

Estimasi Stok Karbon Padang Lamun menggunakan Citra Spot-7 di Perairan Pulau Kodingarenglombo, Sangkarrang, Kota Makassar

Muh Rais¹, Dwi Fajriyati Inaku^{1*}, Wilma J.C Moka¹, Supriadi Mashoreng²,
Dewi Yanuarita Satari¹, Nita Rukminasari¹

¹Manajemen Sumber Daya Perairan, Departemen Perikanan,
Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin

²Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin
Jl. Perintis Kemerdekaan KM. 10. Tamalanrea, Makassar, 90245, Indonesia
Email: wiwik.inaku@gmail.com

Abstract

Estimated Seagrass Beds Carbon Stock Using Spot-7 Imagery in the Waters of Kodingarenglombo Island, Sangkarrang, Makassar City

Seagrass is the most effective ecosystem in absorbing carbon. The ability of seagrasses to absorb CO₂ from the atmosphere is better than terrestrial ecosystems. Image processing methods and information regarding potential carbon stocks in seagrass beds can then be used as a basis for managing carbon stocks found in coastal areas and small islands. This study aims to estimate the carbon stock of seagrass beds in the waters of Kodingarenglombo Island using remote sensing technology. This research was conducted from March to August 2020. The stages of the field survey were to identify the percentage of seagrass cover in 62 plot points. Seagrass carbon stocks are known based on seagrass cover percentage data using the regression equation. The estimation of seagrass carbon stocks in the study area is divided into two, namely AGC and BGC. The image processing stage is by using the random forest regression algorithm in mapping seagrass carbon stocks. The results of this research survey revealed six species of seagrass, namely *Cymodocea rotundata*, *Enhalus acoroides*, *Halodule uninervis*, *Halophila ovalis*, *Thalassia hemprichii* and *Syringodium isoetifolium* and were dominated by 2 species of seagrass, namely *Thalassia hemprichii* and *Enhalus acoroides*. The results showed that remote sensing can be used to map seagrass carbon stocks. Seagrass carbon stocks can be mapped with a maximum accuracy of 67% (SE=1.96 KgC/Pixel), and 85% (SE=7.86 KgC/Pixel) for AGC and BGC. From this model, the total ecosystem carbon stock in seagrasses in the waters of Kodingarenglombo Island is estimated to be around 178.98 tons of organic carbon with an area of seagrass beds of 81.29 hectares. The availability of seagrass carbon stock maps is very important to provide a better understanding of the spatial and temporal distribution of carbon dynamics.

Keywords: Carbon stock, Kodingarenglombo, seagrass

Abstrak

Lamun adalah ekosistem yang paling efektif dalam menyerap karbon. Kemampuan lamun untuk menyerap CO₂ dari atmosfer lebih baik dari ekosistem darat. Metode pengolahan citra serta informasi mengenai potensi cadangan karbon pada padang lamun selanjutnya dapat dijadikan sebagai dasar pengelolaan stok karbon yang terdapat di pesisir dan pulau-pulau kecil. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi stok karbon padang lamun di perairan Pulau Kodingarenglombo menggunakan teknologi penginderaan jauh. Penelitian ini dilaksanakan dari bulan Maret sampai Agustus 2020. Tahapan survei lapangan yaitu mengidentifikasi persentase tutupan jenis padang lamun sebanyak 62 plot titik. Stok karbon lamun diketahui berdasarkan data persentase tutupan lamun menggunakan persamaan regresi. Estimasi stok karbon padang lamun pada daerah kajian dibedakan menjadi dua yaitu AGC dan BGC. Tahap pengolahan citra yaitu dengan menggunakan algoritma regresi *random forest* dalam memetakan stok karbon lamun. Hasil survei penelitian ini mendapatkan enam jenis lamun yaitu *Cymodocea rotundata*, *Enhalus acoroides*, *Halodule uninervis*, *Halophila ovalis*, *Thalassia hemprichii* dan *Syringodium isoetifolium* dan didominasi oleh 2 jenis lamun yaitu *Thalassia hemprichii* dan *Enhalus acoroides*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penginderaan jauh dapat digunakan untuk memetakan stok karbon lamun. Stok karbon lamun dapat dipetakan dengan akurasi maksimum 67% (SE=1,96 KgC/Piksel), 85% (SE=7,86 KgC/Piksel) untuk AGC dan BGC. Dari model tersebut, total stok karbon ekosistem pada lamun di perairan Pulau Kodingarenglombo diperkirakan sekitar 178,98 ton karbon organik dengan luas padang lamun yaitu 81,29 hektar. Ketersediaan peta stok karbon lamun sangat penting untuk memberikan pemahaman yang lebih baik tentang sebaran dinamika karbon spasial dan temporal.

Kata kunci : Stok karbon, Kodingarenglombo, lamun

PENDAHULUAN

Potensi ekosistem laut yang berperan dalam menyerap karbon dari atmosfer lewat fotosintesis, yaitu berupa plankton yang mikroskopis maupun yang berupa tumbuhan yang hanya hidup di

pantai seperti di hutan mangrove, padang lamun, ataupun rawa payau (*salt marsh*) (Graha *et al.*, 2016). Padang lamun melakukan penyerapan karbon jangka panjang melalui deposisi karbon ke sedimen mencapai 10-50 kali lebih baik dari pada ekosistem di darat (Laffoley dan Grimsditch 2015). Karbon yang tersimpan dalam padang lamun juga mampu dipertahankan lebih lama hingga jutaan tahun dibanding dengan ekosistem pesisir lainnya. Karbon yang tersimpan di dalam ekosistem lamun disebut sebagai *blue carbon* atau karbon biru. Besarnya daya serap dan penyimpanan karbon yang dimiliki padang lamun menjadikan padang lamun sebagai salah satu fokus utama *blue carbon* (Wahyudi *et al.*, 2019).

Kepulauan Spermonde memiliki kandungan ekosistem padang lamun yang cukup besar dengan spesies yang cukup banyak. Kepulauan Spermonde memiliki sebaran lamun yang luas dengan potensi keanekaragaman lamun yang cukup tinggi dengan memiliki 7 jenis lamun (Gosari *et al.*, 2013). Informasi mengenai stok Karbon yang tersimpan pada padang lamun di Kepulauan Spermonde masih sangat sedikit, padahal kondisi padang lamun di beberapa pulau di kepulauan spermonde masih tergolong baik. Salah satu pulau yang juga terdapat di wilayah kepulauan Spermonde yang memiliki hamparan padang lamun yang cukup luas adalah Pulau Kodingarenglompo. Pulau Kodingareng memiliki luas tutupan lamun yang cukup tinggi yaitu 67 – 76 % (Tamti *et al.*, 2014)(Moka *et al.*, 2021).

Penginderaan jauh memiliki kemampuan untuk menembus tubuh air melalui saluran tampak untuk mengidentifikasi habitat dasar termasuk padang lamun, dimana cahaya masih melimpah pada kedalaman tersebut. Penginderaan jauh memiliki kemampuan untuk menyediakan data spatio-temporal tentang sumber daya alam, termasuk dinamika karbon di berbagai ekosistem darat dan pesisir (Wicaksono *et al.* 2011). IPCC (2003), menyatakan bahwa data yang dapat digunakan untuk pengukuran karbon harus lengkap, representatif, konsisten waktu, dan transparan. Penginderaan jauh mampu memenuhi tiga persyaratan tersebut dengan memanfaatkan kemampuan alat bantu teknologi penginderaan jauh, maka dapat menentukan estimasi stok karbon di padang lamun secara efektif dan efisien serta menyeluruh.

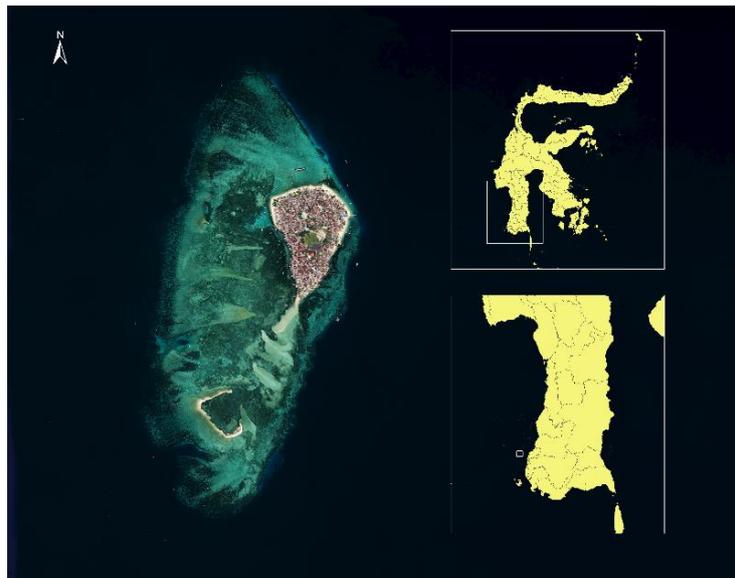
Informasi yang berkaitan dengan kemampuan padang lamun untuk menyimpan cadangan karbon atau stok karbon telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Mashoreng *et al.* (2018), meneliti hubungan antara persen tutupan dan stok karbon padang lamun di Pulau Barrang Lompo dan menghasilkan persamaan regresi untuk mengetahui stok karbon lamun berdasarkan persen tutupan lamun. Pada perairan yang sama yaitu di Pulau Kodingarenglompo, Rahmadani (2019) menghitung kandungan karbon yang dapat disimpan oleh lamun pada tiga kompartemen yaitu akar, daun, dan sedimen.

Penelitian-penelitian stok karbon lamun tersebut umumnya belum bisa mengkalkulasi total karbon secara keseluruhan di lokasi kajian. Beberapa penelitian telah menggunakan penginderaan jauh dalam mengestimasi stok karbon lamun. Wicaksono (2015) memanfaatkan beberapa citra beresolusi tinggi dan berhasil membuat model pemetaan dalam mengestimasi stok karbon lamun di Kepulauan Karimunjawa dengan akurasi yang baik. Hafizt (2013) melakukan kajian estimasi standing carbon stock padang lamun menggunakan citra Quickbird di Pulau Kemujan, dengan hasil penelitian dapat mengestimasi stok karbon di pulau tersebut dengan membagi menjadi kelas *E. acoroides* dan non-*E. acoroides*. Oleh karena itu, penelitian menggunakan teknologi penginderaan jauh dengan memanfaatkan citra SPOT-7 penting dilakukan untuk mendapatkan informasi distribusi spasial stok karbon padang lamun di perairan Pulau Kodingarenglompo.

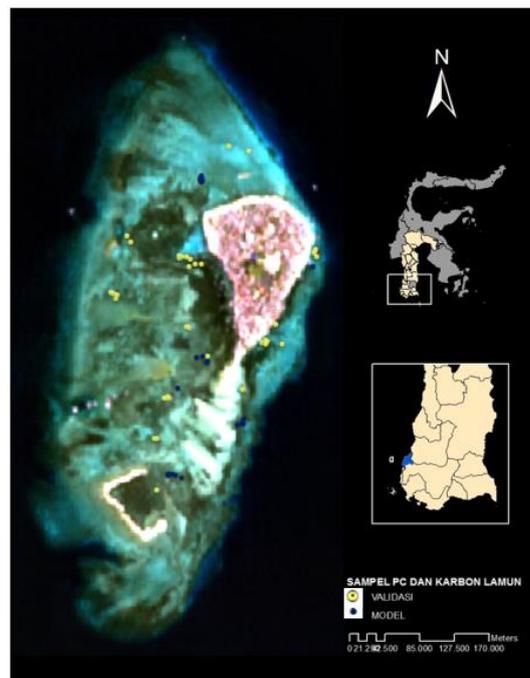
MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret - Agustus 2020 yang meliputi studi literatur, pengambilan data lapangan, dan pengolahan data. Pengambilan data lapangan pada tanggal 4-8 Agustus 2020 di Pulau Kodingarenglompo, Kelurahan Kodingareng, Kecamatan Sangkarrang, Makassar (Gambar 1). Analisis data dilakukan di Stasiun Bumi penginderaan Jauh-Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (SBPJ-LAPAN) Parepare.

Penentuan stasiun pengamatan menggunakan tampilan Citra SPOT-7 berdasarkan titik yang dianggap dapat mewakili persebaran persen tutupan lamun pada lokasi penelitian. Jumlah plot sampel adalah 62 plot titik, selanjutnya dibagi menjadi 2 bagian yaitu 39 plot titik digunakan sebagai titik sampling lamun dan 23 plot titik digunakan untuk menghitung tingkat akurasi (Gambar 2). Pengolahan Citra Spot-7 dilakukan dalam beberapa tahapan. Tahap pertama yaitu melakukan koreksi radiometri yang bertujuan untuk memperbaiki nilai piksel dengan mempertimbangkan faktor gangguan atmosfer, hamburan awan, dan hamburan obyek lainnya sebagai sumber kesalahan utama Nilai DN dikonversi menjadi spektral radiansi dan TOA reflektansi.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian



Gambar 2. Peta Lokasi Pengambilan Sampel Setelah itu, koreksi atmosferik dilakukan untuk menghilangkan path radiance. Dalam penelitian ini menggunakan koreksi atmosferik Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes (FLAASH). Tahap kedua yaitu melakukan koreksi geometri untuk memperbaiki posisi obyek pada citra terhadap posisi sebenarnya dilapangan. Setelah tahapan koreksi selesai kemudian dilakukan pemotongan citra untuk membatasi daerah penelitian sehingga memudahkan analisis citra dalam perangkat komputer. Kemudian dilakukan masking, dimana perairan diberi nilai pixel 1 dan daratan diberi nilai pixel 0 sehingga radiansi daratan tidak ikut diproses dalam pengolahan citra selanjutnya. Daratan Pulau Kodingarenglombo dihilangkan dengan cara memberikan nilai 0 pada daratan Pulau Kodingarenglombo tersebut. Tahapan selanjutnya yaitu melakukan koreksi kolom air, koreksi ini dilakukan untuk menghilangkan gangguan kolom air laut yang dapat mempengaruhi nilai pantulan objek dasar perairan laut dangkal dimana sinar yang masuk ke dalam kolom air berkurang secara eksponensial dengan bertambahnya kedalaman air (atenuasi). Pada sinar tampak, sinar merah teratenuasi lebih cepat dari pada sinar biru dan hijau. Metode ini dikenal sebagai indeks kedalaman invarian (*depth invariant index*) yang didasarkan pada kenyataan bahwa cahaya yang dipantulkan dari bawah merupakan fungsi linear dari reflektansi dasar perairan dan fungsi eksponensial dari kedalaman air yang dituliskan melalui persamaan di bawah ini diperoleh berdasarkan formula sebagai berikut (Lyzenga, 1981).

$$Y = \ln(L_i) - [(k_i/k_j) \times \ln(L_j)]$$

Keterangan: L_i = Nilai reflaktan kanal i ; L_j = Nilai reflaktan kanal j ; k_i/k_j = Rasio koefisien atenuasi kanal i dan j

Tahapan selanjutnya yaitu mengklasifikasi persentase tutupan lamun. Peta persentase penutupan lamun dibuat dengan algoritma regresi random forest (RFR) menggunakan plugin Enmap-Box dari QGIS (Katja-Berger *et al.*, 2018). Input yang digunakan yaitu hasil seagrass masking citra SPOT-7. Selanjutnya citra persentase tutupan lamun hasil RFR ini digunakan sebagai input dalam membuat peta estimasi stok karbon padang lamun. Karbon Citra tematik stok karbon diperoleh menggunakan algoritma random forest regression (RFR) yang dibuat dari sampel lapangan berupa nilai karbon dalam satuan gC/m^2 yang di koversi ke $KgC/36 m^2$ (ukuran piksel SPOT-7). Besarnya nilai karbon diperoleh melalui persamaan regresi (Tabel 1).

Pengambilan data lamun di Perairan Pulau Kodingarenglombo melalui survei. Data lamun dikumpulkan melalui metode foto transek, yaitu dengan menempatkan kuadran berukuran $1 \times 1 m$ di atas tutupan lamun yang kemudian di foto tegak lurus, pada setiap titik sampling dilakukan empat kali foto transek dengan jarak transek adalah 3 m tiap sisi yang mewakili piksel citra ($6 \times 6 m$) (Roelfsema, 2010). Distribusi lokasi transek berdasarkan klasifikasi tingkat tutupan lamun hasil analisis dari *true colour composite* (warna asli) Citra Spot-7 dan klasifikasi digital sebaran habitat lamun di perairan Pulau Kodingarenglombo. Sampling mapping unit disusun dari kelas spektral padang lamun. Identifikasi jenis dan tutupan lamun pada setiap plot berdasarkan *seagrass species codes dan seagrass percentage cover* (McKenzie, 2003). Setiap titik sampling dicatat berdasarkan pembacaan pada Global Positioning System (GPS). Hasil dari survei lapangan akan mendapatkan koordinat dan nilai persen tutupan jenis lamun tiap kelas yang telah ditentukan.

Tahapan selanjutnya yaitu melakukan pendugaan stok karbon. Penghitungan stok karbon padang lamun dilakukan dengan menggunakan pendekatan allometrik yang dibuat berdasarkan persamaan regresi (Mashoreng *et al.* 2018) tersaji pada Tabel 1. Penghitungan dilakukan dengan mengukur tutupan jenis lamun secara aktual di lapangan sehingga data yang didapatkan tersebut nantinya akan dikonversi ke dalam persamaan regresi. Perhitungan stok karbon lamun dibedakan menjadi 2 yaitu karbon atas permukaan/above ground carbon (AGC) dan karbon bawah permukaan/below ground carbon (BGC).

Pengaruh AGC terhadap BGC diuji menggunakan analisis regresi. Hal ini bertujuan untuk melihat besarnya pengaruh AGC terhadap BGC, karena citra satelit tidak mampu merekam bagian bawah lamun. Sebelum dilakukan analisis regresi maka terlebih dahulu dilakukan uji normalitas. Uji normalitas merupakan persyaratan dalam analisis sebelum melakukan uji statistik parametrik maupun

Tabel 1. Persamaan regresi polynomial antara penutupan dengan simpanan karbon lamun (Mashoreng et al., 2018)

Jenis	Simpanan Karbon			
	Bagian Bawah		Bagian Atas	
	Persamaan	R2	Persamaan	R2
T. hemprichii	Y=-0,317X ² -2,8849X+179,62	0,8798	Y=0,0843X ² +2,4728X+13,834	0,8440
E. acoroides	Y=-0,0023X ² +0,719X+13,48	0,7413	Y=0,0087X ² -0,0822X+14,81	0,9683
H. uninervis	Y=0,0035X ² +0,7219X+179,62	0,9610	Y=-0,0018X ² +0,83X+1,6663	0,8975
H. Ovalis	Y=0,0568X ² -0,8907X+15,439	0,9838	Y=0,0066X ² +0,0867X+1,9935	0,9080
S.isoetifolium	Y=-0,0028X ² +0,3153X-0,418	0,9024	Y=0,0015X ² +0,0083X+0,2966	0,8682
C. rotundata	Y=0,0115X ² +0,1675X+10,51	0,7515	Y=0,0025X ² +0,0002X+3,1654	0,8017

non parametrik. Pengujian asumsi distribusi normal bertujuan untuk melihat apakah data terdistribusi normal atau tidak (Kadir, 2010). Jika data tidak terdistribusi normal maka dilakukan transformasi data dalam bentuk yang lain (remedies for no normal), dengan transformasi akar kuadrat, arcsin dan log 10. Setelah data terdistribusi normal maka dilanjutkan dengan analisis regresi.

Uji akurasi menggunakan persamaan standard error of estimate (SE) dan akurasi relatif dari SE yang diterapkan pada masing-masing peta stok karbon. Data uji akurasi diperoleh langsung dari lapangan yang berbeda dari data untuk pembuatan model (Wicaksono 2015):

$$SE = \sqrt{\frac{\sum(Y-Y')^2}{n-2}}$$

Keterangan : n=jumlah sampel uji akurasi; Y = data lapangan; Y'= data model

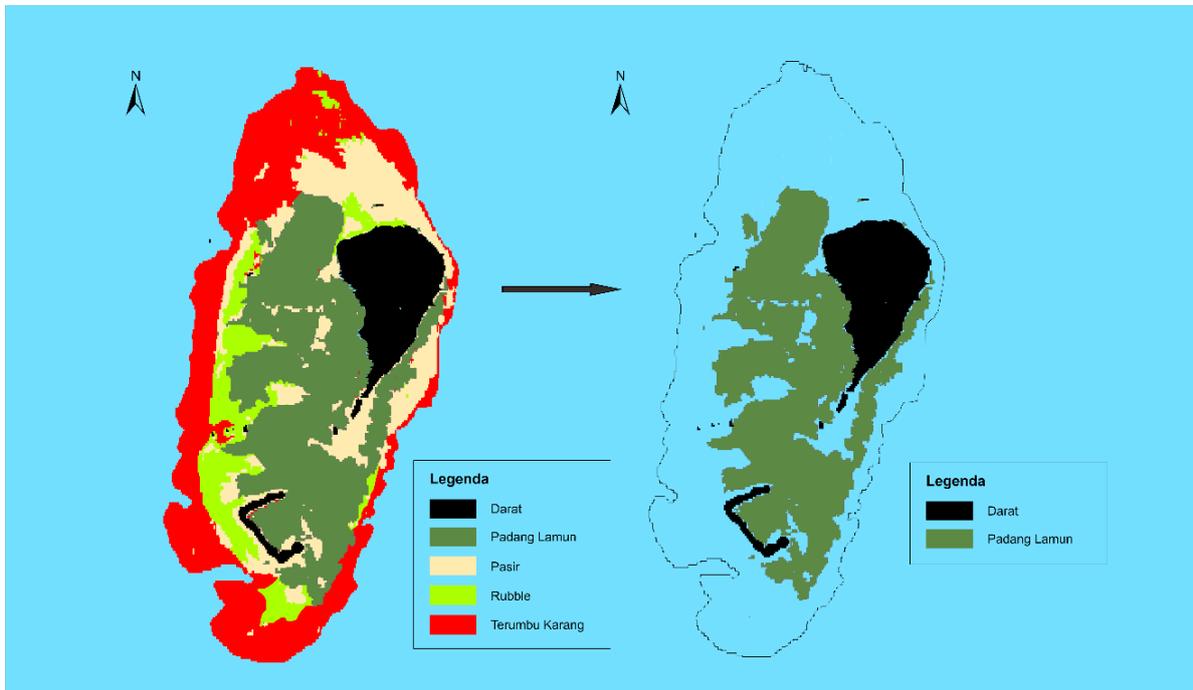
Hitung mean dari data lapangan. Mencari standar deviasi dari data referensi. Menghitung level kepercayaan 95% mean dari data referensi. Mencari batas limit atas dan limit bawah dari level kepercayaan 95%. Melanjutkan penghitungan ke formula berikut : Max error (%) = (SE/lower limit) x 100; Min error (%) = (SE/upper limit) x 100; Max accuracy (%) = 100 – Min error; Min accuracy (%) = 100 – Max error.

HASIL DAN PEMBAHASAN

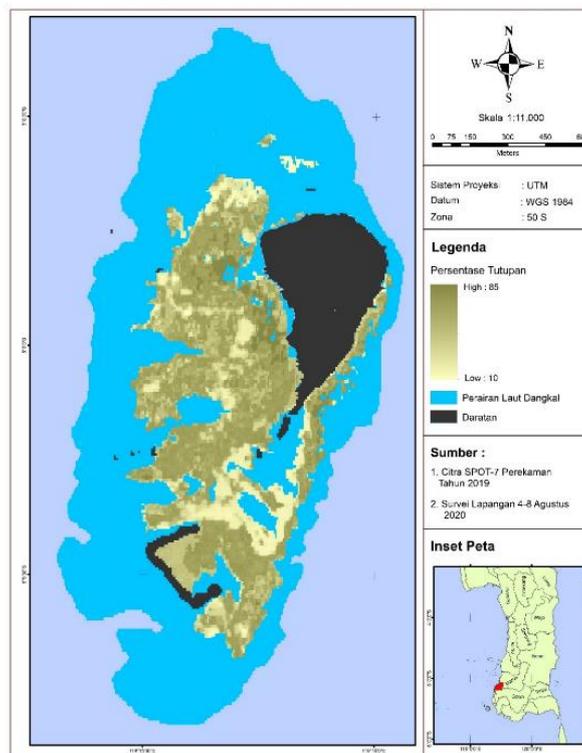
Hasil klasifikasi supervised maximum *likelihood* dihasilkan kelas padang lamun, karang mati, terumbu karang, dan pasir. Setelah dilakukan masking maka didapatkan sebaran padang lamun (*seagrass masking*) (Gambar 3). Berdasarkan hasil klasifikasi sebaran lamun menggunakan citra SPOT-7 menunjukkan bahwa lamun tersebar di bagian barat, selatan dan timur pulau Kodingarenglompo dengan total luasan mencapai 81,29 Ha. Dataset SPOT-7 menawarkan citra yang sangat baik. Cakupan satelit ini dapat digunakan untuk mendeteksi lapisan tanah dan vegetasi baik di darat maupun di bawah permukaan air, sehingga sangat cocok digunakan dalam mendeteksi padang lamun (Simarmata et al., 2019). Hasil survei di perairan Pulau Kodingarenglompo ditemukan enam jenis lamun yaitu *Halophila ovalis*, *Cymodocea rotundata*, *Enhalus acoroides*, *Thalassia hemprichii*, dan *Syringodium isoetifolium*, dan *Halodule uninervis*.

Banyaknya lamun pada sisi barat dan selatan pulau dikarenakan jauhnya lamun dari aktivitas dan pemukiman masyarakat. Menurut Fajarwati et al. (2015), sebaran pertumbuhan lamun yang tidak tersebar secara merata disebabkan beberapa faktor lingkungan seperti kondisi lingkungan yang berbeda dan aktivitas antropogenik. Kurangnya lamun pada sisi utara pulau Kodingarenglompo salah satunya disebabkan karena area tersebut merupakan area yang dipengaruhi oleh aktivitas antropogenik. Pada sisi timur pulau merupakan jalur dan tempat sandar kapal nelayan, karena kawasan tersebut lebih dalam sehingga lamun dijumpai pada perairan yang

cukup dalam. Menurut Sangaji (1994), tempat yang lebih dalam tidak memungkinkan lamun untuk dapat bertahan hidup, sehingga lamun pada kawasan tersebut jumlahnya sangat sedikit.



Gambar 3. Hasil klasifikasi supervised maximum likelihood: (a) habitat bentik; (b) seagrass masking



Gambar 4. Peta persentase tutupan lamun di perairan Pulau Kodingarenglompo

Berdasarkan akurasi pemetaan persentase tutupan lamun sebesar 94,98%, menunjukkan bahwa 94,98% persentase tutupan lamun di lapangan dapat digambarkan oleh citra atau peta persentase tutupan lamun (Gambar 4). Hal ini berarti bahwa hasil klasifikasi citra yang dilakukan sudah sesuai dengan data di lapangan karena melebihi nilai standar uji ketelitian haruslah mempunyai nilai minimum yang mencapai 85 % yang selanjutnya mendukung untuk digunakan sebagai input dalam pemetaan stok karbon padang lamun. Jika dibanding hasil akurasi pada penelitian yang dilakukan oleh (Sabilah 2018), pada pemetaan persen tutupan lamun di Pulau Kodingarenglombo menggunakan SENTINEL-2 yaitu 89,2%, hal ini menunjukkan akurasi pada penelitian yang telah dilakukan lebih baik.

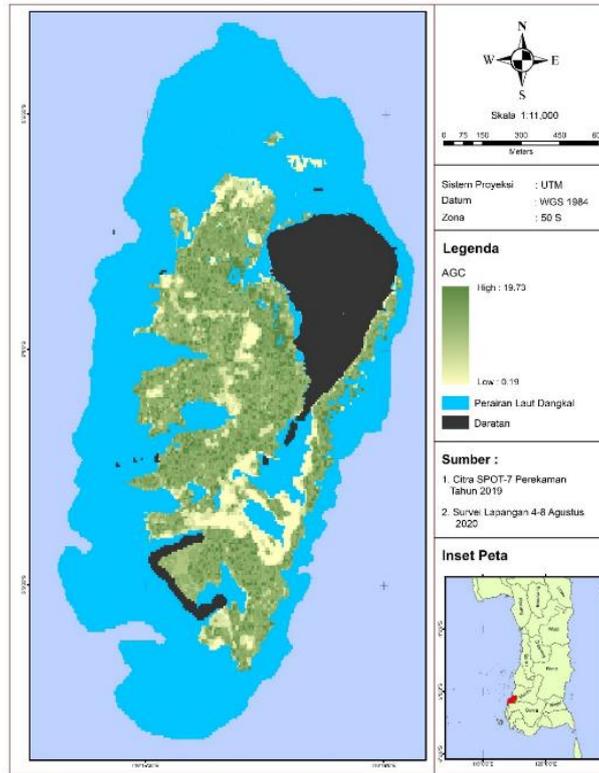
Hasil pemetaan tutupan lamun menggunakan *machine learning* (*Random Forest Regression*) di perairan pulau Kodingarenglombo menunjukkan bahwa tingkat tutupan lamun yang lebih tinggi (hijau tua) mendominasi area padang lamun dibanding tutupan rendah dengan persentase tutupan rata-rata yaitu 49,1% atau kategori sedang, yang berarti keadaan padang lamun menunjukkan kondisi yang baik (Theocharis *et al.*, 2003). Menurut (Gosari 2012), kondisi tutupan lamun di Kepulauan Spermonde Makassar rata-rata 36% atau kategori sedang. Hal ini menunjukkan tutupan lamun pada pemetaan ini memiliki kategori tutupan lamun yang sama dengan rata-rata tutupan lamun di Kepulauan Spermonde-Makassar. Hal ini menunjukkan bahwa *machine learning* dapat meningkatkan identifikasi sebaran dan persentase tutupan padang lamun dengan baik (Wicaksono *et al.*, 2019; Ha *et al.*, 2020).

Hasil pemetaan citra SPOT-7 pada penelitian ini disajikan pada Tabel 2. Peta stok karbon bagian atas (AGC) pada daerah kajian menunjukkan kisaran antara 0,19 kgC/piksel - 19,73 kgC/piksel (Gambar 5), sedangkan peta stok karbon bagian bawah (BGC) pada daerah kajian menunjukkan kisaran antara 0,484 kgC/piksel - 56,076 kgC/piksel (Gambar 6). Perbedaan warna menunjukkan variasi stok karbon tiap piksel, dimana warna cerah menunjukkan rendahnya stok karbon pada piksel tersebut dan semakin gelap warnanya maka stok karbon pun akan besar jumlahnya. Penelitian tentang estimasi total stok karbon atas padang lamun di Gili Petarando adalah 9.33 tonC dengan kesalahan standar estimasi tergolong rendah yaitu 1.33 gC/m² yang menunjukkan estimasi yang baik. Hal ini membuktikan citra Sentinel-2 mempunyai kemampuan yang baik untuk digunakan sebagai alat untuk memetakan padang lamun dan mampu mengestimasi nilai stok karbon atas padang lamun. Keragaman ukuran, jenis dan jumlah, serta penutupan lamun menghasilkan nilai pantulan tutupan lamun yang diperoleh dari citra SPOT-7 juga beragam. Dimana Model stok karbon padang lamun dibuat antara data persentase tutupan padang lamun dengan nilai stok karbon, sehingga menghasilkan nilai stok karbon tiap piksel menjadi beragam (Hafizt, 2013; Sousa *et al.*, 2019; Campbell *et al.*, 2022).

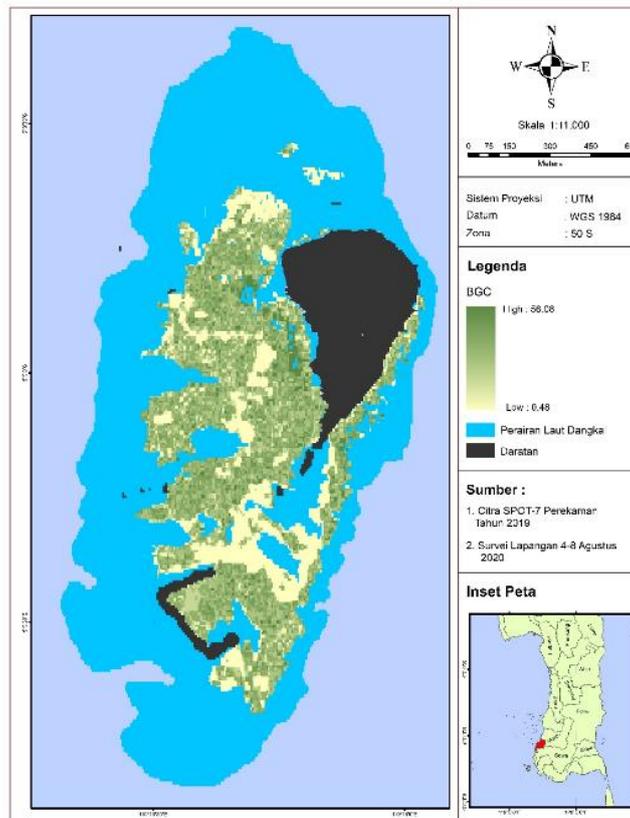
BGC lamun adalah bagian lamun yang tidak terekam oleh citra namun dapat di petakan dari penginderaan jauh karena memiliki korelasi yang kuat ($\text{sig} < 0,05$) dengan koefisien korelasi ($r = 0,978$) antara BGC dan AGC lamun (Gambar 7). Hal ini menunjukkan tingkat keakuratan pemetaan lamun BGC relatif sama dengan AGC.

Menurut Wicaksono (2015), BGC lamun proporsional dengan bagian atasnya dan dengan demikian jumlah BGC dapat diestimasi dari penginderaan jauh. Hasil analisis regresi menunjukkan tingkat tutupan jenis lamun memberikan pengaruh yang signifikan terhadap cadangan karbon lamun. Menurut Mashoreng *et al.* (2018), nilai simpanan karbon lamun umumnya semakin tinggi seiring dengan meningkatnya persen penutupan begitupun sebaliknya. Hubungan antara penutupan lamun dengan jumlah karbon tersimpan menunjukkan hubungan yang erat, baik antar jenis maupun antar bagian bawah dan bagian atas.

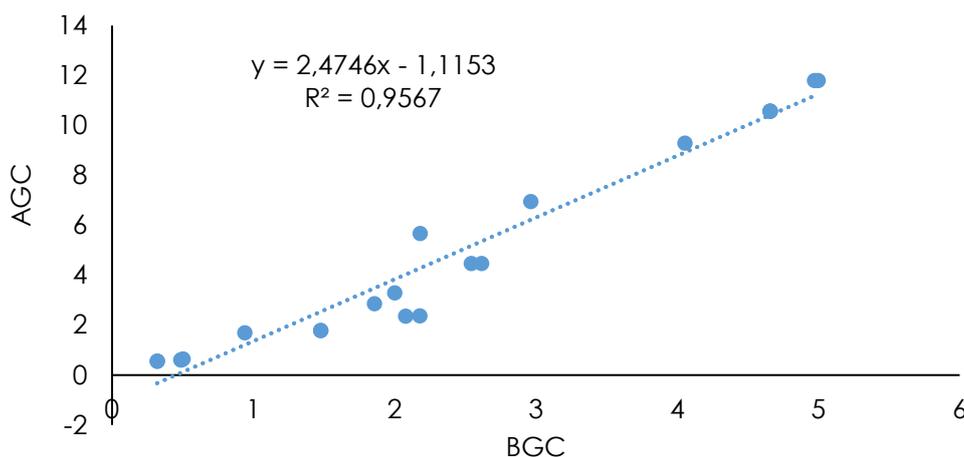
Berdasarkan algoritma regresi *random forest*, maka dilakukan perhitungan stok karbon pada keseluruhan lokasi penelitian. Nilai cadangan karbon dikonversi dari kg/piksel menjadi ton/Ha. Hasil perhitungan nilai stok karbon dibedakan pada jenis biofisik padang lamun yaitu lamun AGC dan lamun BGC dimana stok karbon BGC lebih besar dibanding AGC. BGC pada daerah kajian sebesar



Gambar 5. Peta sebaran karbon bagian atas (AGC) di Pulau Kodingarenglompo



Gambar 6. Peta sebaran karbon bagian bawah (BGC) di Pulau Kodingarenglompo



Gambar 7. Grafik korelasi BGC lamun dengan AGC lamun

Tabel 2. Nilai stok karbon padang lamun pada AGC dan BGC

Sifat Biofisik	Total (ton C)	Rata-Rata (ton C/ha)	Rata-Rata (kg C/piksel)	Rata-Rata (kgC/m ²)
AGC Lamun	66,37	0,82	2,94	0,08
BGC Lamun	112,61	1,39	4,99	0,14
Total	178,98			

0,14 kgC/m², sedangkan AGC hanya sebesar 0,08 kgC/m². Nilai stok karbon setiap meter persegi selanjutnya dikalikan dengan resolusi spasial pada citra yang digunakan (36m²), sehingga dapat diketahui bahwa kandungan karbon lamun AGC pada daerah kajian sebesar 66,37 ton karbon dan kandungan karbon lamun BGC sebesar 112,61 ton karbon. Sedangkan kandungan total seluruh stok karbon (AGC+BGC) padang lamun pada daerah kajian sebesar 178,98 ton karbon (Tabel 2). Menurut Alcoverro *et al.* (2001), tingginya kandungan BGC lamun menunjukkan bahwa substrat merupakan tempat menyimpan hasil fotosintesis yang akan mendukung pertumbuhan lamun jika proses fotosintesis tidak berjalan secara optimal. Selain itu, menurut Mashoreng *et al.* (2018), jaringan yang paling banyak menyimpan karbon adalah bagian rhizoma dengan 21,7-66,9% dari keseluruhan karbon tersimpan. Selain itu sebagian besar hasil fotosintesis lamun disimpan di bawah sedimen. Salah satu fungsi dari kondisi tersebut adalah untuk memperkuat penancapan lamun (Sophianto *et al.*, 2020).

Hasil cadangan karbon dan akurasi yang didapat dari penelitian ini relatif lebih tinggi (1,10 ton C / ha) dibanding hasil penelitian Wicaksono (2015) di Pulau Karimun Jawa dan Kemujan menggunakan beberapa citra satelit yakni Worldview-2, ALOS AVNIR-2, ASTER VNIR, Landsat 5 TM dengan nilai rata-rata sebesar 0,603 ton C/ hektar untuk keseluruhan cadangan karbon, begitupun nilai akurasi yang hanya 49,23 % (AGC) dan 55,64 % (BGC). Hasil pada penelitian ini juga lebih besar jika dibandingkan dengan penelitian (Septiani *et al.*, 2018) yang dilakukan di Pantai Prawean Bandengan Jepara dengan total stok karbon lamun sebesar 0,69 ton/ha.

Hasil estimasi stok karbon lamun menggunakan penginderaan jauh di Perairan Pulau Kodingarenglombo menunjukkan bahwa nilai estimasi berada di angka 1,10 ton C/ hektar. Jika

dibandingkan dengan penelitian Supriadi *et al.* (2013) yang dilakukan di Pulau Baranglombo Makassar menyebutkan bahwa total stok karbon lamun sebesar 1,15 ton/ha, nilai ini hampir sama seperti perkiraan model pemetaan untuk lamun di Perairan Pulau Kodingarenglombo. Hal ini menunjukkan bahwa akurasi estimasi stok karbon lamun dari model penelitian ini terbilang baik karena dikonfirmasi oleh estimasi rata-rata stok karbon lamun di perairan Pulau Barranglombo, yang berada pada kawasan yang sama dengan Pulau Kodingarenglombo yaitu Kepulauan Spermonde-Makassar. Penggunaan penginderaan jauh dalam mengestimasi stok karbon padang lamun di kawasan Kepulauan Spermonde-Makassar khususnya perairan Pulau Kodingarenglombo dapat dilakukan. Total stok karbon lamun yang didapatkan pada Pulau Kodingarenglombo sekitar 178,98 ton karbon. Sedangkan estimasi stok karbon yang didapatkan di Pulau Kemujan Kepulauan Karimunjawa sebesar 6,66 ton karbon lamun dengan menggunakan citra *sunlint* hasil transformasi PCA (Hafizt & Danoedoro, 2017). Namun demikian, kemungkinan besar nilai total stok karbon lamun tersebut lebih rendah dari yang sebenarnya.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil penelitian ini yaitu estimasi stok karbon padang lamun di perairan Pulau Kodingarenglombo menggunakan penginderaan jauh dengan memanfaatkan citra SPOT-7, diperkirakan menyimpan 178,98 ton karbon organik terdiri dari 66,37 ton AGC dan 112,61 ton BGC.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat Universitas Hasanuddin yang telah memberikan dukungan melalui hibah penelitian internal Universitas Hasanuddin. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) Pare-Pare yang telah memfasilitasi ketersediaan data dan pengolahan data spasial.

DAFTAR PUSTAKA

- Alcoverro, T., Manzanera, M., & Romero, J. (2001). Annual metabolic carbon balance of the seagrass *Posidonia oceanica*: the importance of carbohydrate reserves. *Marine Ecology Progress Series*, 211, 105–116. doi: 10.3354/meps211105
- Campbell, A.D., Fatoyinbo, T., Charles, S.P., Bourgeau-Chavez, L.L., Goes, J., Gomes, H., Halabisky, M., Holmquist, J., Lohrenz, S., Mitchell, C., Moskal, L.M., Poulter, B., Qiu, H., Resende De Sousa, C. H., Sayers, M., Simard, M., Stewart, A.J., Singh, D., Trettin, C., ... Lagomasino, D. (2022). A review of carbon monitoring in wet carbon systems using remote sensing. *Environmental Research Letters*, 17(2), p.025009. doi: 10.1088/1748-9326/ac4d4d
- Fajarwati, S.D., Setianingsih, A.I., & Muzani, M. (2015). Analisis Kondisi Lamun (Seagrass) Di Perairan Pulau Pramuka, Kepulauan Seribu. In *Jurnal SPATIAL Wahana Komunikasi dan Informasi Geografi* 13(1), 22–32. doi: 10.21009/spatial.131.03
- Graha, Y.I., Arthana, I.W., & Karang, I.W.G.A. (2016). Simpanan Karbon Padang Lamun Di Kawasan Pantai Sanur, Kota Denpasar. *Ecotrophic: Journal of Environmental Science*, 10(1), 46–53.
- Ha, N.T., Manley-Harris, M., Pham, T.D., & Hawes, I. (2020). A comparative assessment of ensemble-based machine learning and maximum likelihood methods for mapping seagrass using sentinel-2 imagery in Tauranga Harbor, New Zealand. *Remote Sensing*, 12(3), 1–16. doi: 10.3390/rs12030355
- Hafizt, M. (2013). Kajian Estimasi Standing Carbon Stock Padang Lamun Menggunakan Citra Quickbird di Pulau Kemujan, Kepulauan Karimunjawa. [Skripsi]. Universitas Gadjah Mada.
- Hafizt, M., & Danoedoro, P. (2017). Kajian Estimasi Standing Carbon Stock Padang Lamun Menggunakan Citra Quickbird, Di Pulau Kemujan. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLVI-4/W6. doi: 10.13140/RG.2.2.30197.99044

- Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., and Wagner, F. (2003). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. The Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC. Kamiyamaguchi, Japan.
- Katja-Berger, Buddenbaum, H., Chabrillat, S., Cooper, S., Danner, M., Doerffer, R., Dotzler, S., Förster, S., Guanter, L., Hank, T., Heiden, U., Heldens, W., Hieronymi, M., Hill, J., Hostert, P., Itzerott, S., Jakimow, B., Jilge, M., Kaufmann, H., ... Hendrik, W. (2018). Preparing to Exploit the Science Potentials: Environmental Mapping and Analysis Program (EnMAP). 28. Retrieved from
- Laffoley, D., & Grimsditch, G. (2015). *The Management of Natural Coastal Carbon Sinks* (Issue September).IUCN
- Lyzenga, D.R. (1981). Remote sensing of bottom reflectance and water attenuation parameters in shallow water using aircraft and landsat data. *International Journal of Remote Sensing*, 2(1), 71–82. doi: 10.1080/01431168108948342
- Mashoreng, S., Banda Selamat, M., Amri, K., & La Nafie, Y.A. (2018). Hubungan Antara Persen Penutupan dan Simpanan Karbon Lamun. *Akuatika Indonesia*, 3(1), 74-83. doi: 10.24198/jaki.v3i1.23437
- Mashoreng, S., Isyirini, R., & Gosari, B.A.J. (2013). Estimasi Potensi Penyerapan Karbon oleh Komunitas Lamun di Pulau Barranglombo Makassar. Lembaga Penelitian Dan Pengabdian Masyarakat, Universitas Hasanuddin.
- McKenzie, P.J. (2003). A model of information practices in accounts of everyday-life information seeking. *Journal of Documentation*, 59(1), 19–40. doi: 10.1108/00220410310457993
- Moka, W., Inaku, D.F., & Rais, M. (2021). Struktur Komunitas Landak Laut di Padang Lamun Pulau Kodingareng, Kepulauan Spermonde. *Jurnal Kelautan Tropis*, 24(1), 63–70. doi: 10.14710/jkt.v24i1.9320
- Rahmadani, F.A. (2019). *Stok karbon lamun di pulau kodingareng lombo, makassar*. [Skripsi]. Universitas Hasanuddin.
- Roelfsema, C. (2010). Integrating field data with high spatial resolution multispectral satellite imagery for calibration and validation of coral reef benthic community maps. *Journal of Applied Remote Sensing*, 4(1), p.043527. doi: 10.1117/1.3430107
- Sabilah, A.A. (2018). Perbandingan Kondisi Lamun yang diperoleh dari Citra Landsat-8 dan Sentinel-2. [Skripsi]. Universitas Hasanuddin.
- Sangaji, F. (1994). Pengaruh Sedimen dasar terhadap Penyebaran, Kepadatan, Keanekaragaman dan Pertumbuhan Padang Lamun di Laut Sekitar Pulau Barang Lombo. Universitas Hasanuddin.
- Septiani, E.F., Ghofar, A., & Febrianto, S. (2018). Pemetaan Karbon Di Padang Lamun Pantai Prawean Bandengan Jepara. *Majalah Ilmiah Globe*, 20(2), 117–124. doi: 10.24895/MIG.2018.20-2.827
- Simarmata, N., Elyza, F., & Vatiady, R. (2019). Kajian Citra Satelit SPOT-7 untuk Estimasi Standing Carbon Stock Hutan Mangrove dalam Upaya Mitigasi Perubahan Iklim di Lampung Selatan. *Jurnal Penginderaan Jauh Dan Pengolahan Data Citra Digital*, 16(1), 1–8.
- Sophianto, R.P., Endrawati, H., & Hartati, R. (2020). Simpanan Karbon pada Ekosistem Padang Lamun di Perairan Jepara. *Journal of Marine*, 9(3), 289–295.
- Sousa, A.I., da Silva, J.F., Azevedo, A., & Lillebø, A.I. (2019). Blue Carbon stock in *Zostera noltei* meadows at Ria de Aveiro coastal lagoon (Portugal) over a decade. *Scientific Reports*, 9(1), 1–14. doi: 10.1038/s41598-019-50425-4
- Tamti, H., Ratnawati, & Anwar, A. (2014). Kondisi Sumberdaya Alam dan Masyarakat Pulau di Kota Makassar : Studi Kasus Pulau Kodingareng dan Pulau Barrang Caddi. *Jurnal Ilmu Perikanan Octopus*, 3(1), 252–260.
- Theocharis, G., Rapti, Z., Kevrekidis, P.G., Frantzeskakis, D.J., & Konotop, V.V. (2003). Modulational instability of Gross-Pitaevskii-type equations in [Formula Presented] dimensions. *Physical Review A - Atomic, Molecular, and Optical Physics*, 67(6), p.063610. doi: 10.1103/PhysRevA.67.063610
- Wahyudi, A., Adi, N., Afdal, A., Rustam, A., Rahayu, Y., Kepel, T., Suryono, D., Salim, H., Rahmawati, S., Irawan, A., Dharmawan, I. W., Prayudha, B., Hafizt, M., Prayitno, H., Ati, R.N.A., Kiswara, W., Supriyadi, I., Daulat, A., Sudirman, N., & Kusumaningtyas, M. (2019). *Potensi Cadangan Karbon Ekosistem Mangrove dan Padang Lamun Indonesia*. Intisari Bagi Pengambil Kebijakan
- Wicaksono, P., Hartono, & Danoedoro, P. (2011). Mapping Seagrass as a Natural Carbon Sink: A

Remote Sensing Approach. *Proceedings of International Seminar on Marine. Sustainable Marine and Coastal Resource Management in Coral Triangle Initiative (CTI) Region*. Denpasar, Bali, Indonesia.

Wicaksono, P., Lazuardi, W., & Munir, M. (2019). Integrating Image at Different Spatial Resolutions And Field Data For Seagrass Percent Cover Mapping. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(4/W19), 487–492. doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-4-W19-487-2019

Wicaksono, P. (2015). Pengembangan Model Penginderaan Jauh Untuk Pemetaan Stok Karbon Padang Lamun Dan Hutan Mangrove. Universitas Gadjah Mada.