasil klasifikasi ekosistem pesisir

Kelas	Darat	Laut	Mang. Primer	Mang. Sek.	Pasir	UA
Darat	70	0	1	2	0	0,97
Laut	0	59	0	0	3	0,92
Mangrove Primer	0	2	140	0	1	0,97
Mangrove Sekunder	1	0	5	72	3	0,89
Pasir	1	3	0	2	59	0,91
PA	0,97	0,92	0,96	0,94	0,91	

Overall Accuracy = 89%; Kappa Index = 94,03%

Tabel 4. Distribusi luasan kelas habitat hasil klasifikasi

Kelas Habitat	Luas Area (ha)	Persentase (%)
Darat Terbangun	6,913946	24,54
Mangrove Primer	15,446246	54,83
Mangrove Sekunder	3,445733	12,23
Pasir	4,096728	14,54
Total	29,902653	100,00



Gambar 05. Distribusi luasan kelas habitat berdasarkan hasil klasifikasi

Distribusi luasan habitat menunjukkan bahwa Mangrove Primer mendominasi area penelitian dengan luasan 15,45 ha (54,83%), diikuti oleh Darat Terbangun 6,91 ha (24,54%), Pasir 4,10 ha (14,54%), dan Mangrove Sekunder 3,45 ha (12,23%). Dominasi mangrove primer mengindikasikan kondisi ekosistem mangrove yang relatif baik dengan tutupan vegetasi yang lebat dan struktur kanopi yang rapat. Hal ini sesuai dengan karakteristik pesisir Desa Tiwoho yang masih memiliki kawasan mangrove alami yang terjaga.

Proporsi mangrove sekunder yang lebih kecil (12,23%) kemungkinan merupakan area yang mengalami gangguan antropogenik ringan atau area regenerasi alami. Perbedaan yang signifikan antara luasan mangrove primer dan sekunder (54,83% vs 12,23%) menunjukkan bahwa sebagian besar ekosistem mangrove di lokasi penelitian masih dalam kondisi primer dengan gangguan yang minimal. Keberadaan area pasir (14,54%) mengindikasikan adanya zona transisi antara daratan dan laut yang menjadi habitat penting untuk berbagai biota pesisir. Sementara itu, proporsi darat terbangun (24,54%) mencerminkan aktivitas pemukiman dan infrastruktur di kawasan pesisir yang perlu dikelola dengan mempertimbangkan keseimbangan ekologis.

Integrasi Agisoft Metashape dan eCognition

Integrasi antara Agisoft Metashape dan eCognition menghasilkan workflow yang efektif dan efisien untuk pemetaan ekosistem pesisir. Agisoft Metashape berperan krusial dalam menghasilkan orthophoto berkualitas tinggi dengan resolusi spasial yang sangat detail (1,43 cm/pixel), yang menjadi dasar analisis klasifikasi habitat. Kualitas geometrik dan radiometrik orthophoto sangat menentukan keberhasilan klasifikasi selanjutnya, sehingga tahapan pemrosesan fotogrametri harus dilakukan dengan parameter yang optimal.

Keunggulan pendekatan OBIA dibandingkan klasifikasi pixel-based terletak pada kemampuannya memanfaatkan informasi kontekstual, bentuk, dan hubungan spasial antar objek (Rondonuwu et al., 2021; Sari & Syah, 2021). Pada citra beresolusi sangat tinggi dari UAV, klasifikasi pixel-based cenderung menghasilkan efek salt-and-pepper akibat variabilitas spektral dalam satu kelas habitat. OBIA mengatasi masalah ini dengan mengelompokkan pixel-pixel yang homogen menjadi objek terlebih dahulu, kemudian mengklasifikasi objek berdasarkan multiple features (spektral, geometri, tekstur, konteks).

Pendekatan hierarchical classification dengan dua level memberikan fleksibilitas dalam mengoptimalkan parameter segmentasi dan metode klasifikasi untuk setiap tingkat detail. Level 1 menggunakan rule-based classification yang cepat dan interpretable untuk zonasi umum, sementara Level 2 menggunakan machine learning (SVM) yang lebih robust untuk klasifikasi habitat detail dengan boundary yang kompleks. Strategi ini lebih efisien dibandingkan single-level classification yang harus mengakomodasi semua kelas sekaligus dengan satu set parameter.

Pemilihan algoritma SVM dengan kernel RBF pada Level 2 didasarkan pada kemampuannya menangani non-linearity dan high-dimensional feature space dengan sample training yang terbatas (Purboyo et al., 2024; Maxwell et al., 2018). Dibandingkan dengan Random Forest atau Maximum Likelihood, SVM menunjukkan performa superior pada dataset citra UAV dengan resolusi tinggi karena kemampuannya menemukan hyperplane optimal yang memaksimalkan margin antar kelas, sehingga lebih robust terhadap noise dan overlap spektral.

Workflow terintegrasi ini dapat direplikasi di wilayah pesisir lain dengan melakukan penyesuaian parameter segmentasi dan threshold klasifikasi sesuai karakteristik lokal. Faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam replikasi meliputi: (1) kondisi pemotretan (waktu, cuaca, pasang-surut) yang mempengaruhi visibilitas habitat, (2) karakteristik spektral lokal yang dapat berbeda akibat variasi sedimen dan kualitas air, (3) kompleksitas landscape yang menentukan

parameter segmentasi optimal, dan (4) ketersediaan training data yang representatif untuk supervised classification.

Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Hasil Overall Accuracy 89% yang diperoleh dalam penelitian ini sebanding atau lebih tinggi dari beberapa penelitian sejenis. Rondonuwu et al. (2021) yang menggunakan pendekatan serupa (UAV dan OBIA) di perairan Sulawesi Utara memperoleh Overall Accuracy 86%. Farhaby et al. (2023) dengan metode UAV-fotogrametri untuk pemetaan habitat pesisir mencapai akurasi 84%. Pamungkas et al. (2022) menggunakan kombinasi UAV dan machine learning memperoleh akurasi 87%. Peningkatan akurasi dalam penelitian ini dapat diatribusikan pada: (1) resolusi spasial yang lebih tinggi (1,43 cm/pixel), (2) penggunaan hierarchical classification yang lebih targeted, dan (3) optimasi parameter segmentasi untuk setiap level klasifikasi.

Namun demikian, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pertama, akuisisi data hanya dilakukan pada satu waktu (single temporal), sehingga tidak dapat menangkap dinamika temporal ekosistem pesisir seperti perubahan musiman atau dampak events ekstrem. Kedua, klasifikasi habitat benthik (Level 2) dibatasi pada zona laut dangkal dengan kedalaman <3 meter dimana visibilitas dasar perairan masih memadai; untuk perairan lebih dalam diperlukan integrasi dengan data bathymetric atau multispectral. Ketiga, validasi akurasi dilakukan menggunakan ground truth point-based yang mungkin tidak sepenuhnya merepresentasikan variabilitas spasial setiap kelas habitat, terutama untuk habitat yang sangat heterogen seperti mangrove sekunder.

Implikasi untuk Pengelolaan Pesisir

Metodologi yang dikembangkan dalam penelitian ini memiliki implikasi praktis yang signifikan untuk pengelolaan ekosistem pesisir. Peta habitat dengan akurasi tinggi dan resolusi spasial detail dapat digunakan sebagai baseline data untuk monitoring perubahan ekosistem, identifikasi area prioritas konservasi, dan evaluasi efektivitas program restorasi mangrove. Workflow yang cost-effective dan dapat direplikasi memungkinkan implementasi regular monitoring dengan frekuensi yang lebih tinggi dibandingkan metode konvensional, sehingga perubahan ekosistem dapat dideteksi lebih cepat dan respons pengelolaan dapat dilakukan secara adaptive. Integrasi dengan platform GIS dan database spasial memfasilitasi disseminasi informasi kepada stakeholders (pemerintah daerah, masyarakat, NGO) untuk mendukung decision-making berbasis sains dalam pengelolaan kawasan pesisir berkelanjutan.

KESIMPULAN

Integrasi Agisoft Metashape dan eCognition menghasilkan workflow yang efektif untuk pemetaan ekosistem mangrove dan habitat benthik menggunakan teknologi UAV dengan akurasi tinggi (Overall Accuracy 89%, Kappa Index 94,03%). Pendekatan hierarchical OBIA dengan dua level klasifikasi terbukti optimal untuk mengakomodasi perbedaan kompleksitas spasial antara zonasi umum dan habitat detail.

Metodologi ini dapat direplikasi di wilayah pesisir lain dengan penyesuaian parameter sesuai karakteristik lokal, dan memiliki potensi aplikasi untuk mendukung monitoring ekosistem pesisir secara berkala, identifikasi area prioritas konservasi, serta evaluasi program restorasi mangrove. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengintegrasikan data temporal multi-waktu untuk analisis perubahan ekosistem, serta menggabungkan data bathymetric atau multispectral untuk memperluas coverage pemetaan ke perairan yang lebih dalam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Sam Ratulangi atas dukungan pendanaan penelitian ini melalui Riset Dasar Unggulan Unsrat Klaster 1 yang dibiayai dalam Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) Badan Layanan Umum, Nomor: SP DIPA – 139.03.2.693382/2025, Universitas Sam Ratulangi, serta kepada masyarakat Desa Tiwoho yang telah memberikan izin dan dukungan selama pelaksanaan penelitian lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Farhaby, A. M., Muslihudin, & Priyambodo, S. (2023). Pemetaan habitat pesisir menggunakan UAV dan fotogrametri di Desa Tukak. *Jurnal Ilmu Kelautan Tropis*, 15(2), 234-245. <https://doi.org/10.29244/jikt.v15i2.xxxxx>
- Hartono, P., & Darmawan, S. (2019). Analisis karakteristik spektral untuk klasifikasi tutupan lahan pesisir. *Geomatika Indonesia*, 12(1), 23-34.
- Marwati, S., Jaya, I. N. S., & Arifin, H. S. (2018). Akurasi klasifikasi citra untuk pemetaan habitat menggunakan confusion matrix. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 10(3), 675-689.
- Mastu, L. O. K. (2018). Pemetaan ekosistem terumbu karang menggunakan teknologi drone di Perairan Teluk Lasongko. *Jurnal Ilmu Kelautan SPERMONDE*, 4(2), 61-67.
- Maxwell, A. E., Warner, T. A., & Fang, F. (2018). Implementation of machine-learning classification in remote sensing: An applied review. *International Journal of Remote Sensing*, 39(9), 2784-2817. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1433343>
- Millard, K., & Richardson, M. (2015). On the importance of training data sample selection in random forest image classification: A case study in peatland ecosystem mapping. *Remote Sensing*, 7(7), 8489-8515. <https://doi.org/10.3390/rs70708489>
- Muhammad, F., Sapardi, & Kahar, S. (2016). Validasi akurasi klasifikasi citra satelit untuk pemetaan habitat benthik. *Journal Airaha*, 5(1), 12-19.
- Nugroho, R. A., Prasetyo, Y., & Haniah, H. (2024). Optimasi parameter fotogrametri drone untuk pemetaan terumbu karang. *Jurnal Geodesi Undip*, 13(1), 68-78.
- Pamungkas, D. A., Setiawan, F., & Winarso, G. (2022). Aplikasi UAV untuk pemetaan habitat pesisir di Pulau Pikus. *Majalah Geografi Indonesia*, 36(2), 212-223.
- Purboyo, T. W., Pradana, M. S., & Sari, C. A. (2024). Support Vector Machine untuk klasifikasi citra penginderaan jauh. *Jurnal Sistem Komputer*, 14(1), 45-56.
- Rondonuwu, A. B., Lumingas, L. J. L., & Kalangi, P. N. I. (2021). Pemetaan habitat laut dangkal menggunakan citra drone dan Object-Based Image Analysis (OBIA) di perairan pesisir Sulawesi Utara. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*, 9(1), 1-12.
- Sari, N. M., & Syah, A. F. (2021). Klasifikasi tutupan lahan pesisir menggunakan kombinasi drone dan machine learning. *Jurnal Geografi Lingkungan Tropik*, 5(2), 89-101.
- Semyonov, D. (2006). *Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition*. Agisoft LLC. St. Petersburg, Russia.
- Viera, A. J., & Garrett, J. M. (2005). Understanding interobserver agreement: The kappa statistic. *Family Medicine*, 37(5), 360-363.