

Teknologi Drone untuk Estimasi Stok Karbon di Area Mangrove Pulau Kemujan, Karimunjawa

Wanda Laras Farahdita*, Nirwani Soenardjo, Chrisna Adhi Suryono

Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof.H.Soedarto S.H, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275 Indonesia

*Corresponding author, e-mail: wl.farahdita@gmail.com

ABSTRAK: Hutan mangrove dapat mengurangi emisi karbon dengan menyerap CO₂ yang berasal dari udara. Kawasan *Tracking* Mangrove Pulau Kemujan merupakan salah satu pulau di Taman Nasional Karimunjawa yang didominasi oleh mangrove. Jumlah serapan karbon yang tersimpan di mangrove perlu dihitung sebagai upaya penanganan iklim global dan menambah fungsi mangrove. Pendugaan karbon dapat dilakukan melalui teknologi penginderaan jauh, salah satunya dengan *drone*. Tujuan dari penelitian ini adalah menghitung dan memetakan area spasial distribusi stok karbon di area *tracking* mangrove Pulau Kemujan, Karimunjawa. Penelitian ini menggunakan data kuantitatif yang didapatkan dari pendekatan analisis spasial dan data pengukuran lapangan. Metode yang diaplikasikan terdiri dari fotogrametri, *image classification*, dan perhitungan pendugaan karbon. Resolusi hasil foto udara adalah 3,19 cm/pix, uji korelasi dan uji validasi antara nilai karbon dan indeks vegetasi (NDVI) adalah 0,658 dan 10,738%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa area *tracking* mangrove Pulau Kemujan, Karimunjawa memiliki estimasi simpanan karbon antara 8,42–224,6 ton/ha, dominansi karbon tertinggi berkisar antara 19,43-31,20 ton/ha yang mencakup 8,159 ha. Total area yang terpetakan adalah 28,462 ha dengan rata-rata nilai karbon 56,93 ton/ha.

Kata kunci: Mangrove; Karbon; Drone; Fotogrametri; NDVI

Drone Technology for Estimating Carbon Stocks in Mangrove Areas of Kemujan Island, Karimunjawa

ABSTRACT: Mangrove forests can reduce carbon emissions by absorbing CO₂ from the air. Mangrove Tracking Area of Kemujan Island is one of the islands in Karimunjawa National Park which dominated by mangroves. The amount of carbon sequestration in mangroves needs to be calculated in order to reduce the climate change impact and increase the function of mangroves. Carbon estimation could be approached by remote sensing technology, drones are one of them. The study aims to calculate carbon sequestration and mapping the spatial area of carbon stock distribution in the mangrove tracking area of Kemujan Island, Karimunjawa. Quantitative data are obtained from the spatial analysis and field measurement data. The method applied consists of photogrammetry, *image classification*, and calculation of carbon estimation. Resolution of aerial photo is 3.19 cm/pix, correlation test and validation test between carbon value and vegetation index (NDVI) are 0.658 and 10.738%, respectively. The result showed that the mangrove tracking area of Kemujan Island, Karimunjawa had an estimated of carbon stock ranges from 8.42–224.6 tons/ha, the highest dominance is 19.43-31.20 tons/ha which covered 8,159 ha. The total area mapped as a spatial area of carbon stock distribution is 28,462 ha with an average carbon value of 56.93 tons/ha.

Keywords: Mangrove; Carbon; Drone; Photogrammetry; NDVI

PENDAHULUAN

Meningkatnya aktivitas manusia pada sektor industri, transportasi, pembangkit listrik, dan lainnya berdampak pada meningkatnya kadar karbondioksida (CO₂) yang terlepas ke udara dan mengakibatkan pemanasan iklim secara global (Triana, 2008). Salah satu usaha yang dapat dilakukan untuk meminimalisir dampak tersebut adalah meningkatkan peran hutan sebagai penyerap CO₂ melalui pengelolaan hutan, salah satunya yaitu hutan mangrove (Forestriko, 2016).

Kemampuan mangrove dalam menyimpan karbon lebih banyak jika dibandingkan hutan jenis lainnya (Donato *et al.*, 2011). Kawasan *tracking* mangrove Pulau Kemujan berada pada 110°26'55"-110°29'38" BT dan 5°46'24"-5°59'16" LS, merupakan salah satu pulau di Taman Nasional Karimunjawa (TNKJ) yang didominasi oleh mangrove dengan luasan 396.9 ha (BTNKJ, 2002).

Penginderaan jauh merupakan salah satu metode yang efektif untuk melakukan monitoring dan mengestimasi jumlah karbon mangrove. Luasan area, waktu, dan biaya tidak menjadi masalah melalui penginderaan jauh (Somantri, 2008). Beberapa institusi dunia bahkan menyediakan citra satelit resolusi tinggi dan gratis yang dapat diunduh (Salim *et al.*, 2018), seperti *Ikonos*, *Quickbird*, dan *Worldview* (Rudianto, 2010). Selain citra satelit, foto udara menggunakan pesawat nir awak (UAV) atau *drone* telah digunakan untuk analisa luasan vegetasi mangrove oleh Salim *et al.*, (2018) dan klasifikasi spesies mangrove oleh Kuenzer *et al.*, (2011). Ketinggian akuisisi foto dapat diatur sehingga resolusi foto yang didapatkan detil yaitu kurang dari 25 cm/pix (Ramadhani *et al.*, 2015).

Penelitian ini memiliki objektifitas untuk mengetahui seberapa besar kawasan *tracking* mangrove Pulau Kemujan mampu menyerap karbon dari udara. Mengingat penggunaan *drone* untuk penentuan estimasi stok karbon masih jarang dilakukan, sehingga *drone* menjadi pilihan yang tepat untuk dipergunakan dalam pemetaan estimasi stok karbon dengan hasil yang cepat didapatkan dan *real time*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghitung estimasi stok karbon di area *tracking* mangrove Pulau Kemujan, Karimunjawa dan memetakan area spasial distribusi stok karbon di area *tracking* mangrove Pulau Kemujan, Karimunjawa

MATERI DAN METODE

Alat yang digunakan selama penelitian meliputi *GPS Garmin 62S* untuk menentukan titik koordinat dan koreksi titik control atau *ground control point* (GCP), wahana *drone DJI Phantom 3 Pro* untuk akuisisi foto udara, rol meter untuk membuat *line*, meteran jahit untuk mengukur diameter batang (DBH), dan kamera untuk dokumentasi. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Basemap GeoEye ESRI*, hasil foto udara, titik koordinat, jumlah tegakan pohon, dan data diameter pohon.

Proses pengambilan foto udara dilakukan pada Desember, 2020 yang terdiri dari beberapa rangkaian kegiatan, antara lain melakukan perencanaan terbang pada *basemap* (Gambar 1), melakukan kalibrasi terhadap wahana *drone*, koreksi titik control atau *ground control point* (GCP) dan akuisisi foto udara. *Drone* yang digunakan dalam penelitian (Gambar 2) adalah *drone DJI Phantom 3 Pro* generasi ketiga yang telah dilengkapi dengan spesifikasi mumpuni dibandingkan tipe-tipe sebelumnya (Wulan *et al.*, 2017).



Gambar 1. Grid rencana penerbangan *drone* untuk melakukan foto udara

Metode plot sampling digunakan untuk pengambilan sampel vegetasi mangrove (Mueller-Dumbois dan Ellenberg, 1974). Pengumpulan data dilakukan secara *purposive sampling* sebanyak 8 plot stasiun (Nazir, 2003). Pada lokasi dilakukan pengukuran diameter batang (DBH), perhitungan jumlah tegakan pohon DBH, akuisisi foto udara, dan GCP. Hasil pengukuran pohon digunakan untuk menganalisis besaran kerapatan pada satu area plot stasiun. Perhitungan karbon mengacu pada Hairiah *et al.*, (2007), bahwa 46% dari biomassa merupakan karbon. Persamaan allometrik biomassa mangrove (biomassa di atas permukaan tanah) menggunakan rumus Komiyama *et al.*, (2005) yaitu:

$$W_{top} = 0,247\rho (D)^{2,46}$$

Keterangan: P= Kerapatan jenis (g/cm^3); D= Diameter pohon setinggi dada (cm); Wtop= Kandungan biomassa tegakan atas (ton/ha)

Proses fotogrametri dilakukan dengan perangkat lunak *Agisoft Metashape v1.6.0*. *Output* pengolahan diekspor ke dalam format *tiff* (Salim *et al.*, 2018). Koordinat x, y, dan z di lapangan (GCP) dibutuhkan dalam proses fotogrametri untuk koreksi koordinat model dari *point cloud* menjadi koordinat sebenarnya di lapangan (Meiarti *et al.*, 2019).

Analisis terhadap hasil fotogrametri foto udara dilakukan menggunakan metode indeks vegetasi NDVI (Franklin, 2001; Putra *et al.*, 2017). Hubungan antara indeks vegetasi yang digunakan dalam penduga potensi karbon diketahui dengan menghitung nilai koefisien korelasi (r) mengacu pada Sugiyono, (2014). Analisis hubungan tersebut diaplikasikan menggunakan model regresi eksponensial untuk melihat karakteristik indeks vegetasi dan karbon di lapangan yang memiliki batasan nilai maksimum. Uji regresi merupakan metode matematis yang dapat digunakan untuk mengetahui pola hubungan antar variabel dan membuat persamaan estimasi dari variabel tersebut (Sudjana, 1992). Uji validasi *Root Mean Square Error* (RMSE) dilakukan untuk mengetahui seberapa besar *error* yang terjadi pada hasil perhitungan model jika dibandingkan dengan nilai aktual. Semakin kecil nilai RMSE, maka semakin kecil pula kesalahan yang terjadi pada penggunaan model (Ismanto *et al.*, 2019).

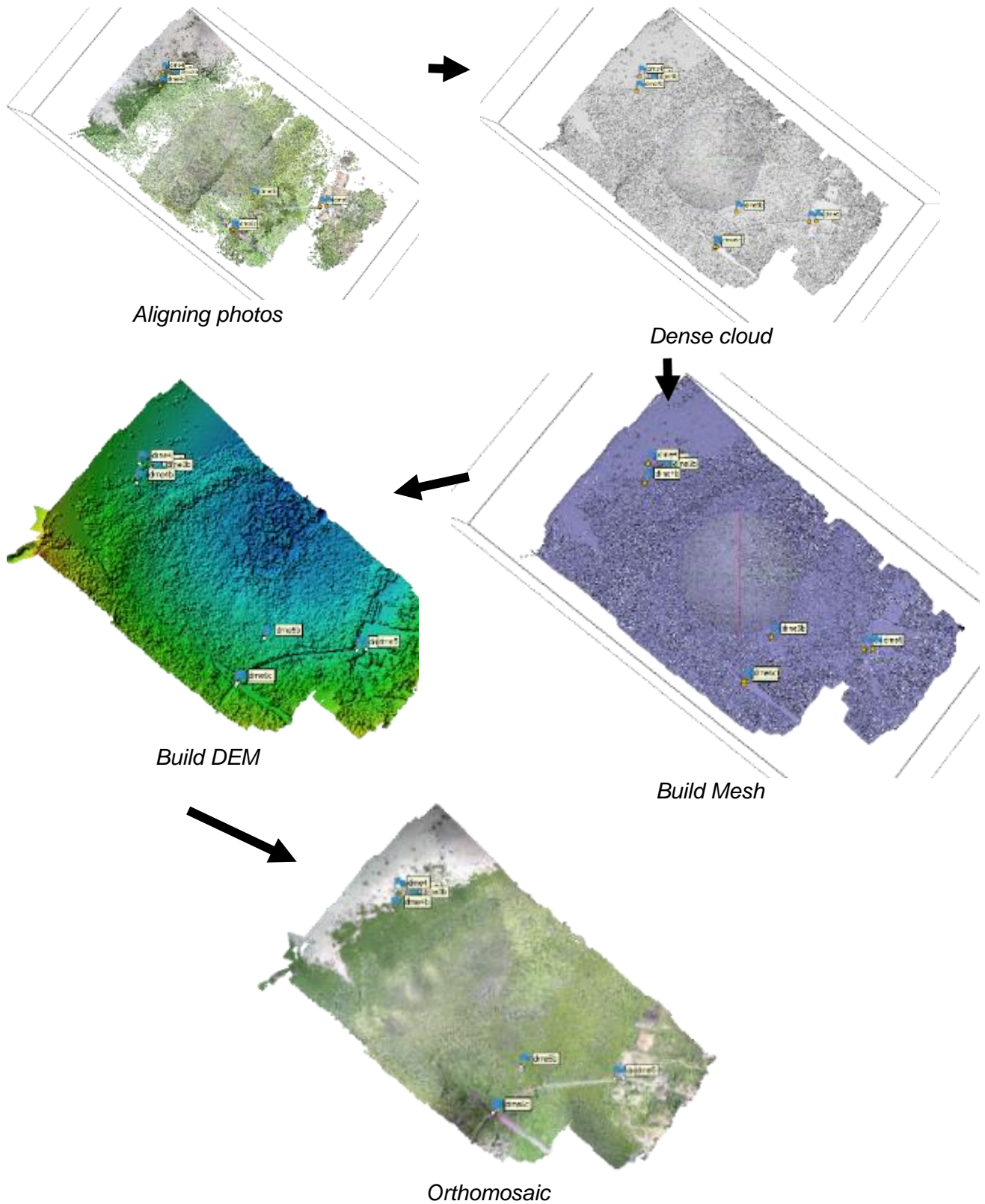
HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Biomassa dan Estimasi Karbon per Stasiun

Berdasarkan hasil penelitian biomassa karbon mangrove pada kawasan *tracking* mangrove Pulau Kemujan, Karimunjawa disajikan dalam Tabel 1. Perhitungan biomassa atas permukaan untuk mengestimasi karbon mangrove menggunakan metode tidak langsung sehingga tidak perlu merusak vegetasi (Hairiah *et al.*, 2007). Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari total 8 plot stasiun terdapat 592 pohon dengan biomassa sebesar $921.241,132 \text{ kg/cm}^3$ dan karbon sebesar 423,771 ton/ha. Hasil biomassa yang ditemukan pada keseluruhan stasiun berbanding lurus dengan hasil karbon.



Gambar 2. Wahana *drone* yang digunakan dalam penelitian



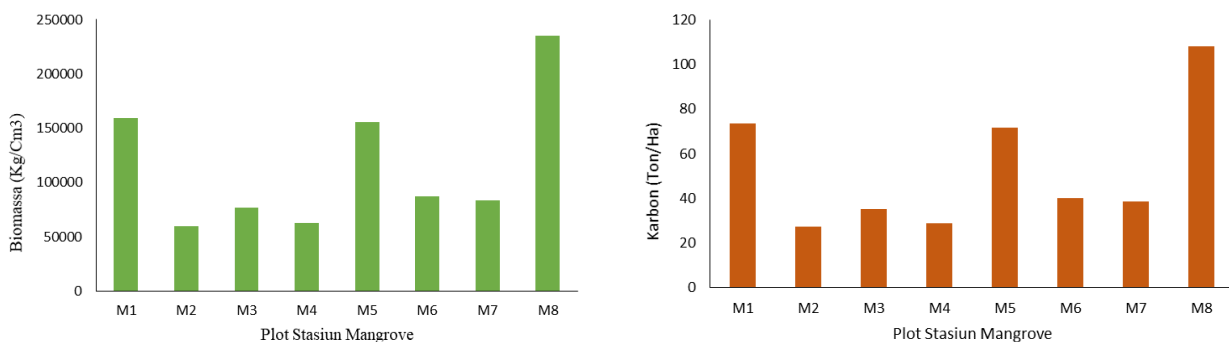
Gambar 3. Alur proses fotogrametri, dengan titik GCP (label yang terdapat pada gambar) di area *tracking* mangrove Pulau Kemujan

Hal ini ditunjukkan dengan stasiun M2 yang memiliki biomassa terendah dan karbon terendah yaitu 27,368 ton/ha. Stasiun M8 memiliki kapasitas karbon tertinggi yaitu 108,274 ton/ha dan nilai biomassa tertinggi yaitu 235.379,271 kg/cm³. Purnomo (2020), menyatakan bahwa kandungan karbon tersimpan sangat dipengaruhi oleh biomassa pohon. Hal ini sesuai dengan persamaan yang ditunjukkan oleh Komiyama *et al.*, (2005) dan Hairiah *et al.*, (2007), dimana dalam biomassa terdapat kandungan karbon sebanyak 46%.

Terkait dengan biomassa dan karbon yang berbanding lurus, diameter mempengaruhi hasil kerapatan (Rahayu *et al.*, 2007; Hikmatyar *et al.*, 2015). Stasiun M5 memiliki kerapatan terbesar yaitu 14.100 gr/cm³, namun hasil biomassa dan karbonnya tidak menunjukkan hasil yang terbesar. Hasil lainnya dapat dilihat di stasiun M8 dengan hasil biomassa dan karbon yang tinggi dengan hasil lebih dari 100 ton/ha, jika dilihat kerapatannya tidak menunjukkan kerapatan dengan hasil tertinggi. Hasil penelitian Cahyaningrum *et al.*, (2014), dengan lokasi yang sama menunjukkan bagian pohon yang memiliki kandungan biomassa karbon terbesar adalah bagian batang. Tingginya kadar karbon pada batang dikarenakan bagian tubuhnya digunakan sebagai tempat penyimpanan cadangan makanan dari hasil fotosintesis (Sutaryo, 2009) dan sisa karbonnya digunakan untuk menyusun dinding sel-sel batang. Semakin besar diameter pohon maka kandungan karbon dalam 1 tegakan pohon juga akan semakin banyak (Yamani, 2013).

Tabel 1. Hasil total biomassa dan karbon mangrove per plot stasiun

Stasiun	Area (Ha)	Kerapatan (gr/cm ³)	Biomassa (kg/cm ³)	Karbon (ton/ha)
M1	0,01	9.700	159.736,144	73,479
M2	0,01	2.800	59.495,902	27,368
M3	0,01	3.500	76.823,202	35,339
M4	0,01	6.100	62.986,096	28,974
M5	0,01	14.100	155.989,715	71,755
M6	0,01	3.600	87.193,528	40,109
M7	0,01	8.100	83.637,275	38,473
M8	0,01	11.300	235.379,271	108,274
			Total Karbon	423,771



Gambar 4. Histogram kandungan biomasa dan karbon per plot stasiun penelitian

Fotogrametri Foto Udara

Total luasan area yang diakuisisi adalah 31.04 ha, setelah melalui tahapan pengolahan berubah menjadi 28.46 ha dengan ketinggian saat akuisisi adalah 91.8 m. Hasil foto udara memiliki resolusi 3,19 cm/pix dengan nilai koreksi GCP sebesar 1.23 m, sedangkan pada penelitian Forestriko (2016) menggunakan *Landsat 8* memiliki resolusi 30x30 m/pix. Hasil fotogrametri terdapat perbedaan antara jumlah foto yang didapatkan dengan jumlah foto yang digunakan dalam proses *alignment* foto. Total foto 1.051 sedangkan yang digunakan hanya 1.027. Pengurangan foto dikarenakan kualitas foto tidak baik seperti *blurry* dan miring. Hal ini ditemukan akibat *drone* yang terbang terkadang tidak stabil dan terganggu. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh angin, penetrasi cahaya, tutupan awan, serta waktu dan ketinggian saat pengambilan foto udara.

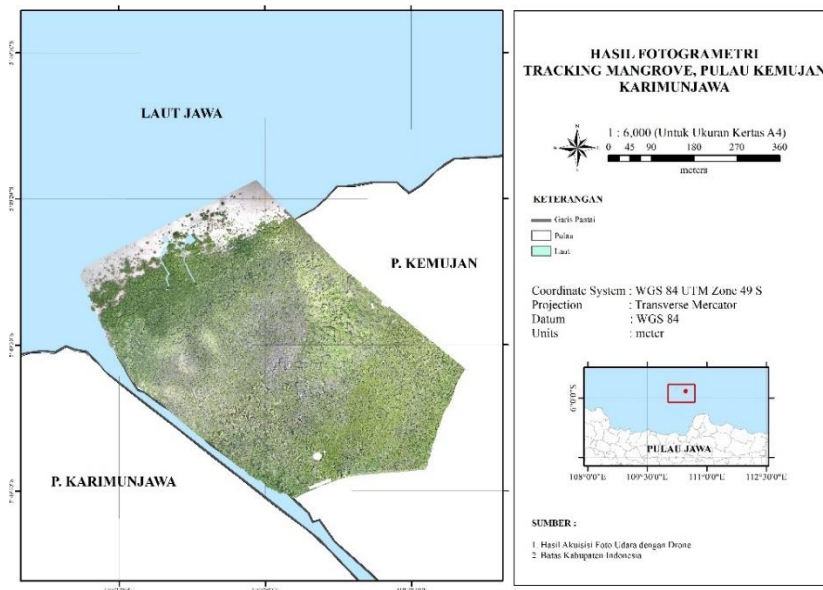
Menurut (Duffy *et al.*, 2018; Gray *et al.*, 2018), kondisi meteorologi termasuk kecepatan angin, intensitas cahaya matahari, densitas awan, dan posisi matahari akan sangat mempengaruhi pergerakan *drone* yang sedang terbang. Variabel ini akan cenderung mempengaruhi hasil kualitas gambar, sensor, dan ketinggian foto pada saat akuisisi data. Menurut Duffy *et al.*, (2018), pentingnya melakukan peramalan cuaca untuk mendukung pengambilan gambar yang lebih baik. Hasil fotogrametri ini digunakan sebagai acuan dalam menentukan nilai indeks vegetasi (NDVI).

Image Classification Analysis (NDVI)

Sebaran nilai indeks vegetasi NDVI dibagi menjadi 5 kelas dimana nilainya terdiri dari 0–0,14; 0,14–0,22; 0,22–0,32; 0,32–0,55; dan 0,55–0,70. Hal ini menunjukkan bahwa vegetasi Mangrove di *tracking* mangrove Pulau Kemujan memiliki nilai NDVI yang beragam dan bervariasi. Warna hijau semakin terang mengindikasikan vegetasi mangrove semakin banyak, yang ditandai dengan semakin tingginya nilai NDVI. Nilai NDVI yang rendah pada wilayah studi mengidentifikasi bayangan pohon dan bangunan. Berdasarkan Tabel 2. mengacu pada Franklin (2001) dalam Putra *et al.*, (2017) area seluas 5,347 ha termasuk kedalam kategori kerapatan vegetasi yang sangat buruk. Luasan area dengan kategori baik merupakan area terluas dibandingkan kategori lainnya yaitu 8,159 ha, dan area terkecil terdapat pada kategori sangat baik dengan luas 0,987 ha.

Uji Korelasi dan Uji Validasi

Keterkaitan hubungan antara nilai karbon dari lapangan dengan NDVI diketahui dengan melakukan perhitungan uji korelasi. Hasil perhitungan tersebut menunjukkan hubungan yang kuat dengan angka 0,658 mengacu pada Sugiyono, (2014), maka nilai NDVI dapat digunakan untuk menduga potensi karbon dalam suatu vegetasi mangrove. Semakin besar *digital number* NDVI



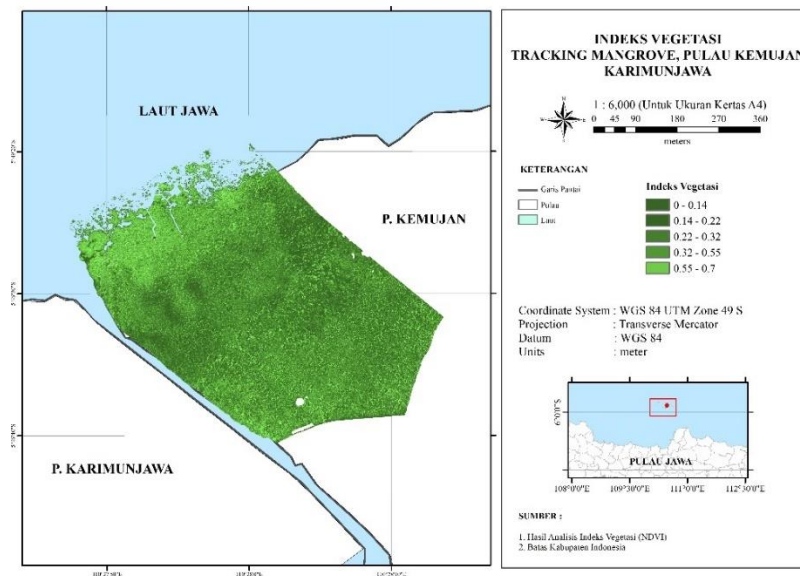
Gambar 5. Peta Hasil Fotogrametri Kawasan *Tracking* Mangrove Pulau Kemujan

Tabel 2. Indeks NDVI berdasarkan Hasil Fotogrametri Foto Udara

Indeks NDVI	Area (Ha)
0 – 0,14	5,347
0,14 – 0,22	8,159
0,22 – 0,32	7,245
0,32 – 0,55	6,724
0,55 – 0,70	0,987

Total Area

28,462



Gambar 6. Peta Indeks Vegetasi Kawasan *Tracking* Mangrove Pulau Kemujan

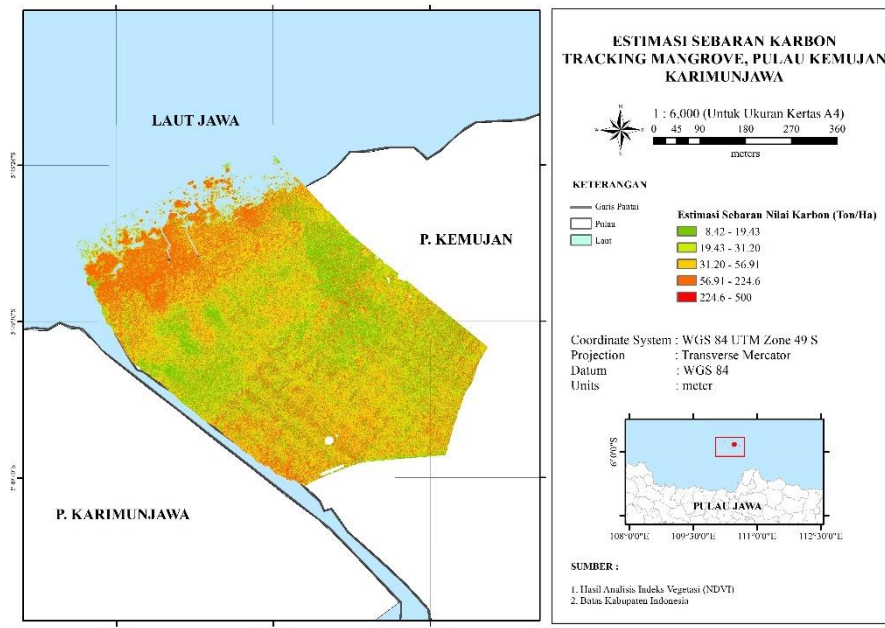
pada vegetasi mangrove maka semakin besar pula biomassa karbon yang terkandung (Mayuftia *et al.*, 2013). Nilai korelasi yang kuat dapat menjelaskan banyaknya pohon mangrove atau kerapatan dalam pantulan foto udara. Tidak adanya bias awan tebal seperti pada citra membuat hasil foto udara menjadi lebih tajam jika dibandingkan dengan hasil citra yang dipengaruhi oleh kondisi atmosfer (Sitompul *et al.*, 2019). Hal ini dapat dibandingkan dengan hasil penelitian Mayuftia *et al.*, (2013) yang meneliti karbon mangrove menggunakan citra *Landsat* TM memiliki nilai korelasi yang rendah sehingga *digital number* NDVI yang dihasilkan belum dapat menjelaskan banyaknya pohon atau kerapatan. Hal ini diduga citra satelit melihat subjek secara luasan yaitu tutupan kanopi (*coverage*) dari suatu vegetasi mangrove sedangkan suatu nilai *coverage* tidak menunjukkan besaran atau banyaknya kerapatan pohon mangrove.

Hasil analisis persamaan regresi eksponensial dilakukan antara perubah x (NDVI) dan peubah y (Karbon), sehingga didapatkan model persamaan eksponensial $y = 8.4244e^{5.9689x}$. Persamaan regresi eksponensial cukup mendekati untuk menghitung pendugaan karbon yang direpresentasikan dari indeks vegetasi NDVI dibandingkan dengan model regresi lainnya. Artinya model regresi tersebut memiliki nilai kesalahan (*error*) terendah dibandingkan dengan model lainnya. Hasil uji validasi *Root Mean Square Error* (RMSE) perbandingan antara nilai karbon yang didapatkan di setiap plot dengan hasil pendugaan karbon menggunakan persamaan regresi eksponensial yaitu 10,738 %. Menurut Ismanto *et al.*, (2019), nilai RMSE dibawah 25% dapat diterima. Maka nilai persamaan regresi eksponensial digunakan untuk menghitung persebaran karbon di keseluruhan area studi.

Estimasi Stok Karbon

Sebaran estimasi karbon mangrove di *tracking* mangrove Pulau Kemujan, Karimunjawa dibagi menjadi 5 kelas dimana nilainya berkisar antara (8,42 – 19,43; 19,43 – 31,20; 31,20 – 56,91; 56,91 - 224,6 dan 224,6 – 500) ton/ha. Persebaran karbon didominasi oleh warna hijau muda dan oranye muda (Gambar 6). Kategori warna tersebut masing-masing memiliki estimasi karbon berkisar antara 19,43 - 32,20 ton/ha dan 32,20 - 56,91 ton/ha dengan luasan area 8,159 ha dan 7,245 ha. Luasan tersebut termasuk kedalam luasan terbesar diantara kategori lainnya dan mencakup 54,12% dari total keseluruhan area. Rata-rata karbon pada seluruh area adalah 56,93 ton/ha dengan total area 28,462 ha. Hal ini merepresentasikan bahwa total estimasi sebaran stok karbon pada area *tracking* mangrove Pulau Kemujan yaitu sebesar 1.594,04 ton. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan bahwa kawasan *tracking* mangrove Pulau Kemujan, Karimunjawa memiliki kandungan karbon yang cukup tinggi, jika dibandingkan dengan hasil penelitian

Cahyaningrum *et al.*, (2014) dengan lokasi yang sama yaitu Pulau Kemujan pada Februari 2012 menunjukkan hasil karbon sebesar 182.4 ton/ha menggunakan citra satelit *Quickbird*.



Gambar 7. Peta Indeks Vegetasi Kawasan *Tracking* Mangrove Pulau Kemujan

Menurut Chatting *et al.*, (2020), nilai *representative* pendugaan penting diketahui untuk menunjukkan bahwa hutan mangrove memiliki banyak karbon yang tersimpan. Perhitungan estimasi stok karbon mangrove yang berkelanjutan dapat mengurangi ketidakpastian dalam mengestimasi stok karbon di bawah tanah hutan bakau kering dan berimplikasi pada pengetahuan stok karbon mangrove dalam menghadapi perubahan iklim.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan bahwa area *tracking* mangrove Pulau Kemujan, Karimunjawa memiliki estimasi simpanan karbon antara 8,42–224,6 ton/ha, dominansi tertinggi berkisar antara 19,43-31,20 ton/ha yang mencakup luasan 8,159 ha. Total area yang terpetakan sebagai area spasial distribusi stok karbon adalah 28,462 ha dengan rata-rata nilai karbon 56,93 ton/ha.

DAFTAR PUSTAKA

- BTNKJ. 2002. Inventarisasi dan Penyebaran Mangrove di Taman nasional Karimun Jawa. Balai Taman Nasional Karimun Jawa, Semarang
- Cahyaningrum, S.T., Hartoko, A. & Suryanti., 2014. Shrimp Culture. China International Training Course on Technology of Marineculture (Precious Fishes). *Diponegoro Journal of Maquares*, 3(3):34-42.
- Chatting, M., LeVay, L., Walton, M., Skov, M.W., Kennedy, H., Wilson, S. & Al-Maslmani, I., 2020. Mangrove carbon stocks and biomass partitioning in an extreme environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 244, p.106940. DOI: 10.1016/j.ecss.2020.106940
- Duffy, J.P., Pratt, L., Anderson, K., Land, P.E. and Shutler, J.D., 2018. Spatial assessment of intertidal seagrass meadows using optical imaging systems and a lightweight drone. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 200:169-180. DOI: 10.1016/j.ecss.2017.11.001
- Donato, D.C., Kauffman, J.B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M. and Kanninen, M., 2011. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature geoscience*, 4(5), pp.293-297. 4(5):293-297. DOI: 10.1038/ngeo1123

- Forestriko, H.F., 2016. Pemanfaatan Citra Landsat 8 Untuk Estimasi Stok Karbon Hutan Mangrove di Area Segara Anakan Cilacap Jawa Tengah. *Jurnal Bumi Indonesia*, 5(1):1-10.
- Franklin, S.E., 2001. Remote Sensing for Sustainable Forest Management. *Florida: CRC Press*.
- Gray, P.C., Ridge, J.T., Poulin, S.K., Seymour, A.C., Schwantes, A.M., Swenson, J.J., & Johnston, D.W., 2018. Integrating Drone Imagery Into High Resolution Satellite Remote Sensing Assessments of Estuarine Environments. *Remote Sensing*, 10(8). DOI: 10.3390/rs10081257
- Hairiah, K., Ekadinata, A., Sari, R. R. & Rahayu, S. 2007. Pengukuran Cadangan Karbon: dari Tingkat Lahan Ke Bentang Lahan. Petunjuk praktis. Edisi kedua. Bogor, *World Agroforestry Centre, ICRAF SEA Regional Office, University of Brawijaya (UB)*, Malang, Indonesia, 77 hlm.
- Hikmatyar, M.F., Ishak, T.M., Pamungkas, A.P., Mujahidah, S.S.A. & Rijaludin, A.F., 2015. Estimasi Karbon Tersimpan pada Tegakan Pohon di Hutan Pantai Pulau Kotok Besar. Bagian Barat, Kepulauan Seribu. *Al-Kaunyah: Jurnal Biologi*, 8(1): 40-45.
- Ismanto, A., Ismunarti, D.H., Sugianto, D.N., Maisyarah, S., Subardjo, P., Suryoputro, A.A.D. and Siagian, H., 2019. The Potential of Ocean Current as Electrical Power Sources Alternatives in Karimunjawa Islands Indonesia. *Advances in Science, Technology, and Engineering Systems*, 4(6):126–133. DOI: 10.25046/aj040615
- Kuenzer, C., Bluemel, A., Gebhardt, S., Quoc, T.V. & Dech, S., 2011. Remote sensing of mangrove ecosystems: A review. *Remote Sensing*, 3(5):878-928. DOI: 10.3390/rs3050878
- Komiyama, A., Pongpan, S. & Kato, S., 2005. Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. *Journal of tropical ecology*, 21(4):471- 477. DOI: 10.1017/S0266467405002476
- Meiarti, R., Seto, T. and Sartohadi, J., 2019. Uji akurasi hasil teknologi pesawat udara tanpa awak (Unmanned Aerial Vehicle) dalam aplikasi pemetaan kebencanaan kepesisiran. *Jurnal Geografi, Edukasi dan Lingkungan*, 3(1):1-17. DOI: 10.29405/jgel.v3i1.2987
- Mayuftia, R., Hendrarto, B. & Hartoko, A., 2013. Tingkat kerusakan dan karbon mangrove dengan pendekatan data satelit NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) di Desa Sidodadi Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung. *Management of Aquatic Resources Journal*, 2(4):146-154. DOI: 10.14710/marj.v2i4.4278
- Mueller-Dombois., & Ellenberg, D., 1974. *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. New York: Wiley.
- Nazir, M. 2003. *Metode Penelitian*, Ghalia Indonesia: Jakarta.
- Purnomo, E. 2020. Potensi Karbon Tersimpan pada Ekosistem Mangrove Alami Taman Nasional Karimun Jawa. *Jurnal Biologica Samudra*, 2(2):121-127. DOI: DOI: 10.33059/jbs.v2i1.2953
- Putra, A., Tanto, T.A., Farhan, A.R., Husrin, S. & Pranowo, W.S., 2017. Pendekatan Metode Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) dan Lyzenga untuk Pemetaan Sebaran Ekosistem Perairan Di Area Pesisir Teluk Benoa-Bali. *Geomatika*, 23(2):87-94. DOI: 10.24895/JIG.2017.23-2.729
- Rahayu, S., Lusiana, B. & Noordwijk, M.V., 2007. Pendugaan cadangan karbon di atas permukaan tanah pada berbagai sistem penggunaan lahan di Kabupaten Nunukan, Kalimantan Timur. *Bogor: World Agroforestry Centre*.
- Ramadhani, Y.H., Rokhmatulloh, R. & Susanti, R., 2015. Pemetaan pulau kecil dengan pendekatan berbasis objek menggunakan data unmanned aerial vehicle (uav). *Majalah Ilmiah Globe, Globe*, 17(2):125 -134.
- Rudianto, B., 2010. Analisis Ketelitian Objek pada Peta Citra Quickbird RS 0, 68 m dan Ikonos RS 1, 0 m. *Jurnal Itenas Rekayasa*, , 14(3).
- Salim, H.L., Ati, R.N.A. & Kepel, T.L., 2018. Pemetaan Dinamika Hutan Mangrove Menggunakan Drone Dan Penginderaan Jauh Di P. Rambut, Kepulauan Seribu. *Jurnal Kelautan Nasional*, 13(2):89-97. DOI: 10.15578/jkn.v13i2.6639
- Sitompul, J.R., Ruswanti, C.D., Sukandar, H., Ganesa, A.S., Pratama, F.R., Siagian, H.S. & Pribadi, R., 2019. Klasifikasi Vegetasi dan Tutupan Lahan Pada Citra UAV Menggunakan Metode Object-Based Image Analysis di Segara Anakan. *Kabupaten Cilacap*.
- Somantri, L., 2008. Pemanfaatan Teknik Penginderaan Jauh untuk Mengidentifikasi Kerentanan dan Risiko Banjir. *Jurnal Geografi Gea*, 8(2). DOI: 10.17509/gea.v8i2.1697
- Sudjana. 1992. *Metode Statistika*. Edisi kelima. Bandung: Tarsito.

- Sugiyono. 2014. Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. Bandung: Alfabeta.
- Sutaryo, D. 2009. Penghitungan Biomassa: Suatu Pengantar untuk Studi Karbon dan Perdagangan Karbon, Wetlands International Indonesia Programme, Bogor.
- Triana, V. 2008. Pemanasan Global. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Andalas*, 2(2):159-163. DOI: 10.24893/jkma.v2i2.26
- Wulan, T.R., Ambarwulan, W., Putra, A.S., Ibrahim, F., Putra, M.D., Maryanto, D., Pinem, F. and Maulana, E., 2017. Pemetaan Cepat Kawasan Terdampak Bencana Longsor dan Banjir di Kabupaten Bangli, Provinsi Bali. *Majalah Geografi Indonesia*, 31(2):44-50. DOI: 10.22146/mgi.25493
- Yamani, A. 2013. Studi kandungan karbon pada hutan alam sekunder di Hutan Pendidikan Mandiangin Fakultas Kehutanan Universitas Lambung Mangkurat. *Jurnal Hutan Tropis*. 1(1):6-7.