



---

## PEMANFAATAN WAHANA DRONE UNTUK PEMETAAN KAWASAN MANGROVE DI KABUPATEN PANGKEP

*Amal Arfan<sup>1</sup>, Uca Sideng<sup>2</sup>, Wahidah Sanusi<sup>3</sup>, Muhammad Faisal Juanda<sup>4</sup>*

<sup>1,2,4</sup> Jurusan Geografi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

<sup>4</sup> Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Makassar, 2022, Indonesia

### ABSTRACT

*The use of UAVs today is very helpful in monitoring mangrove areas because of their high resolution. This study aims to map mangrove forests in 4 types of area designations in Pangkep district. This research method is descriptive quantitative with purposive sampling data collection. The results of UAV data in the form of photo analysis using PJ and GIS methods with the help of Agisoft 17.0 software to produce orthophoto. The results showed that at the four observation locations there were several basic objects that could be recognized, namely mangrove forests, ponds, building areas, air bodies and road networks. Meanwhile, objects that can be further identified include their association with other objects in ecotourism areas, conservation areas, aquaculture pond areas with a mangrove barrier on the front, and silvofishery areas marked by ponds with several individual mangroves inside or on the sides.*

**Keywords:** *Mangroves, Unmanned aerial vehicle (UAV), Pangkep*

### ABSTRAK

*Penggunaan UAV di masa kini sangat membantu dalam pemantauan kawasan mangrove karena resolusinya yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pemetaan hutan mangrove pada 4 jenis peruntukan kawasan di kabupaten Pangkep. Metode penelitian ini adalah deskriptif kuantitatif dengan pengambilan data secara purposive sampling. Data hasil UAV berupa foto dianalisis menggunakan metode PJ dan GIS dengan bantuan Software Agisoft 17.0 untuk menghasilkan ortophoto. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada keempat lokasi pengamatan terdapat beberapa objek dasar yang dapat dikenali yaitu hutan mangrove, tambak, kawasan terbangun, tubuh air dan jaringan jalan. Sedangkan objek yang dapat dikenali lebih lanjut karena asosiasinya terhadap objek lain diantara kawasan ekowisata, kawasan hutan konservasi, kawasan tambak sebagai budidaya yang bagian depannya terdapat mangrove penghalang dan kawasan silvofishery yang ditandai dengan tambak dengan beberapa individu mangrove di dalamnya atau di sisi-sisinya.*

**Kata Kunci:** *Mangrove, Unmanned aerial vehicle (UAV), Pangkep*

## PENDAHULUAN

Pemanfaat pesawat tanpa awak/ Unmanned Aerial Vehicle (UAV) saat ini menjadi trend dalam mengamatai fenomena yang sulit dijangkau. Bentuk populer dari penginderaan jauh yang digunakan dalam lingkungan sains adalah gambar permukaan bumi yang diperoleh dari sensor dipasang pada platform udara dan ruang angkasa serta Penginderaan jauh telah digunakan untuk pemetaan distribusi ekosistem hutan, fluktuasi global dalam produktivitas tanaman dengan musim, dan struktur tiga dimensi (3D) dari hutan (Lechner et al., 2020). Penggunaan kendaraan udara tak berawak (UAV) dalam penginderaan jauh vegetasi memungkinkan akuisisi citra resolusi sangat tinggi yang fleksibel dan hemat biaya. Namun, metode pemetaan spesies pohon hutan saat ini tidak mengeksploitasi informasi spasial yang kaya (Emilien et al., 2021). Dengan demikian bantuan wahana UAV ini sangat membantu dalam berbagai bidang termasuk dalam riset.

Pemantauan kawasan pesisir dengan bantuan drone sangat membantu karena resolusi citra yang tinggi yaitu berskala centimeter setiap pixelnya. Resolusi sangat tinggi citra multispektral yang diperoleh dari UAV dapat membantu dalam menilai dan memantau vegetasi (Abdullah et al., 2021). resolusi spasial yang sangat tinggi sangat penting untuk pemetaan akurat jenis pohon hutan menggunakan data RGB. Temuan ini menggarisbawahi peran kunci yang dapat dimainkan UAV untuk penilaian hutan berbasis penginderaan jauh, mengingat bahwa data penginderaan jauh udara dan satelit saat ini tidak memberikan resolusi spasial yang sebanding (Saliu et al., 2021). Data gambar yang dikumpulkan dengan UAV dapat diproses untuk menghasilkan informasi rinci tentang struktur kanopi lokal di sekitar pohon individu pada kawasan hutan, yang mungkin menjadi proksi yang berguna untuk jumlah persaingan yang dialami pohon dari tetangganya (Vanderwel et al., 2020). kendaraan udara tak berawak (UAV), selama 5 tahun terakhir telah berfungsi untuk menemukan kembali potensi yang dimiliki platform dan sensor kecil untuk akuisisi berbiaya rendah dari berbagai data dan citra udara dan ditambah dengan pengembangan siap untuk teknologi fly (RTF), kamera digital berbiaya rendah, GPS, pemrosesan gambar, perangkat lunak fotogrametri soft-copy, dan sensor multispektral, hiperspektral, termal, dan LiDAR, UAV kini menawarkan sarana canggih untuk memperoleh banyak fotografi resolusi dan kumpulan data video 4K untuk studi cakupan area kecil (Green et al., 2019). Oleh karena itu penggunaan drone merupakan sebuah terobosan yang sangat luar biasa dalam pemantauan ekosistem yang sulit dijangkau seperti hutan mangrove.

Hutan mangrove sangat penting untuk kelangsungan ekosistem pada kawasan pesisir. Untuk melestarikan sumber dayanya dari kehancuran, perlu mempelajarinya secara holistik menggunakan penginderaan jauh dan teknologi GIS seperti citra satelit dan drone dengan harapan ini akan memberikan data yang akan mengidentifikasi tingkat degradasi dan kehilangan (Numbere, 2022). Penerapan metode monitoring kawasan mangrove dapat memberikan informasi baru dan tentang sifat biofisik dan dinamika pertumbuhan hutan mangrove serta dapat menjadi masukan untuk pemantauan di masa mendatang dalam kegiatan, dan metode untuk memfasilitasi karakterisasi pemetaan kawasan mangrove yang lebih baik di seluruh dunia (Lucas et al., 2020). Selain itu penerapan metode penilaian kawasan sekitar ekosistem mangrove dengan drone sangat diperlukan mengingat fakta bahwa dua fakta hutan bakau sering tampak lebih memanjang daripada hutan terrestrial serta kerja lapangan lebih menantang di habitat mangrove (Wang et al., 2019). Maka inventarisasi dan monitoring ekosistem mangrove nantinya akan lebih mudah dikaji potensinya menggunakan penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografi.

Pengelolaan kawasan pesisir baik secara terpadu dan berkelanjutan serta berbasis masyarakat sangat direkomendasikan agar bermanfaat sepenuhnya tanpa mengabaikan upaya konservasi. Data hasil ortophoto UAV menghasilkan resolusi spasial yang tinggi dan detail sangat cocok dalam sebagai dasar dalam pemetaan akurat kawasan konservasi baik itu untuk pesisir maupun lahan lainnya (Maulana & Wulan, 2015). Persiapan pengelolaan kawasan pesisir dapat ditempuh dengan terlebih dahulu mengenali lokasi yang menjadi tujuan. Gambaran awal lokasi yang secara spesifik dan detail

melaui foto udara dan dapat langsung interpretasi secara visual dan secara manual dapat dideteksi (Putra et al., 2016). Dengan demikian perencanaan pengelolaan kawasan pesisir akan mudah dipantau dan menghindari hal-hal yang tidak diinginkan selama pelaksanaannya.

Kabupaten Pangkep merupakan daerah di Sulawesi selatan yang berada pada pesisir pantai barat. Berdasarkan identifikasi citra landsat tahun 2021 oleh peneliti Luas hutan mangrove kabupaten Pangkep mencapai 608,60 Ha. Hutan mangrove di kabupaten Pangkep sangat memiliki potensi melimpah karena terdapat berbagai satwa temuan yang dapat bernilai ekonomis seperti mullet, ikan baronang dan kepiting bakau yang dapat meningkatkan penghasilan masyarakat sekitar daerah pesisir (Arfan et al., 2021). Selain itu, kawasan mangrove di Kabupaten Pangkep digunakan sebagai kawasan ekowisata dengan megutamakan daya tarik vegetasi mangrove itu sendiri serta spot foto-foto yang disediakan pengelola sehingga meningkatkan pula pendapatan masyarakat sekitar dari retribusi masuk kawasan ekowisata, penyediaan makanan dari kafetaria/warkop serta souvenir yang di tawarkan (Al Hazar, 2020). Oleh sebab itu penelitian ini bermaksud untuk mengkaji berbagai jenis pemanfaatan kawasan mangrove melaui citra foto udara dari drone atau UAV.

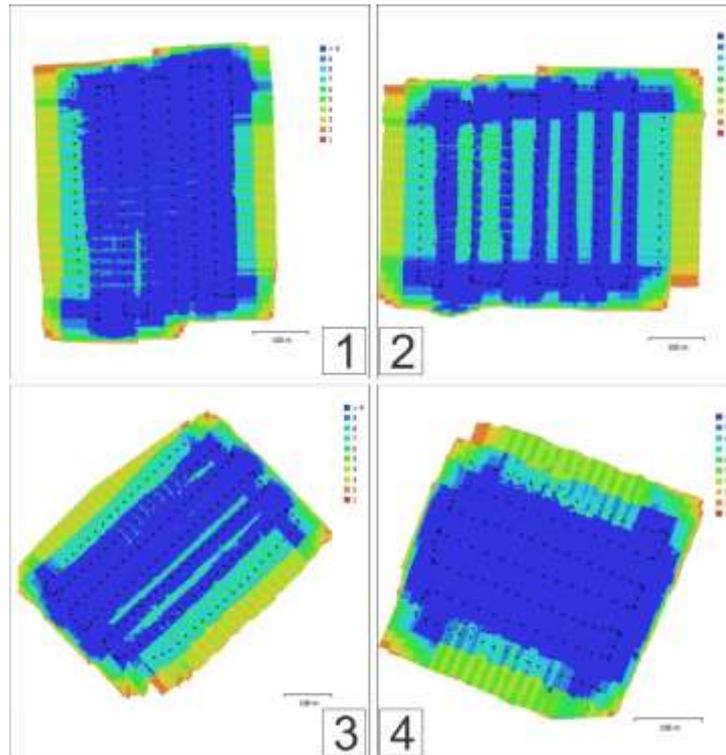
## **METODE**

Penelitian ini dilaksanakan di pesisir Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan. Lokasi pengamatan dilakukan pada hutan mangrove yang termasuk pada kawasan Ekowisata. Konservasi, budidaya dan silvofishery. Pengambilan titik sampel observasi dengan menggunakan metode purposive sampling. Teknik pengambilan data dengan melakukan wawancara dengan masyarakat dan pengambilan citra foto udara dengan menggunakan pesawat tanpa awak (UAV) drone DJI Mavic Air 2 dengan spesifikasi sensor kamera 1/2" CMOS dengan Effective Pixels 12 MP and 48 MP . Teknik analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan analisis penginderaan jauh dan system informasi geografi dibantu dengan software ArcGis Arcmap 10.4 DJI Fly, dan Agisoft Metashape 17.1.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Hasil**

Pengambilan foto udara dilakukan pada 4 kawasan mangrove yang memiliki peruntukan masing-masing diantaranya sekitar Desa Bulu Cindea sebagai kawasan ekowisata, Desa Borimasungguh sebagai kawasan konservasi, Desa Pitue Sebagai kawasan budidaya dan Desa Tamarupa sebagai kawasan silvofishery. Analisis foto udara menggunakan wahana drone menghasilkan beberapa hasil berupa tampilan lokasi kamera dan overlap citra, lokasi kamera dan estimasi kesalahan, data elevation model (DEM) dan orthophoto lokasi penelitian yang diolah menggunakan agisoft 17.0.



Gambar 1. Lokasi kamera dan tingkat overlap gambar

Berdasarkan gambar 1 dapat diketahui bahwa titik hitam yang berjejer merupakan titik pengambilan gambar oleh drone yang juga merupakan jalur terbang misi drone. Tingkat overlap gambar yang diambil ditunjukkan oleh gradasi warna pada sekitar wilayah yang dicakupi oleh drone saat pengambilan gambar. gradasi warna semakin ke warna biru menunjukkan tingkat overlap antar gambar semakin tinggi sedangkan semakin menuju ke warna merah menandakan tingkat overlap semakin rendah. Tingkat overlap paling tinggi biasanya ditemukan di bagian tengah wilayah yang terpetakan karena banyaknya gambar di sekitarnya sedangkan wilayah pinggir memiliki overlap rendah karena merupakan perbatasan wilayah yang tercakupi oleh foto udara dan yang belum dapat dijangkau. Adapun spesifikasi foto udara yang diperoleh dari masing-masing kawasan yang dipetakan dapat dilihat pada tabel 1.

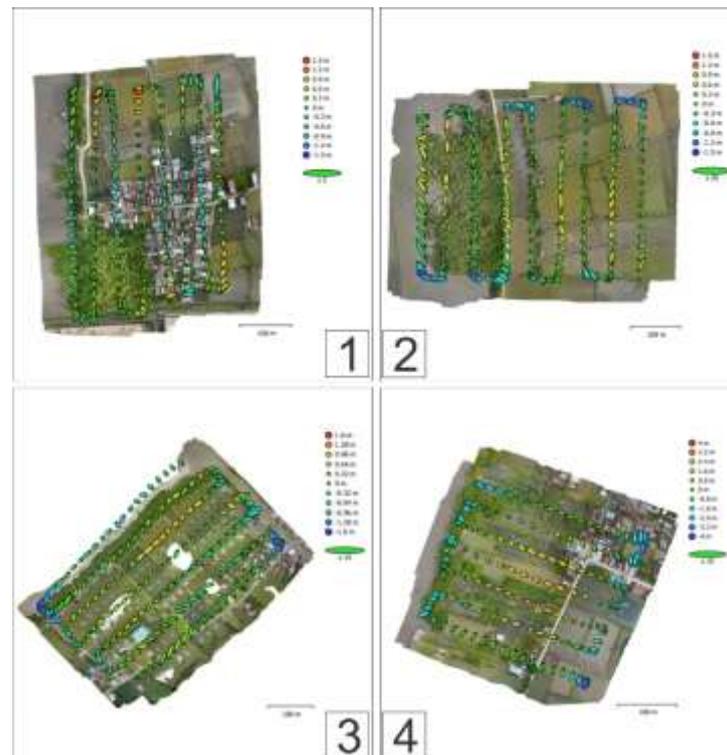
**Tabel 1.** Spesifikasi foto udara

No	Lokasi	Jml Gmbr	Ketinggian terbang (m)	Res. Perm. (cm/pix)	Luas area (Km2)	St. Kamera	Ttk. ikat	Proyeksi	Reproyeksi gagal (pix)
Desa									
1	Bulu Cindea	199	100	7.07	0.233	199	72427	242970	1.03
Desa									
2	Borimasunggu	193	100	7.04	0.248	193	51234	155641	1.04
3	Desa Pitue	182	100	6.99	0.228	182	55378	151915	0.545
4	Desa Tumarupa	145	100	6.92	0.139	145	95944	286323	0.592

Sumber : Olah Data, 2022

Berdasarkan tabel 1 dapat diketahui bahwa pada terdapat perbedaan spesifikasi antara citra yang dihasilkan antara satu lokasi dengan lainnya. Pada lokasi 1 jumlah gambar sebanyak 199 gambar, ketinggian terbang 100 meter, ukuran pixel permukaan 7.07 cm/pix, area tercakupi 0.233 Km<sup>2</sup>, nilai titik ikat 72427, nilai proyeksi 242970 dan tingkat kesalah proyeksi sebesar 1.03 pix. Pada lokasi 2 jumlah gambar sebanyak 193 gambar, ketinggian terbang 100 meter, ukuran pixel permukaan 7.04 cm/pix, area tercakupi 0.248 Km<sup>2</sup>, nilai titik ikat 51234, nilai proyeksi 155641 dan tingkat kesalah proyeksi sebesar 1.04 pix. Pada lokasi 3 jumlah gambar sebanyak 182 gambar, ketinggian terbang 100 meter, ukuran pixel permukaan 6.99 cm/pix, area tercakupi 0.228 Km<sup>2</sup>, nilai titik ikat 55378, nilai proyeksi 151915 dan tingkat kesalah proyeksi sebesar 0.545pix. Pada lokasi 4 jumlah gambar sebanyak 145 gambar, ketinggian terbang 100 meter, ukuran pixel permukaan 6.92 cm/pix, area tercakupi 0.139 Km<sup>2</sup>, nilai titik ikat 95944, nilai proyeksi 286323 dan tingkat kesalah proyeksi sebesar 0.592 pix.

**Gambar 2.** Lokasi kamera dan estimasi kesalahan



Tingkat kesalahan posisi bujur atau sumbu X dan lintang atau sumbu Y diindikasikan dengan bentuk besar kecilnya bentukan elips pada titik letak kamera. Sedangkan tingkat kesalahan ketinggian atau sumbu Z ditandai dengan gradasi warna pada bentukan elips pada titik letak kamera.

**Tabel 2.** Tingkat kesalahan lokasi dan ketinggian pengambilan data

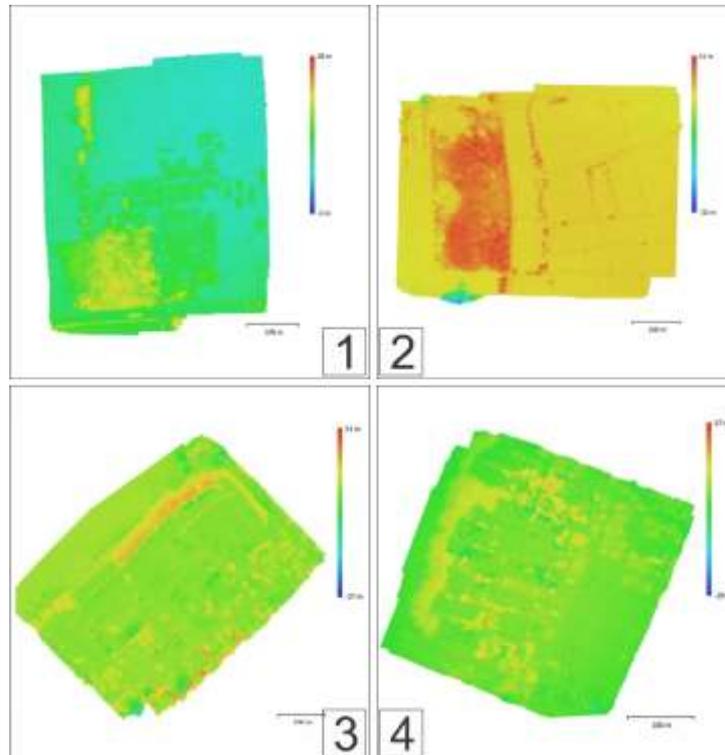
No	Lokasi	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
1	Desa Bulu Cindea	1.24956	1.94509	0.419178	2.31187	2.34957
2	Desa Borimasunggu	0.397336	0.536278	0.529102	0.667435	0.851715
3	Desa Pitue	0.625159	0.624382	0.498397	0.883559	1.01443
4	Desa Tumarupa	0.641046	0.610829	1.52097	0.885468	1.75994

Sumber : Olah Data, 2022

Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui bahwa total kesalahan lokasi dan ketinggian pada lokasi pengambilan citra berkisar < 3 meter. Pada lokasi 1 total error sebesar 2.34957 meter, pada lokasi dua

sebesar 0.851715 meter, pada lokasi 3 sebesar 1.01443 meter dan pada lokasi 4 sebesar 1.75994 meter. Tingkat besar atau kecilnya kesalahan dalam pengambilan gambar foto udara menggunakan drone diakibatkan karena jumlah koneksi terhadap satelit yang terhubung dengan wahana drone, koneksi transmitter remote control kepada wahana drone serta keadaan cuaca seperti kecepatan angin pada ketinggian terbang membuat drone keluar dari jalur terbangnya.

**Gambar 3.** Data elevation model lokasi penelitian



Pada tampilan DEM masing-masing lokasi penelitian, beda tinggi suatu objek dapat dibedakan dengan memperhatikan gradasi warna yang dibentuk. Pada gradasi warna dem pada hasil laporan pengolahan citra dapat diketahui bahwa semakin ke gradasi warna biru maka posisi objek semakin rendah. Sedangkan gradasi menuju ke warna orange kemerahan menunjukkan objek semakin tinggi posisinya. Adapun spesifikasi DEM yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel 3 berikut.

**Tabel 3.** Spesifikasi DEM lokasi penelitian

No	Lokasi	Resolution (cm/pix)	Densitas (point/m2)	Min Alt. (m)	Max Alt. (m)
1	Desa Bulu Cindea	28.3	28.3	-3	28
2	Desa Borimasunggu	28.2	12.6	-32	21
3	Desa Pitue	28	12.8	-27	31
4	Desa Tumarupa	27.7	13	-29	37

Sumber : Olah Data, 2022

Berdasarkan tabel 3 mengenai DEM yang dihasilkan dapat diketahui bahwa tingkat resolusi DEM yang dihasilkan menggunakan wahana drone memiliki resolusi tinggi akan tetapi keakuratan rendah atau melenceng pada bagian tubuh air yang dipetakan. Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui bahwa resolusi yang diperoleh berkisar antara 27.7 – 28.3 dengan densitas titik antara 12.6 – 28.3. ketinggian objek tertinggi adalah 37 meter.

**Gambar 4.** Tampilan Orthophoto Lokasi Penelitian

Orthophoto hasil drone hanya terdiri dari 3 kanal yaitu merah, hijau, biru sehingga yang tampilan yang dihasilkan sesuai dengan yang dilihat mata manusia. Tampilan orthophoto yang di dihasilkan dapat langsung diidentifikasi secara visual karena menampilkan objek sangat jelas pada resolusi tinggi. Adapun beberapa contoh objek yang dapat ditandai menggunakan citra foto udara dapat dilihat sebagai berikut.

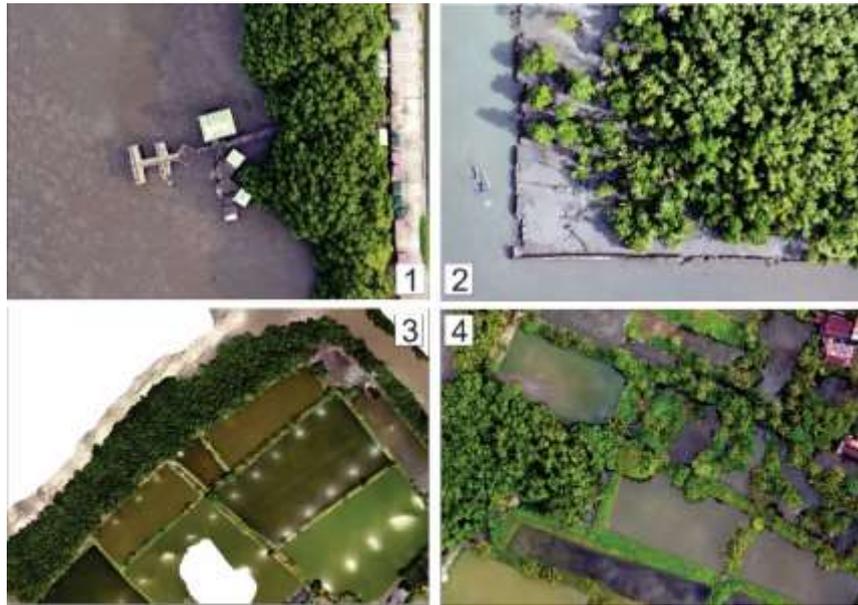
#### Pembahasan

Adapun objek dasar yang dapat dikenali pada foto udara sekitar wilayah pesisir diantaranya kawasan mangrove, kawasan terbangun (permukiman), tambak, jaringan jalan, dan tubuh air. Kawasan mangrove nampak dengan warna hijau dengan tekstur kasar dan bentuk memanjang di pesisir pantai pada daerah pesisir. Jenis mangrove yang mudah dikenali dilapangan adalah dari jenis *rhizophora* dan *avicennia*. Kawasan terbangun atau permukiman ditampilkan dalam bentuk persegi atau persegi panjang dengan warna dominan antara perak hingga kecoklatan yang menggambarkan bagian atap bangunan akan tetapi kadang pula ditemukan warna lain. Tambak masyarakat ditampilkan berbentuk peta persegi atau persegi panjang yang lebih besar di sepanjang pesisir pantai. Batas antar petak tambak dengan yang lain kadang berona hijau karena ditumbuhi rumput atau semak bahkan individu mangrove. Jaringan jalan pada kawasan ditandai dengan bentuk memanjang dan tidak terlalu lebar. Jalan di kawasan pesisir biasanya hanya untuk menghubungkan antara kelompok permukiman dan untuk akses dermaga dan memudahkan masyarakat mencapai tambaknya. Tubuh air ditandai pada posisi terluar kawasan pesisir. Rona tubuh air kadang berubah yang dipengaruhi oleh kandungan tubuh air dan refleksi, serapan dan pantulan objek terhadap cahaya pada saat pengambilan foto udara. Warna tubuh air bervariasi antara transparan hingga biru tua. Tubuh air pada tambak kadang berwarna hijau. Hasil foto udara dengan UAV juga menunjukkan bahwa informasi ketinggian efektif untuk membedakan spesies mangrove dengan tanda spektral yang sama, tetapi ketinggian yang berbeda (Cao et al., 2018).

**Gambar 4.** Objek yang dapat interpretasi secara visual

Pada masing-masing lokasi dapat pula diidentifikasi secara lanjut beberapa ciri khas kawasan ekowisata, kawasan konservasi, kawasan budidaya dan kawasan silvofishery. Jika di asosiasikan hutan mangrove memiliki hubungan dengan lahan lain seperti tambak ikan, tambak garam, tambak udang dan lahan budidaya lainnya sehingga masing-masing objek yang ditangkap oleh citra dan yang sesuai pada lapangan lebih mudah di amati dengan resolusi spectral yang tinggi (Arifin et al., 2015). Pada Desa Bulu Cindea terdapat kawasan ekowisata mangrove yang ditandai bangunan menyerupai dermaga akan tetapi memiliki beberapa simpangan yang memanjang menjorok kelaut. Selain itu beberapa bangunan yang berada disekitar hutan mangrove yang biasanya aula atau berupa kafe serta box kecil sepanjang jalan merupakan penjual jajanan ketika berkunjung ke kawasan tersebut. Pada Desa Borimasunggu dapat ditemukan kawasan konservasi pada ekosistem mangrovenya. Pada foto udara dapat ditandai bahwa kawasan mangrove diberikan pagar penanda atau semacam pembatas. Hal ini dilakukan agar menandai lokasi konservasi dan mengupayakan tidak ada pemanfaatan secara eksplotatif yang berakibat rusaknya ekosistem. Pada pesisir Desa Pitue terdapat kawasan tambak yang cukup luas sebagai tempat budidaya ikan, udang dan kepiting serta rumput laut oleh masyarakat. Ekosistem mangrove pada bagian depan tambak selain menyediakan satwa yang dapat ditangkap dan dikonsumsi, itu juga berfungsi sebagai penahan gelombang air laut agar tidak mengikis tanggul tambak serta memperkokohnya. Pada Desa Tumarupa diperukan untuk kawasan silvofishery. Citra foto udara pada lokasi menunjukkan beberapa tambak masyarakat disengaja ditanami beberapa individu mangrove pada sisi tambak dan tengah tambak. Selain memperkokoh pematang tambak dan mempertahankan kondisi mangrove, akan tetapi menghasilkan keuntungan pada bidang ekonomi bagi budidaya air payau. Penggunaan UAV dalam penginderaan jauh, ditambah dengan perkembangan terkini dalam mesin algoritma pembelajaran dan perangkat lunak pengolah gambar telah menawarkan kemampuan untuk pemetaan dan identifikasi spesies mangrove dari citra yang diperoleh dari jarak jauh penginderaan (Zimudzi et al., 2021).

**Gambar 5.** Kawasan yang berasosiasi dengan mangrove (1) Ekowisata (2) Konservasi (3) Budidaya (4) Silvofishery



Selanjutnya dalam penyajian citra dari foto udara drone dapat dilakukan layout menggunakan bantuan software ArcMap 10.4 dengan mengikuti kaidah-kaidah yang berlaku. Adapun hasil layout citra pada masing-masing lokasi dapat dilihat pada gambar 5

Gambar 5. Foto udara lokasi penelitian



## SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat diketahui pemetaan hutan mangrove menggunakan UAV/ dalam hal ini drone DJI Mavic air 2 yang kemudian disimpulkan bahwa terdapat objek yang dapat diidentifikasi dari hasil pengambilan data berupa foto udara diantaranya hutan mangrove, kawasan terbangun, tambak, tubuh air dan jaringan jalan. Sedangkan secara lebih lanjut Adapun objek yang dapat diinterpretasi diantaranya yaitu kawasan ekowisata mangrove, kawasan konservasi mangrove, kawasan budidaya yang depannya dilindungi hutan mangrove dan kawasan silvofishery. Selain itu, penelitian ini menghasilkan citra resolusi tinggi dan data Digital Elevation Mode (DEM) pada setiap lokasi pengambilan sampel.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. M., Al-Ali, Z. M., & Srinivasan, S. (2021). The use of UAV-based remote sensing to estimate biomass and carbon stock for native desert shrubs. *MethodsX*, 8, 101399.
- Al Hazar, B. (2020). Persepsi Dan Partisipasi Dalam Program CSR Ekowisata Mangrove. *Jurnal Environmental Science*, 3(1).
- Arfan, A., Maru, R., Side, S., & Saputro, A. (2021). Strategi Pengelolaan Kawasan Hutan Mangrove Sebagai Kawasan Hutan Produksi Di Kabupaten Maros Sulawesi Selatan, Indonesia. *Jurnal Environmental Science*, 3(2).
- Arifin, S., Anas, A., Sari, N. M., & Kushardono, D. (2015). Identifikasi dan Interpretasi Visual Citra Kamera Digital Multispektral untu Obyek Wilayah Pesisir. *Seminar Nasional Penginderaan Jauh*, 560–566.
- Cao, J., Leng, W., Liu, K., Liu, L., He, Z., & Zhu, Y. (2018). Object-based mangrove species classification using unmanned aerial vehicle hyperspectral images and digital surface models. *Remote Sensing*, 10(1), 89.
- Emilien, A.-V., Thomas, C., & Thomas, H. (2021). UAV & satellite synergies for optical remote sensing applications: A literature review. *Science of Remote Sensing*, 3, 100019.
- Green, D. R., Hagon, J. J., Gómez, C., & Gregory, B. J. (2019). Using low-cost UAVs for environmental monitoring, mapping, and modelling: Examples from the coastal zone. In *Coastal management* (pp. 465–501). Elsevier.
- Lechner, A. M., Foody, G. M., & Boyd, D. S. (2020). Applications in remote sensing to forest ecology and management. *One Earth*, 2(5), 405–412.
- Lucas, R., Van De Kerchove, R., Otero, V., Lagomasino, D., Fatoyinbo, L., Omar, H., Satyanarayana, B., & Dahdouh-Guebas, F. (2020). Structural characterisation of mangrove forests achieved through combining multiple sources of remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, 237, 111543. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111543>
- Maulana, E., & Wulan, T. R. (2015). Pemotretan Udara dengan UAV Untuk Mendukung Kegiatan Konservasi Kawasan Gumuk Pasir Parangtritis. *Simposium Nasional Sains Geoinformasi IV*.
- Numbere, A. O. (2022). *Chapter 20 - Application of GIS and remote sensing towards forest resource management in mangrove forest of Niger Delta* (M. K. Jhariya, R. S. Meena, A. Banerjee, & S. N. B. T.-N. R. C. and A. for S. Meena (eds.); pp. 433–459). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822976-7.00024-7>
- Putra, A. S., Maulana, E., Wulan, T. R., Nurhidayah, P., Sanjaya, M. D. A., & Swastiko, F. A. (2016). Uji Akuisisi Data Dengan Uav Untuk Monitoring Kondisi Mangrove Dalam Mencegah Abrasi Air Laut. *Geografi*, 0, 500–507.

- Saliu, I. S., Satyanarayana, B., Fisol, M. A. Bin, Wolswijk, G., Decannière, C., Lucas, R., Otero, V., & Dahdouh-Guebas, F. (2021). An accuracy analysis of mangrove tree height mensuration using forestry techniques, hypsometers and UAVs. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 248, 106971.
- Vanderwel, M. C., Lopez, E. L., Sprott, A. H., Khayyatkoshnevis, P., & Shovon, T. A. (2020). Using aerial canopy data from UAVs to measure the effects of neighbourhood competition on individual tree growth. *Forest Ecology and Management*, 461, 117949.
- Wang, L., Jia, M., Yin, D., & Tian, J. (2019). A review of remote sensing for mangrove forests: 1956–2018. *Remote Sensing of Environment*, 231, 111223.
- Zimudzi, E., Sanders, I., Rollings, N., & Omlin, C. W. (2021). Remote sensing of mangroves using unmanned aerial vehicles: Current state and future directions. *Journal of Spatial Science*, 66(2), 195–212.