



Dari Udara untuk Pesisir: Pemanfaatan Drone dalam Mendukung Pemetaan Mangrove Muara Jenggalu Kota Bengkulu

Received: 20 April 2026

Accepted: 8 Mei 2026

*Korespondensi:

ayubsugara@unib.ac.id

Ayub Sugara^{1*}, Ari Anggoro², Ana Ariasari², Nella Tri Agustini¹, Akbar Abdurrahman Mahfudz¹, Eko Nofridiansyah¹

¹Prodi Ilmu Kelautan, Jurusan Peternakan, Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu

Jl. W. R. Supratman, Kandang Limun, Provinsi Bengkulu, 38371, Indonesia

²Prodi Sains Perikanan, Jurusan Peternakan, Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu

Jl. W. R. Supratman, Kandang Limun, Provinsi Bengkulu, 38371, Indonesia

Abstrak — Ekosistem mangrove memiliki peranan penting dalam menjaga keseimbangan wilayah pesisir, termasuk sebagai pelindung alami pantai, penyerap karbon, serta habitat berbagai biota perairan. Namun, dinamika perubahan lingkungan dan tekanan aktivitas manusia menuntut tersedianya data spasial mangrove yang akurat dan mutakhir sebagai dasar pengelolaan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pemanfaatan teknologi drone sebagai wahana pendukung penelitian dalam pemetaan ekosistem mangrove di kawasan Muara Jenggalu, Kota Bengkulu. Metode penelitian dilakukan melalui survei lapangan menggunakan drone berbasis *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) untuk memperoleh citra udara resolusi tinggi yang kemudian diolah melalui teknik fotogrametri dan analisis Sistem Informasi Geografis (SIG). Tahapan penelitian meliputi perencanaan jalur terbang, akuisisi data citra, pengolahan *orthomosaic*, serta interpretasi tutupan mangrove. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan drone mampu menghasilkan data spasial dengan tingkat detail yang tinggi sehingga memudahkan identifikasi sebaran, kepadatan, dan kondisi tutupan mangrove secara lebih cepat dan efisien dibandingkan metode pemetaan konvensional. Selain meningkatkan akurasi pemetaan, teknologi drone juga mampu menjangkau area pesisir yang sulit diakses serta menekan biaya operasional survei lapangan. Informasi yang diperoleh berpotensi mendukung kegiatan monitoring lingkungan, perencanaan konservasi, serta pengambilan kebijakan berbasis data di wilayah pesisir Muara Jenggalu. Dengan demikian, pemanfaatan *drone* menjadi pendekatan inovatif dalam penelitian pesisir yang adaptif terhadap perkembangan teknologi geospasial modern. Integrasi pemetaan drone dengan pemantauan berkala direkomendasikan untuk mendukung pengelolaan ekosistem mangrove secara berkelanjutan di Kota Bengkulu.

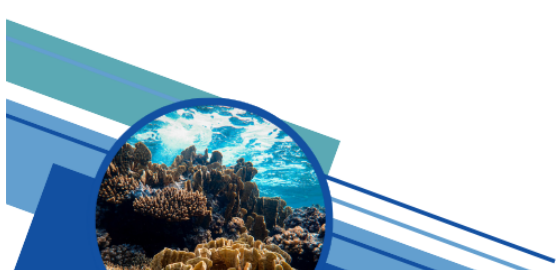
Kata Kunci — Drone, Muara Jenggalu, Pemetaan Mangrove, UAV, Wilayah Pesisir

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Ekosistem mangrove merupakan komponen penting dalam sistem pesisir tropis yang berperan sebagai pelindung alami pantai, penyerap karbon biru (*blue carbon*), penyedia habitat biota perikanan, serta penopang ketahanan sosial-ekologi masyarakat

Seminar Nasional Samudra Rafflesia I | 35

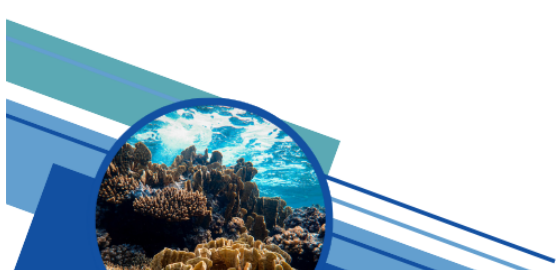




pesisir. Indonesia diketahui memiliki lebih dari 20% total mangrove dunia sehingga menjadi wilayah strategis dalam konservasi ekosistem pesisir global (*Food and Agriculture Organization, 2020*). Namun demikian, tekanan antropogenik berupa konversi lahan, pembangunan pesisir, sedimentasi, serta perubahan iklim menyebabkan degradasi mangrove yang terus terjadi di berbagai wilayah pesisir Indonesia (*Friess et al., 2019; Goldberg et al., 2020*). Ketersediaan informasi spasial yang akurat menjadi faktor kunci dalam mendukung pengelolaan mangrove berbasis ekosistem. Metode survei lapangan konvensional memiliki keterbatasan dalam hal efisiensi waktu, aksesibilitas medan, serta cakupan area terutama pada kawasan mangrove yang dipengaruhi dinamika pasang surut (*Klemas, 2015*). Sementara itu, pemanfaatan citra satelit sering mengalami kendala resolusi spasial dan tutupan awan yang tinggi pada wilayah tropis sehingga mengurangi akurasi identifikasi struktur vegetasi mangrove skala lokal (*Pham et al., 2019*).

Perkembangan teknologi *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) atau drone menjadi pendekatan inovatif dalam pemetaan lingkungan pesisir. UAV mampu menghasilkan citra resolusi sangat tinggi (*very high resolution imagery*), fleksibel dalam akuisisi data, serta memungkinkan pemodelan tiga dimensi melalui metode *Structure from Motion* (SfM) fotogrametri (*Anderson & Gaston, 2013; Cunliffe et al., 2016*). Studi terbaru menunjukkan bahwa integrasi drone dalam pemetaan mangrove meningkatkan akurasi klasifikasi tutupan vegetasi hingga di atas 90%, sekaligus memungkinkan analisis kerapatan kanopi, kesehatan vegetasi, dan perubahan garis pantai secara detail (*Duffy et al., 2018; Wang et al., 2019*). Dalam beberapa tahun terakhir, pemanfaatan UAV semakin berkembang pada penelitian ekosistem pesisir di kawasan Asia Tenggara. Drone terbukti efektif untuk monitoring rehabilitasi mangrove, estimasi biomassa vegetasi, serta pemetaan perubahan tutupan lahan secara periodik dengan biaya operasional relatif rendah dibanding survei udara konvensional (*Getzin et al., 2021; Tang & Shao, 2022; Sugara, 2023*). Teknologi ini juga mendukung pendekatan *precision coastal management* melalui penyediaan data spasial real-time bagi perencanaan wilayah pesisir.

Wilayah pesisir Kota Bengkulu, khususnya kawasan Muara Jenggalu, merupakan daerah estuari yang memiliki fungsi ekologis penting sebagai zona transisi darat-laut serta habitat mangrove alami. Dinamika sedimentasi muara sungai, aktivitas pemanfaatan ruang pesisir, serta perubahan garis pantai menyebabkan kondisi mangrove di kawasan ini mengalami perubahan spasial yang signifikan. Hingga saat ini, ketersediaan data pemetaan mangrove beresolusi tinggi di Muara Jenggalu masih terbatas sehingga diperlukan pendekatan teknologi pemetaan yang lebih adaptif dan presisi.





Tujuan

Penelitian berjudul “Dari Udara untuk Pesisir: Pemanfaatan *Drone* dalam Mendukung Pemetaan Mangrove Muara Jenggalu Kota Bengkulu” dilakukan untuk mengkaji pemanfaatan teknologi UAV dalam menghasilkan data spasial mangrove beresolusi tinggi sebagai dasar pengelolaan ekosistem pesisir berkelanjutan.

Manfaat

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi terhadap pengembangan metode pemetaan mangrove berbasis teknologi drone serta mendukung pengambilan keputusan dalam pengelolaan wilayah pesisir Kota Bengkulu.

METODE

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada Bulan Mei – Oktober tahun 2022 di kawasan Muara Jenggalu, yang secara administratif berada di wilayah Kota Bengkulu, Provinsi Bengkulu. Lokasi penelitian merupakan kawasan estuaria yang menjadi pertemuan aliran sungai dengan perairan Samudra Hindia, sehingga memiliki karakteristik ekosistem pesisir yang dinamis dan didominasi oleh vegetasi mangrove (**Gambar 1**). Berdasarkan peta lokasi penelitian, kawasan Muara Jenggalu berada pada zona pesisir barat Kota Bengkulu yang berbatasan langsung dengan wilayah Kecamatan Gading Cempaka di bagian utara serta Kecamatan Selebar di bagian timur. Wilayah ini merupakan daerah transisi darat–laut yang dipengaruhi proses sedimentasi sungai, pasang surut air laut, serta aktivitas pemanfaatan ruang pesisir oleh masyarakat. Pemilihan lokasi penelitian didasarkan pada keberadaan ekosistem mangrove yang relatif luas serta perannya sebagai pelindung alami garis pantai dan habitat penting bagi biota pesisir. Selain itu, kawasan Muara Jenggalu mengalami dinamika perubahan tutupan lahan pesisir yang cukup intensif sehingga memerlukan pemetaan spasial beresolusi tinggi menggunakan teknologi *drone* sebagai wahana pendukung penelitian.

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah perangkat lunak untuk analisis data dan perangkat survei lapang. Peralatan survei lapang disajikan pada **Tabel 1** berikut ini.

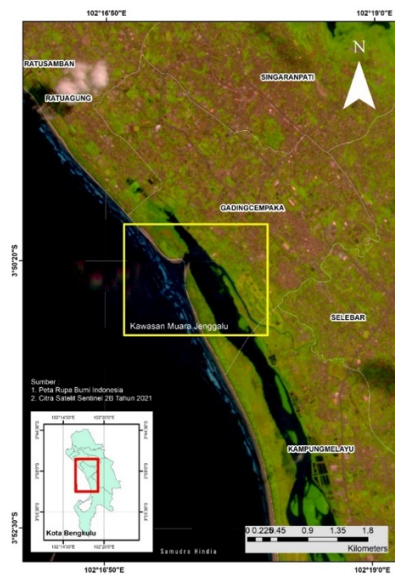




Tabel 1. Peralatan survei lapangan.

No	Nama peralatan	Kegunaan
1	Drone DJI Mavic Pro	Pengambilan foto udara
2	GPS Garmin 78s dan 64s	Pengambilan data koordinat
3	GPS <i>Floathing kit</i> dan <i>Dry Bag</i>	Pelampung dan pelindung GPS di air laut
5	Kamera	Pengambilan foto jenis mangrove
6	Laptop / Komputer	Pengolahan dan analisis data
7	Pensil dan kertas <i>newtop</i>	Alat bantu menulis dibawah air
8	Transek kuadrat 10 m x 10 m	<i>Sampling</i>

Pengambilan foto udara menggunakan *drone*, yaitu DJI Mavic Pro. Spesifikasi masing-masing drone dapat dilihat pada **Tabel 2**. Bahan yang digunakan yaitu citra foto udara hasil pemetaan menggunakan *drone*.



Gambar 1. Lokasi penelitian.

Tabel 2. Spesifikasi drone DJI Mavic Pro.

Karekeristik	Tipe Drone DJI Mavic Pro
Sensor	CMOS 1/2.3"
Lensa	FOV 78.8°, 28 mm f/2.2
Resolusi kamera	12MP
Rentang ISO	100 - 3200 untuk video dan 100 - 1600 untuk foto
Ukuran foto	4000 x 3000
Focal length	4.73 mm
Frekuensi remote control	2.400 GHz - 2.4835 GHz
Kapasitas baterai	3830 mAh
Sistem posisi satelit	GPS/GLONASS

Sumber: www.dji.com





Prosedur Kerja

Metode Penelitian

Pengambilan Data Ekosistem Mangrove

Sampling dilakukan pada ekosistem mangrove di Muara Jenggalu dengan melakukan identifikasi masing-masing jenis mangrove yang ditemukan. Metode sampling yang digunakan adalah metode *Purposive Sampling*. Metode *Purposive Sampling* merupakan metode teknik pengambilan sampel dengan menentukan kriteria-kriteria tertentu seperti eksisting adanya pemukiman, aktivitas antropogenik masyarakat sekitar dan aliran sungai.

Pengambilan Data Menggunakan Drone

Sebelum melakukan pengambilan data foto udara menggunakan drone dilakukan pengaturan kamera dan dibuat perencanaan penerbangan (**Gambar 4**). Pengaturan kamera drone menggunakan software DJI GO 4 yang diunduh di Play Store pada android. Pengaturan kamera *drone* sangat penting untuk memastikan rentang ISO yang baik saat melakukan misi penerbangan. Perencanaan penerbangan pada *drone* menggunakan *software* pemetaan foto udara yaitu Pix4D *Capture* yang diunduh di *Play Store*, banyak terdapat *software* pemetaan foto udara lainnya seperti *Drone Deploy*, *Altizur* dll. Pengaturan rencana penerbangan meliputi luasan area yang dipetakan, ketinggian wahana, sidelape dan forwardlape data foto yang dihasilkan. Luasan area pemetaan diatur pada Pix4D *Capture*, sehingga dapat mengestimasi waktu luasan area yang dipetakan. Faktor ketinggian mempengaruhi ukuran setiap *pixel* pada citra yang dihasilkan, semakin tinggi *drone* yang diterbangkan maka ukuran pixelnya semakin besar begitupun sebaliknya. Sidelape berfungsi mengatur kerapatan antara baris foto udara yang dihasilkan pada perencanaan penerbangan, semakin tinggi nilai persen sidelape maka semakin dekat jarak baris antar masing-masing baris foto, Forwardlape mengatur jarak kerapatan antara masing-masing data foto. Semakin tinggi nilai forwardlape maka semakin rapat jarak per masing-masing foto. Citra yang dihasilkan sangat baik apabila nilai sidelape dan *overlapping* tinggi. Pada penelitian ini *overlapping* meliputi sidelape dan forwardlape yaitu 70% dan 80%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Deskripsi Ekosistem Mangrove Muara Jenggalu

Muara Jenggalu ialah Muara berair payau sebagai titik pertemuan aliran Sungai Jenggalu dengan Samudera Hindia yang memiliki kekayaan biodiversitas ekosistem pesisir, salah satunya yaitu ekosistem maangrove (**Gambar 2**). Menurut Sugara (2022),
Seminar Nasional Samudra Rafflesia I | 39





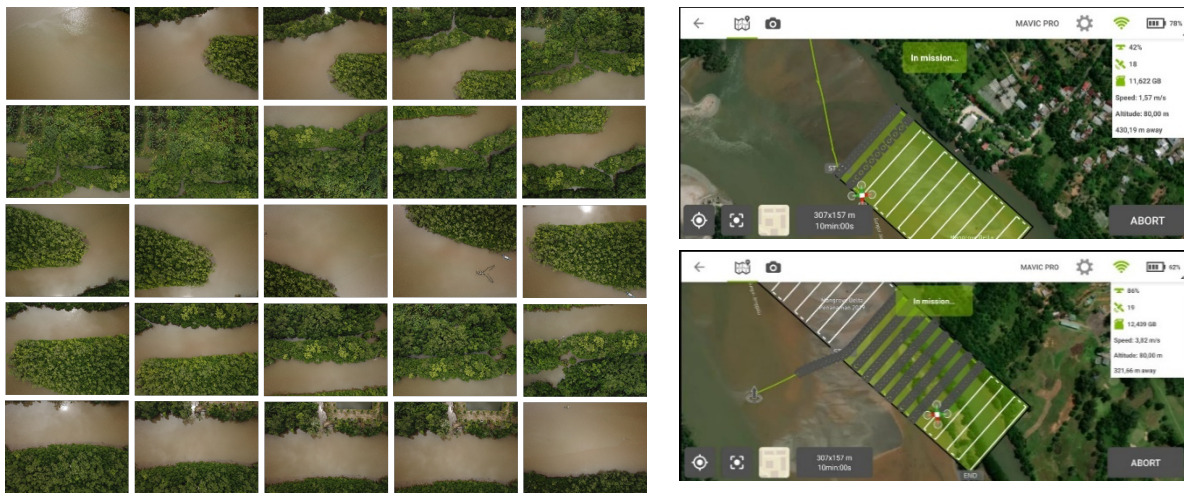
jenis mangrove di Kota Bengkulu memiliki 9 jenis dan 5 jenis ada di Muara Jenggalu. Jenis-jenis mangrove yang ditemukan yaitu *Avicennia marina*, *Rhizophora apiculata*, *Sonneratia alba*, *Bruguiera gymnorrhiza*, *Xylocarpus granatum*.



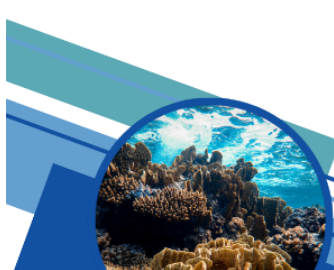
Gambar 2. Muara Jenggalu saat surut (A) dan Ekosistem Mangrove di Muara Jenggalu Kota Bengkulu (B).

Akuisisi Data Foto Udara

Perekaman foto udara yang dilakukan menghasilkan 870 gambar (**Gambar 3**). Pada proses perekaman foto udara didukung oleh kemampuan terbang *drone* dan keadaan angin yang tidak terlalu kencang. Berdasarkan hasil akuisisi data foto udara *drone* di perairan area mangrove Muara Jenggalu Kota Bengkulu. Perekaman dilakukan pada ketinggian terbang 80 meter dengan *overlapping* 80% serta sudut perekaman 90°. Gambar hasil foto udara menggunakan drone dapat dilihat pada **Gambar 3** berikut ini.



Gambar 3. Foto udara menggunakan drone.





Pengambilan Data Foto Udara

Penentuan jalur terbang dari *drone* ini dilakukan sebelum melaksanakan pengambilan data foto udara di lapangan. Setelah jalur terbang selesai dibuat, *drone* disiapkan untuk diterbangkan sesuai dengan jalur yang telah ditentukan. Waktu tempuh maksimal yang dapat dilakukan pada saat penerbangan *drone* adalah ± 12 menit atau dalam satu kali pemakaian baterai. Ketinggian terbang *drone* yang dilakukan pada penelitian ini adalah 80 meter (**Gambar 4**). Perencanaan jalur terbang (*flight plan*) merupakan unsur penting dalam proses pemotretan foto udara. Uysal *et al.* (2015) mengemukakan bahwa dalam perencanaan jalur terbang harus memperhatikan kondisi cuaca daerah penelitian, insolasi, perangkat dan kemungkinan error yang dapat mengganggu hasil pemotretan. Beberapa parameter yang ditentukan dalam pembuatan *flight plan* detail antara lain adalah ketinggian terbang, persentase *overlapping* (*endlap-sidelap*), kecepatan wahana, interal pemotretan (*setting intervalometer*), memastikan focal length, jarak terbang maksimal arah jalur terbang, waktu pemotretan, dan parameter lain yang bersifat teknis.

Area Pemetaan 1



Area Pemetaan 2



Area Pemetaan 3



Area Pemetaan 4



Area Pemetaan 5

Gambar 4. Akuisisi data foto udara menggunakan aplikasi Pix4D.

Akuisisi data citra udara pada penelitian ini dilakukan melalui pemotretan menggunakan wahana *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) yang dibagi ke dalam lima area pengamatan di kawasan mangrove Muara Jenggalu. Pembagian area dilakukan untuk menyesuaikan cakupan wilayah penelitian, kapasitas baterai *drone*, serta menjaga konsistensi kualitas citra yang dihasilkan. Berdasarkan hasil akuisisi data (**Tabel 3**),





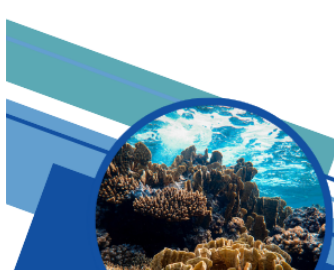
jumlah foto udara yang diperoleh pada masing-masing lokasi menunjukkan variasi sesuai dengan luas area pemetaan. Area 1 dan Area 2 masing-masing menghasilkan 144 foto udara, sedangkan jumlah foto terbanyak diperoleh pada Area 3 yaitu sebanyak 300 foto udara. Selanjutnya, Area 4 menghasilkan 152 foto udara dan Area 5 sebanyak 130 foto udara.

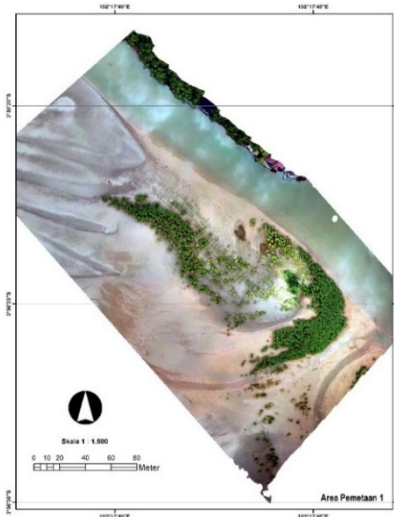
Tabel 3. Data processing.

No	Lokasi	Jumlah Foto Udara	Ketinggian Terbang (m)	Resolusi Spasial (cm/pix)
1	Area 1	144	80	2,86
2	Area 2	144	80	2,47
3	Area 3	300	80	2,41
4	Area 4	152	80	2,58
5	Area 5	130	80	2,45

Pemetaan Menggunakan Drone

Drone adalah wahana yang dilengkapi dengan sistem pengendali terbang melalui gelombang, navigasi presisi (*Ground Control Point*), dan elektronik kontrol penerbangan sehingga mampu terbang sesuai dengan perencanaan terbang (*auto pilot*) (Eisenbeiss 2009). *Drone* memungkinkan untuk melakukan pelacakan posisi dan orientasi dari sensor yang diimplementasikan dalam sistem lokal atau koordinat global. *Drone* biasanya juga dilengkapi dengan peralatan kamera resolusi tinggi yang dapat melakukan pemotretan foto udara. Penggunaan *drone* bisa menghasilkan gambar atau citra dengan resolusi spasial yang tinggi dan tidak terkendala oleh awan. Hal ini karena pengoperasian *drone* berada pada ketinggian di bawah awan. Oleh karena itu, melalui *drone*, skala kedetilan data menjadi sangat tinggi dan proses pengumpulan data menjadi lebih mudah (Zaco *et al.*, 2014). Pada tahapan pengoperasian *drone* menggunakan dua aplikasi tambahan, yaitu DJI GO dan Pix4D yang dapat diakses mealalui *app store* dan *play store*. DJI GO berfungsi untuk pengaturan dasar pada drone dan Pix4D berfungsi untuk pembuatan rencana penerbangan yang disesuaikan dengan kebutuhan dalam penelitian. Kedua aplikasi tersebut mempermudah dalam memperoleh data foto udara karena dapat dilakukan secara *automatic mode*. Pemetaan mangrove menggunakan *drone* terbagi atas 3 tahapan, yaitu 1) Pembuatan desain rencana pemetaan untuk pengambilan data foto udara, 2) Ortomosaik data citra *drone*, dan 3) Analisis klasifikasi citra *drone* dalam skema pemetaan mangrove di Muara Jenggalu Kota Bengkulu. Pra pengolahan citra *drone*, yaitu dilakukannya proses penggabungan (*orthomosaic*) beberapa gambar yang dihasilkan dengan menggunakan *software Agisoft Metashape*. Proses penggabungan dilakukan sesuai urutan hingga menghasilkan citra drone (**Gambar 5**). Citra hasil *orthomosaic* kemudian akan dilakukan proses interpretasi visual untuk mengetahui informasi distribusi spasial mangrove di Muara Jenggalu.

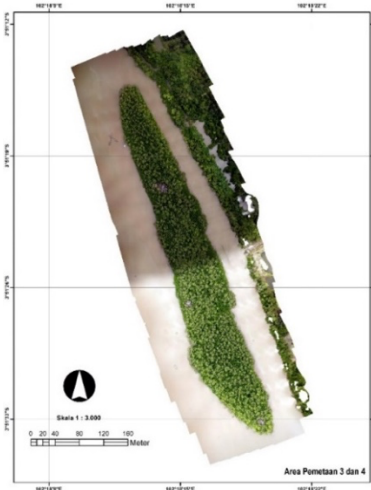




Area Pemetaan 1



Area Pemetaan 2



Area Pemetaan 3



Area Pemetaan 4



Area Pemetaan 5

Gambar 5. Citra drone.





Pada hasil akuisisi *drone*, pada 5 area pemetaan menghasilkan citra yang cukup jelas dan tidak terlihat adanya perbedaan yang signifikan secara visual. Hal ini disebabkan karena citra sudah mengalami penggabungan dari beberapa foto menjadi citra utuh dan membentuk gambaran gambaran ekosistem mangrove di Muara Jenggalu Kota Bengkulu. Namun, Secara visual citra yang berhasil dilakukan *orthophoto* terlihat adanya *sunlint* (kilatan putih). Perekaman foto udara *drone* yang dilakukan berkisar antara pukul 09.00 - 12.00 WIB (**Gambar 5**). Menurut Doukari *et al.* (2021) bahwa pada pukul 10.00 - 12.00 a.m., *sunlint* yang terjadi disebabkan oleh keadaan laut yang bergelombang atau permukaan laut yang kasar. *Sunlint* yang terjadi dipengaruhi oleh faktor tingkat kecerahan, kondisi laut, dan kondisi lingkungan saat perekaman. Tingkat kecerahan yang terjadi disebabkan arah datang sinar matahari yang searah dengan sudut sensor perekaman terhadap objek datar pada media air, sehingga air akan bersifat seperti kaca yang memantulkan cahaya sinar matahari dan memungkinkan terjadi adanya *sunlint*. Pengaruh dari kondisi laut berpengaruh pada tingkat kejernihan air yang mempengaruhi hasil dari foto udara dalam menangkap informasi secara jelas terhadap objek substrat pada perairan dangkal. Akan tetapi, keberadaan *sunlint* ini tidak berpengaruh dalam pemetaan ekosistem mangrove, karena habitat mangrove berada diatas permukaan air. Berdasarkan hasil citra *drone* pada **Gambar 5**, dapat dilihat adanya sedikit perbedaan kecerahan antara area pemetaan 1 - 5 lokasi. Hal ini dikarenakan kondisi tutupan awan saat akuisisi data citra *drone* yang dimana semakin besar tutupan awan maka intensitas cahaya matahari yang menerangi bumi akan semakin berkurang (Prayogo *et al.*, 2020).

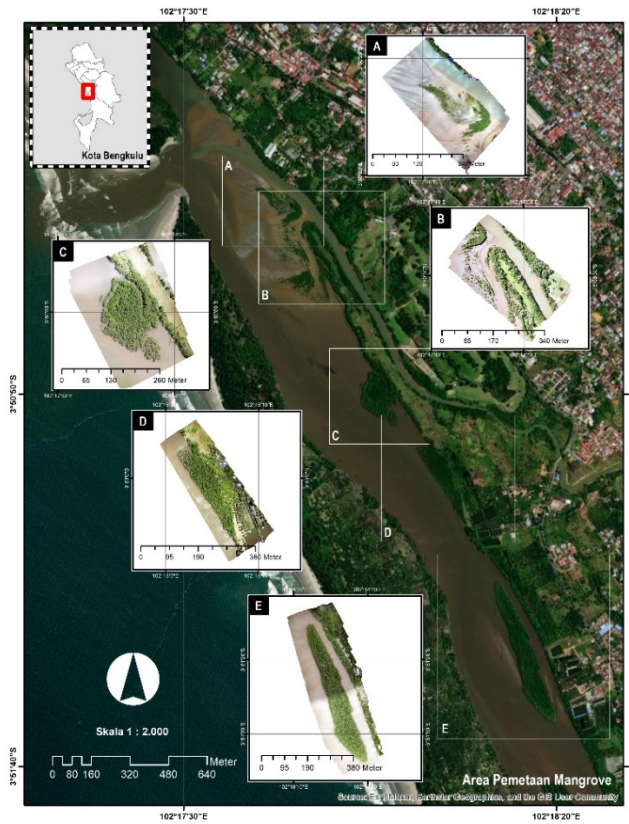
Pembahasan

Pemetaan menggunakan teknologi *drone* pada kawasan mangrove Muara Jenggalu, Kota Bengkulu, menghasilkan citra *orthomosaic* resolusi tinggi yang mampu memperlihatkan variasi kondisi tutupan mangrove secara spasial dan detail. Menurut Hardin & Jensen, 2011; Duffy *et al.*, 2018, pemetaan menggunakan teknologi *drone* mampu menghasilkan citra ortomosaik resolusi tinggi yang efektif untuk analisis spasial vegetasi mangrove dan karakter morfologi pesisir. Penggunaan UAV memberikan detail spasial yang lebih tinggi dibanding citra satelit konvensional sehingga memungkinkan identifikasi kerapatan tajuk, struktur vegetasi, serta dinamika lingkungan estuaria secara lebih akurat (Torresan *et al.*, 2017).

Berdasarkan hasil interpretasi visual terhadap lima area pemetaan, terlihat adanya perbedaan karakter morfologi pesisir, tingkat kerapatan vegetasi, serta dinamika lingkungan estuaria. **Gambar 6** menunjukkan distribusi spasial area pemetaan mangrove yang berada pada kawasan estuaria dan pesisir Kota Bengkulu. Peta utama menggunakan



citra satelit resolusi tinggi sebagai dasar (*basemap*) yang kemudian dilengkapi dengan hasil ortomosaik foto udara dari survei *drone* pada beberapa lokasi pengamatan.



Gambar 6. Distribusi spasial area pemetaan mangrove.

Secara umum, wilayah studi berada pada zona peralihan antara lingkungan sungai dan laut (estuari), yang merupakan habitat ideal bagi pertumbuhan vegetasi mangrove. Keberadaan mangrove pada area ini berperan penting dalam menjaga stabilitas garis pantai, mereduksi energi gelombang, serta mendukung fungsi ekologis sebagai habitat biota pesisir.

1. Area Pemetaan 1

Area pertama memperlihatkan ekosistem mangrove yang berkembang pada zona tikungan muara dengan pola sedimentasi aktif. Bentuk aliran sungai yang melengkung menunjukkan proses deposisi sedimen yang kuat, sehingga terbentuk hamparan substrat lumpur sebagai media tumbuh mangrove. Vegetasi tampak menyebar mengikuti garis pantai dan tepian alur air serta adanya aktivitas rehabilitasi atau penanaman mangrove. Pola ini mengindikasikan fase kolonisasi alami mangrove pada wilayah akresi (penambahan daratan). Keberadaan area terbuka di sekitar vegetasi menunjukkan kemungkinan pengaruh pasang surut maupun aktivitas erosi ringan yang masih berlangsung.



2. Area Pemetaan 2

Pada area kedua terlihat formasi mangrove linear mengikuti alur sungai utama. Kerapatan vegetasi relatif tinggi dengan distribusi yang lebih stabil dibanding Area 1. Kondisi ini mengindikasikan mangrove berada pada fase pertumbuhan yang lebih matang dan telah berfungsi sebagai penahan arus serta perangkap sedimen. Zona tepian sungai yang tertutup vegetasi rapat berperan penting dalam menjaga stabilitas tebing sungai serta mengurangi abrasi akibat arus estuaria.

3. Area Pemetaan 3

Area ketiga menunjukkan bentang mangrove berbentuk memanjang dan homogen. Tutupan vegetasi tampak sangat rapat dengan warna kanopi yang seragam, menandakan tingkat kesehatan mangrove yang baik. Struktur vegetasi yang kompak memperlihatkan ekosistem yang relatif stabil dengan gangguan antropogenik yang minimal. Kondisi ini berpotensi menjadi zona inti konservasi karena memiliki fungsi ekologis tinggi sebagai habitat biota, daerah pemijahan ikan, dan penyimpanan karbon biru (*blue carbon*).

4. Area Pemetaan 4

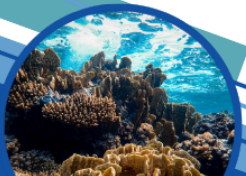
Area keempat memperlihatkan kelompok mangrove berbentuk patch atau kluster vegetasi. Pola ini biasanya muncul akibat kombinasi faktor lingkungan seperti variasi kedalaman air, distribusi sedimen, serta perubahan aliran hidrodinamika. Area ini menunjukkan adanya mosaik ekosistem antara vegetasi mangrove, perairan terbuka, dan lahan transisi. Fragmentasi vegetasi pada lokasi ini mengindikasikan kawasan yang sensitif terhadap perubahan lingkungan sehingga memerlukan pemantauan berkala.

5. Area Pemetaan 5

Area kelima menampilkan tutupan mangrove, vegetasi non mangrove dan perkebunan sawit masyarakat. Keberadaan mangrove pada area ini sangat strategis sebagai sabuk hijau pesisir yang berfungsi meredam energi gelombang dan meningkatkan ketahanan wilayah pantai terhadap perubahan iklim.

KESIMPULAN

Pemanfaatan teknologi *drone* sebagai wahana pendukung penelitian terbukti memberikan kontribusi signifikan dalam kegiatan pemetaan ekosistem mangrove di kawasan Muara Jenggalu Kota Bengkulu. Penggunaan *drone* mampu menghasilkan data spasial beresolusi tinggi, akurat, dan terkini sehingga memudahkan proses identifikasi sebaran, kondisi tutupan, serta perubahan ekosistem mangrove secara lebih efisien dibandingkan metode survei konvensional. Melalui pendekatan pemetaan berbasis udara, penelitian ini menunjukkan bahwa teknologi *drone* dapat mempercepat akuisisi





data lapangan, meningkatkan efisiensi waktu dan biaya operasional, serta meminimalkan keterbatasan akses pada wilayah pesisir yang sulit dijangkau. Informasi yang dihasilkan tidak hanya bermanfaat bagi kebutuhan akademik, tetapi juga mendukung perencanaan pengelolaan wilayah pesisir, konservasi mangrove, serta pengambilan keputusan berbasis data oleh pemerintah daerah dan pemangku kepentingan. Dengan demikian, pemanfaatan *drone* menjadi alternatif teknologi yang adaptif dan berkelanjutan dalam monitoring ekosistem pesisir, khususnya mangrove. Ke depan, integrasi teknologi drone dengan sistem informasi geografis dan pemantauan periodik sangat direkomendasikan guna mendukung pengelolaan mangrove Muara Jenggalu secara berkelanjutan serta memperkuat upaya konservasi pesisir di Kota Bengkulu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada LPPM Universitas Bengkulu atas pendanaan kegiatan penelitian pembinaan tahun 2022 dengan nomor kontrak 1787/UN30.15/PP/2022. Selain itu, penulis juga berterima kasih kepada Program Studi Ilmu Kelautan Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu dan Tim Penelitian yang telah membantu dalam pelaksanaan pengumpulan data lapangan dan sepenuhnya mendukung penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, K., & Gaston, K. J. 2013. *Lightweight Unmanned Aerial Vehicles Will Revolutionize Spatial Ecology*. *Biological Conservation*, 167: 341–349. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.08.025>.
- Cunliffe, A. M., Anderson, K., DeBell, L., & Duffy, J. P. 2016. *A UAV-Based Structure-From-Motion Approach For Ecology*. *Methods in Ecology and Evolution*, 7(6): 641–649. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12550>.
- Doukari, M., Dekker, A. G., & Anstee, J. M. 2021. *Sun Glint Correction of Drone-Based Multispectral Imagery for Aquatic Remote Sensing Applications*. *Remote Sensing*, 13(12): 2345. <https://doi.org/10.3390/rs13122345>.
- Duffy, J. P., Anderson, K., & Cunliffe, A. M. 2018. *Applications of Unmanned Aerial Vehicles in Ecological Monitoring*. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 4(1), 7–19. <https://doi.org/10.1002/rse2.48>.
- Eisenbeiss, H. 2009. UAV Photogrammetry. PhD Dissertation. Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zürich, Switzerland.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2020. *Global Forest Resources Assessment 2020: Main Report*. Rome.
- Friess, D. A., Rogers, K., Lovelock, C. E., Krauss, K. W., Hamilton, S. L., Lee, S., Raja Barizan Bin Raja Kamaruzaman, & Duke, N. C. (2019). The state of the world's



- mangrove forests. *Annual Review of Environment and Resources*, 44, 89–115. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-101718-033302>.
- Getzin, S., Wiegand, K., & Schöning, I. 2021. *Assessing Biodiversity Using Drone Remote Sensing. Ecological Indicators*, 122: 107253. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107253>.
- Goldberg, L., Lagomasino, D., Thomas, N., & Fatoyinbo, T. 2020. *Global Declines in Mangrove Extent. Nature Climate Change*, 10, 102–107.
- Hardin, P. J., & Jensen, R. R. 2011. *Small-Scale Unmanned Aerial Vehicles in Environmental Remote Sensing. GIScience & Remote Sensing*, 48(1): 99–111. <https://doi.org/10.2747/1548-1603.48.1.99>.
- Klemas, V. 2015. *Coastal Remote Sensing From UAVs. Journal of Coastal Research*, 31(5): 1260–1267. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-14-00005.1>.
- Pham, T. D., Yoshino, K., & Bui, D. T. 2019. *Remote Sensing Approaches For Mangrove Monitoring. Remote Sensing*, 11(3): 230.
- Prayogo, T., Arief, M., & Subiyanto, S. 2020. Pengaruh Tutupan Awan terhadap Kualitas Citra Penginderaan Jauh Optik untuk Analisis Wilayah Pesisir. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 17(2): 85–94.
- Sugara, A., Anggoro, A, Lukman, A.H., Ariasari, A., Suci, A. N. N., Agustini, N.T., & Zuhendri, R. 2023. *Mapping The Potential of Mangrove Planting in The Rehabilitation of Coastal Ecosystems Using Drone Technology. Journal of Sylva Indonesiana*, 6(02): 164–177. <https://doi.org/10.32734/jsi.v6i02.10515>.
- Sugara, A., Sukmono, S., dan Wijaya, A. P. 2022. *Utilization of Sentinel-2 Imagery in Mapping the Distribution and Estimation of Mangroves' Carbon Stocks in Bengkulu City. Geosfera Indonesia*, 7(3): 219–230. <https://doi.org/10.19184/geosi.v7i3.30294>.
- Tang, L., & Shao, G. 2022. *Drone Remote Sensing for Vegetation Monitoring. International Journal of Remote Sensing*, 43(5): 1783–1810.
- Torresan, C., Berton, A., Carotenuto, F., Di Gennaro, S. F., Gioli, B., Matese, A., Miglietta, F. 2017. Forestry Applications of UAVs in Europe. *International Journal of Remote Sensing*, 38(8–10): 2427–2447. <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1252477>.
- Uysal, M., Toprak, A. S., & Polat, N. 2015. *DEM Generation with UAV Photogrammetry and Accuracy Analysis in Sahitler Hill. Measurement*, 73: 539–543. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.06.010>.
- Wang, L., Sousa, W. P., & Gong, P. 2019. *Integration of UAV and Satellite Imagery for Mangrove Mapping. Remote Sensing of Environment*, 223: 39–50.
- Zacò, F., D'Urso, G., & Giuliani, M. M. 2014. *Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for Environmental Monitoring: A Review. European Journal of Remote Sensing*, 47(1): 641–663.