



Pemetaan estimasi stok karbon tegakan mangrove (*Aboveground*) menggunakan data citra landsat 8 OLI di Desa Kahyapu Kecamatan Enggano

Mapping estimation of mangrove carbon stocks (*Aboveground*) using landsat 8 OLI image data in Kahyapu Village, Enggano District

Ningsih Yohana, Deddy Bakhtiar, Ari Anggoro

Prodi Ilmu Kelautan Universitas Bengkulu

*E-mail : deddybakhtiar@unib.ac.id

ABSTRAK

Stok karbon pada vegetasi mangrove sangat diperlukan bagi keselarasan lingkungan dari gas buangan yang berlebihan dan berperan dalam mitigasi perubahan iklim akibat pemanasan global. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi ketersediaan stok karbon mangrove tegakan bagian atas (*aboveground*) berdasarkan data spasial menggunakan citra Landsat 8 di Desa Kahyapu Kecamatan Enggano . Data citra Landsat 8 OLI digunakan untuk mendapatkan nilai NDVI dalam menggambarkan stok karbon di atas permukaan tanah mangrove. Persamaan allometrik digunakan untuk menghitung stok karbon di atas permukaan tanah mangrove dari hasil pengukuran di lapangan. Regresi linier digunakan untuk menetapkan hubungan antara NDVI dan biomassa di atas permukaan tanah mangrove dari data lapangan, yang selanjutnya digunakan untuk estimasi karbon di atas permukaan tanah. Hasil penelitian menunjukkan estimasi ketersediaan stok karbon mangrove tegakan bagian atas (*aboveground*) di Desa Kahyapu Kecamatan Enggano rata-rata sebesar 364,76 tonC/ha. Tingkat akurasi pada klasifikasi yang digunakan pada citra Landsat 8 secara keseluruhan memiliki nilai sebesar 88 %. Hal tersebut menunjukkan bahwa potensi karbon yang ada di Desa Kahyapu masih bagus dan dapat dijadikan sebagai salah satu penyerap karbon yang efektif di pulau Enggano.

Kata kunci : allometrik, biomassa, diameter pohon, NDVI

ABSTRACT

Carbon stock in mangrove vegetation is essential for environmental harmony from excessive exhaust gases and plays a role in mitigating climate change due to global warming. This study aims to estimate the availability of aboveground mangrove carbon stock based on spatial data using Landsat 8 imagery in Kahyapu Village, Enggano District. Landsat 8 OLI image data is used to obtain NDVI values in describing aboveground mangrove carbon stocks. Allometric equations are used to calculate aboveground mangrove carbon stocks from field measurements. Linear regression is used to establish the relationship between NDVI and aboveground mangrove biomass from field data, which is then used to estimate aboveground carbon. The results of the study show that the estimated availability of aboveground mangrove carbon stocks in Kahyapu Village, Enggano district is an average of 364.76 tons C/ha. The level of accuracy in the classification used in Landsat 8 imagery as a whole has a value of 88%. This shows that the carbon potential in Kahyapu Village is still good and can be used as an effective carbon absorber on Enggano Island.

Keywords: allometric, biomass, tree diameter, NDVI



I. Pendahuluan

Desa Kahyapu merupakan salah satu desa yang ada di Kecamatan Enggano tepatnya di Kabupaten Bengkulu Utara, Provinsi Bengkulu. Karakteristik pantai di Desa Kahyapu tergolong tipe pasir berlumpur. Luas ekosistem mangrove di Desa Kahyapu sebesar ± 250 Ha. Kondisi mangrove di Desa Kahyapu tergolong alami, baik kondisi substrat, suhu pH maupun salinitas (Agustini *et al.*, 2016).

Hutan mangrove memiliki potensi mengurangi pemanasan global sehingga ekosistem mangrove sangat dibutuhkan dalam menyerap karbon yang disebabkan oleh pemanasan global (Azizah *et al.*, 2017). Mengingat banyaknya manfaat hutan mangrove, maka diperlukan perhatian khusus bagi ekosistem hutan mangrove ini melalui pemantauan/monitoring secara berkala. Pemantauan langsung dapat dilakukan dengan cara survei lapangan dan pemantauan secara tidak langsung dilakukan menggunakan teknologi penginderaan jauh (Wedung *et al.*, 2014).

Pemantauan dengan teknologi penginderaan jauh memiliki kelebihan dibandingkan dengan teknologi lain seperti harga yang relative murah, mudah di dapat, serta adanya resolusi temporal (perulangan) sehingga sangat efektif digunakan untuk keperluan monitoring (Suwargana, 2008). Salah satu teknologi pemantuan dengan penginderaan jauh adalah menggunakan data Landsat 8 yang memiliki sensor *Onboard Operational Land Imager* (OLI) dan *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) dengan jumlah kanal yang dimiliki sebanyak 11 dengan kanal 1 sampai 9 berada pada OLI dan kanal 10, 11 pada kanal TIRS (Irawan & Malau, 2016).

Stok karbon pada suatu vegetasi khususnya pohon sangat diperlukan bagi keselarasan lingkungan dari gas buangan yang berlebihan. Stok karbon dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya kerapatan. Stok karbon diestimasi dari biomassa dengan mengikuti aturan 47% biomassa adalah karbon. Salah satu metode estimasi biomassa yaitu metode alometrik (Syukri *et al.*, 2018).

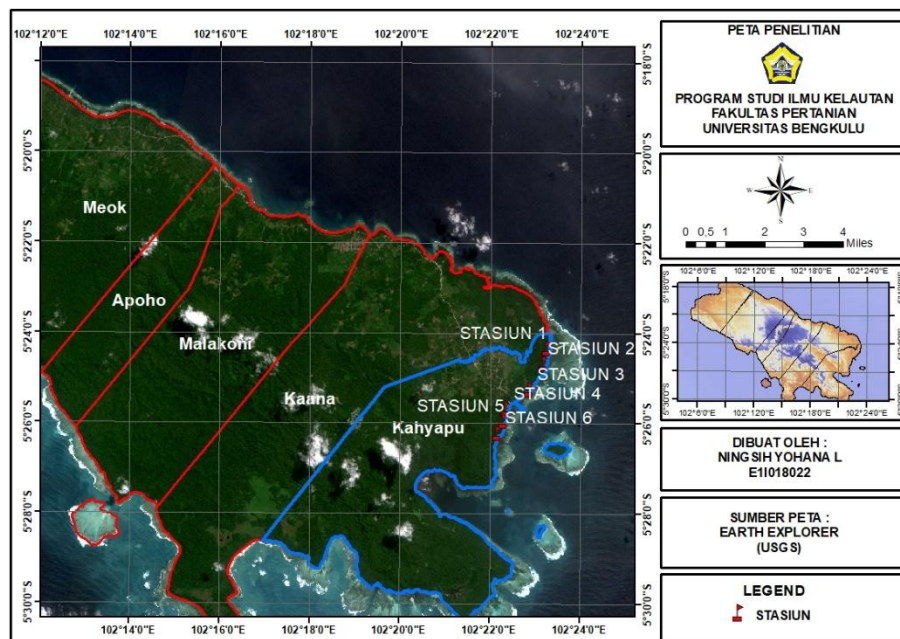
Menurut Muryono & Purnobasuki (2011), ekosistem mangrove juga berperan dalam mitigasi perubahan iklim akibat pemanasan global karena mampu mereduksi CO₂ melalui mekanisme sekuestrasi yang merupakan penyerapan karbon dari atmosfer dan penyimpanannya dalam beberapa kompartemen seperti tumbuhan, serasah, dan materi organik tanah. Karbon yang telah diserap oleh tumbuhan selama fotosintesis bersama dengan nutrient yang telah diambil dari tanah akan menghasilkan bahan baku untuk pertumbuhan. Dalam proses fotosintesis, CO₂ dari atmosfer diikat oleh vegetasi dan disimpan dalam bentuk biomassa. Penelitian yang berkaitan dengan kondisi ekosistem mangrove di Desa Kahyapu Pulau Enggano sudah pernah dilakukan Agustini *et al.* (2016) yang melakukan kajian kerapatan jenis mangrove melalui pengukuran langsung, kemudian Silitonga *et al.* (2018) melakukan kajian sebaran dan kerapatan mangrove menggunakan citra satelit. Kajian mengenai analisis simpanan karbon pada kawasan mangrove dengan metode penginderaan jarak jauh telah dilakukan beberapa peneliti menggunakan satelit seperti Landsat, Sentinel dan Radar. Penelitian stok karbon mangrove menggunakan citra satelit Sentinel telah dilakukan Albasit *et al.* (2022) melakukan estimasi stok karbon mangrove di Desa Kaliwlingi, Brebes, kemudian Aulia *et al.* (2022) menggunakan Sentinel-2A di Segara anakan dan Hambali *et al.* (2023) di Labuan Tereng Lombok. Hal yang sama dilakukan Karang *et al.* (2024) di pulau Gili Meno NTT, Suardana *et al.* (2023) di Teluk Benoa Bali dan Sugara *et al.* (2022) di kota Bengkulu menggunakan citra Sentinel-2 untuk memetakan stok karbon. Sementara itu

Hakim *et al.* (2022) memetakan stok karbon dengan membandingkan data citra Sentinel-1 dan Sentinel-2.

Penggunaan data citra Landsat juga dilakukan dalam pengkajian stok karbon di ekosistem mangrove seperti yang dilakukan Wicaksono *et al.* (2011) yang menggunakan citra Landsat 7 ETM, hal yang saam juga dilakukan Sani dan Hashim (2018) menggunakan Landsat 7 ETM di Penang Malaysia. Kemudian Forestiko dan Hartono (2016) menggunakan citra Landsat 8 untuk mengestimasi stok karbon di Segara anakan Cilacap, dan Hastuti *et al.* (2018) dengan citra Landsat 8 OLI di Jembrana Bali. Selanjutnya Jaya *et al.* (2019) mencoba menggunakan data multitemporal citra Landsat 5 tahun 1990 dan Landsat 8 tahun 2017, sedangkan Husna *et al.* (2019) menggunakan citra multispektral yaitu Landsat dan citra radar yaitu PALSAR untuk estimasi cadangan biomassa karbon di atas permukaan tanah mangrove. Terakhir Maulana dan Arifin (2023) melakukan estimasi stok karbon menggunakan data citra Landsat 9 OLI Deli Serdang. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan belum ada penelitian yang mengkaji tentang keberadaan stok karbon pada mangrove di Desa Kahyapu tersebut, oleh karena itu penting dilakukan penelitian ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi ketersediaan stok karbon mangrove tegakan bagian atas (*aboveground*) berdasarkan data spasial menggunakan citra Landsat 8 di Desa Kahyapu Kecamatan Enggano

II. Metode penelitian

Pengambilan data dilakukan pada bulan Februari 2022 yang berlokasi di Desa Kahyapu, Kecamatan Enggano, Kabupaten Bengkulu Utara, Provinsi Bengkulu (Gambar 1). Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu GPS, Pilocx, Rol Meter, Kamera, Tali Ukur, Kertas sabak, Alat tulis, Tali rafia, Arcgis, Microsoft *Excel*, *Envi* 5.3, *Lensa Fisheye*.



Gambar 1. Lokasi penelitian dan pengambilan data lapangan



Pengambilan data citra yang tersedia saat penelitian adalah citra Landsat 8 OLI tahun 2019 memanfaatkan Sistem Informasi Geografis. Citra di unduh dari <http://www.usgs.gov>. Pengambilan data lapangan dilakukan menggunakan metode survei lapangan melalui pengambilan sampel secara acak sesuai kelompok yang ditargetkan (*purposive random sampling*). Data lapangan yang diambil berupa identifikasi jenis mangrove, foto kerapatan mangrove, biomassa atas mangrove berupa keliling batang dari mangrove, serta titik koordinat di Desa Kahyapu. Data citra Landsat 8 OLI terlebih dahulu dilakukan proses koreksi yang terdiri dari koreksi geometrik, radiometrik dan atmosferik. Citra yang sudah terkoreksi tersebut kemudian dilakukan proses klasifikasi multispektral dengan metode *maximum likelihood* untuk membedakan *mangrove* dan *nonmangrove*. Hasil klasifikasi tersebut dijadikan sebagai dasar *masking* citra, untuk mendapatkan citra hanya daerah *mangrove* saja. Hasil citra *masking* dilakukan proses transformasi indeks vegetasi. Mentransformasi DN (*Digital Number*) citra terkoreksi menjadi indeks vegetasi digunakan metode *Normalized Divergence Vegetation Index* (NDVI) formula:

$$NDVI = \frac{NIR (Band 5) - RED (Band 4)}{NIR (Band 5) + RED (Band 4)} \quad (1)$$

Lokasi *ground check* disesuaikan dengan hasil analisis kerapatan vegetasi mangrove menggunakan NDVI yang telah dilakukan pada citra satelit Landsat 8 OLI, dimana terdapat 3 (tiga) kriteria yaitu: kerapatan jarang, kerapatan sedang dan kerapatan rapat. Metode yang digunakan dalam memperoleh data kerapatan vegetasi mangrove di lapangan adalah metode transek persegi dengan ukuran 10 x 10 m. Transek ini digunakan untuk menghitung jumlah tegakan mangrove tingkat pohon dengan keliling batang >16 cm (Wayan *et al.*, 2014). Jumlah stasiun lapangan sebanyak 6 stasiun dan tiap stasiun dibuat 7 plot (ukuran 10 x 10 meter). Perhitungan biomassa dilakukan setelah mendapatkan diameter setiap pohon mangrove. Berikut merupakan persamaan allometrik untuk mendapatkan biomassa setiap mangrove :

Tabel 1. Persamaan allometrik biomassa beberapa jenis mangrove

Species	Persamaan Allometric	R ²	References
<i>Avicennia marina</i>	$B = 0.1848 D^{2.3524}$	0.98	Dharmawan & Siregar (2008)
<i>Bruguiera gymnorhiza</i>	$B = 0.186 D^{2.31}$	0.99	Clough & Scott (1989)
<i>Ceriops tagal</i>	$B = 0.529 D^{2.04}$	0.96	Kangkuso <i>et al.</i> (2018)
<i>Rhizophora apiculata</i>	$B = 0.235 D^{2.42}$	0.98	Ong <i>et al.</i> (2004)
<i>Rhizophora</i> spp.	$B = 0.105 D^{2.68}$	0.99	Clough & Scott (1989)
<i>Xylocarpus granatum</i>	$B = 0.1832 D^{2.21}$	0.95	Talan (2008)
Common equation	$B = 0.251 \rho D^{2.46}$	0.98	Komiyama <i>et al</i> (2005)

Keterangan : B = Biomassa (kg/m², ton/ha); ρ = berat jenis tumbuhan (g/cm³); D diameter (cm)

Perhitungan prediksi kandungan karbon keseluruhan dari ekosistem mangrove dapat dihitung dengan mengkalikan hasil biomassa dengan factor konversi mangrove sebesar 0,47 (Howard *et al.*, 2014).

$$C = B \times 0,47$$

Keterangan :

C = Stok karbon (ton C/ha)

B = Biomassa (ton/ha)



III. Hasil dan Pembahasan

a. Struktur dan komposisi vegetasi mangrove

Hutan mangrove di desa Kahyapu merupakan salah satu ekosistem yang mendominasi di Desa Kahyapu. Wilayah pesisir di Desa Kahyapu memiliki ekosistem mangrove dengan luas sebesar ± 250 Ha (Agustini *et al.*, 2016). Keberadaan ekosistem mangrove di Desa Kahyapu memberikan peranan besar terhadap lingkungan pesisir, yaitu sebagai pelindung pantai dan juga mampu memberikan nuansa yang alami dan hijau di sepanjang pesisir pantai Desa Kahyapu. Pada lokasi penelitian ditemukan 6 jenis mangrove sejati yang tersebar di 6 stasiun dan 42 plot pengamatan. Jenis mangrove yang tersebar dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 . Sebaran mangrove pada stasiun penelitian

Stasiun	Jumlah Pohon Per Jenis					
	<i>Rhizophora apiculata</i>	<i>Rhizophora mucronata</i>	<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	<i>Sonneratia alba</i>	<i>Ceriops tagal</i>	<i>Avicennia marina</i>
1	18	34				
2	20		8	4		
3		12	8		6	
4	17		10			
5		8	7			20
6			19	8		4

Tabel 2 memperlihatkan bahwa jenis mangrove yang paling banyak ditemukan adalah jenis *Rhizophora apiculata* dengan jumlah 55 pohon dan *Rhizophora mucronata* dengan jumlah 54 pohon. Selain itu juga ditemukan jenis *Avicennia marina* dengan jumlah 25 pohon, kemudian untuk jenis *Bruguiera gymnorrhiza* berjumlah sebanyak 52 pohon. Jenis mangrove terakhir yaitu jenis mangrove *Ceriops tagal* yang hanya ditemukan pada stasiun 3.

b. Biomassa dan Stok Karbon Mangrove

Jenis mangrove dengan rata rata diameter terbesar ditunjukkan pada jenis *Sonneratia alba* sebesar 22,5 cm (Tabel 3). Sedangkan untuk rata rata biomassa terbesar terdapat pada jenis *Rhizophora apiculata* dengan rata rata 3218,30 ton/ha. Beberapa jenis mangrove yang memiliki kerapatan tinggi mengakibatkan biomassa rata rata nya bernilai besar. Semakin besar diameter batang yang diukur semakin tinggi biomassa nya jika dibandingkan dengan area yang mempunyai spesies dengan nilai kerapatan rendah. Komiyama *et al.* (2008) menyatakan nilai biomassa mangrove salah satunya dipengaruhi oleh faktor spesies dominan.

Untuk jenis mangrove yang memiliki rata rata biomassa terkecil terdapat pada jenis *Rhizophora mucronata* dengan jumlah 135,20 ton/ha. Hal ini disebabkan diameter jenis mangrove tersebut berdiameter kecil dengan rata rata diameter sebesar 12,9 cm. Namun lebih tinggi dibandingkan diameter pohon di Desa Kaliwlingi Brebes dengan rata-rata diameter (DBH) mangrove pada penelitian ini berkisar antara 3,78–5,22 cm (Albasit *et al.*, 2022).

Tabel 3. Jenis mangrove dan rata rata diameter serta biomassa pada desa Kahyapu

NO	Nama Ilmiah	Rata Rata DBH (cm)	Rata Rata Biomassa (ton/ha)	Stok Karbon (ton C/ha)
1	<i>Rhizophora apicula ta</i>	17,2	3218,30	1512,60
2	<i>Rhizophora mucronata</i>	12,9	135,20	63,54
3	<i>Ceriops tagal</i>	21,2	284,71	133,81
4	<i>Avicennia marina</i>	15,4	409,85	192,63
5	<i>Bruguiera gymnorhiza</i>	20,8	310,69	146,02
6	<i>Sonneratia alba</i>	22,5	297,83	139,98
Rata-rata Stok Karbon				364,76

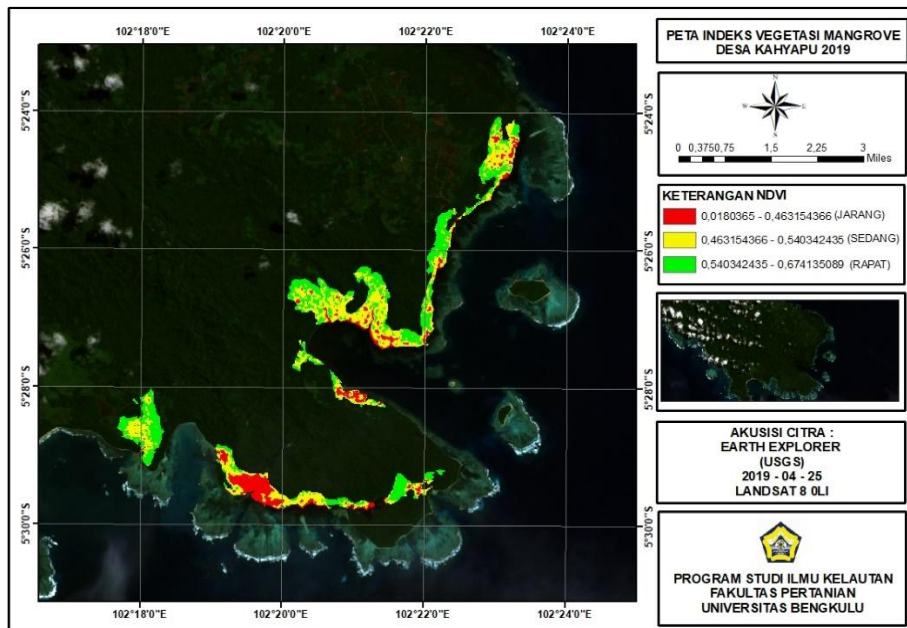
Biomassa tegakan pohon mangrove sangat berpengaruh terhadap potensi karbon tersimpan. Secara tidak langsung parameter yang mempengaruhi biomassa akan berpengaruh juga terhadap simpanan karbon. Beberapa parameter yang mempengaruhi biomassa yaitu diameter batang, kerapatan individu, keragaman jenis pohon dan juga jenis tanah. Sementara Albasit *et al.* (2022) mengemukakan bahwa perbedaan nilai biomassa yang cukup signifikan ini diduga dipengaruhi oleh perbedaan metode, cakupan mangrove yang diperhitungkan dan jumlah tegakan pohon. Penelitian Nugraha *et al.* (2020) menghitung nilai biomassa berdasarkan tingkat kerapatan mangrove.

Berdasarkan perhitungan nilai dari biomassa yang didapat dari penggunaan persamaan allometrik (Tabel 1), didapat nilai stok karbon dengan cara mengalikan hasil biomassa dengan karbon organik sesuai dengan ketentuan *Intergovernmental Panel Climate Change* (IPCC) yaitu 0,47 (Howard *et al.*, 2014). Hasil stok karbon yang didapatkan yaitu sebesar 364,76 ton C/ha. Rata-rata nilai stok karbon tersebut melampaui nilai rata-rata stok karbon mangrove global di daerah tropis (garis lintang: 0–10°) sebesar 103,7 tonC/ha maupun rata-rata stok karbon global, yakni 78,0 tonC/ha (Estrada dan Soares, 2017). Hal ini menunjukkan potensi Desa Kahyapu di beberapa lokasi dapat menyimpan karbon dengan jumlah yang cukup besar. Semakin banyak potensi mangrove yang dilindungi, maka semakin banyak juga cadangan karbon yang disimpan.

c. Transformasi Indeks Vegetasi

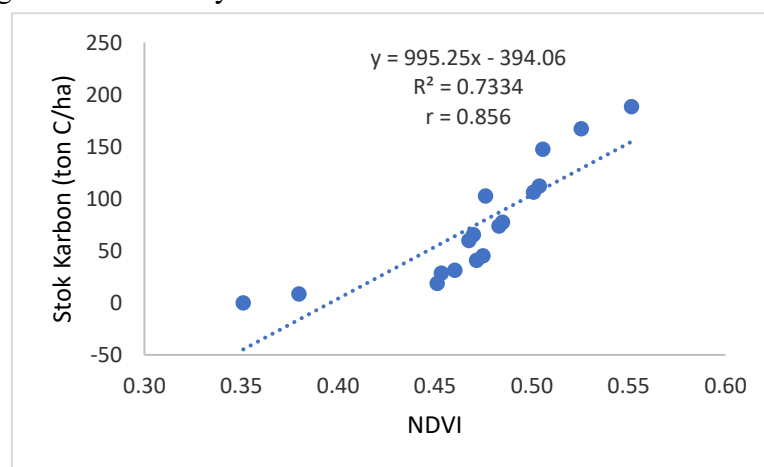
Pada penelitian ini untuk membedakan objek vegetasi mangrove dan jenis lain (non mangrove), menggunakan indeks vegetasi NDVI (*Normalize Difference Vegetation Index*). Transformasi indeks vegetasi NDVI menunjukkan vegetasi mangrove dengan ciri khas tingkat kehijauan dan tingkat kecerahan yang lebih tinggi. Indeks vegetasi NDVI menggunakan gelombang sinar inframerah dekat (NIR) dan gelombang merah (R), dimana gelombang NIR sangat peka terhadap klorofil pada vegetasi

Hasil transformasi NDVI dapat dilakukan deleniasi batas dari mangrove dimana vegetasi mangrove yang mendominasi pada alokasi penelitian, setelah itu dilakukan penyesuaian. NDVI memiliki keterbatasan sendiri yaitu sulitnya menemukan *future space* transisi antara lahan terbuka, vegetasi dan lahan terbangun untuk citra beresolusi tinggi, untuk itu dapat dilakukan dengan menggunakan klasifikasi *unsupervised classification*. Hasil dari indeks vegetasi akan menghasilkan nilai dari -1 sampai 1. Pada tahap ini dilakukan validasi dengan nilai di lapangan (mangrove) sehingga menghasilkan nilai korelasi antara NDVI pada citra Landsat 8. Hasil transformasi indeks vegetasi citra Landsat 8 dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Klasifikasi kerapatan mangrove berdasarkan nilai NDVI

Nilai NDVI dibagi menjadi 3 (tiga) kategori yaitu jarang, sedang dan rapat. Warna merah pada peta menunjukkan kerapatan rendah atau jarang pada lokasi penelitian, kemudian warna kuning menunjukkan kerapatan sedang dan untuk warna hijau menunjukkan kerapatan kategori rapat. Hasil indeks vegetasi NDVI menunjukkan kategori mangrove di Desa Kahyapu didominasi kerapatan rapat. Hal ini menunjukkan bahwa vegetasi mangrove di Desa Kahyapu tergolong baik. Kerapatan mangrove yang rapat memiliki tutupan kanopi yang tinggi sehingga gelombang cahaya tampak (merah) terserap maksimal dan gelombang inframerah dekat (NIR) dipantulkan secara maksimal oleh struktur daun, maka nilai NDVI yang dihasilkan juga akan semakin tinggi (Pratama *et al.*, 2019). Data hasil perhitungan stok karbon pada 17 plot dari 42 plot data lapangan (25 plot digunakan untuk uji akurasi) diolah secara statistik untuk mendapatkan persamaan regresi antara nilai karbon lapangan dengan indeks NDVI, untuk mengukur keeratn hubungan antar keduanya.



Gambar 3. Hubungan NDVI dan Stok karbon



Hasil korelasi yang didapat antara nilai karbon dan juga nilai NDVI didapatkan hubungan yang cukup erat antara NDVI dengan karbon, sehingga dibuat model persamaan hubungan kedua variabel tersebut. Hasil analisis regresi antara Stok karbon dan NDVI pada Gambar 3 menunjukkan model persamaan nilai stok karbon (y) = $995.25x - 394.06$ dimana x adalah nilai NDVI. Koefisien korelasi bernilai positif artinya terjadi hubungan positif antara nilai NDVI dengan Stok Karbon, semakin tinggi nilai NDVI, maka semakin tinggi nilai stok karbon. Pertambahan luas kanopi dan bertambahnya diameter pohon akan meningkatkan nilai NDVI. Kandungan klorofil akan meningkat dengan bertambahnya luas kanopi, klorofil yang semakin tinggi maka juga akan meningkatkan kandungan hijau yang kemudian berdampak pada reflektan spektrum hijau meningkat (Husna *et al.*, 2019). Terdapat korelasi yang kuat antara ukuran diameter pohon dengan nilai NDVI (Wang *et al.* 2004).

Korelasi yang didapat antara Stok karbon dengan NDVI bernilai positif dengan nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0,856 yang berarti nilai korelasi antara Stok Karbon dengan NDVI termasuk kategori sangat tinggi. Nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,7334 yang menunjukkan bahwa 73% NDVI dapat menjelaskan besaran stok karbon dan sisanya dipengaruhi oleh faktor faktor lain. Nilai R^2 yang didapatkan jauh lebih tinggi dibandingkan penelitian Albasit *et al.* (2022) dengan koefisien determinasi R^2 sebesar 0,06 menggunakan citra Sentinel-2. Hal ini juga ditemui pada penelitian Siddiq *et al.* (2020), dimana nilai R^2 hanya sebesar 0,21. Uji akurasi merupakan uji yang berfungsi untuk mengetahui tingkat kesalahan ketika melakukan klasifikasi area. Akurasi klasifikasi dilakukan dengan membagi jumlah titik sampel diklasifikasikan dengan benar (jumlah dari seluruh diagonal dalam matriks) dengan jumlah titik sampel (Noviar *et al.*, 2012). Perhitungan akurasi dengan matriks kesalahan pada citra Landsat 8 (Tabel 4).

Tabel 4. Uji akurasi citra Landsat 8 terhadap data lapangan

Data Klasifikasi Citra	Data Lapangan			Total	Producer accuracy
	Mangrove Jarang	Mangrove Sedang	Mangrove Rapat		
Mangrove Jarang	5	1	1	7	71%
Mangrove Sedang	0	7	1	8	88%
Mangrove Rapat	0	0	10	10	100%
Total	5	8	12	25	
User Accuracy	100%	88%	83%		
Overall accuracy					88%

Uji akurasi pada citra Landsat 8 tahun 2019 dilakukan pada 25 titik berada pada vegetasi mangrove dan 4 titik pada klasifikasi vegetasi lain. Menurut (Wulansari, 2017), *Producer accuracy* menunjukkan akurasi yang dilihat dari sisi penghasil peta dan *user accuracy*. Pada tabel perhitungan juga terdapat istilah omisi kesalahan dikarenakan penghilangan, atau karena adanya penambahan. Tingkat akurasi pada klasifikasi yang digunakan pada citra Landsat 8 tahun 2019 secara keseluruhan memiliki nilai sebesar 88 %. Nilai *overall accuracy* diperoleh tinggi dibandingkan *overall accuracy* di kawasan hutan mangrove Teluk Youtefa, Jayapura menggunakan citra Landsat, yaitu sebesar 85,45% (Hamuna *et al.*, 2018). Citra dianggap akurat apabila nilai *overall accuracy* mencapai $\geq 70\%$ (Badan Informasi Geospasial, 2014).



IV. Kesimpulan

Hasil penelitian di Desa Kahyapu ditemukan 6 jenis mangrove di daerah penelitian yaitu *Rhizophora apiculata*, *Sonneratia alba*, *Ceriops tagal*, *Rhizophora mucronata*, *Avicennia marina* dan *Bruguiera gymnorhiza*. Jenis mangrove dengan rata-rata diameter terbesar pada jenis *Sonneratia alba* sebesar 22,5 cm. Sedangkan untuk rata-rata biomassa terbesar terdapat pada jenis *Rhizophora apiculata* dengan rata-rata 3218,30 ton/ha. Hasil penelitian menunjukkan estimasi ketersediaan stok karbon mangrove tegakan bagian atas (*aboveground*) berdasarkan data spasial menggunakan citra Landsat 8 di Desa Kahyapu Kecamatan Enggano rata-rata sebesar 364,76 tonC/ha. Tingkat akurasi pada klasifikasi yang digunakan pada citra Landsat 8 tahun 2019 secara keseluruhan memiliki nilai sebesar 88 %. Hal tersebut menunjukkan bahwa potensi karbon yang ada di Desa Kahyapu masih bagus dan dapat dijadikan sebagai salah satu penyerap karbon yang efektif di Provinsi Bengkulu.

Daftar Pustaka

- Agustini, N. T., Ta'alidin, Z., & Purnama, D. 2016. Struktur Komunitas Mangrove Di Desa Kahyapu Pulau Enggano. *Jurnal Enggano*, 1(1), 19–31. <https://doi.org/10.31186/jenggano.1.1.19-31>
- Albasit, L.Z, R.Pribadi, dan R. Pramesti. 2022. Estimasi Stok Karbon Mangrove Pasca Rehabilitasi di Desa Kaliwlingi, Brebes Menggunakan Citra Sentinel-2. *Journal of Marine Research* 11(4), 620-640 DOI : 10.14710/jmr.v11i4.31734
- Aulia, Z. S., Hidayat, R. R., & Amron, A. (2022). Carbon Sink Estimation of Mangrove Vegetation Using Remote Sensing in Segara Anakan, Cilacap. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 14(1):130–141. <http://doi.org/10.20473/jipk.v14i1.31789>
- Azizah, M., Ardli, E. R., & Sudiana, E. 2017. Analisis Stok Karbon Hutan Mangrove Pada Berbagai Tingkat Kerusakan Di Segara Anakan Cilacap. *Jurnal Sains Natural*, 3(2), 161. <https://doi.org/10.31938/jsn.v3i2.66>
- Badan Informasi Geospasial. 2014. Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 3 Tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis Pengumpulan Dan Pengolahan Data Geospasial Mangrove. In Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 3 Tahun 2014 (p. 47). BIG.
- Clough, B.F. dan K. Scott. 1989. *Allometric Relationship for Estimating Above-Ground Biomassa in Six Mangrove Species*. Forest Ecology and Management.
- Estrada, G.C.D. & Soares, M.L.G. 2017. Global patterns of aboveground carbon stock and sequestration in mangroves. *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias*, 89(2):973–989. DOI: 10.1590/0001-3765201720160357
- Forestriko, H. F., & Hartono, H. (2016). Pemanfaatan Citra Landsat 8 untuk Estimasi Stok Karbon Hutan Mangrove di Kawasan Segara Anakan Cilacap Jawa Tengah. *Jurnal Bumi Indonesia*, 5(1).
- Hakim, M. A., Kamal, M., & Arjasakusuma, S. (2022). Mapping Mangrove Surface Carbon Stocks Using Multisensor Imagery in Clungup Mangrove Conservation (CMC) Malang Regency. *Jurnal Geografi*, (2).
- Hambali, M. R., Ichsan, A. C., Valentino, N., & Prasetyo, A. R. (2023). Estimasi Simpanan Karbon Tegakan Menggunakan Citra Sentinel-2A Pada Kawasan



- Mangrove Labuan Tereng Kabupaten Lombok Barat. *Jurnal Sains Teknologi & Lingkungan*, 9(4), 723-738
- Hamuna, B., Sari, A.N. & Megawati, R. 2018. Kondisi Hutan Mangrove di Kawasan Taman Wisata Alam Teluk Youtefa , Kota Jayapura. *Majalah Ilmiah Biologi Biosfera: A Scientific Journal*, 35(2):75–83. DOI:10.20884/1.mib.2018.35.2.611
- Hastuti, A. W., Suniada, K. I., & Islamy, F. (2018). Carbon stock estimation of mangrove vegetation using remote sensing in Perancak Estuary, Jembrana District, Bali. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*, 14(2), 137-150
- Husna VN, Siregar VP, Agus SB, Arifin T. 2019. Estimasi cadangan karbon biomassa di atas permukaan pada tegakan *mangrove* menggunakan penginderaan jauh di Tongke-Tongke, Sulawesi Selatan. *JPSL* 9(2): 456-466. <http://dx.doi.org/10.29244/jpsl.9.2.456-466>.
- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., Pidgeon, E. (eds.) (2014). Coastal blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature. Arlington, Virginia, USA.
- Irawan, S., & Malau, A. O. 2016. Analisis Persebaran Mangrove di Pulau Batam Menggunakan Teknologi Penginderaan Jauh. *Jurnal Integrasi*, 8(2), 80–87.
- Jaya, L. M. G., Masse, D. C. A., & Saleh, F. (2019). Studi Cadangan Karbon Vegetasi Mangrove Dalam Taman Nasional Rawa Aopa Watumohai Sulawesi Tenggara. *Physical and Social Geography Research Journal*, 1(1), 45-52
- Karang, I. W. G. A., Nuarsa, I. W., Hendrawan, I. G., Dewi, N. M. N. B. S., Yasa, P. K., & Krisnanda, I. M. D. (2024). Satellite remote sensing techniques for mapping and estimating mangrove carbon stocks in the small island of Gili Meno, West Nusa Tenggara, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 25(9)
- Komiyama, A., Ong, J.E. & Pongparn, S. 2008. Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany*, 89(2):128–137. DOI:10.1016/j.aquabot.2007.12.006
- Komiyama, A., Pongparn, 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/S026646740 5002476
- Maulana, P., & Arifin, W. A. (2023). Estimasi Stok Karbon Tersimpan pada Hutan Mangrove di Paluh Kurau, Deli Serdang. *Journal of Sciencetech Research and Development*, 5(2), 770-779.
- Muryono, M., & Purnobasuki, H. 2011. *Estimasi Stok Karbon Pada Tegakan Pohon Rhizophora stylosa DI PANTAI Alamat sekarang : Jurusan Biologi*.
- Noviar, H., Carolita, I., & Cahyono, J. S. 2012. Uji Akurasi Training Sampel Berbasis Objek Citra Landsat di Kawasan Hutan Provinsi Kalimantan Tengah. *Jurnal Ilmiah Geomatika*, 18(2), 132–143.
- Nugraha, F.W., Pribadi, R. & Wirasatriya, A. 2020. Kajian Perubahan Luasan untuk Prediksi Simpanan Karbon Ekosistem Mangrove di Desa Kaliwlingi, Kabupaten Brebes. *Buletin Oseanografi Marina*, 9(2):104–116. DOI:10.14710/buloma.v9i2.30039



- Pratama, I.G.M.Y., Karang, I.W.G.A. & Suteja, Y. 2019. Distribusi Spasial Kerapatan Mangrove Menggunakan Citra Sentinel-2A Di TAHURA Ngurah Rai Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 5(2):192–202. DOI: 10.24843/jmas.2019.v05.i02.p05
- Sani, D. A., & Hashim, M. (2018, June). A preliminary work on blue carbon stock mapping in mangrove habitat using satellite-based approach. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 169, No. 1, p. 012078). IOP Publishing. DOI 10.1088/1755-1315/169/1/012078
- Siddiq, A., Dimyati, M. & Damayanti, A. 2020. Analysis of Carbon Stock Distribution of Mangrove Forests in The Coastal City of Benoa, Bali with Combination Vegetation Index, and Statistics Approach. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 10(6):2386–2393. DOI:10.18517/ijaseit.10.6.12991
- Suardana, A. M. A. P., Anggraini, N., Nandika, M. R., Aziz, K., As-Syakur, A. R., Ulfa, A., ... & Dewanti, R. (2023). Estimation and mapping above-ground mangrove carbon stock using sentinel-2 data derived vegetation indices in Benoa Bay of Bali Province, Indonesia. *Forest and Society*, 7(1), 116-134.
- Sugara, A., Lukman, A. H., Rudiastuti, A. W., Anggoro, A., Hidayat, M. F., Nugroho, F., ... & Rahmania, M. (2022). Utilization of Sentinel-2 Imagery in Mapping the Distribution and Estimation of Mangroves' Carbon Stocks in Bengkulu City. *Geosfera Indonesia*, 7(3), 219-235
- Suwargana, N. 2008. Analisis Perubahan Hutan Mangrove Menggunakan Data Penginderaan Jauh Di Pantai Bahagia, Muara Gembong, Bekasi. *Jurnal Penginderaan Jauh*, 5, 64–74.
- Syukri, M., Mashoreng, S., Werorilangi, S., & Isyrini, R. 2018. Kajian stok karbon mangrove di Bebanga Kabupaten Mamuju Sulawesi Barat. *Prosiding Simposium Nasional Kelautan Dan Perikanan V, 2012*, 335–342.
- Wang J, Rich PM, Price KP, Kettle WD. 2004. Relation between NDVI and tree productivity in the Central Great Plains. *International Journal of Remote Sensing*. 25(16):3127-3138.
- Wayan, I., Dharmawan, E., & Pramudji, &. 2014. *Status Ekosistem Status Ekosistem Panduan Monitoring* (Issue 1). <http://www.coremap.or.id>
- Wedung, K., Agus, A. D. S., Studi, P., Kelautan, I., Perikanan, F., Tembalang, K., & Fax, S. T. 2014. Kajian Perubahan Luas Mangrove Menggunakan Metode Ndzi Data Citra Satelit Landsat 7 Etm+ Dan Landsat 8 Etm+ Tahun 1999, 2003 Dan 2013 Di Pesisir Desa Berahan Kulon Dan Desa Berahan Wetan Kecamatan Wedung, Demak. *Diponegoro Journal of Marine Research*, 3(4), 650–657. <https://doi.org/10.14710/jmr.v3i4.11427>
- Wicaksono, P., Danoedoro, P., Hartono, H., Nehren, U., & Ribbe, L. (2011, October). Preliminary work of mangrove ecosystem carbon stock mapping in small island using remote sensing: above and below ground carbon stock mapping on medium resolution satellite image. In *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XIII* (Vol. 8174, pp. 408-417)
- Wulansari, H. 2017. Uji Akurasi Klasifikasi Penggunaan Lahan dengan Menggunakan Metode Defuzzifikasi Maximum Likelihood Berbasis Citra Alos Avnir-2. *BHUMI: Jurnal Agraria Dan Pertanian*, 3(1), 98. <https://doi.org/10.31292/jb.v3i1.96>