

Drone for a Cleaner Coast: Monitoring and Analysis of Marine Debris at Sindulang Beach

(Drone untuk Pesisir yang Lebih Bersih: Pemantauan dan Analisis Sampah Laut di Pantai Sindulang)

Joyce Christian Kumaat*¹ Grace Ezlin Batee¹

Program Studi Geografi, Fakultas Ilmu Sosial dan Hukum, Universitas Negeri Manado

*Corresponding author: joykekumaat@unima.ac.id

Manuscript received: 16 Sept 2023. Revision accepted: 29 Sept 2023.

Abstract

This research aims to evaluate the capabilities of the DJI Phantom 4 Pro unmanned aerial vehicle (UAV) in monitoring the accumulation points and analyzing the characteristics of marine debris stranded at Sindulang Beach. The research methodology employed a descriptive approach with a survey method, including data collection through observation, documentation, and direct field surveys. Aerial photos were obtained from the drone, along with ground photography using a GPS map camera and the drone itself. Data analysis was conducted using Agisoft Metashape Professional and ArcGIS 10.8 software to map the distribution of marine debris accumulation points. The drone monitoring results allowed us to describe the characteristics and variations in types of marine debris, with plastic waste dominating, followed by glass, rubber, and fabric debris. The DJI Phantom 4 Pro unmanned aerial vehicle produced high-resolution aerial photos, enabling the identification of the distribution of marine debris accumulation points at Sindulang Beach and the creation of distribution maps along the Sindulang coastal area. The mapping results provide valuable information about the distribution of debris on Sindulang Beach. Based on the monitoring results using the unmanned aerial vehicle (UAV) or drone, it was found that approximately 80% of the intertidal area at Sindulang Beach was covered by debris, indicating a significant level of pollution.

Keywords: *Marine Debris, Unmanned Aerial Vehicle, Sindulang*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan pesawat tanpa awak DJI Phantom 4 Pro dalam pemantauan titik kumpul sebaran marine debris serta menganalisis karakteristik marine debris yang terdampar di Pantai Sindulang. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan deskriptif dengan metode survei lapangan, termasuk pengumpulan data melalui observasi, dokumentasi, dan survei langsung. Foto udara diperoleh dari drone dan pemotretan darat menggunakan kamera GPS Map serta drone. Data dianalisis menggunakan perangkat lunak Agisoft Metashape Professional dan ArcGIS 10.8 untuk memetakan sebaran titik kumpul sampah laut. Hasil pemantauan dari drone memungkinkan kita untuk mendeskripsikan karakteristik dan variasi jenis sampah laut, dengan dominasi sampah plastik diikuti oleh sampah kaca, karet, dan kain. Pesawat tanpa awak DJI Phantom 4 Pro menghasilkan foto udara dengan resolusi tinggi, yang memungkinkan identifikasi sebaran titik kumpul sampah di Pantai Sindulang serta pembuatan peta sebarannya di sepanjang pesisir laut Sindulang. Hasil pemetaan ini memberikan informasi yang berharga tentang penyebaran sampah di pantai Sindulang. Berdasarkan hasil pemantauan menggunakan Unmanned Aerial Vehicle (UAV) / Drone, ditemukan bahwa sekitar 80% area pasang surut di pantai Sindulang telah tercakup oleh sampah, menunjukkan tingkat pencemaran yang signifikan.

Kata Kunci: *Marine Debris, Unmanned Aerial Vehicle, Sindulang*

PENDAHULUAN

Lokasi pesisir Sindulang berfungsi sebagai jalur transportasi kapal, pusat aktivitas nelayan, dan area rekreasi

(Wuisan, 2013). Sampah laut, yang didefinisikan sebagai limbah padat yang terus-menerus dihasilkan, dibuang, atau ditinggalkan di lingkungan laut oleh

manusia, merupakan masalah yang signifikan (Cordova, 2017; Johan et al., 2020). Menurut (Kandrot et al., 2022), sumber sampah laut dapat berasal dari aktivitas manusia maupun pengaruh alam, termasuk wisatawan pantai, nelayan, masyarakat pesisir, dan industri (Agamuthu et al., 2019; Sari et al., 2022; Watson et al., 2022). Keberadaan sampah di laut memiliki dampak negatif terhadap kehidupan biota laut, yang dapat menyebabkan kerusakan pada ekosistem laut dan, secara tidak langsung, memengaruhi kehidupan manusia. Masalah sampah di pesisir laut juga dapat memicu pencemaran lingkungan pesisir. Salah satu jenis sampah yang paling umum ditemukan di laut adalah limbah plastik. Jumlah limbah plastik terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi penduduk dan aktivitas manusia, baik di daratan maupun di laut. Pesisir Sindulang, yang terletak di pusat kota Manado dan dikenal sebagai destinasi wisata kuliner, memiliki potensi masalah pembuangan sampah ke laut Sindulang (Wuisan, 2013).

Dalam menghadapi kondisi pesisir Sindulang yang mengkhawatirkan karena banyaknya sebaran sampah yang belum dikelola dengan baik, diperlukan tindakan khusus untuk mencegah dampak negatifnya. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah melalui pemantauan persebaran sampah di pesisir laut Sindulang menggunakan teknologi

pemetaan yang semakin berkembang (Adade et al., 2021; Yohanlis & Putri, 2021). Salah satu teknologi yang efektif untuk kegiatan pemantauan dan penginderaan jauh, serta pemetaan dalam skala besar, adalah penggunaan Pesawat Tanpa Awak (Unmanned Aerial Vehicle/UAV) atau drone (Adade et al., 2021; Bak et al., 2019; Gonçalves et al., 2022).

Penggunaan survei udara dengan UAV (Adade et al., 2021) merupakan alternatif yang sangat baik dalam kegiatan pemantauan, karena mampu menghasilkan data citra dengan resolusi tinggi (Bao et al., 2018; Escobar-Sánchez et al., 2022). Penggunaan UAV dapat memberikan data aktual dengan resolusi tinggi untuk menyajikan hasil pemantauan sampah di Pantai Sindulang dengan tingkat akurasi yang tinggi. Oleh karena itu, pemantauan persebaran sampah ini sangat penting untuk memahami dan menganalisis pola penyebaran sampah yang terjadi di pesisir Sindulang.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahap, meliputi akuisisi data, metode pengumpulan dan pengolahan ortofoto, metode identifikasi sampah, metode perhitungan luas sampah, dan metode validasi baik untuk jenis sampah maupun ortofoto (Junarto & Djurjani, 2020; Saputra et al., 2022).



Gambar 1. DJI Phantom 4 Professional

Data

Dalam penelitian ini, kami menggunakan data primer yang diperoleh melalui pemetaan dengan penggunaan drone (Junarto & Djurjani, 2020; Saputra et al., 2022). Pengambilan data ini dilakukan dengan cermat pada tanggal 25 Januari 2023. Dataset yang kami peroleh mencakup dua jenis utama, yaitu orthophoto (foto udara yang telah mengalami koreksi geometrik) dan foto udara dalam format RAW (Aleem et al., 2022; Bak et al., 2019). Data ini menjadi landasan penting dalam penelitian kami untuk analisis lebih lanjut (Adade et al., 2021).

Metode pengumpulan dan pengolahan Orthophoto

Sebelum proses pengambilan foto udara dilakukan, kami melaksanakan pemasangan Ground Control Point (GCP) (Adade et al., 2021; Bao et al., 2018). GCP adalah penanda yang ditempatkan di atas permukaan bumi dengan presisi tinggi yang memungkinkan kami untuk mendapatkan koordinat yang akurat (Bao et al., 2018). GCP ini terbuat dari bahan plastik yang tahan terhadap kondisi cuaca ekstrem, seperti panas dan hujan, dan dicetak dengan angka yang mencolok untuk memudahkan pendeteksian oleh drone (Almeida et al., 2023). Koordinat GCP ini diukur menggunakan GPS Geodetik (Aleem et al., 2022) dengan tingkat ketelitian maksimal sekitar 2 cm. Data koordinat yang dihasilkan dari GCP ini nantinya akan digunakan dalam proses georektifikasi, memastikan akurasi spasial dalam pemetaan udara kami (Aleem et al., 2022; Bak et al., 2019).

Drone kemudian diterbangkan pada ketinggian yang telah ditentukan sebelumnya, dengan rute penerbangan yang telah dirancang melalui aplikasi Drone Deploy. Selama penerbangan, foto-foto yang memiliki sudut miring atau tidak tepat 90 derajat dibuang, sehingga yang tersisa adalah foto-foto yang siap untuk diolah menggunakan perangkat lunak Agisoft Photoscan. Pengolahan ini bertujuan untuk menghasilkan foto udara beresolusi tinggi

yang telah dikoreksi secara geometrik, yang sering disebut sebagai orthophoto. Dalam tahap identifikasi sampah, peneliti menggunakan perangkat lunak GPS Map Camera, yang tersedia sebagai aplikasi berbasis iOS atau Android pada smartphone. Melalui aplikasi ini, peneliti melakukan pemotretan objek sampah dengan mengoordinasikan lokasi secara akurat, sebuah proses yang disebut geotagging.

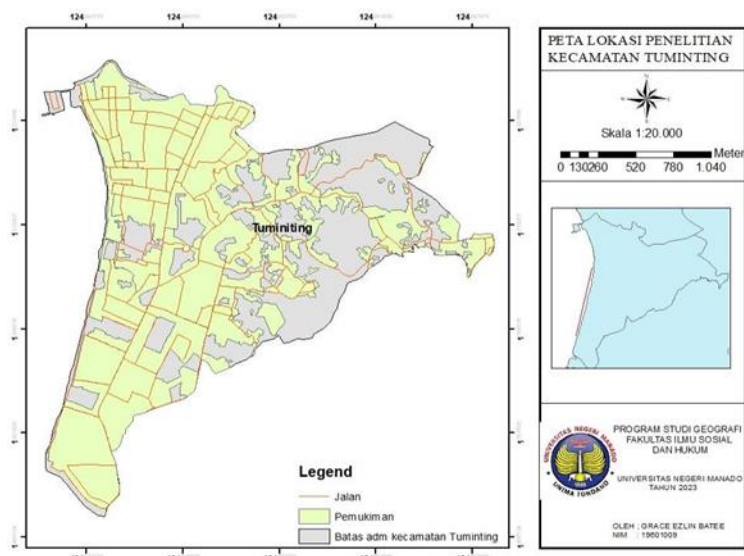
Hal ini memungkinkan pengguna untuk menghubungkan informasi geografis (koordinat) dengan gambar yang diambil, memfasilitasi analisis dan pelacakan yang lebih tepat terkait dengan sampah yang teridentifikasi. Selanjutnya, data hasil geotagging ini sangat penting dalam proses identifikasi dan pemantauan sampah, karena memberikan konteks spasial yang jelas terhadap lokasi masing-masing objek sampah yang terdokumentasi. Hal ini memungkinkan peneliti untuk mengintegrasikan data geografis dengan informasi visual dari foto-foto yang diambil, sehingga memudahkan dalam analisis, pelaporan, dan pengambilan keputusan terkait manajemen sampah secara lebih ilmiah dan efisien.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemetaan dilakukan di Pantai Sindulang, sebuah kawasan yang memiliki potensi alam yang menarik dan penting untuk dianalisis secara mendalam. Untuk mengakses data yang diperlukan, peneliti menggunakan teknologi canggih, yaitu drone DJI Phantom 4 Professional yang telah dilengkapi dengan gimbal dan kamera sederhana. Pantai Sindulang dipilih sebagai lokasi pemetaan karena memiliki ciri khas yang unik dan memerlukan pemantauan yang teliti. Wilayah yang menjadi fokus utama pemetaan adalah daerah sempadan pantai, yang memiliki dampak besar terhadap dinamika lingkungan laut dan daratan. Kawasan pantai Sindulang ini memiliki luas areal amatan sekitar 200meter x 200meter, yang dimulai dari tepi laut dan meluas menuju daratan. Dengan bantuan drone, peneliti dapat dengan mudah mencapai area yang

sulit dijangkau secara manual. Drone ini dilengkapi dengan gimbal yang memungkinkan kamera untuk menjaga

stabilitas dan akurasi gambar, sehingga data yang diperoleh akan memiliki kualitas yang optimal.



Gambar 2. Peta lokasi penelitian di pantai Sindulang

Selama penerbangan drone, parameter teknis yang cermat telah diatur. Ketinggian terbang drone diatur pada ketinggian 20 - 30 meter dari permukaan tanah, sehingga memberikan perspektif yang ideal untuk pemetaan. Kecepatan penerbangan drone diatur pada tingkat normal, memastikan kestabilan penerbangan dan kualitas gambar yang baik. Aplikasi Drone Deploy (Bin Mohd Zaidi & Tahar, 2021; Changsalak & Tiansawat, 2022) digunakan untuk merencanakan jalur terbang drone, sehingga memastikan cakupan yang tepat dan efisien dari wilayah yang akan dipetakan. Selain pemotretan udara, peneliti juga memasang Ground Control Point (GCP) di lokasi. GCP adalah penanda di atas permukaan bumi yang memiliki koordinat yang sangat akurat. Mereka terbuat dari bahan tahan cuaca dan dicetak dengan angka yang mencolok, sehingga dapat dengan mudah terdeteksi oleh drone. Data koordinat GCP diperoleh melalui penggunaan GPS Geodetik dengan tingkat ketelitian yang maksimal, yaitu sekitar 2 cm. Koordinat GCP ini akan digunakan dalam proses georeferensi, memastikan bahwa hasil pemetaan memiliki akurasi spasial yang tinggi.

Selanjutnya, hasil foto udara yang diambil dengan drone akan diolah menggunakan perangkat lunak Agisoft PhotoScan (Agisoft, 2018; Agisoft Software, 2016). Proses ini melibatkan beberapa tahap, termasuk penyusunan foto udara, pemotretan dengan sudut yang tepat, penggabungan dengan data GCP, serta pembangunan ortofoto dan model elevasi digital (DEM). Hasil pemetaan ini akan memberikan gambaran yang mendalam dan akurat tentang kondisi eksisting di Pantai Sindulang, yang nantinya akan menjadi dasar penting untuk berbagai jenis analisis, perencanaan pengembangan, dan upaya pelestarian yang berkelanjutan di kawasan tersebut.

Agisoft PhotoScan adalah perangkat lunak yang sangat berguna dalam pemodelan 3D berdasarkan foto atau gambar yang diambil secara stereo. Pada dasarnya, perangkat lunak ini memungkinkan rekonstruksi objek dalam tiga dimensi dengan menggunakan foto yang menggambarkan objek tersebut dari dua sudut pandang berbeda, baik dengan atau tanpa informasi posisi kamera yang eksak. Salah satu aplikasi utama Agisoft PhotoScan adalah pengolahan data dari foto udara yang diambil dengan bantuan

UAV atau drone. Dari data perekaman ini, perangkat lunak ini dapat menghasilkan mosaik ortofoto yang sangat detail dan akurat. Ortorektifikasi adalah proses yang memungkinkan data gambar menjadi representasi eksisting yang akurat mengenai sebaran objek dan lingkungan di lokasi tersebut. Selain itu, data ortofoto ini menjadi dasar yang sangat berharga untuk berbagai keperluan seperti pemantauan, perencanaan pengembangan, serta upaya-upaya pelestarian lingkungan. Agisoft PhotoScan juga memiliki kemampuan untuk menghasilkan titik tinggi (elevation point clouds) dan model elevasi digital (DEM) dengan resolusi tinggi. Ini sangat berguna dalam pemetaan dan analisis topografi. Selain itu, perangkat lunak ini mampu membuat tampilan 3D yang memungkinkan pengguna untuk secara

visual mengeksplorasi objek atau lingkungan yang direkam. Proses pembuatan ortofoto dan DEM menggunakan Agisoft PhotoScan melibatkan sejumlah tahapan yang termasuk impor foto dan rekonstruksi jalur terbang, penyesuaian foto (align photos), penggunaan Ground Control Point (GCP) untuk akurasi yang lebih tinggi, ortorektifikasi untuk mengoreksi distorsi geometrik, optimisasi penyesuaian, pembangunan titik tinggi yang padat (Dense Point Cloud), pembuatan model 3D (mesh), pembangunan model tekstur, dan akhirnya pembangunan model elevasi digital (DEM). Keseluruhan proses ini menyediakan alat yang kuat untuk analisis dan pemodelan lingkungan dalam tiga dimensi serta pemetaan topografi dengan tingkat ketelitian yang tinggi.



Gambar 3. Peta Hasil Survei Drone 2023

Geotagging distribusi sampah di Lokasi Penelitian

Data sampah yang berhasil dikumpulkan di Pantai Sindulang adalah hasil identifikasi sampah jenis anorganik dan sampah organik dengan ukuran makro, yaitu sampah yang memiliki panjang berkisar antara lebih dari 2,5 cm hingga kurang dari 1 meter, serta meso-debris, yang merupakan sampah laut dengan ukuran lebih besar dari 5 mm hingga kurang dari 2,5 cm (<https://kkp.go.id/djprl/p4k/page/1994->

sampah-laut-marine-debris). Proses identifikasi ini melibatkan pengamatan yang dilakukan dari titik P1 hingga P41, di mana setiap titik diberi kategori berdasarkan jumlah sampah yang terdapat di sekitarnya. Kategori yang digunakan untuk mengklasifikasikan jumlah sampah adalah sebagai berikut: SB (Sangat Banyak) untuk jumlah lebih dari 15 sampah, B (Banyak) untuk jumlah antara 10 hingga 15 sampah, CB (Cukup Banyak) untuk jumlah antara 5 hingga 10 sampah, S (Sedikit) untuk jumlah antara 1 hingga 5

sampah. Berdasarkan klasifikasi ini, dominasi sampah terjadi pada kategori SB, yang menunjukkan adanya lebih dari 15 sampah pada setiap titik pengamatan. Jenis sampah laut yang ditemukan di Pantai Sindulang mencakup jenis sampah organik seperti kayu, daun, sisa pecahan karang, dan sampah anorganik seperti plastik, busa, karet, kertas atau kardus, kain, dan kerak mikro atau kaca. Jenis sampah ini umumnya ditemui di lingkungan laut secara global, dan keberadaannya

mencakup hampir 80% dari luas daerah pasang surut. Pada saat kondisi pasang surut, sebaran sampah yang diidentifikasi cenderung terendap pada permukaan sedimen pantai. Sampah organik jenis kayu (Organik WD) dan sampah anorganik ukuran makro dan meso, khususnya plastik (PL), mendominasi jenis sampah yang terdapat di Pantai Sindulang. Temuan ini memberikan pemahaman yang penting tentang jenis dan sebaran sampah di kawasan pantai ini.

Tabel 1. Berbagai kode klasifikasi sampah dengan ukuran makro dan meso.

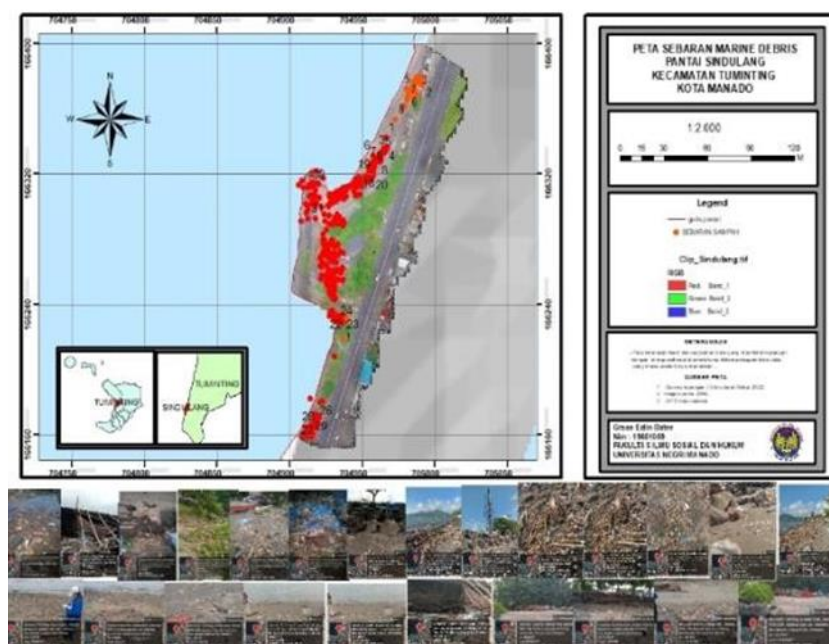
NO.	JENIS BAHAN	KATEGORI			
		SB	B	CB	S
1.	PL (Plastik)	✓	-	-	-
2.	FP (busa)	-	-	✓	-
3.	CL (Kain)	-	✓	-	-
4.	PC (Kertas dan kardus)	-	-	✓	-
5.	RB (Karet)	-	✓	-	-
6.	GC (Keramik kaca)	-	-	✓	-
7.	WD (Kayu)	✓	-	-	-
8.	OT (Bahan lainnya)	-	-	✓	-

Proses geotagging melibatkan pengambilan foto dengan merekam informasi posisi GPS, termasuk garis lintang, bujur, ketinggian, akurasi data, dan nama tempat. Meta data GPS ini kemudian diubah menjadi titik-titik penting untuk menganalisis persebaran sampah. Tahap awal melibatkan pengambilan foto di lokasi penelitian menggunakan aplikasi GPS Map Camera, dengan memastikan kelengkapan informasi dan koordinat yang tepat. Selanjutnya, foto diunggah ke laptop. Foto yang diambil dengan kamera yang dilengkapi geotagging memungkinkan penyimpanan informasi koordinat, yaitu garis lintang dan bujur lokasi pengambilan foto. Informasi ini kemudian disalin ke dalam spreadsheet seperti Microsoft Excel dengan pembuatan kolom data x dan y, untuk mempermudah analisis koordinat. Data ini kemudian diolah menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.8 dengan mengonversi data menjadi titik-titik, mengekspor dalam format Shapefile (SHP), dan membuat database. Foto-foto geotag ini juga dikonversi untuk memperoleh informasi yang diperlukan. Koordinat dari foto-foto ini kemudian

digunakan sebagai titik-titik (marker) yang menunjukkan lokasi pengambilan foto pada peta. Untuk membuat peta persebaran sampah di Sindulang, digunakan batas SHP untuk mengidentifikasi area penelitian.

Data ini diperlakukan dalam ArcGIS dengan memproyeksikan koordinat sesuai dengan sistem UTM 51'N untuk memastikan kesesuaian dengan lokasi. Selanjutnya, data citra dari drone diproses untuk membuat garis pantai melalui ArcCatalog. File yang telah disiapkan digunakan untuk membuat file SHP baru dalam bentuk garis atau polyline. Dalam tahap berikutnya, geodatabase dibuat untuk menyimpan data yang dihasilkan, dan data diekspor ke dalamnya. Atribut data ini kemudian digunakan untuk menghasilkan file data JPEG menggunakan perangkat kalkulator sistem. Foto-foto yang memiliki koordinat juga diberi tanda dalam peta menggunakan ArcToolbox pada ArcGIS. Selama proses ini, sebuah file SHP atau geodatabase baru dibuat untuk memproyeksikan koordinat ke dalam satu entitas yang koheren. Semua langkah ini bertujuan untuk menghasilkan

peta ilmiah yang dapat digunakan untuk menganalisis dan memvisualisasikan persebaran sampah di Sindulang.



Gambar 4. Peta Sebaran sampah di pesisir Sindulang

Berdasarkan hasil survey dan pengamatan langsung dengan menggunakan geotagging, ditemukan bahwa sebaran sampah di pesisir pantai Sindulang mencakup hampir 80% dari daerah pasang surut. Melalui 41 titik pengambilan sampel, hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah sampah sangat signifikan, dengan jenis sampah yang beragam, termasuk sampah organik dan sampah anorganik. Di pantai Sindulang, sampah plastik dan sampah organik, seperti kayu dan daun, mendominasi jenis sampah yang ditemukan. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya, seperti yang dilaporkan oleh Yormie (2018), yang mengindikasikan bahwa sebagian besar sampah di kota Manado berasal dari permukiman warga (sekitar 65,68%), diikuti oleh pasar tradisional (8,12%), pusat perniagaan (5,65%), dan kawasan khusus (2,4%). Penelitian-penelitian lain seperti (Adade et al., 2021) dan (Yohanlis & Putri, 2021) juga mendukung temuan ini, dengan menunjukkan bahwa sebagian besar sampah laut berasal dari sumber-sumber di

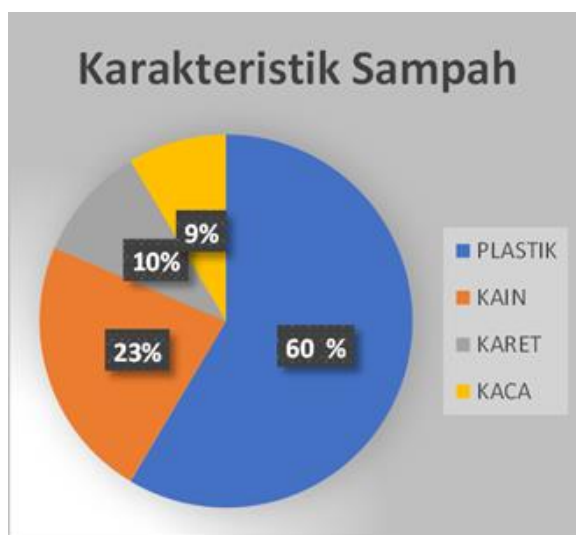
daratan, terutama dari permukiman padat penduduk yang kemudian terdampar di sekitar pantai.

Dalam konteks pengamatan Marine debris survey monitoring oleh (Barry et al., 2023; Sari et al., 2022), sampah laut dibagi menjadi beberapa tipe yang mencakup berbagai jenis sampah yang sering ditemukan di laut. Namun, berdasarkan hasil pengamatan di lokasi penelitian, ditemukan dua karakteristik utama dari sampah laut, yaitu Makro-debris dan Meso-debris. Jenis sampah yang ditemukan mencakup sampah anorganik seperti plastik, karet, dan kaca, serta sampah organik berupa kayu. Penting untuk dicatat bahwa di pantai Sindulang, sampah plastik mendominasi komposisi sampah laut yang ditemukan.

Karakteristik sampah yang ditemukan didominasi oleh plastik, dan selain plastik, jenis-jenis seperti kaca, karet, dan kain juga terdeteksi di lokasi penelitian. Hal ini menunjukkan bahwa aktivitas manusia, baik dari penduduk lokal maupun pengunjung, memberikan dampak yang signifikan terhadap jumlah dan sebaran

sampah di daerah tersebut. Dominasi proporsi sampah plastik dapat dijelaskan oleh densitas yang lebih rendah dibandingkan dengan densitas kaca, logam, dan air, sehingga plastik lebih mudah ditransportasikan (Agamuthu et al., 2019). Plastik, sebagai polimer organik sintetis, memiliki karakteristik bahan yang sangat cocok untuk digunakan dalam

kehidupan sehari-hari (Magalhães, 2021). Kemungkinan besar, sumber utama pencemaran sampah plastik di pantai Sindulang berasal dari aktivitas masyarakat, karena lokasi pantai ini berdekatan dengan pemukiman penduduk dan pusat kota (Adade et al., 2021; Bak et al., 2019; Gonçalves et al., 2022).



Gambar 5. Prosentasi karakteristik sampah dilokasi penelitian

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) di Lokasi Penelitian

Penggunaan teknologi drone, khususnya dengan menggunakan drone tipe DJI Phantom 4 Pro (Yohanlis & Putri, 2021), telah menjadi suatu metode yang sangat efektif dalam mendapatkan data foto udara yang memberikan informasi penting mengenai titik koordinat dan sebaran sampah di suatu area tertentu. Proses survei drone ini melibatkan beberapa tahapan kunci yang memungkinkan pengumpulan data yang akurat dan relevan. Tahapan pertama dalam survei drone adalah menentukan area yang akan disurvei dan mendokumentasikan dengan cermat lokasi sebaran sampah yang akan diidentifikasi. Setelah itu, drone diterbangkan pada ketinggian sekitar 20-30 meter di atas permukaan, mengambil serangkaian foto udara dari area yang ditentukan. Hasil foto udara ini sangat penting karena akan menjadi dasar untuk analisis selanjutnya.

Selama penerbangan drone, proses pengambilan foto udara dilakukan dengan teliti untuk memastikan bahwa data yang dihasilkan berkualitas tinggi dan mencakup seluruh area yang relevan. Hasil foto udara ini kemudian disimpan dengan baik untuk keperluan analisis yang akan datang.

Tahapan penerbangan drone biasanya dilakukan dalam dua kali penerbangan atau lebih, tergantung pada luas area yang akan disurvei. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa data yang terkumpul mencakup semua titik koordinat dan sebaran sampah yang diperlukan dalam analisis. Dengan teknologi drone dan pengambilan data foto udara, survei ini menjadi lebih efisien dan memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai sebaran sampah di area yang ditentukan. Dalam tahap analisis hasil foto udara, survei drone telah menghasilkan sebanyak 227 foto pada penerbangan pertama dan 185 foto pada penerbangan kedua, dengan total 412 foto

udara. Data foto tersebut kemudian diolah dengan menggabungkan citra foto udara menggunakan perangkat lunak Agisoft. Setelah itu, proses pengolahan foto udara dilanjutkan menggunakan aplikasi ArcGIS 10.8 untuk menghasilkan peta citra foto udara. Penting untuk dicatat bahwa pembentukan Orthophoto dilakukan setelah proses pemotretan, dan penggunaan perangkat lunak Agisoft Photoscan merupakan kunci dalam meraih hasil yang akurat dan berkualitas. Dalam konteks uji akurasi, dilakukan dengan menggunakan matriks kesalahan (error matrix) untuk mengukur akurasi keseluruhan. Overall accuracy (OA) dihitung sebagai persentase jumlah piksel yang terklasifikasikan dengan benar dibagi dengan jumlah total piksel yang digunakan. Terdapat juga producer accuracy (PA) yang berfungsi untuk menilai kebenaran hasil klasifikasi secara tematik, user accuracy (UA) yang mengukur ketelitian hasil klasifikasi terhadap seluruh objek yang dapat diidentifikasi, serta nilai kappa.

Pengujian akurasi pada data foto udara ini memiliki tujuan utama untuk memastikan bahwa data yang diperoleh dari foto udara sesuai dengan kondisi sebenarnya di lapangan. Dalam konteks teknis, perhitungan akurasi dilakukan dengan membandingkan data hasil klasifikasi dari foto udara dengan data lapangan yang merupakan kondisi sebenarnya di lokasi survei. Hal ini penting untuk memastikan validitas dan reliabilitas data yang digunakan dalam analisis lebih lanjut serta pengambilan keputusan yang tepat. Berdasarkan hasil pemantauan sampah di Pantai Sindulang, ditemukan bahwa produksi sampah yang paling melimpah adalah sampah plastik. Fenomena ini memiliki dampak yang signifikan terhadap tingginya jumlah sampah yang akhirnya tersebar di laut. Jenis sampah plastik yang umumnya ditemukan meliputi tutup botol, bungkus makanan, dan peralatan tangkap ikan. Keberadaan sampah plastik ini menjadi salah satu isu utama yang perlu diperhatikan dalam upaya pelestarian lingkungan dan kesehatan ekosistem

pesisir. Selain sampah plastik, penting untuk mencatat bahwa adanya vegetasi seperti daun dan kayu di sepanjang pesisir Sindulang juga turut berkontribusi pada sebaran sampah di pantai. Daun dan kayu yang terbawa oleh air laut dapat menjadi bagian dari limbah organik yang terakumulasi di sepanjang pantai. Oleh karena itu, untuk mengatasi masalah sampah di Pantai Sindulang, perlu dilakukan upaya yang komprehensif termasuk pengelolaan sampah plastik dan pemantauan serta penanganan limbah organik. Upaya-upaya ini penting untuk menjaga kebersihan pantai, melindungi ekosistem laut, serta mencegah dampak negatif terhadap kesehatan manusia dan keanekaragaman hayati di wilayah pesisir Sindulang.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari pengamatan dan pengujian alat untuk mengidentifikasi dan memetakan sampah di Pantai Sindulang adalah:

1. Pemantauan sampah menggunakan Unmanned Aerial Vehicle (UAV) telah terbukti efektif dalam menghasilkan foto udara resolusi tinggi, yang mampu mengidentifikasi sebaran dan titik kumpul sampah. Sebanyak 80% wilayah pasang surut di pesisir Sindulang telah terdampak oleh peningkatan jumlah sampah.
2. Jenis sampah yang mendominasi karakteristik sebaran sampah adalah sampah plastik makro yang ditemukan di sepanjang pesisir laut Sindulang.

Dengan demikian, penggunaan teknologi UAV dan analisis foto udara telah membantu dalam pemantauan dan identifikasi masalah sampah di Pantai Sindulang, dengan fokus pada tingginya tingkat sampah plastik makro yang menjadi perhatian utama dalam upaya pengelolaan dan pelestarian lingkungan di wilayah tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Adade, R., Aibinu, A. M., Ekumah, B., & Asaana, J. (2021). Unmanned Aerial Vehicle (UAV) applications in coastal

- zone management—a review. In *Environmental Monitoring and Assessment* (Vol. 193, Issue 3). <https://doi.org/10.1007/s10661-021-08949-8>
- Agamuthu, P., Mehran, S. B., Norkhairah, A., & Norkhairiyah, A. (2019). Marine debris: A review of impacts and global initiatives. In *Waste Management and Research* (Vol. 37, Issue 10). <https://doi.org/10.1177/0734242X19845041>
- Agisoft. (2018). Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition. Agisoft LLC.
- Agisoft Software. (2016). Agisoft PhotoScan User Manual. *Professional Edition, Version 1.2*.
- Aleem, A., Tehsin, S., Kausar, S., & Jameel, A. (2022). Target classification of marine debris using deep learning. *Intelligent Automation and Soft Computing*, 32(1). <https://doi.org/10.32604/iasc.2022.021583>
- Almeida, S., Radeta, M., Kataoka, T., Canning-Clode, J., Pessanha Pais, M., Freitas, R., & Monteiro, J. G. (2023). Designing Unmanned Aerial Survey Monitoring Program to Assess Floating Litter Contamination. *Remote Sensing*, 15(1). <https://doi.org/10.3390/rs15010084>
- Bak, S. H., Hwang, D. H., Kim, H. M., & Yoon, H. J. (2019). Detection and monitoring of beach litter using uav image and deep neural network. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(3/W8). <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-W8-55-2019>
- Bao, Z., Sha, J., Li, X., Hanchiso, T., & Shifaw, E. (2018). Monitoring of beach litter by automatic interpretation of unmanned aerial vehicle images using the segmentation threshold method. *Marine Pollution Bulletin*, 137. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.08.009>
- Barry, P. J., Beraud, C., Wood, L. E., & Tidbury, H. J. (2023). Modelling of marine debris pathways into UK waters: Example of non-native crustaceans transported across the Atlantic Ocean on floating marine debris. *Marine Pollution Bulletin*, 186. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114388>
- BIN MOHD ZAIDI, M. H. A., & Tahar, K. N. (2021). Evaluation On Different UAV's Georeferencing Points to Generate Accurate Orthophoto and Digital Terrain Model. *Built Environment Journal*, 18(2). <https://doi.org/10.24191/bej.v18i2.13876>
- Changsalak, P., & Tiansawat, P. (2022). Comparison of Seedling Detection and Height Measurement Using 3D Point Cloud Models from Three Software Tools: Applications in Forest Restoration. *EnvironmentAsia*, 15(Special Issue). <https://doi.org/10.14456/ea.2022.26>
- Cordova, M. R. (2017). PENCEMARAN PLASTIK DI LAUT. *OSEANA*, 42(3), 21–30. <https://doi.org/10.14203/oseana.2017.vol.42no.3.82>
- Escobar-Sánchez, G., Markfort, G., Berghald, M., Ritzenhofen, L., & Schernewski, G. (2022). Aerial and underwater drones for marine litter monitoring in shallow coastal waters: factors influencing item detection and cost-efficiency. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(12). <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10519-5>
- Gonçalves, G., Andriolo, U., Gonçalves, L. M. S., Sobral, P., & Bessa, F. (2022). Beach litter survey by drones: Mini-review and discussion of a potential standardization. In *Environmental Pollution* (Vol. 315). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120370>
- Johan, Y., Renta, P. P., Muqsit, A., Purnama, D., Maryani, L., Hiriman, P., Rizky, F., Astuti, A. F., & Yunisti, T. (2020). ANALISIS SAMPAH LAUT

- (MARINE DEBRIS) DI PANTAI KUALO KOTA BENGKULU. *JURNAL ENGGANO*, 5(2), 273–289. <https://doi.org/10.31186/jengano.5.2.273-289>
- Junarto, R., & Djurjani, D. (2020). Pemanfaatan Teknologi Unmanned Aerial Vehicle (UAV) untuk Pemetaan Kadaster. *BHUMI: Jurnal Agraria Dan Pertanahan*, 6(1). <https://doi.org/10.31292/jb.v6i1.428>
- Kandrot, S., Hayes, S., & Holloway, P. (2022). Applications of Uncrewed Aerial Vehicles (UAV) Technology to Support Integrated Coastal Zone Management and the UN Sustainable Development Goals at the Coast. In *Estuaries and Coasts* (Vol. 45, Issue 5, pp. 1230–1249). Springer. <https://doi.org/10.1007/s12237-021-01001-5>
- Magalhães, D. M. de. (2021). USO DE DRONES COMO SUPORTE AO PLANEJAMENTO TERRITORIAL: da coleta de dados à geovisualização. *Frontiers in Neuroscience*, 14(1).
- Saputra, A., Nurhakim, N., & Syafi'i, A. A. (2022). Pemanfaatan foto udara untuk penyusunan peta desa dan pemetaan potensi desa berbasis sistem informasi geografis. *Jurnal Himasapta*, 7(3). <https://doi.org/10.20527/jhs.v7i3.750>
- Sari, M. M., Inoue, T., Harryes, R. K., Wayan Koko Suryawan, I., Yokota, K., Notodarmojo, S., & Priyambada, I. B. (2022). Potential of Recycle Marine Debris in Pluit Emplacement, Jakarta to Achieve Sustainable Reduction of Marine Waste Generation. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 17(1). <https://doi.org/10.18280/ijstdp.170111>
- Watson, A. R., Blount, C., McPhee, D. P., Zhang, D., Smith, M. P. L., Reeds, K., & Williamson, J. E. (2022). Source, fate and management of recreational fishing marine debris. In *Marine Pollution Bulletin* (Vol. 178). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113500>
- Wuisan, M. M. (2013). *PERANCANGAN PESISIR SINDULANG SEBAGAI KAWASAN PARIWISATA TRADISIONAL*.
- Yohanlis, A. D., & Putri, M. R. (2021). Identification of Marine Debris and Its Distribution Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) on the Cirebon Coastal Area, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 925(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/925/1/012038>