

SKRIPSI

ESTIMASI CADANGAN KARBON DI ATAS PERMUKAAN (*ABOVE GROUND CARBON*) PADA HUTAN MANGROVE KURI CADDI MENGGUNAKAN CITRA SENTINEL-2A

Disusun dan diajukan oleh

ANDI TENRI WARU

L21116307



**PROGRAM STUDI MANAJEMEN SUMBER DAYA PERAIRAN
DEPARTEMEN PERIKANAN
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

**ESTIMASI CADANGAN KARBON DI ATAS PERMUKAAN
(*ABOVE GROUND CARBON*) PADA HUTAN MANGROVE KURI
CADDI MENGGUNAKAN SENTINEL-2A**

**ANDI TENRI WARU
L21116307**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada
Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan



**PROGRAM STUDI MANAJEMEN SUMBER DAYA PERAIRAN
DEPARTEMEN PERIKANAN
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

ESTIMASI CADANGAN KARBON DI ATAS PERMUKAAN (ABOVE GROUND CARBON) PADA HUTAN MANGROVE KURI CADDI MENGUNAKAN CITRA SENTINEL-2A

Disusun dan diajukan oleh

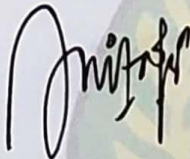
ANDI TENRI WARU

L21116307

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Manajemen Sumber Daya Perairan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin pada tanggal 4 Mei 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

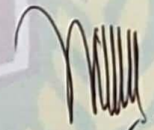
Menyetujui

Pembimbing Utama



Dr. Nita Rukminasari, S.Pi., MP.
NIP. 19691229 199802 2 001

Pembimbing Pendamping



Dwi Fajriyati Inaku, S.Kel., M.Si
NIP. 19870502 201404 2 001

Ketua Program Studi
Manajemen Sumber Daya Perairan



Dr. Ir. Nadiarti, M.Sc
NIP. 19680106 199103 2 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Andi Tenri Waru
NIM : L211 16 307
Program Studi : Manajemen Sumberdaya Perairan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa tulisan saya berjudul :

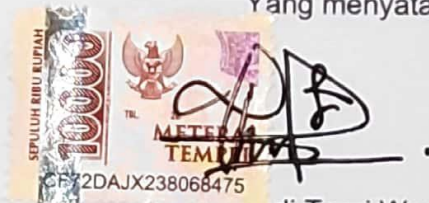
"Estimasi Cadangan Karbon di Atas Permukaan (*Above Ground Carbon*) pada Hutan Mangrove Kuri Caddi Menggunakan Citra Sentinel-2A"

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain, bahwa skripsi yang saya tulis ini benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 4 Mei 2021

Yang menyatakan



Andi Tenri Waru
NIM. L211 16 307

PERNYATAAN AUTHORSHIP

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Andi Tenri Waru
NIM : L211 16 307
Program Studi : Manajemen Sumberdaya Perairan
Fakultas : Ilmu Kelautan dan Perikanan

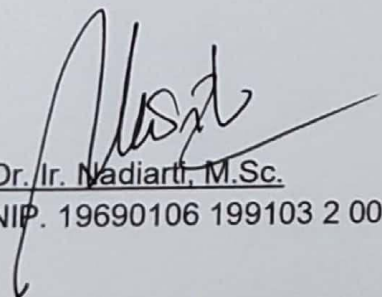
Menyatakan bahwa publikasi sebagian atau keseluruhan isi skripsi pada jurnal atau forum ilmiah lain harus seizin dan menyertakan tim pembimbing sebagai *author* dan Universitas Hasanuddin sebagai institusinya. Apabila dalam waktu sekurang-kurangnya dua semester (satu tahun sejak pengesahan skripsi) saya tidak melakukan publikasi dari sebagian atau keseluruhan skripsi ini maka pembimbing sebagai salah satu seorang dari penulis berhak mempublikasikannya pada jurnal ilmiah yang ditentukan kemudian, sepanjang nama mahasiswa tetap diikutkan.

Makassar, 4 Mei 2021

Mengetahui,

Ketua Program Studi
Manajemen Sumberdaya Perairan

Penulis



Dr. Ir. Nadiarti, M.Sc.
NIP. 19690106 199103 2 001



Andi Tenri Waru
NIM. L211 16 307

ABSTRAK

Andi Tenri Waru. L21116307. “Estimasi Cadangan Karbon di Atas Permukaan (*Above Ground Carbon*) pada Hutan Mangrove Kuri Caddi Menggunakan Citra Sentinel-2A” dibimbing oleh **Nita Rukminasari** sebagai Pembimbing Utama dan **Dwi Fajriyati Inaku** sebagai Pembimbing Anggota.

Hutan mangrove merupakan salah satu ekosistem penting di wilayah pesisir dan perairan. Ekosistem ini memiliki kemampuan menyimpan karbon dalam jumlah besar pada biomassa tegakan. Dusun Kuri Caddi merupakan wilayah di Kabupaten Maros yang ditumbuhi hutan mangrove, namun hutan mangrove ini tidak lepas dari ancaman kerusakan akibat dari kegiatan konversi lahan atau pemanfaatan hutan mangrove yang berlebihan. Keberadaan mangrove di dusun ini perlu untuk dijaga dan dipertahankan karena memiliki potensi sebagai penyimpan karbon yang baik dan bernilai ekonomis. Namun, cadangan karbon yang saat ini tersimpan pada hutan mangrove Kuri Caddi belum diketahui jumlahnya karena tidak adanya data inventarisasi mengenai hal tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi cadangan karbon di atas permukaan pada hutan mangrove di Dusun Kuri Caddi, Kabupaten Maros dengan memanfaatkan data citra Sentinel-2A. Nilai cadangan karbon diperoleh dari persamaan regresi berdasarkan data indeks vegetasi EVI dan cadangan karbon aktual. Metode yang digunakan dalam memperoleh nilai cadangan karbon aktual yaitu persamaan alometrik (*above ground biomass*) dengan teknik pengambilan sampel secara *purposive sampling*. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa indeks vegetasi EVI menunjukkan korelasi yang erat dengan cadangan karbon aktual sebesar 82,74% ($R^2 = 0,8274$). Pengestimasian cadangan karbon total menggunakan hasil persamaan regresi polinomial $y = 2563.5x^2 - 1318.1x + 514.22$. Total cadangan karbon di atas permukaan hutan mangrove di Kuri Caddi mencapai 2194,95 tonC dengan nilai rata-rata sebesar 66,65 tonC/Ha.

Kata Kunci: Mangrove, Cadangan Karbon, EVI, Sentinel-2A, Kuri Caddi

ABSTRACT

Andi Tenri Waru. L21116307. "Estimation of Above Ground Carbon in Kuri Caddi Mangrove Forest using Sentinel-2A Imagery" was supervised by **Nita Rukminasari** as the Principle Supervisor and **Dwi Fajriyati Inaku** as the Co-Supervisor.

Mangrove forest is one of the important ecosystems in coastal and marine areas. This ecosystem has ability to store large amounts of carbon in biomass. Kuri Caddi is an area in Maros Regency that is overgrown with mangrove forest, but this mangrove forest is threatened of damage due to land conversion actions or excessive use of mangrove forests. This existence of mangroves in this hamlet needs to be maintained because it has potential as good carbon storage and has economic value. However, the carbon stock stored in mangrove forest is unknown because there is no inventory data regarding this matter. This study aims to estimate above ground carbon stock in mangrove forest of Kuri Caddi Hamlet, Maros Regency by utilizing Sentinel-2A image data. The value of carbon stock is obtained from the regression equation based on vegetation index (EVI) data and the actual carbon stock. The method used in obtaining is allometric equation (above ground biomass) with sampling technique using purposive sampling. Based on the research results, it is known that the EVI vegetation index show a strong relationship with the actual carbon stock which is 82.74% ($R^2 = 0.8274$). The total carbon stock are estimated using the results of polynomial regression equation $y = 2563.5x^2 - 1318.1x + 514.22$. The total above ground carbon stock in Kuri Caddi mangrove forest reaches 2194.95 tonC with an average value 66.65 tonC/Ha.

Keywords: Mangrove, Carbon Stock, EVI, Sentinel-2A, Kuri Caddi Hamlet

BIODATA PENULIS



Andi Tenri Waru adalah anak pertama dari tiga bersaudara, lahir pada tanggal 12 Februari 2000 di Makassar, Sulawesi Selatan. Penulis merupakan anak dari pasangan A Sudirman Hakim dan Andi Aidah M. Pada tahun 2011 penulis menyelesaikan sekolah dasar di SDN 3 Maros. Tahun 2013 menyelesaikan sekolah menengah pertama di SMPN 2 Unggulan Maros. Tahun 2016 penulis menyelesaikan sekolah menengah atas di SMAN 1 Maros.

Pada pertengahan tahun 2016 penulis diterima menjadi mahasiswi di Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan Departemen Perikanan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Selama menjalani studi sebagai mahasiswa, penulis aktif dalam organisasi kemahasiswaan perikanan yaitu KEMAPI (Keluarga Mahasiswa Perikanan) dalam hal ini menjabat sebagai Badan Pengurus Harian pada departemen kajian strategis. Selain itu, penulis juga menjabat dalam organisasi HIMASUPERINDO (Himpunan Mahasiswa Manajemen Sumberdaya Perairan Indonesia) sebagai Badan Eksekutif Pusat pada kementerian hubungan masyarakat.

Penulis menyelesaikan rangkaian tugas akhir yaitu kuliah kerja nyata (KKN) internasional *Six University Initiative Japan Indonesia* (SUIJI) Angkatan 102 di Sakihama, Muroto, Jepang pada tahun 2019, kemudian menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) Parepare, Sulawesi Selatan. Penulis melakukan penelitian akhir dengan judul “Estimasi Cadangan Karbon di Atas Permukaan (*Above Ground Carbon*) pada Hutan Mangrove Kuri Caddi Menggunakan Citra Sentinel-2A”.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan Departemen Perikanan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin ini dengan judul “Estimasi Cadangan Karbon di Atas Permukaan (*Above Ground Carbon*) pada Hutan Mangrove Kuri Caddi Menggunakan Citra Sentinel-2A”. Salam serta salawat selalu tercurah kepada Nabi besar Muhammad *Shallallahu Alaihi Wasallam*, yang telah memberikan teladan akal, pikiran dan akhlaq bagi umatnya. Penelitian ini dilakukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin.

Skripsi ini dapat diselesaikan oleh penulis berkat bantuan, dukungan serta doa dari banyak pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada :

1. Ibu Dr. Nita Rukminasari S.Pi., M.P. selaku pembimbing utama dan Ibu Dwi Fajriyati Inaku S.Kel., M.Si. selaku pembimbing anggota yang telah banyak meluangkan waktu dalam memberikan arahan, dorongan serta motivasi hingga terselesainya skripsi ini.
2. Ibu Dr. Ir. Dewi Yanuarita, M.Si. dan Bapak Dr. Supriadi, S.T., M.Si. selaku dosen penguji yang telah memberikan banyak masukan agar skripsi ini bisa lebih baik.
3. Saudara Rahmat Hidayat, Ade Ikram, Muh Irsyantoso, Muh Gandi, Saudari Resky Ayu Ansar, Rita Sultan, Hudriyah, Nevi Felia Sari dan Novita Fahratul Jannah sebagai pendukung utama penulis dalam penyusunan skripsi ini.
4. Teman-teman MSP 2016 yang memberikan banyak dukungan, motivasi dan kontribusinya dalam pengerjaan skripsi ini.
5. Bapak A Sudirman H dan Ibu Andi Aidah M serta Bapak Mansyur H Paewa dan Ibu Andi Fatimah M selaku orang tua penulis yang senantiasa memberikan dukungan, nasehat dan doa serta materi untuk menyelesaikan skripsi ini.
6. Seluruh keluarga tercinta serta pihak-pihak yang ikut membantu baik secara langsung maupun tak langsung dalam penyusunan skripsi ini.

Tentunya penulis telah berusaha sebaik mungkin dalam mempersembahkan skripsi ini dihadapan pembaca. Namun penulis menyadari bahwa dalam skripsi ini

terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan penulis untuk kesempurnaan tulisan-tulisan kedepannya.

Makassar, 4 Mei 2021

Penulis

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan dan Kegunaan	2
II. TINJAUAN PUSTAKA	3
A. Karbon dan Biomassa	3
B. Mangrove	4
C. Karbon pada Mangrove	5
D. Penginderaan Jauh	6
E. Penelitian Terkait	8
III. METODE PENELITIAN	9
A. Waktu dan Tempat	9
B. Alat dan Bahan	9
C. Prosedur Penelitian	10
IV. HASIL	16
A. Persebaran Kerapatan Vegetasi Berdasarkan Transformasi EVI	16
B. Hubungan Indeks Vegetasi dengan Cadangan Karbon	17
C. Estimasi Total Cadangan Karbon	18
V. PEMBAHASAN	21
A. Persebaran Kerapatan Vegetasi Berdasarkan Transformasi EVI	21
B. Hubungan Indeks Vegetasi dan Cadangan Karbon Mangrove	22
C. Estimasi Total Cadangan Karbon	23
VI. SIMPULAN DAN SARAN	25
A. Simpulan	25
B. Saran	25
DAFTAR PUSTAKA	26
LAMPIRAN	30

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
1. Zonasi vegetasi mangrove	4
2. Peta lokasi penelitian	9
3. Diagram alir penelitian	15
4. Peta persebaran tingkat kerapatan berdasarkan EVI	16
5. Grafik cadangan karbon per plot sampel	17
6. Hasil analisis regresi polinomial	18
7. Peta sebaran cadangan karbon mangrove	19

DAFTAR TABEL

Nomor	Halaman
1. Spesifikasi citra Sentinel-2A	6
2. Nilai kerapatan	11
3. Persamaan alometrik spesies vegetasi mangrove	12

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sebagai penyerap karbon (*sink*) terbesar, hutan sangat berperan penting dalam siklus karbon global. Salah satu ekosistem hutan yang memiliki pengaruh pada penyerapan karbon yaitu hutan mangrove. Ekosistem ini merupakan ekosistem paling kaya karbon di daerah tropis karena memiliki potensi cadangan karbon sebesar 1.023 Mg karbon per hektar. Mangrove berperan menjadi pengikat karbon akibat dari proses fotosintetik yang berlangsung dan menyimpannya dalam biomassa tegakan pohon (Donato et al., 2011).

Salah satu wilayah di Sulawesi Selatan yang memiliki potensi besar dalam menyimpan karbon yaitu hutan mangrove Dusun Kuri Caddi, Desa Nisombalia, Kabupaten Maros. Kondisi lahan mangrove di dusun ini secara umum telah mengalami degradasi akibat dari pengalihan fungsi lahan mangrove menjadi tambak pada tahun 1990 (Iman, 2014). Aktivitas pengalihan lahan yang dilakukan oleh penduduk sekitar berdampak buruk terhadap kondisi hutan mangrove utamanya peranan dan fungsi ekosistem mangrove sebagai penyimpan karbon. Namun informasi mengenai cadangan karbon yang tersimpan di dusun ini belum diketahui jumlahnya karena tidak adanya data inventarisasi mengenai hal tersebut.

Informasi besarnya cadangan karbon pada mangrove di suatu wilayah bisa didapatkan berdasarkan konversi dari nilai biomassa. Informasi ini dapat diperoleh melalui pengukuran biomassa lapangan (metode terestris) yang mampu memberikan hasil dengan akurasi tinggi, namun disisi lain memerlukan banyak waktu, tenaga dan juga biaya yang tinggi untuk skala analisis yang luas. Teknologi penginderaan jauh dapat mengatasi keterbatasan tersebut, mengingat kemajuan teknologi penginderaan jauh yang berkembang pesat (Bayanuddin, 2016).

Beberapa penelitian tentang estimasi cadangan karbon pada vegetasi mangrove dengan menggunakan penginderaan jauh telah dilakukan, diantaranya yaitu penelitian Rakhmawati (2012) di Kabupaten Mamuju Utara, Sulawesi Barat yang menggunakan citra Landsat. Beberapa indeks vegetasi yang digunakan dalam penelitian tersebut yaitu NDVI, TNVI, RVI dan TRVI. Hasil penelitian menunjukkan indeks vegetasi memiliki tingkat korelasi yang cukup tinggi dengan biomassa aktual yaitu dengan nilai diantara 0,5 – 0,6. Penelitian lain oleh Simarmata *et al.* (2019) yang menggunakan citra satelit SPOT-7 untuk mengestimasi cadangan karbon hutan mangrove di Lampung Selatan. Penelitian tersebut menggunakan nilai NDVI untuk

mengestimasi biomassa pada lokasi penelitian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa indeks vegetasi dapat mewakili biomassa aktual lapangan dengan nilai koefisien determinasi sebesar 0,8.

Penelitian ini menggunakan Citra Sentinel-2A yang dilengkapi sensor *multispectral instrument* dengan 13 band sehingga dapat memberikan informasi mengenai vegetasi secara lengkap. Selain itu, penggunaan transformasi *Enhanced Vegetation Index* (EVI) pada citra Sentinel-2A dalam mengestimasi cadangan karbon mangrove belum pernah diteliti sebelumnya. Sehingga penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana tingkat kemampuan indeks vegetasi tersebut dalam mengestimasi cadangan karbon mangrove.

B. Tujuan dan Kegunaan

Tujuan dari penelitian yang dilaksanakan yaitu untuk mengestimasi cadangan karbon di atas permukaan (*above ground carbon*) pada hutan mangrove di Dusun Kuri Caddi, Kabupaten Maros, Sulawesi Selatan dengan memanfaatkan data Citra Sentinel-2A.

Kegunaan dari penelitian ini yaitu untuk memberikan informasi mengenai estimasi cadangan karbon hutan mangrove di Dusun Kuri Caddi, Kabupaten Maros sehingga dapat dilakukan pengelolaan ekosistem hutan mangrove lebih lanjut.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Karbon dan Biomassa

Karbon merupakan salah satu unsur alam yang memiliki lambang “C” dengan nilai atom sebesar 12. Karbon juga menjadi salah satu unsur utama pembentuk bahan organik termasuk makhluk hidup. Hampir setengah dari organisme hidup merupakan karbon karena secara alami karbon banyak tersimpan di bumi (darat dan laut) daripada di atmosfer. Karbon tersimpan pada daratan bumi dalam bentuk makhluk hidup (tumbuhan dan hewan), bahan organik mati ataupun sedimen seperti fosil tumbuhan dan hewan. Sebagian besar jumlah karbon yang berasal dari makhluk hidup bersumber dari hutan (Manuri *et al.*, 2011).

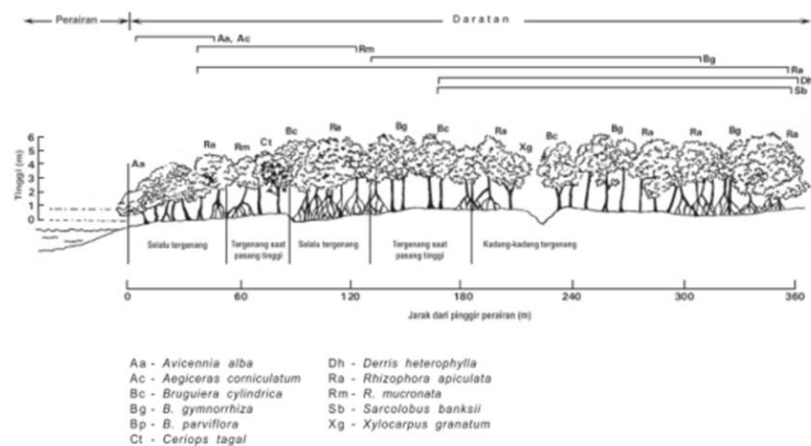
Tumbuhan di dalam maupun di luar kawasan hutan dapat menyerap gas karbon (CO_2) dari udara melalui proses fotosintesis, yang selanjutnya diubah menjadi karbohidrat, kemudian disebarkan ke seluruh tubuh tanaman dan akhirnya ditimbun dalam tubuh tanaman. Proses penimbunan karbon (C) dalam tubuh tanaman hidup dinamakan proses sekuestrasi (*C-sequestration*). Penimbunan karbon terjadi pada beberapa komponen pokok salah satunya adalah pada bagian hidup (biomassa), yaitu masa dari bagian vegetasi yang masih hidup yaitu batang, ranting dan tajuk pohon (berikut akar atau estimasinya), tumbuhan bawah atau gulma dan tanaman semusim (Hairiah *et al.*, 2011). Secara lebih jelasnya Brown (1997) mengartikan biomassa sebagai jumlah total bahan organik hidup di atas permukaan tanah dalam pohon yang dinyatakan sebagai ton kering oven per unit area. Nilai biomassa dapat menunjukkan laju sekuester karbon dari atmosfer melalui laju fotosintetik yang terjadi pada vegetasi. Dengan demikian, kemampuan suatu tanaman dalam menyerap dan menyimpan karbon ditunjukkan oleh seberapa besar nilai biomasanya.

Biomassa terbagi menjadi 2 bagian yaitu biomassa di atas permukaan dan di bawah permukaan tanah. Biomassa di atas permukaan merupakan seluruh biomassa dari vegetasi hidup yang berada di atas tanah termasuk batang, tunggul, cabang, kulit, daun serta buah. Sedangkan biomassa di bawah permukaan tanah merupakan seluruh biomassa dari akar yang masih hidup (Manuri *et al.*, 2011). Secara umum proporsi terbesar cadangan karbon terdapat pada komponen biomassa di atas permukaan. Untuk mengurangi tindakan kerusakan selama pengukuran, biomassa pohon dapat diestimasi dengan menggunakan persamaan alometrik yang didasarkan pada pengukuran diameter batang (dan tinggi pohon, jika ada) (Hairiah *et al.*, 2011).

B. Mangrove

Mangrove adalah tumbuhan berkayu maupun semak berlukar yang menempati habitat antara darat dan laut yang tergenang air laut secara periodik (pasang surut) (FAO, 2007). Ekosistem mangrove mewakili sumberdaya alam yang kaya dan beragam. Faktanya, ekosistem mangrove bernilai baik bagi ekonomi maupun perlindungan lingkungan pesisir. Hutan mangrove telah dimanfaatkan untuk berbagai hal seperti dalam segi ekosistem sebagai pengikat karbon; dari segi kehutanan kayu mangrove digunakan untuk produksi arang dan kayu bakar; dalam perikanan dimanfaatkan sebagai habitat pembibitan ikan; ataupun bisa digunakan dalam bidang medis sebagai obat herbal (Aksornkoe, 1993).

Tumbuhan mangrove memiliki kemampuan khusus untuk beradaptasi dengan kondisi lingkungan yang ekstrim, seperti kondisi tanah yang tergenang, kadar garam yang tinggi serta kondisi tanah yang kurang stabil. Dengan kondisi lingkungan seperti itu, beberapa jenis mangrove mengembangkan mekanisme yang memungkinkan secara aktif mengeluarkan garam dari jaringan, sementara yang lainnya mengembangkan sistem akar napas untuk membantu memperoleh oksigen bagi sistem perakarannya.



Gambar 1. Zonasi vegetasi mangrove (Sumber: Noor *et al.*, 2006)

Zona vegetasi mangrove berkaitan erat dengan pasang surut. Di Indonesia, areal yang selalu digenangi walaupun pada saat pasang rendah umumnya didominasi oleh *Avicennia alba* atau *Sonneratia alba*. Area yang digenangi oleh pasang sedang didominasi oleh jenis-jenis *Rhizophora*. Adapun area yang hanya digenangi pada saat pasang tinggi, yang mana areal ini lebih ke daratan, umumnya didominasi oleh jenis-jenis *Bruguiera* dan *Xylocarpus granatum*, sedangkan area yang digenangi hanya pada

saat pasang tertinggi (hanya beberapa hari dalam sebulan) umumnya didominasi oleh *Bruguiera sexangula* dan *Lumnitzera littorea* (Noor et al., 2006).

Berdasarkan proses terbentuknya, hutan mangrove dapat dibedakan menjadi dua tipe yaitu hutan mangrove primer dan sekunder. Hutan mangrove primer adalah hutan yang beregenerasi secara alami dari spesies aslinya, dimana tidak ada indikasi dari aktivitas manusia dan proses ekologis tidak terganggu secara signifikan (FAO, 2015), sedangkan hutan mangrove sekunder adalah hutan yang telah tumbuh kembali setelah terjadi deforestasi (Nawir et al., 2008).

Pengelolaan hutan mangrove merupakan salah satu hal penting dalam pelestarian kawasan pesisir. Nilai ekologi dari hutan mangrove yang sangat berharga menjadi alasan penting pengelolaan mangrove. Selain itu, ekosistem mangrove merupakan salah satu lahan basah yang paling produktif dan memiliki tingkat keanekaragaman hayati yang tinggi. Dengan mengelola hutan mangrove maka akan membantu dalam melestarikan dan memelihara keanekaragaman yang ada pada ekosistem mangrove (Azam, 2011). Menurut Suman (2019) strategi pengelolaan mangrove dapat diklasifikasikan ke dalam lima kategori berikut : (i) pelestarian / konservasi di tingkat masyarakat, (ii) pengelolaan berbasis masyarakat, (iii) tindakan regulasi, (iv) pengelolaan silvikultur dan (v) restorasi dan rehabilitasi ekosistem.

C. Karbon pada Mangrove

Mangrove merupakan salah satu habitat pesisir yang menjadi bagian dari *blue carbon sink*, yaitu segala habitat pesisir atau laut dengan kemampuan untuk menyerap karbon dari atmosfer. Utamanya mangrove akan menyerap karbon dari atmosfer melalui fotosintesis. Kemudian, karbon anorganik yang diserap akan dikonversi menjadi karbon organik untuk pertumbuhan biomassa. Oleh karena itu, biomassa dari mangrove merupakan fungsi dari stok karbon organiknya. Dan dikarenakan pertumbuhan satu bagian tanaman proporsional dengan bagian lain, biomassa dan stok karbon dari tanaman berkorelasi dengan sifat-sifat biofisik lainnya seperti tinggi pohon dan diameter pohon (Wicaksono, 2015).

Untuk menduga nilai biomassa pohon dapat menggunakan model persamaan alometrik biomassa dengan hanya memasukkan parameter hasil pengukuran dimensi pohon, seperti diameter setinggi dada (dbh) atau kombinasi diameter setinggi dada dan tinggi. Biomassa tegakan kemudian dapat dihitung dengan cara menjumlahkan biomassa individu-individu pohon. Model alometrik biomassa dapat digunakan secara langsung untuk menduga biomassa pohon dalam tegakan seperti pada data hasil

pengukuran pohon (diameter atau kombinasi diameter dan tinggi) atau dengan menambahkan *input* nilai berat jenis kayu (*specific gravity* atau *wood density*). Hasil dari nilai biomasnya yang kemudian dikonversi menjadi nilai jumlah karbon yang diserap oleh hutan (Krisnawati *et al.*, 2012). Penggunaan persamaan alometrik yang berbeda untuk setiap spesies mangrove akan mampu meningkatkan akurasi dalam menghitung biomassa.

D. Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh adalah ilmu dan seni untuk memperoleh informasi tentang objek, daerah atau gejala dengan jalan menganalisis data yang diperoleh dengan menggunakan alat tanpa kontak langsung terhadap objek, daerah atau gejala yang dikaji (Lillesand *et al.*, 2015). Berdasarkan sistemnya, penginderaan jauh dibedakan menjadi dua yaitu sistem aktif dan sistem pasif. Penginderaan jauh sistem aktif merupakan teknik penginderaan jauh yang memancarkan gelombang elektromagnetik buatan mesin (sensornya sendiri) dan kemudian merekamnya kembali ke sistem sensor. Sedangkan penginderaan jauh sistem pasif merupakan teknik penginderaan jauh yang merekam gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh medan (Jensen, 2015).

Salah satu satelit sistem pasif yang telah banyak digunakan yaitu Sentinel-2A. Sentinel-2A adalah satelit penginderaan jauh sistem pasif yang dikembangkan oleh *European Space Agency* (ESA) dan diluncurkan di Kourou, Perancis pada tahun 2015. Sentinel-2A merupakan satelit resolusi spektral tinggi dengan resolusi temporal 10 hari untuk satu satelit. Sensor *multispectral instrument* pada Sentinel-2A merekam data pada vegetasi spektral *red-edge* dominan, merupakan salah satu sensor paling baik yang dapat menjelaskan kandungan klorofil (SUHET, 2015).

Tabel 1. Spesifikasi citra Sentinel-2A (SUHET, 2015)

Sentinel-2A	
Orbit	10 Hari <i>sun-synchronous</i>
Sensor	<i>Multi Spectral Instrument</i> (MSI)
Resolusi spasial	10 meter, 20 meter dan 60 meter
Band	Resolusi 10 meter : - Band Biru, Band Hijau, Band Merah dan NIR Resolusi 20 meter : <i>Vegetation Red-Edge</i> 5, <i>Vegetation Red-Edge</i> 6,

	Vegetation Red-Edge 7, Vegetation Red-Edge 8b, SWIR 11 dan SWIR 12
	Resolusi 60 meter :
	• Coastal Aerosol, Water Vapour dan SWIR-Cirrus
Level	Level 1C dan Level 2A

Misi dari satelit Sentinel-2A adalah menyajikan data untuk perencanaan tata ruang, pemantauan agro-lingkungan, pemantauan air, pemantauan hutan dan vegetasi, karbon lahan, pemantauan sumberdaya alam, pemantauan perubahan tutupan lahan serta risiko kemanusiaan bencana.

Indeks vegetasi adalah suatu transformasi matematis yang melibatkan beberapa saluran sekaligus untuk menghasilkan citra baru yang lebih representatif dalam menyajikan aspek-aspek yang berkaitan dengan vegetasi (Danoedoro, 2003). Indeks vegetasi menjadi salah satu bentuk pengukuran optis dari parameter biofisik kanopi seperti tingkat kehijauan (*greenness*) kanopi vegetasi, sifat komposit dari klorofil daun, luas daun, struktur dan tutupan kanopi vegetasi (Huete et al., 2011).

Indeks vegetasi dapat mendeteksi kerapatan vegetasi melalui karakteristik spektral pada pita spektrum yang peka terhadap fenomena vegetasi (Lillesand et al., 2015). Menurut Nugroho et al., (2015) nilai indeks vegetasi berada pada rentang nilai -1 hingga 1 dimana nilai piksel yang semakin mendekati 1 menunjukkan bahwa vegetasi tersebut memiliki tingkat kerapatan yang semakin padat.

Enhanced Vegetation Index (EVI) merupakan indeks vegetasi hasil turunan dan pengembangan dari algoritma NDVI. EVI dikembangkan untuk mengoptimalkan sinyal vegetasi dengan peningkatan sensitivitas di wilayah dengan biomassa tinggi dan meningkatkan pemantauan vegetasi melalui pelepasan sinyal latar kanopi dan pengurangan pengaruh atmosfer (Huete et al., 2002).

EVI memiliki tingkat ketelitian yang tinggi dalam proses penentuan kerapatan hutan dikarenakan EVI menggunakan kanal biru pada prosesnya yang sangat membantu dalam sensitivitas vegetasi dan koreksi atmosfer (Prasetyo et al. 2017). Hal ini juga didukung oleh penelitian Frananda et al., (2015) yang menyatakan bahwa EVI merupakan indeks vegetasi yang relatif sensitif terhadap vegetasi mangrove. Saluran kanal biru pada EVI menjadikan indeks vegetasi ini lebih peka terhadap objek di air seperti hutan mangrove yang berada pada daerah peralihan darat dan laut.

E. Penelitian Terkait

Beberapa penelitian telah dilakukan dalam mengestimasi karbon vegetasi di Indonesia menggunakan penginderaan jauh diantaranya penelitian Situmorang *et al.* (2016) tentang pendugaan cadangan karbon hutan produksi di Lembah Seulawah, Aceh menggunakan Landsat 8 OLI. Peneliti menggunakan analisis regresi antara variable EVI dengan biomassa aktual ntuk mendapatkan nilai karbon pada lokasi penelitian. Jumlah sampel yang digunakan sebanyak 19 plot dengan metode *purposive sampling*. Hasil penelitian menunjukkan nilai EVI memberikan pengaruh sebesar 83% ($R^2 = 0,83$) terhadap cadangan karbon vegetasi pada lokasi penelitian.

Frananda *et al.* (2015) juga telah melakukan penelitian estimasi cadangan karbon di atas permukaan pada hutan mangrove pada Kawasan Taman Nasional Alas Purwo Banyuwangi, Jawa Timur menggunakan citra ALOS AVNIR-2. Peneliti menggunakan analisis regresi untuk membangun persamaan pada nilai kandungan karbon aktual yang selanjutnya dibandingkan dengan transformasi EVI yang digunakan. Jumlah sampel yang digunakan peneliti sebanyak 33 titik plot sampel menggunakan metode *stratified sampling* dengan ukuran plot 20 m x 20 m. Hasil penelitian menunjukkan transformasi EVI memiliki hubungan korelasi yang tinggi ($R^2 = 0,71$) serta akurasi yang baik untuk mengestimasi kandungan karbon hutan mangrove.

Melalui perbandingan dengan beberapa penelitian sebelumnya membuktikan penginderaan jauh dapat digunakan dalam mengestimasi stok karbon pada vegetasi mangrove.