

SKRIPSI

ESTIMASI STOK KARBON BIOMASSA PADA EKOSISTEM MANGROVE MENGGUNAKAN DATA SATELIT DI PULAU NUNUKAN KABUPATEN NUNUKAN KALIMANTAN UTARA

Disusun dan diajukan oleh

MARZUKI

L11116318



**DEPARTEMEN ILMU KELAUTAN
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

**ESTIMASI STOK KARBON BIOMASSA PADA EKOSISTEM
MANGROVE MENGGUNAKAN DATA SATELIT DI PULAU
NUNUKAN KABUPATEN NUNUKAN KALIMANTAN UTARA**

MARZUKI

L11116318

SKRIPSI

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



**DEPARTEMEN ILMU KELAUTAN
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

LEMBAR PENGESAHAN

**Estimasi Stok Karbon Biomassa pada Ekosistem Mangrove Menggunakan
Data Satelit di Pulau Nunukan Kabupaten Nunukan Kalimantan Utara**

Disusun dan diajukan oleh

**MARZUKI
L11116318**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Ilmu Kelautan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin pada tanggal 22 April 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



Dr. Nuriannah Nurdin, ST, M.Si.
NIP: 19680918 199703 2 001



Dr. Inayah Yasir, M.Sc.
NIP: 19661006 199202 2 001

Ketua Program Studi,



Dr. Ahmad Faizal, ST, M.Si
NIP: 19750727 200112 1 003

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Marzuki
NIM : L11116318
Program Studi: Ilmu Kelautan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis yang berjudul:

Estimasi Stok Karbon Biomassa pada Ekosistem Mangrove Menggunakan Data Satelit
di Pulau Nunukan Kabupaten Nunukan Kalimantan Utara

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, 31 Mei 2021

Yang Menyatakan,

A 6000 Rupiah postage stamp with a signature over it. The stamp is green and yellow, featuring the Garuda Pancasila emblem and the text 'METERAI TEMPEL', '6000 ENAM RIBU RUPIAH', and the serial number '8997BAHF933588646'. The signature is in black ink and is written over the stamp. Below the signature, the name 'Marzuki' is printed.

Marzuki

PERNYATAAN AUTHORSHIP

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Marzuki
NIM : L11116318
Program Studi : Ilmu Kelautan
Fakultas : Ilmu Kelautan dan Perikanan

Menyatakan bahwa publikasi sebagian atau keseluruhan isi Skripsi/Tesis/Disertasi 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 seorang dari penulis berhak mempublikasannya pada jurnal ilmiah yang ditentukan kemudian, sepanjang nama mahasiswa tetap diikutkan.

Makassar, 22 April 2021

Mengetahui,



Dr. Ahmad Faizal, ST, M.Si
NIP: 19750727 200112 1 003

Penulis



Marzuki
NIM: L11116318

ABSTRAK

Marzuki. L11116318. “Estimasi Stok Karbon Biomassa pada Ekosistem Mangrove Menggunakan Data Satelit di Pulau Nunukan Kabupaten Nunukan Kalimantan Utara”. Dibimbing oleh **Nurjannah Nurdin** sebagai Pembimbing Utama dan **Inayah Yasir** sebagai Pembimbing Anggota.

Ekosistem mangrove mempunyai kemampuan yang sangat efektif dalam mengurangi konsentrasi gas karbon dioksida (CO₂) di alam. Pengestimasi stok karbon menggunakan teknologi penginderaan jauh mengacu pada indeks vegetasi dari suatu area. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret sampai Desember 2020 di Pulau Nunukan, Kabupaten Nunukan, Kalimantan Utara. Tujuan dari penelitian ini adalah mengestimasi stok karbon permukaan (*Above Ground Carbon*) di Pulau Nunukan menggunakan citra Landsat-8 dan pengukuran *in situ*. Pengukuran nilai cadangan karbon di lapangan dengan menggunakan persamaan alometrik yang dihitung berdasarkan jenis vegetasi. Penggunaan citra Landsat-8 OLI dilakukan setelah pra-processing dengan koreksi geometrik dan radiometrik. Selanjutnya citra Landsat-8 OLI diklasifikasi *unsupervised* untuk menentukan batas wilayah sebaran mangrove, lalu ditransformasi ke persamaan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Nilai NDVI dengan nilai stok karbon pada setiap titik sampel diuji dengan 3 jenis regresi. Dari 3 jenis uji regresi nilai R² tertinggi ditetapkan sebagai persamaan untuk membangun model estimasi stok karbon permukaan. Dua jenis model estimasi stok karbon yang dibangun, yaitu model yang menggunakan seluruh jenis yang teridentifikasi sebagai sampel, dan model yang hanya menggunakan jenis dominan yang ditemukan pada wilayah kajian. Ekosistem mangrove di Pulau Nunukan, Kalimantan Utara memiliki keanekaragaman jenis mangrove yang tinggi namun jenis mangrove yang mendominasi pada Pulau tersebut yaitu *Rhizophora apiculata*. Persamaan regresi yang digunakan sebagai dasar model estimasi cadangan karbon adalah persamaan regresi kuadrat. Nilai estimasi stok karbon permukaan (C) yang menggunakan model estimasi stok karbon seluruh jenis adalah 6.401.988,95 ton, sedangkan nilai estimasi stok karbon untuk model estimasi stok karbon jenis dominan adalah 5.616.404,46 ton.

Kata kunci: mangrove, stok karbon, penginderaan jauh, Landsat-8 OLI, NDVI

ABSTRACT

Marzuki. L11116318. "Estimation of Biomass Carbon Stock in Mangrove Ecosystems Using Remote Sensing on Nunukan Island Nunukan Regency North Kalimantan". Supervised by **Nurjannah Nurdin** as principal supervisor and **Inayah Yasir** as co-supervisor.

Mangrove ecosystems can be very effective in reducing the concentration of carbon dioxide gas (CO₂) in nature. Carbon stock estimation using remote sensing technology refers to the vegetation index of an area. This research was conducted from March to December 2020 on Nunukan Island, Nunukan Regency, North Kalimantan. This study aims to estimate the Above Ground Carbon on Nunukan Island using Landsat-8 imagery and in situ measurements. Measurement of the value of carbon stocks in the field using allometric equations calculated based on the species of vegetation. The use of Landsat-8 OLI imagery is carried out after pre-processing with geometric and radiometric corrections. Furthermore, the Landsat-8 OLI image is classified as unsupervised to determine the boundaries of the mangrove distribution area, then transformed into the equation Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). NDVI values with carbon stock values at each sample point were tested by 3 types of regression. Of the three types of regression value of R² highest set as the equation for building a model of the above carbon stock estimates. Two types of carbon stock estimation models are built, namely a model that uses all identified species as a sample, and a model that only uses the dominant species found in the study area. The mangrove ecosystem on Nunukan Island, North Kalimantan has a high diversity of mangrove species, but the dominant mangrove species on the island are *Rhizophora apiculata*. The regression equation used as the basis for the estimation model for carbon stocks is the quadratic regression equation. The estimated value of surface carbon stock (C) using the carbon stock estimation model of all species is 6,401,988.95 ton, while the estimated carbon stock value for the carbon stock estimation model of dominant species is 5,616,404.46 ton.

Keywords: mangroves, carbon stock, remote sensing, Landsat-8 OLI, NDVI

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Syukur Alhamdulillah, segala puji Penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulisan skripsi dengan judul **“Estimasi Stok Karbon Biomassa pada Ekosistem Mangrove Menggunakan Data Satelit di Pulau Nunukan Kabupaten Nunukan Kalimantan Utara”** dapat diselesaikan. Skripsi ini disusun berdasarkan data-data hasil penelitian sebagai tugas akhir untuk memperoleh gelar sarjana di Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat, informasi, dan membawa kepada suatu kebaikan.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang terdapat dalam skripsi ini. Oleh karena itu, Penulis menerima kritik dan saran yang membangun dari para pembaca. Akhirnya, kepada semua pihak yang berperan dalam penelitian ini, Penulis mengucapkan banyak terima kasih dan berharap semoga Allah SWT membalas segala budi baik, serta dapat menjadi suatu ibadah amal jariah.

Melalui Skripsi ini penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya sebagai bentuk penghargaan dan penghormatan kepada pihak-pihak yang telah memberikan bimbingan, bantuan, dukungan, serta doa selama melakukan penelitian dan penyelesaian skripsi. Ucapan ini penulis berikan untuk:

1. Kepada kedua orang tua tercinta, Drs. H. Muh. Saleh dan Hj. Mahming yang telah mendoakan kebaikan, kemudahan dan kelancaran. Serta memberikan dukungan semangat dan kasih sayang untuk penulis agar menyelesaikan perkuliahan.
2. Kepada saudara dan saudariku Salmah, Zulkifli, Nur Anisa, dan Zulkarnain yang telah menyemangati penulis dalam menyelesaikan masa perkuliahan.
3. Kepada yang terhormat Ibu Dr. Nurjannah Nurdin, ST., M.Si. selaku pembimbing utama yang selalu memberikan bimbingan, arahan, dukungan serta ilmu yang sangat berharga bagi penulis sehingga terselesaikannya penulisan skripsi ini.
4. Kepada yang terhormat Ibu Dr. Inayah Yasir, M.Sc. selaku dosen penasehat akademik dan selaku pembimbing pendamping yang selalu memberikan bimbingan dan arahan mengenai proses perkuliahan sejak menjadi mahasiswa baru hingga terselesaikannya skripsi ini.
5. Kepada yang terhormat Bapak Dr. Supriadi, ST, M.Si. dan bapak Dr. Muh. Banda Selamat, S.Pi., MT. Selaku penguji yang selalu memberi saran dan arahan hingga terselesaikannya skripsi ini.
6. Kepada Para Dosen Program Studi Ilmu Kelautan Universitas Hasanuddin yang telah memberikan bimbingan serta ilmu pengetahuan sejak menjadi mahasiswa

baru hingga terselesaikannya skripsi ini.


7. Kepada Kak Akbar, Kak Agus, dan Kak Fitrah yang telah memberikan bantuan dan masukan selama proses survei lapangan dan proses pengolahan data.
8. Kepada seluruh keluarga yang berada di Pulau Nunukan yang telah membantu dalam proses survei lapangan dan telah menampung penulis selama berada di Pulau Nunukan.
9. Kepada seluruh sahabat seperjuangan CNS Dicky Darmawan, Agung Putra Perdana, Naufal Miftahul Ghalib, Septian Fakhrolwahid Masykur, Ahmad Sahlan Ridwan, Akmal Hidayat, Muhammad Nabil Akbar, Rizky madjid, Triyono Rosevel Jimmy, Ichsan Ahsari Ahmad, Andi Fitrah Pawawoi, dan Aidil Fitriadi yang menjadi sahabat penulis, menjadi teman diskusi, serta memberi dukungan semangat doa kepada penulis.
10. Kepada Teman-teman Se-Angkatan ATHENA 16 yang selalu kebersamai dan senantiasa memberikan motivasi, bantuan, semangat, dan canda tawa kepada penulis.
11. Kepada yang terhormat Razkiyah Ramadhani yang selalu medoakan dan memberikan dukungan semangat kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
12. Kepada seluruh Keluarga Mahasiswa Jurusan Ilmu Kelautan (KEMAJIK FIKP-UH).
13. Kepada seluruh pihak tanpa terkecuali yang namanya luput disebutkan satu persatu karena telah banyak memberikan bantuan selama penyusunan skripsi.

Semoga Allah SWT. selalu memberikan anugerah-Nya kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Penulis menyadari bahwa skripsi ini terdapat banyak kekurangan dan masih jauh mencapai kesempurnaan dalam arti sebenarnya, namun penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembaca pada umumnya. Akhir kata penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari para pembaca untuk meningkatkan kemampuan penulis dalam menulis karya ilmiah.

Terima Kasih

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Makassar, 22 April 2021

Penulis

Marzuki

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Pangkajene Sidenreng Rappang pada tanggal 27 April 1999. Penulis merupakan anak kedua dari 5 bersaudara dari pasangan Drs. H. Muh. Saleh dan Hj. Mahming. Tahun 2010 penulis lulus dari SDN 4 Pangsid, Kecamatan Maritengngae, Kabupaten Sidrap, Sulawesi Selatan. Tahun 2013 lulus di SMP Negeri 1 Pangsid, Kecamatan Maritengngae, Kabupaten Sidrap, Sulawesi Selatan. Tahun 2016 lulus di SMA Negeri 1 Pangsid, Kecamatan Maritengngae, Kabupaten Sidrap, Sulawesi Selatan. Pada bulan Agustus 2016 penulis diterima sebagai mahasiswa Program Studi Ilmu Kelautan, Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin melalui Seleksi Jalur SBMPTN.

Selama masa studi di Universitas Hasanuddin, penulis aktif menjadi asisten laboratorium pada berbagai mata kuliah yaitu Pemetaan Sumber Daya Hayati Laut, Akustik Kelautan, Penginderaan Jauh Kelautan, Sistem Informasi Geografis (SIG) Kelautan, dan Penataan Ruang Pesisir dan Laut. Penulis juga aktif diberbagai kegiatan kemahasiswaan sebagai anggota himpunan KEMAJIK FIKP-UH dan sebagai Anggota UKM LDF Likib FIKP-UH. Selain itu, Penulis telah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata Tematik di Desa Pallangga, Kecamatan Pallangga, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan pada KKN Gelombang 102 pada bulan Juli-Agustus 2019.

Adapun untuk memperoleh gelar sarjana kelautan, penulis melakukan penelitian yang berjudul “Estimasi Stok Karbon Biomassa pada Ekosistem Mangrove Menggunakan Data Satelit di Pulau Nunukan Kabupaten Nunukan Kalimantan Utara” pada tahun 2020 yang dibimbing oleh Dr. Nurjannah Nurdin, ST, M.Si selaku pembimbing utama dan Dr. Inayah Yasir, M.Sc selaku pembimbing pendamping.

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
PERNYATAAN AUTHORSHIP	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	viii
BIODATA PENULIS	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
I. PENDAHULUAN	1
A. Pendahuluan	1
B. Tujuan dan Kegunaan	2
II. TINJAUAN PUSTAKA	3
A. Mangrove	3
B. Biomassa dan Karbon Hutan Mangrove	5
C. Persamaan Allometri Biomassa Hutan Mangrove	7
D. Penginderaan Jauh.....	8
E. Karakteristik Spektral Vegetasi dan Hutan Mangrove	9
F. Landsat 8.....	11
G. Pengolahan Citra Vegetasi Mangrove.....	12
1. Koreksi Citra	12
2. Interpretasi Citra	13
3. Indeks Vegetasi	14
H. Pengaplikasian Teknologi Penginderaan Jauh untuk Estimasi Stok Karbon Biomassa Mangrove	15
III. METODE PENELITIAN	16
A. Waktu dan Tempat	16
B. Alat dan Bahan	17
C. Prosedur Penelitian	17
1. Tahap Pengolahan Citra	17
2. Survey Lapangan.....	20
3. Analisis Data.....	22

IV. HASIL	27
A. Gambaran Umum Lokasi.....	27
B. Pengolahan Citra Landsat 8 OLI.....	27
1. Koreksi Radiometrik.....	27
2. Koreksi Geometrik	28
3. Komposit Band dan Pemotongan Citra	28
4. Klasifikasi Unsupervised	29
5. NDVI	29
C. Analisis Data Hasil Survey Lapangan	30
1. Komposisi Jenis Mangrove	30
2. Hasil Survey Lapang dengan Data Citra Satelit	31
3. Uji Statistik	32
4. Model Estimasi Stok Karbon Seluruh Jenis Mangrove	34
5. Model Estimasi Stok Karbon Jenis Dominan.....	37
V. PEMBAHASAN.....	41
A. Pengolahan Citra Landsat 8 OLI.....	41
1. Koreksi Radiometrik.....	41
2. Koreksi Geometrik	41
3. Klasifikasi Unsupervised	42
4. NDVI	42
B. Data Hasil Survey Lapangan	42
1. Analisis Statistik.....	44
2. Model Estimasi Stok Karbon	46
3. Stok Karbon Mangrove di Pulau Nunukan	48
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	50
A. Kesimpulan.....	50
B. Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN	57

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
1. Zonasi mangrove (White et al., 1989).....	5
2. Spektrum gelombang elektromagnetik	8
3. Sistem penginderaan jauh (Sutanto, 1987).....	9
4. Karakteristik pantulan spektral tanah, vegetasi dan air	10
5. Lokasi Penelitian, Pulau Nunukan Kabupaten Nunukan Kalimantan Utara, dengan jumlah plot sebanyak 15 (Titik hijau).	16
6. Pengukuran diameter setinggi dada pada berbagai kondisi pohon (SNI 7724:2011)	20
7. Kaidah pengambilan foto tutupan kanopi pohon mangrove	21
8. Bagan alir penelitian model estimasi stok karbon biomassa pada ekosistem mangrove menggunakan data satelit di pulau nunukan kabupaten nunukan kalimantan utara.....	26
9. Penampakan pulau nunukan (a) Hasil komposit 432 (True color) (b) Hasil komposit 564 (False color) yang telah cropping citra.....	28
10. Penampakan pulau nunukan (a) Hasil klasifikasi unsupervised (isodata) (b) Hasil reklasifikasi unsupervised	29
11. Kerapatan Mangrove berdasarkan nilai NDVI.....	30
12. Komposisi jenis mangrove.....	30
13. Hasil pengolahan citra (NDVI) dengan hasil survey lapangan.	31
14. Regresi linear antara Karbon dengan NDVI dari citra Landsat-8 OLI.....	32
15. Regresi linear antara Karbon dengan Persentase Kanopi	33
16. Regresi linear antara persentase kanopi dengan NDVI citra	33
17. Hubungan nilai karbon piksel dengan nilai NDVI dengan metode persamaan regresi quadratic	34
18. Peta sebaran stok karbon permukaan	36
19. Hubungan nilai karbon piksel dengan nilai NDVI dengan metode persamaan regresi quadratic	37
20. Peta sebaran stok karbon permukaan	39
21. Citra hasil koreksi radiometrik (a) sebelum dikoreksi (b) setelah dikoreksi.....	58
22. Sebaran titik GCP.....	59

DAFTAR TABEL

Nomor	Halaman
1. Definisi sumber karbon berdasarkan IPCC guidelines.....	7
2. Spesifikasi kanal-kanal spektral sensor Landsat-8.	12
3. Kriteria tingkat kerapatan mangrove NDVI (Dep.Hut, 2005)	14
4. Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini.....	17
5. Persamaan alometrik beberapa jenis mangrove dari berbagai sumber.	23
6. Beberapa berat jenis mangrove.....	23
7. Hasil survey lapangan	31
8. Uji korelasi menggunakan metode Pearson	32
9. RMSE antara hasil persentase kanopi di lapangan dengan hasil estimasi hasil persentase kanopi berdasarkan nilai NDVI.....	34
10. Nilai biomassa perpiksel, karbon perpiksel, dan estimasi stok karbon.	35
11. Hasil estimasi stok karbon berdasarkan rentang NDVI	35
12. RMSE antara hasil pengukuran karbon di lapangan dengan hasil estimasi karbon menggunakan citra satelit.....	36
13. Perhitungan biomassa perpiksel dan karbon perpiksel	38
14. Nilai biomassa perpiksel, karbon perpiksel, dan estimasi stok karbon.	38
15. Nilai estimasi karbon berdasarkan rentang NDVI	39
16. RMSE antara hasil pengukuran karbon di lapangan dengan hasil estimasi karbon menggunakan citra satelit.....	40
17. Penelitian estimasi karbon di beberapa wilayah di Indonesia	49
18. Nilai RMSerror pada titik GCP yang digunakan untuk kalibrasi geometrik	58
19. Persamaan masing-masing regresi untuk seluruh jenis.....	59

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Halaman
1. Hasil koreksi Radiometrik	58
2. Hasil koreksi geometrik	58
3. Model persamaan estimasi stok karbon	59
4. Beberapa sampel lapangan sebaran plot pengukuran karbon mangrove	61
5. Penggunaan perangkat lunak ImageJ untuk menghitung persentase tutupan kanopi	88
6. Dokumentasi survei lapangan	89

I. PENDAHULUAN

A. Pendahuluan

Hutan Mangrove, padang lamun, dan rawa asin berpotensi mengikat CO₂ dari atmosfer yang biasa disebut *blue carbon* (Mcleod *et al.*, 2011). Hutan mangrove memiliki fungsi ekologis yang sangat penting bagi ekosistem pesisir. Salah satu fungsi ekologisnya yaitu mangrove sebagai penyerap dan penyimpan karbon sehingga dapat mengurangi peningkatan emisi karbon di alam (Savana, 2019). Kemampuan mangrove dalam menyimpan karbon lebih besar dari semua hutan daratan pada umumnya. Hutan mangrove tiap satu hektarnya dapat menyimpan sampai lima kali lipat lebih banyak karbon dibandingkan hutan hujan tropis di seluruh dunia (Donato *et al.*, 2011; Fitrah, 2019; Nellemann *et al.*, 2009).

Jumlah karbon dioksida (CO₂) yang terus meningkat di udara menjadi penyebab utama terjadinya pemanasan global yang berdampak pada terjadinya perubahan iklim dunia. Perubahan iklim dan isu pemanasan global menjadi pemicu meningkatnya kebutuhan informasi tentang karbon pada saat ini. Peningkatan jumlah karbon dioksida (CO₂) di atmosfer sebagai akibat dari aktivitas manusia, baik itu secara langsung maupun tidak langsung. Salah satu aktivitas itu adalah pembukaan lahan hutan sehingga menurunkan luasan hutan yang diketahui berfungsi sebagai penyimpan karbon dioksida (CO₂).

Mangrove dapat menyerap CO₂ dari atmosfer melalui mekanisme fotosintesis. CO₂ yang diserap akan disimpan dalam bentuk biomassa atas (*above ground-biomass*), biomassa bawah (*below ground-biomass*) serta terakumulasi di dalam sedimen (Kauffman *et al.*, 2011). Pengestimasian biomassa dihitung dengan menggunakan metode estimasi biomassa, salah satunya adalah dengan metode alometrik. Metode alometrik ini dilakukan dengan cara mengukur diameter batang pohon setinggi dada (*diameter at breast height*, DBH). Kemudian, DBH digunakan sebagai variabel bebas dari persamaan alometrik yang menghubungkan biomassa sebagai variabel terikat. Metode ini telah banyak diaplikasikan untuk estimasi stok karbon pada berbagai tipe vegetasi di Indonesia (Hairiah *et al.*, 2001; Noordwijk *et al.*, 2002; Roshetko *et al.*, 2002). Provinsi Kalimantan Utara mempunyai garis pantai yang 90%nya ditumbuhi oleh mangrove (RZWP3K, 2018). Salah satu Kabupaten yang terletak di Provinsi Kalimantan Utara adalah Kabupaten Nunukan.

Kabupaten Nunukan, yang terletak paling utara di Provinsi Kalimantan Utara, memiliki lokasi yang strategis karena berbatasan langsung dengan Malaysia. Kabupaten ini memiliki 29 pulau, salah satu diantaranya adalah Pulau Nunukan. Pulau Nunukan menjadi pusat kota dari Kabupaten Nunukan, sehingga Pulau Nunukan

memiliki potensi sumber daya alam yang besar. Khususnya yang terkait dengan ekosistem Mangrove yang tersebar di sekeliling Pulau Nunukan. Luas hutan mangrove wilayah Pulau Nunukan sebesar 3.165,27 ha, dengan 71,8% atau 2.271,79 ha diantaranya berada dalam kondisi masih baik (Beze dan Suparjo, 2015).

Terdapat dua cara untuk memperoleh informasi mengenai estimasi stok biomassa karbon yaitu menggunakan pendekatan dengan menghitung secara manual, dan pendekatan dengan teknologi penginderaan jauh. Pendekatan dengan teknologi penginderaan jauh dinilai lebih efisien dan efektif dari segi biaya, waktu dan ketepatan estimasi khususnya pada daerah yang luas. Karena keunggulan inilah penelitian ini menggunakan citra satelit untuk mengestimasi stok karbon biomassa di Pulau Nunukan.

B. Tujuan dan Kegunaan

Tujuan dari penelitian ini adalah mengestimasi stok karbon permukaan (*Above Ground Carbon*) di Pulau Nunukan menggunakan citra Landsat-8 dan pengukuran *in situ*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Mangrove

Asal kata “mangrove” tidak diketahui secara jelas dan terdapat berbagai pendapat mengenai asal-usul katanya. Istilah “mangrove” telah didefinisikan oleh beberapa ahli secara berbeda-beda, namun pada dasarnya merujuk pada hal yang sama. Hutan mangrove merupakan hutan yang tumbuh pada tanah lumpur aluvial di daerah pantai dan muara sungai yang dipengaruhi pasang surut air laut (Soerianegara, 1987).

Tumbuhan mangrove memiliki kemampuan khusus yaitu dapat 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. Dalam hal lain, beberapa jenis mangrove berkembang dengan buah yang sudah berkecambah sewaktu masih di pohon induknya (vivipar), seperti *Kandelia*, *Bruguiera*, *Ceriops* dan *Rhizophora* (Noor *et al.*, 2006).

Mangrove di Indonesia lebih bervariasi bila dibandingkan dengan daerah lainnya. Sejauh ini di Indonesia tercatat setidaknya 202 jenis tumbuhan mangrove, meliputi 89 jenis pohon, 5 jenis palma, 19 jenis pemanjat, 44 jenis herba tanah, 44 jenis epifit dan 1 jenis paku. Dari 202 jenis tersebut, 43 jenis (diantaranya 33 jenis pohon dan beberapa jenis perdu) ditemukan sebagai mangrove sejati (*true mangrove*), sementara jenis lain ditemukan disekitar mangrove dan dikenal sebagai jenis mangrove ikutan (*asociate mangrove*) (Noor *et al.*, 2006).

Mangrove sejati terbagi atas dua kelompok utama yaitu mangrove sejati utama (*major*) dan mangrove sejati tambahan (*minor*). Mangrove sejati utama (*major*) merupakan tumbuhan yang tumbuh pada wilayah pasang surut dan membentuk tegakan murni. Mangrove jenis ini jarang bergabung dengan tanaman darat. Mangrove sejati tambahan (*minor*) merupakan bukan komponen penting dari mangrove dan biasanya ditemukan di daerah tepi dan jarang membentuk tegakan. Mangrove ikutan merupakan tumbuhan yang tidak pernah tumbuh di komunitas mangrove sejati dan biasanya tumbuh bergabung dengan tumbuhan daratan (Tomlinson, 1986; dan Kitamura *et al.*, 19970). Pembagian kelompok mangrove sejati dan mangrove ikutan telah membentuk struktur tipe vegetasi mangrove berdasarkan zonasi vegetasi mangrove yang sangat berkaitan erat dengan pasang surut.

Vegetasi mangrove secara khas memperlihatkan adanya pola zonasi. Pola zonasi vegetasi mangrove berkaitan erat dengan tipe tanah (lumpur, pasir atau gambut), keterbukaan (terhadap hampasan gelombang), salinitas serta pengaruh pasang surut (Chapman, 1977; Bunt dan Williams, 1981). Pola zonasi vegetasi mangrove umumnya tumbuh dalam 4 zona yaitu pada daerah terbuka, daerah tengah, daerah yang memiliki sungai berair payau sampai hampir tawar, serta daerah ke arah daratan yang memiliki air tawar (Gambar 1).

1) Mangrove Terbuka

Mangrove zona terbuka berada pada bagian yang berhadapan dengan laut. Komposisi floristik dari komunitas di zona terbuka sangat bergantung pada substratnya. *Sonneratia alba* cenderung untuk mendominasi daerah berpasir, sementara *Avicennia marina* dan *Rhizophora mucronata* cenderung untuk mendominasi daerah yang lebih berlumpur (Van Steenis, 1958). Meskipun demikian, *Sonneratia* akan berasosiasi dengan *Avicennia* jika tanah lumpurnya kaya akan bahan organik (Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup, 1993).

2) Mangrove Tengah

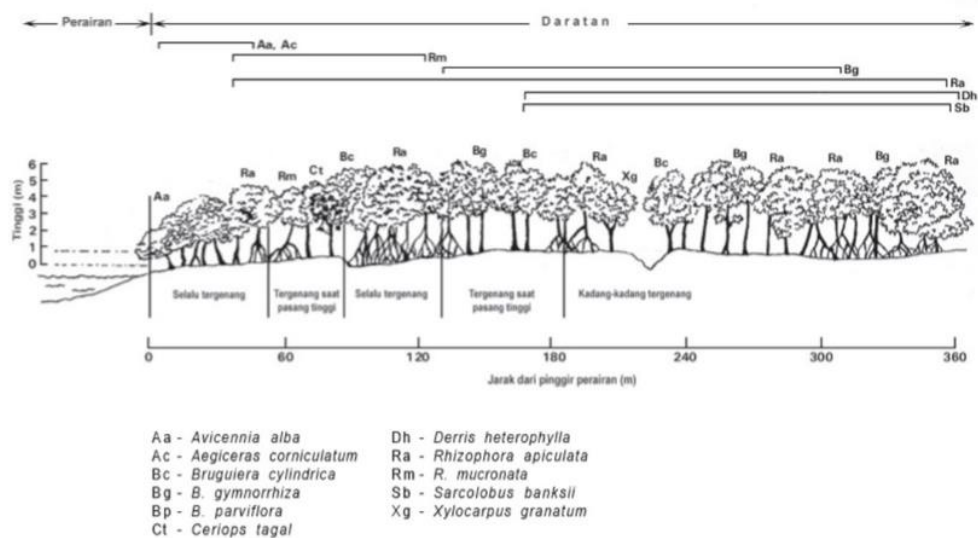
Mangrove di zona tengah terletak dibelakang mangrove zona terbuka. Di zona ini biasanya didominasi oleh jenis *Rhizophora*. Jenis-jenis lainnya juga ditemukan di zona ini seperti *Bruguiera cylindrica*, *Bruguiera eriopetala*, *Bruguiera gymnorrhiza*, *Excoecaria agallocha*, *Rhizophora mucronata*, *Xylocarpus granatum* dan *Xylocarpus moluccensis* (Samingan, 1980).

3) Mangrove Payau

Mangrove zona payau berada disepanjang sungai berair payau hingga hampir tawar. Di zona ini biasanya didominasi oleh komunitas *Nypa* atau *Sonneratia*. Di jalur-jalur sungai sering sekali ditemukan tegakan *Nypa fruticans* yang bersambung dengan vegetasi yang terdiri dari *Cerbera* sp., *Gluta renghas*, *Stenochlaena palustris* dan *Xylocarpus granatum*.

4) Mangrove Daratan

Mangrove zona daratan berada di zona perairan payau atau hampir tawar di belakang jalur hijau mangrove yang sebenarnya. Jenis-jenis yang umum ditemukan pada zona ini termasuk *Ficus microcarpus* (*Ficus retusa*), *Intsia bijuga*, *Nypa fruticans*, *Lumnitzera racemosa*, *Pandanus* sp. dan *Xylocarpus moluccensis* (Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup, 1993). Zona ini memiliki kekayaan jenis yang lebih tinggi dibandingkan dengan zona lainnya.



Gambar 1. Zonasi mangrove (White *et al.*, 1989)

Setiap jenis mangrove memiliki ciri khas yang dapat membedakannya dengan jenis mangrove lainnya. Jenis mangrove dapat dibedakan dari struktur perakarannya, bentuk daun, serta bentuk buahnya. Seperti pada *Rhizophora mucronata* memiliki morfologi daun yang lebar hingga bulat memanjang, ukuran daun bisa mencapai 11-23 cm x 5-13 cm, dan daunnya lebih lebar daripada jenis *Rhizophora* lainnya. Jenis *Avicennia alba* memiliki morfologi daun yang berbentuk elips atau lanset dengan ujung meruncing dengan ukuran 16 cm x 5 cm. Jenis *Sonneratia alba* memiliki morfologi daun yang bulat dengan ukuran mencapai 5-12,5 cm x 3-9 cm. *Avicennia* dan *Sonneratia* memiliki morfologi daun yang ukurannya cenderung lebih kecil dibandingkan dengan jenis *Rhizophora* (Noor *et al.*, 2006).

Perebedaan ukuran daun menjadi salah satu faktor terjadinya perbedaan kerapatan tajuk atau tutupan kanopi pada vegetasi mangrove. Tajuk merupakan keseluruhan bagian tumbuhan, terutama pohon, perdu, atau liana, yang berada di atas permukaan tanah yang menempel pada batang utama. Tajuk adalah bagian penyusun dari kanopi yang bertautan sehingga membentuk kesinambungan dan menjadi atap hutan.

B. Biomassa dan Karbon Hutan Mangrove

Biomassa dan Karbon merupakan dua komponen yang tidak dapat dipisahkan. Biomassa tersusun oleh senyawa penyusun karbohidrat yang terdiri dari unsur Karbon (C), Hidrogen (H), dan Oksigen (O) yang dihasilkan dari proses fotosintesis tanaman. Karbon juga menjadi salah satu pembentuk utama bahan organik termasuk makhluk hidup. Karenanya secara alami karbon banyak tersimpan di bumi (darat dan laut) dari pada di atmosfer.

Proses fotosintesis pada tumbuhan akan menyerap CO₂ di udara kemudian mengubahnya menjadi karbohidrat yang kemudian didistribusikan ke seluruh bagian tumbuhan untuk ditimbun dalam batang, cabang, ranting, bunga, dan buah. Proses ini juga disebut proses sekuestrasi (*C-Sequestration*). Pengukuran C yang tersimpan pada bagian tubuh tumbuhan yang berupa biomassa menggambarkan banyaknya senyawa karbondioksida (CO₂) di atmosfer yang diserap oleh tumbuhan tersebut. Sedangkan pengukuran C yang tersimpan pada bagian tumbuhan yang telah mati (nekromas) menggambarkan CO₂ yang tidak dilepaskan ke udara oleh proses oksidasi. Karbon pada tanaman akan terdistribusi menjadi dua bagian, yaitu karbon yang akan menjadi energi untuk proses fisiologis tanaman dan karbon yang akan masuk ke dalam struktur tumbuhan dan menjadi bagian dari tumbuhan (Rahadian, 2019).

Biomassa diartikan sebagai jumlah total bahan organik yang hidup terdapat pada pohon dan dinyatakan dalam satuan berat kering per unit area, misalnya ton/ha (Brown, 1997; Rahadian, 2019). Jumlah biomassa ditentukan oleh beberapa faktor, diantaranya adalah dimensi (diameter dan tinggi), kerapatan kayu, dan kesuburan tanah. Jumlah biomassa pada hutan tersebut akan mempengaruhi jumlah simpanan karbonnya (Kusmana *et al.*, 1992; Rahadian, 2019).

Sumber karbon (*Carbon Pool*) dikelompokkan menjadi 3 kategori utama, yaitu biomasa hidup, bahan organik mati dan karbon tanah (IPCC, 2006). Secara keseluruhan IPCC menetapkan 5 sumber karbon hutan berdasarkan kategori utama tersebut yaitu Biomasa hidup dibagi menjadi 2 bagian yaitu Biomasa Atas Permukaan (BAP) dan Biomasa Bawah Permukaan (BBP). Sedangkan bahan organik mati dikelompokkan menjadi 2 yaitu: kayu mati dan serasah (Tabel 1).

Mangrove adalah salah satu hutan paling kaya karbon di daerah tropis. Hutan mangrove memiliki fungsi ekologis yang sangat penting bagi ekosistem pesisir. Salah satu fungsi ekologisnya yaitu mangrove sebagai penyerap dan penyimpan karbon sehingga dapat mengurangi peningkatan emisi karbon di alam (Savana, 2019).

Mangrove dapat menyerap CO₂ dari atmosfer melalui mekanisme fotosintesis. CO₂ yang diserap akan disimpan dalam bentuk biomassa atas (*above ground-biomass*), biomassa bawah (*below ground-biomass*) serta terakumulasi di dalam sedimen (Kauffman *et al.*, 2011). Kemampuan mangrove dalam menyimpan karbon lebih besar dari semua hutan daratan pada umumnya. Hutan mangrove tiap satu hektarnya dapat menyimpan sampai lima kali lipat lebih banyak karbon dibandingkan hutan hujan tropis diseluruh dunia (Nellemann *et al.*, 2009; Donato *et al.*, 2011; Fitrah, 2019).

Tabel 1. Definisi sumber karbon berdasarkan *IPCC guidelines*.

	Sumber	Penjelasan
Biomassa	Atas permukaan	Semua biomassa dari vegetasi hidup di atas tanah, termasuk batang, tunggul, cabang, kulit, daun serta buah. Baik dalam bentuk pohon, semak maupun tumbuhan herbal.
	Bawah Tanah	Semua biomassa dari akar hidup. Akar yang halus dengan diameter kurang dari 2 mm seringkali dikeluarkan dari penghitungan, karena sulit dibedakan dengan bahan organik mati tanah dan serasah.
Bahan Organik Mati atau Nekromasa	Kayu mati	Semua biomassa kayu mati, baik yang masih tegak, rebah maupun di dalam tanah. Diameter lebih besar dari 10 cm.
	Serasah	Semua biomassa mati dengan ukuran > 2 mm dan diameter kurang dari sama dengan 10 cm, rebah dalam berbagai tingkat dekomposisi.
Tanah	Bahan Organik Tanah	Semua bahan organik tanah dalam kedalaman tertentu (30 cm untuk tanah mineral). Termasuk akar dan serasah halus dengan diameter kurang dari 2 mm, karena sulit dibedakan.

Sumber: *IPCC guidelines* (2006)

C. Persamaan Alometrik Biomassa Hutan Mangrove

Alometrik didasari atas hubungan antara ukuran dari makhluk hidup tersebut dengan ukuran salah satu bagian makhluk hidup tersebut. Model alometrik adalah model regresi yang menyatakan hubungan antara ukuran atau pertumbuhan dari salah satu komponen individu pohon dengan keseluruhan komponen dari individu tersebut (Kemen.Hut, 2012). Model Alometrik digunakan untuk pendugaan biomassa pohon dan tegakan hutan sebagai dasar perhitungan stok karbon dan penentuan faktor emisi gas rumah kaca, terutama karbon dioksida (CO₂) dari sektor berbasis lahan.

Pemilihan model alometrik terbaik model atau persamaan alometrik biomassa yang biasa digunakan adalah dengan menerapkan diameter, tinggi dan berat jenis sebagai nilai penduga, namun menggunakan diameter sebagai penduga tunggal, biasa digunakan karena relatif lebih mudah dikembangkan dan diterapkan.

Persamaan alometrik yang paling akurat adalah yang berdasarkan jenis pohon. Untuk di hutan tanaman atau di zona *temperate*, hal ini masih memungkinkan. Tetapi akan sangat sulit dan memerlukan waktu dan biaya yang besar jika diterapkan di wilayah tropis yang memiliki ratusan bahkan ribuan jenis pohon. Karena itu, beberapa pemilahan persamaan alometrik didasari atas kelompok jenis atau kelompok hutan alam dan sekunder (Solichin *et al.*, 2011).

Sebagian besar karbon hutan di atas permukaan berasal dari biomassa pohon. Tabel volume biomassa berdasarkan persamaan alometrik sangat membantu di dalam perhitungan biomassa dan karbon di atas tanah (Tabel 5). Hal ini dikarenakan sulitnya pengukuran tinggi pohon selama inventarisasi hutan, sehingga menyebabkan kesalahan yang sangat besar jika digunakan untuk pendugaan karbon. Karena itu,

persamaan alometrik meningkatkan akurasi pendugaan karbon dan memudahkan proses pelaksanaan inventarisasi hutan.

Persamaan alometrik umum untuk biomassa atas (*Above Ground Weight*) pada seluruh jenis mangrove telah dikembangkan oleh Komiyama (2005):

$$W_{top} = 0.251\rho D^{2.46}$$

Keterangan

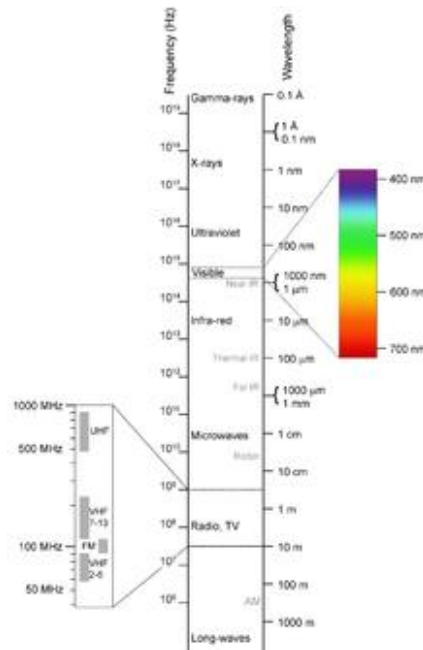
W_{top} = Biomassa Atas (kg/m²)

ρ = Berat jenis tumbuhan (g/cm³)

D = Diameter (cm)

D. Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh (*remote sensing*) merupakan ilmu dan seni untuk memperoleh informasi pada suatu objek dipermukaan bumi tanpa adanya kontak langsung dengan objek yang dikaji (Lillesand dan Kiefer, 1990). Serangkaian komponen dasar yang digunakan untuk mengukur dan merekam data mengenai sebuah wilayah dari jauh antara lain sumber energi, target, sensor, dan wilayah transmisi. Rangkaian komponen tersebut disebut juga sistem penginderaan jauh (Gambar 2).

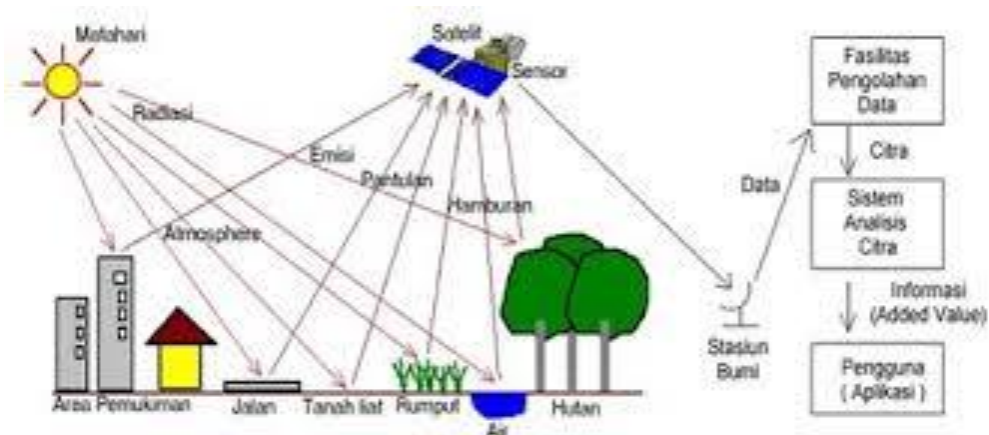


Gambar 2. Spektrum gelombang elektromagnetik

Matahari yang berfungsi sebagai sumber energi yang berupa radiasi elektromagnetik. Nilai radiasi elektromagnetik dijelaskan dalam bentuk spektrum gelombang elektromagnetik. Di dalam penginderaan jauh, penggolongan gelombang elektromagnetik paling sering dilakukan menurut letak panjang gelombangnya di dalam spektrum elektromagnetik (Lillesand dan Kiefler, 1990). Penggolongan radiasi

elektromagnetik yang digunakan dalam penginderaan jauh adalah near UV (ultra violet) (0,3 – 0,4 μm), cahaya tampak (0,4 – 0,7 μm), inframerah dekat gelombang pendek dan inframerah termal (0,7 – 14 μm) serta gelombang mikro (1 mm – 1 m) (Nurdin, 2018).

Energi dari pantulan dan pancaran gelombang elektromagnetik dari obyek dipermukaan bumi yang diterima oleh sensor yang dimanfaatkan oleh sistem penginderaan jauh untuk memperoleh nilai spektral dari suatu obyek. Tidak semua energi yang dipancarkan oleh matahari dapat mencapai permukaan bumi, terlebih dahulu terjadi interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan atmosfer. Bentuk interaksinya berupa pantulan, hamburan, dan penyerapan.



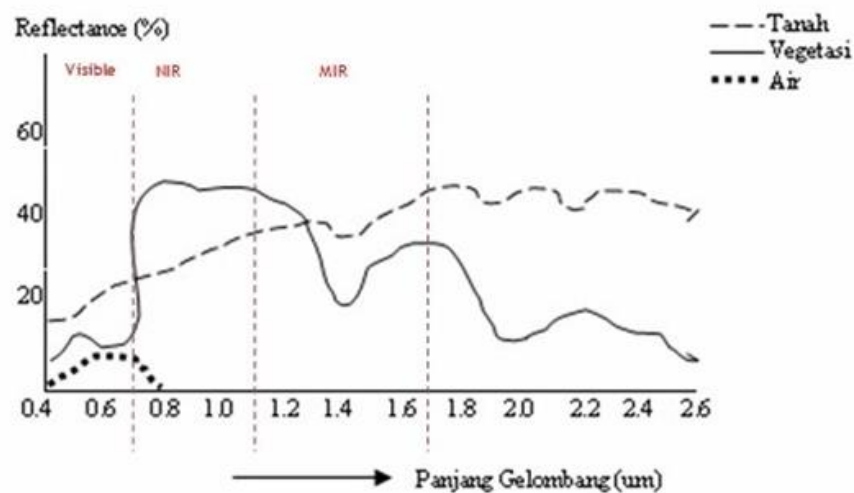
Gambar 3. Sistem penginderaan jauh (Sutanto, 1987)

Radiasi elektromagnetik akan mengenai objek di permukaan bumi setelah melewati atmosfer. Pada saat itu, radiasi elektromagnetik kembali mengalami interaksi berupa pantulan, serapan, dan transmisi terhadap suatu objek. Nilai spektral dari obyek dipermukaan bumi berasal dari nilai energi yang diterima oleh sensor. Setiap objek memiliki karakteristik dan respon yang unik terhadap suatu panjang gelombang elektromagnetik. Respon yang berbeda juga dihasilkan dari interaksi suatu objek dengan panjang gelombang tertentu, sehingga dapat ditemukan objek yang sama akan memiliki respon spektral yang berbeda jika pada kondisi yang berbeda (Molidena dan As-syakur, 2012).

E. Karakteristik Spektral Vegetasi dan Hutan Mangrove

Karakteristik dari suatu objek dapat ditentukan melalui pantulan atau pancaran radiasi elektromagnetik dari suatu objek. Setiap objek memiliki karakteristik pantulan yang berbeda dan unik. Perbedaan tersebut tergantung dari energi gelombang elektromagnetik yang dipantulkan, diserap, dan ditransmisikan oleh suatu objek. Terdapat tiga objek utama dipermukaan bumi yang memiliki respon pantulan spektral yang berbeda-beda, objek tersebut antara lain tanah, vegetasi, dan air.

Karakteristik pantulan spektral dari vegetasi dipengaruhi oleh kandungan pigmen daun, material organik, air dan karakteristik struktural daun seperti bentuk daun dan luas daun (Huete dan Glenn, 2011). Vegetasi memiliki karakter spektral yang unik jika dibandingkan dengan objek tanah maupun air pada saluran panjang gelombang tampak maupun pada panjang gelombang inframerah. Kandungan pigmen daun yaitu klorofil memiliki daya serap yang kuat pada panjang gelombang 0,45 dan 0,67 μm , reflektansi pada panjang gelombang pada inframerah dekat (0,7 – 0,9 μm), serta menghasilkan puncak terkecil reflektansi pada panjang gelombang 0,5 – 0,6 μm (Nurdin, 2018).



Gambar 4. Karakteristik pantulan spektral tanah, vegetasi dan air

Pantulan pada saluran panjang gelombang cahaya tampak memiliki nilai pantulan yang rendah pada panjang gelombang merah dan biru, hal ini disebabkan oleh serapan klorofil untuk berfotosintesis, sedangkan pantulan pada panjang gelombang hijau agak tinggi dari keduanya, hal tersebut menyebabkan vegetasi terlihat berwarna hijau. Pada panjang gelombang inframerah dekat sangat berguna untuk survei pemetaan vegetasi, karena pantulan daun meningkat seiring dengan menurunnya kadar air pada daun, untuk itu saluran inframerah pendek dapat digunakan untuk melihat vegetasi yang sakit. Pada panjang gelombang inframerah tengah pantulan vegetasi menurun yang disebabkan oleh serapan yang kuat oleh air (Molidena dan As-syakur, 2012).

Penginderaan jauh vegetasi mangrove didasarkan pada dua sifat penting, yaitu bahwa mangrove memiliki zat hijau daun (klorofil) dan mangrove tumbuh di daerah pesisir (Susilo, 1997). Hutan mangrove dapat diidentifikasi dengan penginderaan jauh dimana daerah peralihan darat dan laut memberikan efek perekaman yang khas jika dibandingkan obyek vegetasi darat lainnya (Faizal *et al.*, 2005). Sifat optik vegetasi mangrove yaitu menyerap spektrum sinar merah dan sangat kuat memantulkan

spektrum inframerah. Klorofil fitoplankton yang berada di laut dapat dibedakan dari klorofil mangrove karena sifat air yang menyerap spektrum inframerah. Tanah, pasir dan batuan juga memantulkan inframerah tapi tidak menyerap sinar merah sehingga tanah dan mangrove secara optik dapat dibedakan dari nilai pantulan tersebut.

F. Landsat 8

Landsat merupakan program satelit paling lama yang beroperasi di luar angkasa untuk mendapatkan citra Bumi. Satelit Landsat (*Land Satellite*) milik Amerika Serikat diluncurkan pertama kali pada tahun 1972, dengan nama ERTS-1 (*Earth Resources Technology Satellite-1*). Suksenya proyek eksperimental ini, sehingga dilanjutkan dengan peluncuran seri selanjutnya, tetapi dengan berganti nama menjadi Landsat, sehingga ERTS-1 pun berganti nama menjadi Landsat-1 (Aftriana, 2013).

Pada tanggal 11 Februari 2013, NASA telah berhasil meluncurkan satelit generasi baru yaitu *Landsat Data Continuity Mission* (LDCM) yang biasa dikenal sebagai Landsat-8 (Sampurno dan Thoriq, 2016). Peluncuran satelit LDCM (Landsat-8) menjadi misi kerjasama antara NASA dan USGS (*U.S. Geological Survey*) dengan pembagian tanggung jawab masing-masing (Sitanggang, 2010). Satelit LDCM (Landsat-8) diorbitkan pada orbit mendekati lingkaran sinkron matahari, Landsat-8 mengorbit bumi setiap 99 menit, pada ketinggian 705 km, memiliki area scan seluas 170 km x 183 km, lebar sapuan 16,5 x 16,5 km², dengan sudut inklinasi 98.2°, waktu liput ulang di tempat yang sama (resolusi temporal) setiap 16 hari, waktu melintasi khatulistiwa (*Local Time on Descending Node -LTDN*) nominal pada jam 10.00 s.d 10.15 pagi (NASA, 2008; Sitanggang, 2010). Satelit LDCM (Landsat-8) merupakan suksesor dari generasi sebelumnya yaitu Landsat-7 ETM+.

Satelit LDCM (Landsat-8) memiliki Sensor pencitra OLI (*Operational Land Imager*) dan Sensor TIRS (*Thermal Infrared Sensor*). Sensor pencitra OLI mempunyai kanal-kanal spektral yang menyerupai sensor ETM+ (*Enhanced Thermal Mapper plus*) dari Landsat-7. Sensor pencitra OLI ini mempunyai kanal-kanal baru yaitu: kanal-1: 443 nm untuk aerosol garis pantai dan kanal 9: 1375 nm untuk deteksi cirrus; akan tetapi tidak mempunyai kanal inframerah termal. Sensor lainnya yaitu TIRS ditetapkan sebagai pilihan (*optional*), yang dapat menghasilkan kontinuitas data untuk kanal-kanal inframerah termal yang tidak dicitrakan oleh OLI (Sitanggang, 2010). Pada Sensor OLI terdiri dari 9 saluran (band) termasuk pankromatik beresolusi tinggi, dan pada Sensor TIRS terdiri dari 2 saluran (band) termal (Sampurno dan Thoriq, 2016).

Tabel 2. Spesifikasi kanal-kanal spektral sensor Landsat-8.

No. Kanal	Kanal	Kisaran Spektral (mikrometer)	Resolusi spasial (meter)
1	Ultra Biru (<i>coastal/aerosol</i>)	0,43 – 0,45	30
2	Biru	0,45 – 0,51	30
3	Hijau	0,53 – 0,59	30
4	Merah	0,64 – 0,67	30
5	Infra merah dekat (NIR)	0,85 – 0,88	30
6	<i>Short Wave Infrared</i> (SWIR) 1	1,57 – 1,65	30
7	SWIR 3	2,11 – 2,29	30
8	<i>Panchromatic</i>	0,5 – 0,68	15
9	<i>Cirrus</i>	1,36 – 1,38	30
10	<i>Thermal Infrared Sensors</i> (TIRS) 1	10,6 – 11,19	100
11	TIRS 2	11,5 – 12,51	100

Sumber: USGS.gov (2020).

G. Pengolahan Citra Vegetasi Mangrove

1. Koreksi Citra

Citra satelit yang telah direkam oleh sensor satelit pada dasarnya tidak akan terlepas pada suatu kesalahan yang diakibatkan oleh mekanisme perekaman sensornya, gerakan dan wujud geometri bumi, serta kondisi atmosfer pada saat perekaman. Koreksi citra merupakan proses perbaikan kualitas citra yang digunakan sehingga benar-benar memberikan informasi yang akurat secara geometris dan radiometris.

a. Koreksi Geometrik

Kesalahan geometrik pada citra satelit berasal dari kesalahan internal dan kesalahan eksternal. Kesalahan internal satelit yaitu sensor miring atau perekaman yang *off-nadir* dan permukaan bumi yang ketinggiannya tidak sama menyebabkan adanya kesalahan pergeseran relief (Lukiawan *et al.*, 2019). Menurut Hariantaka (2003), pergeseran relief merupakan ketidaktepatan posisi suatu objek pada citra yang disebabkan oleh beda tinggi terhadap bidang referensi.

Geometrik merupakan posisi geografis yang berhubungan dengan distribusi keruangan (*spatial distribution*). Menurut Mather (1987), koreksi geometrik adalah transformasi citra hasil penginderaan jauh sehingga citra tersebut mempunyai sifat-sifat peta dalam bentuk, skala dan proyeksi. Transformasi geometrik yang paling mendasar adalah penempatan kembali posisi piksel sedemikian rupa, sehingga pada citra digital yang tertransformasi dapat dilihat gambaran objek di permukaan bumi yang terekam sensor.

b. Koreksi Radiometrik

Koreksi radiometrik ditujukan untuk memperbaiki nilai piksel agar sesuai dengan mempertimbangkan faktor gangguan atmosfer sebagai sumber kesalahan utama. Efek atmosfer menyebabkan nilai pantulan objek dipermukaan bumi yang terekam oleh sensor menjadi bukan nilai aslinya, tetapi menjadi lebih besar oleh karena adanya hamburan atau lebih kecil karena proses serapan (Lukiawan *et al.*, 2019). Menurut Rahayu dan Candra (2014), koreksi radiometrik adalah koreksi dasar citra yang dilakukan untuk menghilangkan *noise* yang terdapat pada citra sebagai akibat dari adanya distorsi oleh posisi cahaya matahari pada saat data akuisisi, dan salah satu contoh citra satelit yang memerlukan proses ini adalah citra Satelit Landsat.

Metode yang digunakan untuk menghilangkan *noise* tersebut dapat digunakan koreksi radiometrik *Top of Atmosfer* (ToA). Koreksi ToA merupakan perbaikan akibat distorsi radiometrik yang disebabkan oleh posisi matahari. Koreksi ToA dilakukan dengan cara mengubah nilai *digital number* (DN) ke nilai reflektansi (Rahayu dan Candra, 2014).

2. Interpretasi Citra

Interpretasi citra merupakan cara untuk menganalisis suatu data penginderaan jauh, agar dapat digunakan untuk suatu keperluan tertentu. Interpretasi citra menjadi bagian terpenting dalam penginderaan jauh, karena tanpa mengenali objek yang tergambar pada citra penginderaan jauh, maka tidak akan dapat melakukan kegiatan terhadap citra tersebut. Interpretasi citra penginderaan jauh dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu interpretasi secara manual dan digital (Purwadhi dan Sanjoto, 2008).

a. Interpretasi citra secara manual

Interpretasi citra secara manual merupakan interpretasi citra yang berdasarkan pada pengenalan karakteristik objek secara keruangan (spasial). Unsur-unsur interpretasi menjadi landasan untuk mengenali karakteristik objek yang tergambar pada citra. Unsur-unsur interpretasi antara lain rona atau warna, bentuk, pola ukuran, letak, dan asosiasi kenampakan objek (Purwadhi dan Sanjoto, 2008).

b. Interpretasi citra secara digital

Interpretasi citra secara digital dilakukan dengan bantuan komputer. Menurut Sutanto (1986), interpretasi citra secara digital pada dasarnya berupa klasifikasi piksel berdasarkan nilai spektralnya. Klasifikasi piksel dapat dilakukan berdasarkan berbagai cara statistik. Tiap kelas kelompok piksel tersebut kemudian dicari kaitannya dengan suatu objek atau gejala pada permukaan bumi.

3. Indeks Vegetasi

Pengkajian tentang kerapatan mangrove dengan menggunakan transformasi indeks vegetasi. Indeks vegetasi merupakan transformasi spektral oleh dua atau beberapa band yang didesain untuk meningkatkan kontribusi dari vegetasi hasil aktivitas fotosintesis dan variasi dari struktur kanopi (Huete *et al.*, 2002). Salah satu indeks vegetasi yaitu metode *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). NDVI merupakan metode standar dalam membandingkan tingkat kehijauan vegetasi pada data citra satelit. NDVI dapat digunakan sebagai indikator biomassa, tingkat kehijauan (*greenness*) relatif, dan untuk menentukan status (kesehatan/kerapatan) vegetasi pada suatu wilayah, namun tidak berhubungan langsung dengan ketersediaan air tanah di wilayah tersebut (Hung, 2000; Lufilah *et al.*, 2017). NDVI menggunakan band merah dan infra merah dekat (*near infrared* (NIR)) untuk mengetahui indeks vegetasi dari satelit. Kedua band tersebut dipilih karena tumbuhan sangat kuat menyerap band merah yang dihasilkan oleh sensor, sedangkan band *near infrared* (NIR) mampu memantulkan gelombang elektromagnetik yang dihasilkan oleh vegetasi (Firmansyah, 2018).

Algoritma NDVI (Rouse *et al.*, 1973) sebagai berikut:

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)}$$

Keterangan:

NDVI = *Normalized Difference Vegetation Index*

NIR = Nilai reflektansi spektral pada band inframerah dekat

R = Nilai reflektansi spektral pada band merah

Hasil dari citra NDVI memiliki nilai antara -1 sampai dengan +1, nilai yang mendekati -1 menunjukkan area yang basah, nilai antara 0 menunjukkan tidak ada tumbuhan hijau, dan nilai yang mendekati +1 menunjukkan adanya tumbuhan hijau. Tingkat kerapatan mangrove dibagi menjadi 3 kelas yaitu kategori mangrove jarang, mangrove sedang, dan mangrove rapat (Dep.Hut, 2005). Hal ini dilakukan agar kerapatan dikelaskan dalam *range* nilai yang sama.

Tabel 3. Kriteria tingkat kerapatan mangrove NDVI (Dep.Hut, 2005)

Kategori Mangrove	Persentase tutupan	Nilai NDVI
Mangrove jarang	0 – 50 %	$0 \leq 0,33$
Mangrove sedang	51 – 69 %	$0,34 \leq 0,42$
Mangrove rapat	70 – 100 %	$0,43 \leq 1,00$

H. Pengaplikasian Teknologi Penginderaan Jauh untuk Estimasi Stok Karbon Biomassa Mangrove

Pengaplikasian penginderaan jauh untuk memetakan stok karbon biomassa pada hutan mangrove telah banyak dilakukan oleh penelitian-penelitian sebelumnya. Penelitian tersebut antara lain: Model Spasial Pendugaan Biomassa dan Karbon Mangrove di Indonesia (Rahadian, 2019). Pada penelitian tersebut telah memetakan distribusi spasial vegetasi mangrove Indonesia, membangun model spasial untuk menduga dan mengkuantifikasi simpanan biomassa dan karbon atas permukaan mangrove, dan menganalisis strategi pengelolaan ekosistem mangrove dalam upaya mitigasi perubahan iklim. Penelitian lainnya yaitu yang telah dilakukan oleh Fitrah (2019), dimana penelitiannya berjudul *Dinamika Perubahan Stok karbon biomassa Pada Ekosistem Mangrove Menggunakan Data Satelit dan Pengukuran Karbon Permukaan Di Pulau Bauluang*. Penelitian tentang korelasi stok karbon dengan karakteristik spektral citra Landsat juga telah dilakukan oleh Ulumuddin *et al.* (2005) dengan studi kasus Gunung Papandayan. Begitu juga yang dilakukan oleh Hastuti *et al.* (2017) yang melakukan penelitian yg berjudul *Carbon Stock Estimation of Mangrove Vegetation Using Remote Sensing in Perancak Estuary, Jembrana District, Bali*. Penelitian serupa juga dilakukan oleh Bindu *et al.* (2018) yang berjudul *Carbon stock assessment of mangrove using remote sensing and geographic information system*. Dan juga yang dilakukan oleh Pham *et al.* (2019) tentang *Remote Sensing Approaches for Monitoring Mangrove Species, Structure, and Biomass: Opportunities and Challenges*.