

**PEMANFAATAN CITRA SENTINEL-2A UNTUK
ESTIMASI CADANGAN KARBON PADA HUTAN
MANGROVE DI KAWASAN MAMMINASATA
SULAWESI SELATAN**

**OLEH :
KURNIAWAN
M 111 15 317**



**PROGRAM STUDI KEHUTANAN
FAKULTAS KEHUTANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Pemanfaatan Citra Sentinel-2A untuk Estimasi Cadangan Karbon pada Hutan Mangrove di Kawasan Mamminasata Sulawesi Selatan
Nama Mahasiswa : Kurniawan
Stambuk : M 111 15 317

Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh

Gelar Sarjana Kehutanan

pada

Program Studi Kehutanan

Fakultas Kehutanan

Universitas Hasanuddin

Menyetujui,

Komisi Pembimbing

Pembimbing I



Prof. Daud Malamassam, M.Agr
NIP. 19540209 197802 1 001

Pembimbing II



Munajat Nursaputra, S.Hut, M.Sc
NIP. 19900729 202012 1 012

Mengetahui,

Ketua Program Studi Kehutanan

Fakultas Kehutanan

Universitas Hasanuddin



Dr. Ir. Samsu Rihal, S.Hut., M.Si., IPU
NIP. 19770108 200312 1 003

Tanggal Pengesahan : Juli 2022

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Kurniawan
NIM : M11115317
Program Studi : Kehutanan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

“PEMANFAATAN CITEA SENTINEL-2A UNTUK ESTIMASI CADANGAN KARBON
PADA HUTAN MANGROVE DI KAWASAN MAMMINASATA SULASEWI SELATAN”

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-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, 08 Juli 2022



Kurniawan

ABSTRAK

Kurniawan (M111 15 317). Pemanfaatan Citra Sentinel-2A untuk Estimasi Cadangan Karbon pada Hutan Mangrove di Kawasan Mamminasata Sulawesi Selatan di Bawah Bimbingan Daud Malamassam dan Munajat Nursaputra

Pertumbuhan penduduk dan alih fungsi lahan menyebabkan degradasi hutan mangrove khususnya pada pantai selatan Sulawesi Selatan, kawasan MAMMINASATA (Makassar, Maros, Gowa dan Takalar). Berkurangnya mangrove sangat berpengaruh terhadap peningkatan konsentrasi karbon dioksida di atmosfer. Informasi dan data terkait potensi serapan karbon pada sebaran hutan mangrove masih kurang. Sehingga dilakukan teknik pendugaan cadangan karbon, salah satunya dengan pendekatan penginderaan jauh. Salah satu satelit yang bisa dimanfaatkan untuk mendeteksi hutan mangrove adalah Sentinel-2A. Pengolahan citra sentinel-2A meliputi: koreksi radiometrik, koreksi atmosferik, klasifikasi citra dan ekstraksi nilai indeks vegetasi menggunakan *Normalized Difference Vegetation Indeks* (NDVI). Pengumpulan data lapangan dilakukan melalui survei pengukuran tegakan hutan. Berdasarkan hasil transformasi indeks vegetasi NDVI diperoleh nilai indeks untuk objek mangrove di Kawasan Mamaminasata memiliki rentang nilai 0.2 – 0.8, Data NDVI pada citra yang dianalisis, kemudian dibuat menjadi 3 kelas kepadatan yang mengacu pada Departemen Kehutanan (2005). Kelas kepadatan jarang mempunyai nilai karbon sebesar 3,56 – 21,16 Ton C/ha, kelas kepadatan sedang mempunyai nilai karbon antara 21,16 – 31,49 Ton C/ha serta kelas kepadatan tinggi mempunyai nilai karbon antara 31,50 – 39,18 Ton C/ha. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa NDVI yang diekstrak menggunakan citra Sentinel-2A memiliki korelasi yang cukup tinggi antara biomassa tegakan mangrove hasil aktual lapangan dari hasil pengukuran.

Kata kunci : Cadangan Karbon, Citra Sentinel-2A, Hutan Mangrove, MAMMINASATA, NDVI

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'alamin, puji syukur kehadiran Allah *Subhanahu wa Ta'ala* atas rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penyusunan skripsi sebagai syarat untuk menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“Pemanfaatan Citra Sentinel-2A untuk Estimasi Cadangan Karbon pada Hutan Mangrove di Kawasan Mamminasata Sulawesi Selatan”**.

Penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan skripsi ini, penulis mendapat berbagai kendala. Tanpa bantuan dari berbagai pihak, penyusunan skripsi ini tidak akan selesai dengan baik. Untuk itu ucapan terima kasih terkhusus dengan penuh kerendahan hati penulis ucapkan kepada Bapak **Prof. Daud Malamassam, M. Agr** dan Bapak **Munajat Nursaputra, S. Hut, M.Sc**, selaku pembimbing I dan pembimbing II yang telah mengarahkan dan membantu penulis mulai penentuan judul hingga selesainya skripsi ini. Bapak **Prof. Dr. Ir. Samuel Arung Paembonan**, dan Bapak **Agussalim, S.Hut., M.Si.**, selaku penguji yang telah memberikan masukan dan saran-saran guna penyempurnaan skripsi ini.

Terkhusus, penulis menghaturkan banyak terima kasih kepada yang Tercinta Bapak **Muchtar dg Sanre** dan Ibu **Satuwati dg Ngai** atas doa, kasih sayang, perhatian, pengorbanan, bekal dan motivasi dalam mendidik dan membesarkan penulis.

Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada yang terhormat:

1. Bapak **Dr. H. A. Mujetahid M., S.Hut., MP** selaku Dekan Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin, Ibu **Dr. Risma Illa Maulany, S.Hut., M.Si., Ph.D** selaku Pembantu Dekan I Fakultas Kehutanan, Bapak **Dr. Muhammad Alif K.S., S.Hut., M.Si** selaku Ketua Jurusan Fakultas, Ibu **Dr. Siti Halima Larekang, MP** selaku Ketua jurusan Program Studi Kehutanan Fakultas Kehutanan, .
2. Kak **Chairil Aqwan**, kak **Try Ardiansyah**, kak **Dini Albertin Mandy**, kak **Abkar**, Kak **Chaeria Anila**, Kak **Dahri Syahbani Rusman**, Kak **Armin Ridha**, Kak **Ilham Muhammad** yang telah bersedia membantu penulis selama melaksanakan penelitian di Laboratorium Perencanaan dan Sistem Informasi Kehutanan, Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin.

3. Teman-teman seperjuangan **Muh. Ardan H. Syam, Muh. Ayub Hidayatullah, Amir Mahmud, Suhpi Kadar, Muh. Rezi Wahyudi, Andi Fadli, Ade Kristian Radeng, Aryo Dwi Saputra, Muhshy Kadir Pole, Nurfaizin Arma, Andi Setiawan Saputra, dan Muh. Irsyad** penunggu **Outdoor Bersahabat (di Jalan Sahabat)** yang telah memberikan tempat menyusun skripsi ini.
4. Teman-teman seperjuangan **Ade Ilham Ismail, Rizaldi Zainal, Muh. Indra Dwi Saputra, Alief Fahreza, Ananda Ibnujathi, Abdul Aziz Jamal, dan Muh. Nursolihien** penunggu **Perintis Kemerdekaan-IV** yang telah menjadi basecamp ketika penulis melakukan pengambilan data pada skripsi ini.
5. Teman seperjuangan **Noel Atmaja Linggi, Ali Baba, Lestian Lindangan, Edi Wahyudi, Nurjannatul Ma'wa, Lia Islamiah, Dwi Wahyu Ningsih, Ismawati Amsul G Saparigau, Ainun Ade Putri Kamaruddin, Fajriani Samrin, Miftahul Jannah, Caesara** serta teman-teman **Letting Beda Angkatan KKN Desa Lanne (Konoha Family)** atas kerjasama, waktu dan semangat yang kalian berikan.
6. Saudara-saudari tercinta **Fitri, Indah, Nurbaya, Nurdiana, Ilhamsyah, Heppy Yulianti** dan keponakan terbaik **Trisna Rani dan Abdul Majid** yang telah bersedia mendengarkan curahan hati serta memberi motivasi dan saran selama penulis kuliah di Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin.
7. Varietas Rimbawan Intelektual unhas (**VIRBIUS 15**) yang telah kebersamai selama Enam tahun Sepuluh bulan.
8. Terima kasih atas dukungan dan do'a teman-teman, dukungan dan yang belum sempat penulis sebutkan namanya dalam skripsi ini demi menjaga kemurnian niat.

Makassar, Juli 2022

Penulis

DAFTAR ISI

JUDUL	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iError! Bookmark not defined.
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan dan Kegunaan Hasil Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Hutan Mangrove.....	4
2.2 Karbon Pada Hutan Mangrove.....	6
2.3 Penginderaan Jauh (<i>Remote Sensing</i>).....	8
2.4. Citra Satelit	9
2.5 Indeks Vegetasi	11
III. METODE PENELITIAN.....	16
3.1 Waktu dan Tempat	16
3.2 Alat dan Bahan.....	17
3.2.1 Alat.....	17
3.2.2 Jenis Data	17
3.3 Prosedur Penelitian.....	17
3.3.1 Pengolahan Citra	17

3.3.2 Pengukuran Data Lapangan	19
3.3.3 Analisis Regresi	20
3.3.4 Estimasi Cadangan Karbon	21
IV. KEADAAN UMUM LOKASI	24
4.1 Letak dan Luas	24
4.2 Kondisi Fisik	25
4.3 Kondisi Sosial dan Ekonomi	26
V. HASIL DAN PEMBAHASAN	27
5.1 Interpretasi Tutupan Mangrove	27
5.2 Indeks Vegetasi NDVI	30
5.3 Estimasi Cadangan Karbon	33
5.4 Peta Sebaran Cadangan Karbon	35
KESIMPULAN	38
6.1 Kesimpulan	38
6.2 Saran	38
LAMPIRAN	43

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul	Halaman
Tabel 1.	Karakteristik Citra Sentinenl 2A	10
Tabel 2.	Hasil Algoritma Indeks Vegetasi.....	12
Tabel 3.	Kriteria Tingkat Kerapatan Tajuk	15
Tabel 4.	Jenis Data dan Sumbernya.....	17
Tabel 5.	Keterangan Koefisien Determinasi.....	21
Tabel 6.	Persamaan Allometrik Bebrapa Spesies Mangrove.....	21
Tabel 7.	Hasil Validasi Kesesuaian Interpretasi Tutupan Mangrove	28
Tabel 8.	Kerapatan Hutan Mangrove Kawasan Mamminasata Tahun 2020	29
Tabel 9.	Sebaran Karbon Hutan Mangrove Kawasan Mamminasata 2020.....	34

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
Gambar 1.	Hasil Algoritma Indeks Vegetasi NDVI, EVI2, dan SAVI.....	12
Gambar 2.	Grafik Hubungan NDVI dengan Kerapatan	18
Gambar 3.	Grafik Hubungan EVI2 dengan Kerapatan.....	31
Gambar 4.	Grafik Hubungan SAVI dengan Kerapatan	14
Gambar 5.	Peta Lokasi Penelitian.....	16
Gambar 6.	Tahapan Pelaksanaan Penelitian.....	22
Gambar 7.	Peta Titik Lokasi Plot Sampel Kawasan Mamminasata	24
Gambar 8.	Peta Interpretasi Tahun 2020 Kawasan Mamminasata.....	27
Gambar 9.	Peta Kerapatan Mangrove Tahun 2020 Kawasan Mamminasata	31
Gambar 10.	Diagram Hubungan antara Biomassa Aktual dengan Nilai NDVI...32	
Gambar 11.	Diagram Hubungan antara Biomassa Aktual dengan Nilai NDVI...33	
Gambar 12.	Diagram Hubungan antara Biomassa Aktual dengan Nilai NDVI...33	
Gambar 13.	Peta Sebaran Cadangan Karbon Hutan Mangrove Tahun 2020	35

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Titik Koordinat Plot Penelitian.....	40
Lampiran 2.	Data Perhitungan Biomassa dan Karbon Per Plot	43
Lampiran 3	Model Regresi Perbandingan Data Lapangan	126
Lampiran 4	Dokumentasi Penelitian.....	138

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Hutan mangrove Indonesia cukup luas dan merupakan sebaran yang terbesar di dunia (Simarmata, Elyza, & Vatiady, 2019). Hasil pemetaan luas mangrove Indonesia oleh Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) menggunakan data citra Landsat-8 tahun 2016 adalah 2.408.652,39 ha (LAPAN, 2018). Keberadaan hutan mangrove ini memiliki peran yang sangat penting, mulai dari melindungi wilayah pesisir dari ancaman bencana alam, menjadi habitat dari keanekaragaman hayati pesisir dan laut serta mampu mereduksi fenomena global saat ini yakni perubahan iklim (Sadeli, Kusumastanto, Kusmana, & Hardjomidjojo, 2012).

Kayu dalam penggunaannya sebagai bahan baku konstruksi tentunya memiliki karakter khusus. Sehingga tidak semua jenis kayu dapat digunakan karena kayu sebagai bahan konstruksi ditentukan oleh sifat mekanis kayu. Penentuan sifat mekanis kayu salah satunya dengan mengetahui MOE (*Modulus of Elasticity*) yang menggambarkan tingkat kekakuan kayu.

Sulawesi Selatan merupakan salah satu provinsi di Indonesia dengan areal ekosistem mangrove terbesar, yaitu 9.335,18 ha (LAPAN, 2018). Potensi hutan mangrove di Sulawesi Selatan tersebar baik di pantai barat, selatan maupun timur. Namun, peningkatan pertumbuhan penduduk di wilayah pesisir dan alih fungsi lahan menyebabkan degradasi terhadap hutan mangrove tersebut. Di pantai selatan, keberadaan hutan mangrove memiliki peran kedepannya dalam perlindungan kawasan megapolitan di Provinsi Sulawesi Selatan yakni kawasan MAMMINASATA yang meliputi Makassar, Maros, Gowa dan Takalar. Berdasarkan data yang diperoleh dari Peta Sebaran Perubahan Hutan Mangrove Indonesia Tahun 2016 - 2017 oleh Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) luas hutan mangrove di pantai selatan Sulawesi Selatan mengalami penurunan sebesar 119,67 ha dari 874,58 ha pada tahun 2016 menjadi 754,91 ha pada tahun 2017 (LAPAN, 2018).

Berkurangnya ekosistem hutan, khususnya ekosistem mangrove merupakan salah satu pemicu peningkatan konsentrasi karbon dioksida di atmosfer. Peningkatan konsentrasi tersebutlah yang merupakan salah satu penyebab terbesar terjadinya pemanasan global (Sunu, 2001). Mangrove, melalui proses fotosintesis menyerap karbon dioksida dari atmosfer dan mampu mengubahnya menjadi karbon organik dalam bentuk biomassa (Sutaryo, 2009). Ekosistem mangrove Indonesia mampu menyerap karbon di udara sebanyak 67,7 MtCO₂ per tahun (Sadelle, Kusumastanto, Kusmana, & Hardjomidjojo, 2012). Hutan mangrove dapat menyimpan sampai empat kali lebih banyak karbon dibandingkan hutan tropis lainnya di seluruh dunia (Simarmata, Elyza, & Vatiady, 2019).

Pelestarian hutan mangrove sangat penting dilakukan dalam mitigasi perubahan iklim global (Kordi, 2012), karena tumbuhan mangrove menyerap karbon dioksida dan mengubahnya menjadi karbon organik yang disimpan dalam *biomassa* tubuhnya, seperti akar, batang, daun, dan bagian lainnya (Hairiah & Rahayu, 2007). Potensi hutan mangrove sebagai penyerap karbon merupakan salah satu fungsi hutan mangrove yang perlu untuk diketahui. Saat ini, dalam agenda nasional terkait Perencanaan Pembangunan Rendah Karbon, sektor *blue carbon* yang didalamnya dikaji terkait hutan mangrove menjadi salah satu bagian yang diperhitungkan untuk mengetahui tingkat emisi suatu perencanaan wilayah. Namun, sampai saat ini informasi dan data terkait potensi serapan karbon pada sebaran hutan mangrove masih kurang tersedia (Ketterings, Richard, Meine, Yakub, & Cheryl, 2011).

Di era teknologi kehutanan saat ini, inventarisasi dan analisis potensi sumberdaya alam dan hutan dapat didekati dengan berbagai cara, salah satunya dengan pendekatan penginderaan jauh. Penginderaan jauh sebagai salah satu teknik dalam pendugaan cadangan karbon (Simarmata, Elyza, & Vatiady, 2019). Metode penginderaan jauh tidak membutuhkan waktu yang lama dan biaya yang mahal untuk kajian yang luas. Salah satu satelit yang bisa dimanfaatkan untuk mendeteksi hutan mangrove adalah Sentinel-2A. Sentinel-2A adalah salah satu satelit penginderaan jauh dengan sensor multispektral buatan Eropa yang mempunyai 13 band, 4 band beresolusi 10 m, 6 band beresolusi 20 m, dan 3 band

beresolusi spasial 60 m dengan area sapuan 290 km (Nadira, 2018). Mengingat luasan mangrove yang semakin mengalami penurunan, maka data dan informasi mengenai kondisi mangrove dari berbagai wilayah perlu dikaji untuk keperluan pengelolaan mangrove yang berkelanjutan, sehingga fungsi ekologisnya dapat tetap terjaga.

Berdasarkan uraian di atas, maka perlu dilakukan penelitian terkait pemanfaatan citra sentinel-2A untuk menduga cadangan karbon pada hutan mangrove di wilayah Provinsi Sulawesi Selatan khususnya di pesisir selatannya. Olehnya itu, dalam penelitian ini penulis mengangkat judul Pemanfaatan Citra Sentinel-2A untuk Estimasi Cadangan Karbon pada Hutan Mangrove di Kawasan Mamminasata Sulawesi Selatan.

1.2 Tujuan dan Kegunaan Hasil Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pendugaan cadangan karbon pada hutan mangrove dengan memanfaatkan citra Sentinel-2A di kawasan Mamminasata Sulawesi Selatan. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat sebagai acuan kepada pemerintah dalam mengambil kebijakan dan sebagai referensi untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hutan Mangrove

Hutan merupakan sumber daya alam yang sangat penting dan bermanfaat bagi kehidupan baik secara langsung maupun tidak langsung. Manfaat langsung dari keberadaan hutan di antaranya adalah hasil hutan kayu dan hasil hutan bukan kayu, sedangkan manfaat tidak langsungnya adalah jasa lingkungan, baik sebagai pengatur tata air, fungsi estetika, maupun sebagai penyedia oksigen dan penyerap karbon (Sandhyavitri, Restuhadi, Sulaeman, Kurnia, & Suryawan, 2013).

Hutan mangrove adalah hutan yang terdapat di daerah pantai yang selalu atau secara teratur tergenang air laut dan terpengaruh oleh pasang surut air laut. Kawasan hutan mangrove merupakan suatu kawasan yang berfungsi sebagai jembatan antara lautan dengan daratan (Sandhyavitri, Restuhadi, Sulaeman, Kurnia, & Suryawan, 2013). Mangrove disebut juga sebagai hutan pantai, hutan payau atau hutan bakau. Mangrove sebagai hutan pantai diartikan pohon-pohonan yang tumbuh di daerah pantai (pesisir), yaitu daerah yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut maupun wilayah daratan pantai yang dipengaruhi oleh ekosistem pesisir. Sedangkan mangrove sebagai hutan payau atau hutan bakau diartikan pohon-pohonan yang tumbuh di daerah payau pada tanah aluvial atau pertemuan air laut dan air tawar di sekitar muara sungai. Pada umumnya formasi tanaman di dominasi oleh tanaman bakau. Oleh karena itu istilah bakau digunakan hanya untuk jenis-jenis tumbuhan dari genus *Rhizophora*. Sedangkan istilah mangrove digunakan untuk segala tumbuhan yang hidup di sepanjang pantai atau muara sungai yang dipengaruhi pasang surut air laut (Harahab, 2010).

Sebagai suatu ekosistem khas wilayah pesisir, hutan mangrove memiliki beberapa fungsi penting yaitu fungsi fisik (melindungi pantai dari abrasi, menahan sedimen, dll), fungsi kimia (menyerap CO₂ pengolahan bahan-bahan limbah, dll) dan fungsi biologi (sebagai kawasan asuhan, tempat pemijahan, sumber plasma nutfah, dll) (Baderan, 2017).

Ekosistem hutan mangrove sebagaimana ekosistem hutan lainnya memiliki peran sebagai penyerap karbon dioksida (CO₂) dari udara sehingga sangat relevan

terhadap perubahan iklim. Penyerapan karbon dioksida berhubungan erat dengan biomassa tegakan. Biomassa adalah total berat atau volume organisme dalam suatu areal atau volume tertentu. Biomassa hutan berperan penting dalam siklus biogeokimia terutama dalam siklus karbon. Dari keseluruhan karbon hutan, sekitar 50% di antaranya tersimpan dalam vegetasi hutan. Sebagai konsekuensi, jika terjadi kerusakan hutan, kebakaran, pembalakan dan sebagainya akan menambah jumlah karbon di atmosfer. Pengukuran biomassa hutan mencakup seluruh biomassa hidup yang ada di atas permukaan tanah dan di bawah permukaan tanah serta bahan organik yang mati meliputi kayu mati dan serasah (Sandhyavitri, Restuhadi, Sulaeman, Kurnia, & Suryawan, 2013).

Hutan mangrove umumnya terdapat di seluruh pantai Indonesia dan hidup serta tumbuh berkembang pada lokasi-lokasi yang mempunyai hubungan pengaruh pasang air (pasang surut) yang merembes pada aliran sungai yang terdapat di sepanjang pesisir pantai. Hutan mangrove merupakan komunitas vegetasi pantai tropis dan sub tropis yang didominasi oleh beberapa jenis pohon mangrove yang mampu tumbuh dan berkembang pada daerah pasang-surut air laut. Sistem perakarannya khas yang merupakan suatu cara adaptasi terhadap habitat yang khusus. Komposisi mangrove berbeda dari suatu tempat ke tempat lain. Ada tiga faktor utama yang menentukan tumbuh dan penyebaran jenis-jenis mangrove, yaitu (Sandhyavitri, Restuhadi, Sulaeman, Kurnia, & Suryawan, 2013):

- a. Kondisi dan jenis tanah: keras atau lembek, berpasir atau berlumpur dalam berbagai perbandingan
- b. Salinitas
- c. Ketahanan jenis-jenis mangrove terhadap arus dan ombak.

Berdasarkan jenis-jenis pohon yang dominan, komunitas mangrove di Indonesia dapat berupa asosiasi (tegakan campuran). Ada sekitar lima jenis yang ditemukan di hutan mangrove di Indonesia, yaitu jenis *Avicennia*, *Rhizophora*, *Sonneratia*, *Bruguiera*, dan *Nypha*. Dalam hal asosiasi di hutan mangrove di Indonesia, asosiasi antara *Bruguiera spp.* dengan *Rhizophora spp.* sering ditemukan terutama di zona terdalam. Dari segi keanekaragaman jenis, zona transisi (peralihan antara hutan mangrove dengan hutan rawa) merupakan zona

dengan jenis yang beragam yang terdiri atas jenis-jenis mangrove yang khas dan tidak khas habitat mangrove (Kusmana, 1993).

2.2 Karbon Pada Hutan Mangrove

Tim Arupa (2014) mendefinisikan karbon (C) sebagai unsur kimia dengan nomor atom 6 dan merupakan unsur bukan logam yang apabila terlepas diudara dan terikat dengan oksigen akan berubah menjadi senyawa CO_2 . Karbon umumnya menjadi penyusun 45%-50% dari bahan kering tanaman (Sofiyuddin, 2007).

Karbon dapat ditemukan pada makhluk hidup, baik yang sudah mati ataupun masih hidup. Karbon pada ekosistem hutan dapat ditemukan dalam bentuk pohon (baik yang hidup atau mati), tumbuhan bawah (baik yang hidup atau mati), serasah hutan, dan tanah. Karbon-karbon dapat ditemukan dalam makhluk hidup yang melalui fotosintesis kemudian karbon ini akan bersifat padat. Saat lepas ke udara, karbon (C) akan berikatan dengan oksigen (O_2) yang kemudian menjadi zat asam arang (CO_2). Zat asam arang inilah yang berbahaya dan akan merusak gas rumah kaca jika berlebihan (Tim Arupa, 2014).

Karbon di atas permukaan tanah terbagi tiga, meliputi (Hairiah & Rahayu, 2007) :

a. Biomassa pohon

Proporsi terbesar cadangan karbon di daratan umumnya terdapat pada komponen pepohonan. Untuk mengurangi tindakan perusakan selama pengukuran, biomassa pohon dapat diestimasi dengan menggunakan persamaan allometrik yang didasarkan pada pengukuran diameter batang (dan tinggi pohon, jika ada).

b. Biomassa tumbuhan bawah

Tumbuhan bawah meliputi semak belukar yang berdiameter batang $< 5\text{cm}$, tumbuhan menjalar, rumput-rumputan atau gulma. Estimasi biomassa tumbuhan bawah dilakukan dengan mengambil bagian tanaman (melibatkan perusakan).

c. Nekromassa

Batang pohon mati baik yang masih tegak maupun yang telah tumbang dan tergeletak di permukaan tanah, yang merupakan komponen penting dari C dan harus diukur pula agar diperoleh estimasi cadangan karbon yang akurat.

Biomassa didefinisikan sebagai jumlah total bahan organik hidup di atas tanah pada pohon termasuk daun, ranting, cabang, batang utama dan kulit yang dinyatakan dalam berat kering oven ton per unit area. Biasanya komponen yang diukur untuk pendugaan biomassa ini berada di atas tanah karena merupakan bagian yang terbesar dari berat jumlah total biomassa. Kandungan karbon utamanya di hutan terdiri dari biomassa bahan hidup, biomassa bahan mati, tanah, dan produk kayu. Bagian tanaman baik hidup atau pun mati yang jatuh di tanah disebut biomassa. Biomassa sebagian besar terdiri atas karbon (C). Biomassa merupakan tempat penyimpanan karbon dan hal tersebut dinamakan sebagai rosot karbon (carbon sink). Salah satu rosot karbon yang penting yaitu hutan (Sandhyavitri, Restuhadi, Sulaeman, Kurnia, & Suryawan, 2013).

Pengukuran biomassa vegetasi dapat memberikan informasi tentang nutrisi dan persediaan karbon dalam vegetasi secara keseluruhan atau jumlah bagian-bagian tertentu saja seperti kayu yang sudah diekstraksi. Biomassa vegetasi suatu pohon dalam pengukurannya tidaklah mudah, khususnya hutan campuran dan tegakan tidak seumur. Pengumpulan data biomassa dapat dikelompokkan dengan cara destruktif dan non-destruktif tergantung jenis parameter vegetasi yang diukur (Sandhyavitri, Restuhadi, Sulaeman, Kurnia, & Suryawan, 2013).

Pertimbangan tenaga kerja dan sulit untuk memperoleh keakuratan hasil pengukuran sangat diperlukan karena variasi distribusi ukuran pohon. Secara umum terdapat dua metode untuk memperkirakan biomassa. Metode destruktif sampling yaitu metode yang membutuhkan tenaga kerja yang cukup banyak untuk memberikan hasil yang lebih akurat. Metode berikutnya yaitu metode non-destruktif dengan menggunakan allometrik. Metode ini tergantung persamaan yang dikembangkan dari data yang diperoleh dengan menggunakan metode destruktif sampling.

Berikut kedua metode tersebut yaitu (Sandhyavitri, Restuhadi, Sulaeman, Kurnia, & Suryawan, 2013) :

a. Metode Destruktif (Pemanenan)

Area yang dijadikan contoh tergantung pada tingkat homogenitas tipe vegetasi dan distribusi penyebaran. Area contoh biasanya terbagi-bagi sesuai dengan tipe vegetasi untuk memperoleh perkiraan yang lebih akurat.

Bentuk plot tergantung pada komunitas tanaman. Plot berbentuk lingkaran lebih mudah untuk vegetasi yang rendah dan plot berbentuk persegi atau empat persegi panjang jika terdapat tingkat pohon. Dalam metode destruktif, vegetasi dalam area yang ditebang lalu ditimbang untuk mengetahui berat basah setiap bagian vegetasi (tumbuhan bawah batang pohon, cabang, daun dan buah) dan dikeringkan untuk mendapatkan konversi berat kering.

b. Metode Non-Destruktif dengan Membuat Persamaan Allometrik

Persamaan allometrik dibuat dengan mencari korelasi yang paling baik antara dimensi pohon dengan biomasanya. Pembuatan persamaan tersebut dengan cara menebang pohon yang mewakili sebaran kelas diameter dan ditimbang. Biomassa pohon dalam plot satu hektar dihitung dengan mengalikan kandungan karbon serta biomassa dikalikan dengan faktor 0,5.

2.3 Penginderaan Jauh (*Remote Sensing*)

Definisi penginderaan jauh adalah ilmu dan seni untuk memperoleh informasi tentang suatu objek, daerah, atau fenomena melalui analisis data yang diperoleh dengan suatu alat tanpa kontak langsung dengan objek, daerah, atau fenomena yang dikaji. Berdasarkan pengertian di atas maka disimpulkan bahwa penginderaan Jauh (*Remote Sensing*) merupakan pengamatan suatu obyek menggunakan sebuah alat dari jarak jauh (Lillesand & Kiefer, 1994).

Campbell (2011) menyatakan bahwa penginderaan jauh merupakan suatu metode pengamatan yang dilakukan tanpa menyentuh obyeknya secara langsung. Penginderaan jauh adalah pengkajian atas informasi mengenai daratan dan permukaan air bumi dengan menggunakan citra yang diperoleh dari sudut

pandang atas (*overhead perspective*), menggunakan radiasi elektromagnetik dalam satu beberapa bagian dari spektrum elektromagnetik yang dipantulkan atau dipancarkan dari permukaan bumi. Jika dilihat secara teknis Lillesand et. al. (1994) mengatakan bahwa penginderaan jauh adalah cara atau teknik untuk memperoleh informasi tentang objek daerah atau gejala yang didapat dengan analisis data yang diperoleh melalui alat tanpa kontak langsung dengan objek daerah atau fenomena yang dikaji.

Konsep dasar penginderaan jauh terdiri atas beberapa elemen atau komponen, meliputi sumber tenaga, atmosfer, interaksi tenaga dengan obyek di permukaan bumi, sensor, system pengolahan data, dan berbagai penggunaan data. System penginderaan jauh dimulai dari perekaman obyek permukaan bumi. Data yang didapatkan dari hasil penginderaan jauh adalah berupa citra yang menggambarkan objek yang mirip dengan wujud dan letaknya di permukaan bumi dalam liputan yang luas (Purwadi & Santojo, 2008).

2.4. Citra Satelit

Citra satelit adalah salah satu wujud dari data penginderaan jauh hasil dari perekaman atau pemotretan sensor penginderaan jauh. Penggunaan citra penginderaan jauh satelit disukai oleh para pengguna terutama pengelola wilayah, karena citra penginderaan jauh mempunyai beberapa kelebihan seperti yang diungkapkan Sutanto (1986) dalam Purwadi dan Santojo (2008), yaitu:

1. Citra menggambarkan obyek, daerah, dan gejala permukaan bumi dengan wujud dan letak obyek mirip dengan wujud dan letak obyek di bumi, relative lengkap, meliputi daerah yang luas, dan permanen.
2. Jenis citra tertentu dapat diwujudkan dalam tiga dimensi, sehingga memperjelas kondisi relief, dan memungkinkan pengukuran tinggi.
3. Karakteristik obyek yang tidak tampak mata dapat diwujudkan dalam bentuk citra, seperti perbedaan suhu, kebocoran pipa gas bawah tanah, kebakaran tambang di bawah tanah, mudah dikenali dengan menggunakan citra inframerah termal.

4. Citra dapat dibuat cepat meskipun daerahnya secara terestrial sulit dijelajahi.
5. Citra dapat dibuat dengan periode pendek, misalnya NOAA setiap hari, Landsat setiap 16 hari, SPOT setiap 24 hari.
6. Citra merupakan alat yang baik untuk memantau perubahan wilayah yang relative cepat, seperti pembukaan daerah hutan, pemekaran kota, perluasan lahan garapan, dan perubahan kualitas lingkungan.

Sentinel-2A adalah salah satu satelit penginderaan jauh dengan sensor pasif buatan Eropa multispektal yang mempunyai 13 band, 4 band beresolusi 10 m, 6 band beresolusi 20 m, dan 3 band beresolusi spasial 60 m dengan area sapuan 290 km. Tujuan dari Sentinel-2A untuk menyajikan data untuk kepentingan monitoring lahan, dan merupakan data dasar untuk penggunaan pada beragam aplikasi, mulai dari pertanian sampai perhutanan, dari monitoring lingkungan sampai dengan perencanaan perkotaan, deteksi perubahan tutupan lahan, penggunaan lahan, pemetaan risiko bencana serta beragam aplikasi lainnya (Nadira, 2018).

Tabel 1. Karakteristik Citra Sentinel 2A

Sentinel 2A Band	Centra Wavelength	Resolution
Band 1 - Coastal aerosol	0,443	60
Band 2 - Blue	0,49	10
Band 3 - Green	0,56	10
Band 4 - Red	0,665	10
Band 5 - Vegetation Red Edge	0,705	20
Band 6 - Vegetation Red Edge	0,74	20
Band 7 - Vegetation Red Edge	0,783	20
Band 8 - NIR	0,842	10
Band 8A - Vegetation Red Edge	0,865	20
Band 9 - Water vapour	0,945	60
Band 10 - SWIR - Cirrus	1,375	60
Band 11 - SWIR	1,61	20
Band 12 - SWIR	2,19	20

Sumber : (European Space Agency, 2006).

2.5 Indeks Vegetasi

Ekosistem mangrove adalah salah satu objek yang bisa diidentifikasi dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh. Letak geografi ekosistem mangrove yang berada pada daerah peralihan darat dan laut memberikan efek perekaman yang khas jika dibandingkan objek vegetasi darat lainnya. Efek perekaman tersebut sangat erat kaitannya dengan karakteristik spektral ekosistem mangrove. Dalam identifikasi ekosistem mangrove yang memerlukan suatu transformasi tersendiri, dan dalam penelitian ini digunakan transformasi indeks vegetasi (Danoedoro, 2012).

Indeks vegetasi merupakan suatu algoritma yang diterapkan terhadap citra satelit untuk menonjolkan aspek kerapatan vegetasi ataupun aspek lain yang berkaitan dengan kerapatan, misalnya biomassa, *Leaf Area Index* (LAI), konsentrasi klorofil. Lebih praktis, 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, 2012). Indeks Vegetasi dapat secara efektif digunakan untuk pemetaan kekeringan, penggurunan (desertifikasi) dan penggundulan hutan (Horning, 2010) dalam (Prameswari, Hariyanto, & Sidik, 2015).

Berdasarkan keadaan tersebut maka dapat dibentuk model-model algoritma yang dapat menghasilkan nilai untuk menduga kehijauan vegetasi. Nilai inilah yang disebut dengan indeks vegetasi. Adapun beberapa formula indeks vegetasi yang digunakan untuk memantau vegetasi, antara lain (Prameswari, Hariyanto, & Sidik, 2015) :

a. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

Algoritma NDVI diuraikan sebagai berikut :

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

Rumus diatas merupakan algoritma NDVI. Dengan Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), nilai spektral saluran Near Infrared (NIR), dan nilai spektral saluran Red (RED).

b. EVI-2 (Enhanced Vegetation Index - 2)

Adapun algoritma persamaan EVI2 ini adalah sebagai berikut:

$$EVI2 = G \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + 2,4 \times \rho_{Red} + 1} \quad (2)$$

Rumus diatas merupakan algoritma EVI-2. Dengan Enhanced Vegetation Index-2 (EVI2), *Gain Factor* = 2,5 (G), Reflektan gelombang infra merah dekat (ρ_{NIR}), Reflektan gelombang merah (ρ_{Red}).

c. SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index)

Adapun algoritma SAVI ini adalah sebagai berikut:

$$SAVI = \frac{(1 + L)(NIR - RED)}{NIR + RED + L} \quad (3)$$

Rumus diatas merupakan algoritma SAVI. Dengan Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), nilai reflektan band spektral infra merah dekat (NIR), nilai reflektan band spektral merah (RED), dan factor kalibrasi tanah sebesar 0.5 (L).

Berikut merupakan hasil algoritma NDVI, EVI2, dan SAVI yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya (Prameswari, Hariyanto, & Sidik, 2015)

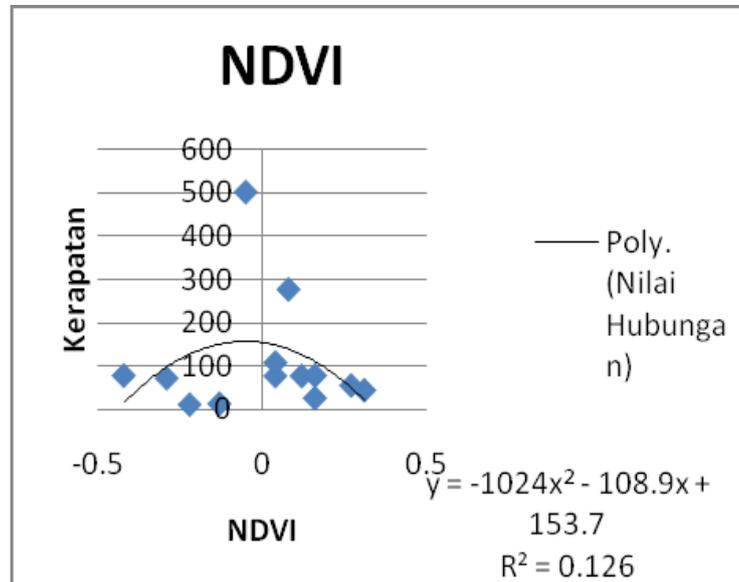
Tabel 2. Hasil Algoritma Indeks Vegetasi

Indeks Vegetasi	Nilai Minimum	Nilai Maksimum	Standard Deviasi
NDVI	-0.723	0.530	0.127
EVI2	-0.815	0.992	0.179
SAVI	-1.079	0.792	0.190

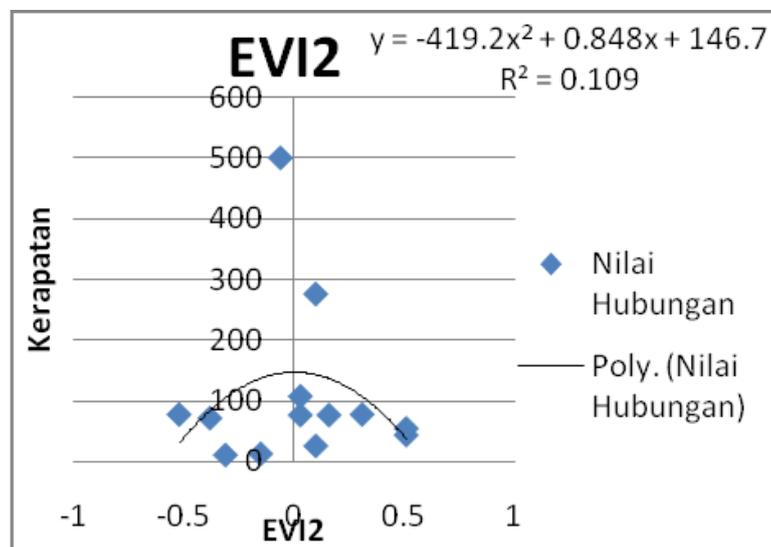
Sumber: (Prameswari, Hariyanto, & Sidik, 2015) .



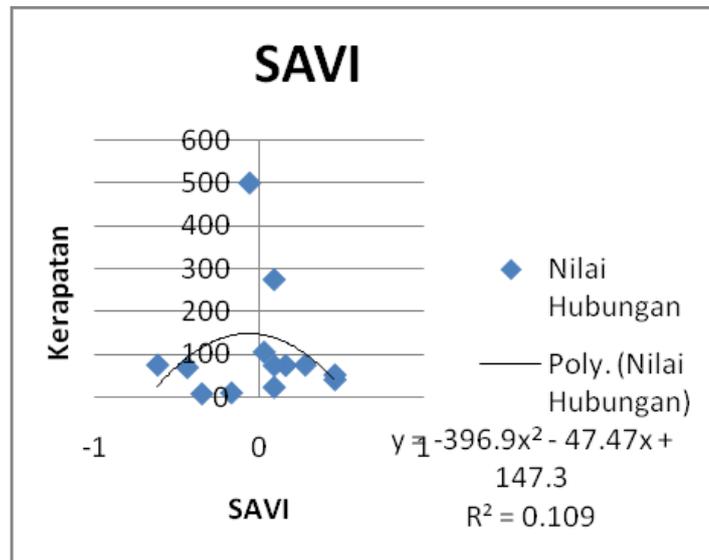
Gambar 1. Hasil Algoritma Indeks Vegetasi NDVI, EVI2, dan SAVI (Prameswari, Hariyanto, & Sidik, 2015)



Gambar 2. Grafik Hubungan NDVI dengan Kerapatan (Prameswari, Hariyanto, & Sidik, 2015)



Gambar 3. Grafik Hubungan EVI2 dengan Kerapatan (Prameswari, Hariyanto, & Sidik, 2015)



Gambar 1. Grafik Hubungan SAVI dengan Kerapatan (Prameswari, Hariyanto, & Sidik, 2015)

Dari ketiga perbandingan hubungan diatas, (Prameswari, Hariyanto, & Sidik, 2015) menyimpulkan bahwa algoritma yang memiliki hubungan paling besar dengan parameter kerapatan pohon mangrove per area adalah algoritma NDVI dengan nilai koefisien determinan sebesar 0,126. Sedangkan EVI2 dan SAVI memiliki nilai koefisien determinan sebesar 0,109. Hal ini menjadi pertimbangan peneliti sehingga menggunakan model NDVI dalam penelitian ini.

NDVI adalah perhitungan citra yang digunakan untuk mengetahui tingkat kehijauan. Nilai NDVI adalah suatu nilai untuk mengetahui tingkat kehijauan pada daun dengan panjang gelombang inframerah yang sangat baik sebagai awal dari pembagian daerah vegetasi. Karena sifat optik klorofil sangat khas yaitu klorofil menyerap spektrum merah dan memantulkan dengan kuat spektrum infra merah. NDVI dapat menunjukkan parameter yang berhubungan dengan parameter vegetasi, antara lain, biomassa dedaunan hijau, daerah dedaunan hijau yang merupakan nilai yang dapat diperkirakan untuk pembagian vegetasi. NDVI pada dasarnya menghitung seberapa besar penyerapan radiasi matahari oleh tanaman terutama bagian daun (Freddy, Marwan, & Nizamuddin, 2015)

Nilai NDVI mempunyai rentang antara -1 (minus) hingga 1 (positif). Nilai yang mewakili vegetasi berada pada rentang 0.2 hingga 0,8 (Simarmata, Elyza, &

Vatiady, 2019), jika nilai NDVI di atas nilai ini menunjukkan tingkat kesehatan dari tutupan vegetasi yang lebih baik.

Kriteria tingkat kerapatan tajuk yang dikeluarkan oleh Departemen Kehutanan dapat dilihat pada Tabel 3:

Tabel 3. Kriteria tingkat kerapatan tajuk

Nilai NDVI	Tingkat Kerapatan Tajuk
$0.43 \leq \text{NDVI} \leq 1,00$	Lebat
$0,33 \leq \text{NDVI} \leq 0,42$	Sedang
$-1.0 \leq \text{NDVI} \leq 0.32$	Jarang

Sumber: Departemen Kehutanan (2005)