

# KARBON MANGROVE



**FIRMAN FARID MUHSONI**

---

---

# KARBON MANGROVE

---

---

---

Firman Farid Muhsoni

---

Penerbit:

**UTMPress**  
UNIVERSITAS TRINDUKOTO KARUNIA

**Sanksi Pelanggaran**

**Undang-Undang Nomor 19 Tahun 2002**  
**Tentang Hak Cipta**

*Pasal 72*

1. Barangsiapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam pasal 2 ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp.1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.5.000.000.000,00 (lima milyar rupiah).
2. Barangsiapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksudkan dalam ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

---

**KARBON MANGROVE**

**Penulis:**  
**Firman Farid Muhsoni**

---

Cetakan Pertama, November 2021

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak isi buku ini, baik sebagian  
Maupun seluruhnya, dalam bentuk apapun  
Tanpa izin tertulis dari Penerbit.

Diterbitkan oleh UTM PRESS  
Jl.Raya Telang, PO Box 2 Kamal, Bangkalan-Madura  
Telp.(031) 3011146, Fax.(031) 3011506

---

ISBN 978-602-6378-98-9



## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur pada Tuhan Yang Maha Esa atas Rahmat dan HidayahNya karena Buku “KARBON MANGROVE” dapat diselesaikan. Buku ini merupakan hasil dari penelitian Disertasi Doktor tahun 2018 dilanjutkan dengan Penelitian Mandiri Group Riset UTM tahun 2020 dan disempurnakan Penelitian Mandiri Group Riset UTM tahun 2021. Atas terselesainya buku ini penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah mendukung. Semoga dokumen ini bermanfaat dalam upaya konservasi ekosistem mangrove. Buku ini ditulis berdasarkan hasil penelitian berisikan : kondisi mangrove, morfologi dan klasifikasi mangrove, karbon mangrove, biomassa mangrove, faktor lingkungan pada ekosistem mangrove, konsep dasar penginderaan jauh mangrove, metode estimasi karbon mangrove, biomassa mangrove muara dan laut, hasil perhitungan stok karbon mangrove, pemodelan estimasi stok karbon mangrove, pemantauan keraparan dan tutupan mangrove.

Sangat disadari bahwa buku ini masih banyak kekurangannya karena keterbatasan yang dimiliki penulis, walaupun telah dikerahkan segala kemampuan untuk lebih teliti, oleh karena itu penulis mengharapkan saran yang membangun agar buku ini bermanfaat.

Bangkalan , 1 November 2021

Penulis

Dr. Firman Farid Muhsoni, S.Pi., M.Sc



## **DAFTAR ISI**

<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xi</b>
<b>I. KONDISI MANGROVE .....</b>	<b>1</b>
<b>II. MORFOLOGI DAN KLASIFIKASI MANGROVE .....</b>	<b>5</b>
2.1. Biomassa .....	9
<b>III. KARBON .....</b>	<b>11</b>
3.1. Siklus Karbon Dalam Tumbuhan.....	13
3.2. Mangrove Sebagai Stok Karbon.....	15
<b>IV. BIOMASSA MANGROVE .....</b>	<b>18</b>
<b>V. FAKTOR LINGKUNGAN PADA EKOSISTEM MANGROVE .....</b>	<b>25</b>
5.1. Salinitas .....	25
5.2. Pasang Surut .....	27
5.3. Air tanah .....	27
5.4. Gelombang .....	29
5.5. Sedimen.....	30
5.6. Kimia dan Biologi .....	32
<b>VI. KONSEP DASAR PENGINDERAAN JAUH .....</b>	<b>34</b>
6.1. Konsep Penginderaan jauh dalam Pemetaan Vegetasi.....	36
6.2. Indeks Vegetasi .....	38
6.3. Penginderaan Jauh Satelit Sentinel-2 .....	42
6.4. Penginderaan Jauh Satelit Landsat.....	45
6.5. Pemanfaatan Penginderaan Jauh untuk Pemetaan Mangrove...	49
6.6. Teknologi Penginderaan Jauh Dalam Pendugaan Stok Karbon Mangrove .....	51

<b>VII. METODE ESTIMASI KARBON MANGROVE .....</b>	<b>53</b>
7.1. Tahap I : Analisis citra satelit Sentinel-2 dan Landsat dengan menggunakan metode indeks vegetasi dan masking wilayah mangrove .....	53
7.1.1. Koreksi radiometrik .....	53
7.1.2. Koreksi geometri.....	54
7.1.3. Transformasi Indeks Vegetasi.....	54
7.1.4. Masking wilayah mangrove.....	56
7.1.5. Penentuan lokasi sampel.....	57
7.2. Tahap II : Pengukuran lapang untuk perhitungan biomassa dan karbon mangrove .....	59
7.2.1. Identifikasi mangrove, dbh, kerapatan, frekuensi, INP, dominasi .....	60
7.2.2. Estimasi biomassa dan karbon mangrove pada permukaan dan biomassa bawah permukaan mangrove di lapang .....	61
7.3. Tahap III : Pemodelan <i>hybrid</i> estimasi karbon menggunakan citra Sentinel-2 dan Landsat .....	68
7.3.1. Pemetaan kerapatan lindak tanah, % C tanah dan kedalaman sedimen dengan metode interpolation pengukuran data lapang (data kerapatan lindak, % C tanah, pengukuran kedalaman).....	68
7.3.2. Pemodelan stok karbon mangrove.....	69
7.3.3. Uji akurasi model dengan RMSE. ....	70
7.4. Tahap IV : Evaluasi Perubahan stok karbon mangrove dan konversi ke CO <sub>2</sub> secara temporal tahun 1994, 2002, 2017. ....	70
<b>VIII. BIOMASSA MANGROVE MUARA DAN LAUT .....</b>	<b>72</b>
<b>IX. HASIL PERHITUNGAN STOK KARBON MANGROVE.....</b>	<b>75</b>
9.1. Hasil Perhitungan C Organik Tanah, Kedalaman Tanah, Kerapatan Lindak dan Ruang Pori untuk Mangrove Muara, Mangrove Laut dan Mangrove Campuran (muara-laut) .....	75

9.2. Hasil Perhitungan Stok Karbon Tanah Mangrove Muara, Laut, dan Mangrove Campuran (Muara-Laut) .....	77
9.3. Hasil Perhitungan Stok Karbon Tanah Mangrove Berdasarkan Jarak .....	78
9.4. Hasil Perhitungan Stok Karbon Mangrove Total .....	80
9.5. Hasil Perhitungan stok karbon mangrove muara dan laut berdasarkan jarak dari pantai .....	85
9.6. Hasil Perhitungan Biomassa dan Karbon pada setiap spesies Mangrove .....	86
<b>X. PEMODELAN ESTIMASI STOK KARBON MANGROVE .....</b>	<b>89</b>
10.1. Model Stok Karbon Mangrove menggunakan Citra Sentinel 2 ...	90
10.2. Model Stok Karbon Mangrove menggunakan Citra LDCM .....	100
10.3. Perbandingan Estimasi Karbon Mangrove Citra Sentinel-2 dengan Citra LDCM (dalam satuan ton ha <sup>-1</sup> ) .....	111
<b>XI. PEMANTAUAN KERAPAN DAN TUUTPAN MANGROVE .....</b>	<b>120</b>
11.1. Tahapan Penentuan Stsiun Tentatif .....	120
11.2. Pelaksanaan Kegiatan Pemantauan. ....	121
11.3. Pengukuran Data Stuktur Komunitas Mangrove .....	123
11.4. Penghitungan persentase tutupan kanopi mangrove .....	124
11.5. Identifikasi mangrove, dbh, kerapatan, frekuensi, INP, dominasi .....	126
11.6. Status Kondisi Mangrove. ....	127
10.7. Hasil dan Pembahasan .....	127
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>131</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>159</b>





## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Dua Kelompok Utama dari Biomassa (Basu, 2010).....	10
Tabel 2. Persamaan alometrik untuk menghitung biomassa pohon bakau pada biomassa di atas tanah .....	20
Tabel 3. Persamaan alometrik untuk menghitung biomassa pohon bakau pada biomassa dibawah tanah .....	22
Tabel 4. Persamaan alometrik untuk menghitung biomassa pohon bakau pada biomassa Total.....	23
Tabel 5. Berat jenis ( $\rho$ ) dari 15 jenis mangrove .....	23
Tabel 6. Toleransi mangrove untuk salinitas dan frekuensi relatif mereka dengan zonasi pasang surut (Robertson & Along, 1992; Daniel M. Alongi, 2009) .....	26
Tabel 7. Daftar vegetasi indeks hyperspectral (Roberts <i>et al.</i> , 2012) ....	38
Tabel 8. Resolusi spektral dan spasial pada citra Sentinel-2 (Richter <i>et al.</i> , 2011) .....	44
Tabel 9. Informasi status operasional seri Landsat .....	46
Tabel 10. Spesifikasi sensor dan julat spektral Landsat 1-LDCM.....	47
Tabel 11. Persamaan Indeks vegetasi yang dipergunakan pada penelitian. ....	54
Tabel 12. Persamaan Alometrik untuk pendugaan biomassa pohon mangrove .....	62
Tabel 13. Nisbah akar pucuk pada berbagai tipe hutan tropis.....	65
Tabel 14. Berat jenis kayu untuk jenis mangrove .....	66
Tabel 15. Biomassa pada vegerasi mangrove muara, laut dan campuran .....	73
Tabel 16. Hasil perhitungan lapang % C organik, kedalaman lumpur, kerapatan lindak, ruang pori pada mangrove muara, mangrove laut dan mangrove muara-laut.....	76
Tabel 17. Hasil perhitungan stok karbon tanah untuk mangrove muara, mangrove laut dan mangrove muara-laut.....	77
Tabel 18. Stok Karbon mangrove pada jenis mangrove muara, laut dan campuran.....	81

Tabel 19. Pemodelan total karbon mangrove dengan input : indeks vegetasi, kedalaman sedimen, kerapatan lindak dan % C organik tanah. ....	90
Tabel 20. Pemodelan total karbon mangrove dengan input : indeks vegetasi, rata-rata kedalaman sedimen (100,63 cm), kerapatan lindak (1,02 g cm <sup>-3</sup> ) dan % C organik tanah kedalaman 0-15 cm (0,0341), % C organik tanah kedalaman 15-50 cm (0,0303), % C organik tanah kedalaman >50 cm (0,0228). ....	92
Tabel 21. Pemodelan total karbon mangrove Citra LDCM dengan input : indeks vegetasi, kedalaman sedimen, kerapatan lindak dan % C organik tanah.....	101
Tabel 22. Pemodelan total karbon mangrove dengan citra LDCM dengan input : indeks vegetasi, rata-rata kedalaman sedimen (100,63 cm), kerapatan lindak (1,02 g cm <sup>-3</sup> ) dan % C organik tanah kedalaman 0-15 cm (0,0341), % C organik tanah kedalaman 15-50 cm (0,0303), % C organik tanah kedalaman >50 cm (0,0228). ....	103
Tabel 23. Perbandingan pemodelan citra Sentinel-2 dan Citra LDCM pada model 1.....	114
Tabel 24. Perbandingan pemodelan citra Sentinel-2 dan Citra LDCM pada model 2.....	115
Tabel 25. Perbandingan pemodelan citra Sentinel-2 dan Citra LDCM pada model 3.....	116
Tabel 26. Perbandingan pemodelan citra Sentinel-2 dan Citra LDCM pada model 4.....	118
Tabel 27. Standar baku kerusakan mangrove berdasarkan Kepmen LH No 201 tahun 2004.....	127
Tabel 28. Jenis mangrove ditemukan di lokasi monitoring Tajungan...	127
Tabel 29. Prosentaseutupan mangrove, kerapatan mangrove dan INP di .....	128

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Sumber karbon ekosistem (di atas tanah dan di bawah tanah) untuk beberapa jenis tutupan lahan utama dunia (Kauffman & Donato, 2012; Donato et al., 2011).....	2
Gambar 2. Contoh zonasi mangrove di Cilacap, Jawa Tengah (Dsikowitzky et al., 2011; Hinrichs et al, 2009; Noor et al., 1999).....	7
Gambar 3. Perbandingan luas mangrove yang tersisa di Indonesia (1986-1990) (Noor et al., 1999).....	8
Gambar 4. Diagram siklus karbon menunjukkan pergerakan karbon antara tanah, atmosfer, dan lautan. Warna kuning fluks alami, dan merah adalah kontribusi manusia (dalam gigaton C tahun <sup>-1</sup> ). Warna putih mengindikasikan disimpan karbon. (Diagram diadaptasi dari AS DOE, Biologi dan Sistem Informasi Penelitian Lingkungan)(Riebeek, 2011)...	12
Gambar 5. Perubahan dan penggunaan lahan efek global tanaman dan tanah biogeokimia C dan N sebagai masukan. Menunjukkan bagaimana perubahan iklim, CO <sub>2</sub> tinggi, deposisi N, ozon atmosfer dan penggunaan lahan dapat memiliki efek langsung dan tidak langsung pada komposisi dan fungsi produsen utama berupa tanaman, aktivitas biologis tanah dan masukan gas rumah kaca ke atmosfer (Ostle et al., 2009) .....	13
Gambar 6. Biomassa tumbuh dengan menyerap energi matahari, karbon dioksida, dan air melalui fotosintesis (Basu, 2010).....	15
Gambar 7. Simpanan karbon di kawasan mangrove Indo-Pasifik, a) Mangrove muara pada delta aluvial. b) Mangrove laut pada pesisir pulau. (Donato et al., 2012) .....	16
Gambar 8. Skema alokasi karbon yang berasal dari fotosintesis dalam pohon bakau Serasah (Alongi, 2009).....	16
Gambar 9. Keseimbangan karbon pada mangrove <i>Rhizophora apiculata</i> selama 22 tahun di Matang Mangrove Forest Reserve, Malaysia (Clough et al., 1997; Alongi, 2009).....	17
Gambar 10. Komponen ekosistem mangrove untuk kuantifikasi biomassa mangrove dan stok karbon (Kauffman & Donato, 2012).....	19
Gambar 11. Aliran air tanah melalui mangrove selama genangan pasang surut, melalui aliran langsung disebabkan oleh infiltrasi dan melalui liang pembilasan (Susilo et al., 2005).....	28

Gambar 12. Nilai relatif dari air tanah dibandingkan ekspor pasang surut dan arus masuk laut di Mida Creek, Kenya (Alongi, 2009) .....	29
Gambar 13. Model yang menunjukkan keberadaan mangrove dapat meredam gelombang tergantung dari jenis. (jenis <i>Kandelia</i> dan <i>Sonneratia</i> (Alongi, 2009) .....	30
Gambar 14. Diagram efek sirkulasi baroklinik, memompa pasang surut, pencampuran, dan flokulasi di zona kekeruhan maksimum dari muara model bakau (Kitheka et al., 2003).....	32
Gambar 15. Konsekuensi dari struktur fisik dan fungsi proses kimia dan biologi ekosistem bakau (Wolanski et al., 1992; Alongi, 2009) .....	33
Gambar 16. Ilustrasi pengumpulan data penginderaan jauh untuk aplikasi pengguna (Thenkabail, 2015).....	35
Gambar 17. Spektrum elektromagnetik band-band/saluran pada satelit penginderaan jauh (Toth & Józków, 2016).....	36
Gambar 18. Interaksi radiasi daun pada tingkat mikroskopis dengan panjang gelombang tertentu. Ketebalan panah sebanding dengan besarnya fluks radiasi (Silva et al., 2008).....	37
Gambar 19. Satelit Sentinel-2 (Drusch et al., 2012) .....	43
Gambar 20. Resolusi Spektral Band dan Resolusi Spasial Sentinel-2 (Gatti et al., 2016) .....	44
Gambar 21. Band spektral dibandingkan resolusi spasial untuk Sentinel-2 MSI, SPOT-6/7 dan LDCM OLI instrumen. Luas area cover 290 km (MSI), 185 km (LDCM), dan 60 km (SPOT)(Drusch et al., 2012) .....	45
Gambar 22. Generasi satelit landsat 1-8 (LDCM) ( <a href="https://landsat.gsfc.nasa.gov/a-landsat-timeline/">https://landsat.gsfc.nasa.gov/a-landsat-timeline/</a> ).....	49
Gambar 23. Karakteristik spektral dan parameter yang mempengaruhi jenis mangrove <i>Avicennia marina</i> dan <i>Rhizophora</i> konjugat yang diukur dengan spektrometer lapangan di Ca Mau Province, Vietnam, Januari 2010. (Kuenzer et al., 2011) .....	51
Gambar 24. Desain pengambilan sampel lapangan di transek untuk memperkirakan karbon di atas dan di bawah tanah yang dimodifikasi (Murdiyarto et al., 2009; Kauffman & Donato, 2012; Hairiah, et al., 2001) .....	58
Gambar 25. Titik sampel di Desa Manjungan Kecamatan Pademawu Kabupaten Pamekasan.....	59
Gambar 26. Contoh bentuk plot persegi.....	60

Gambar 27. Pengukuran diameter setinggi dada pada berbagai kondisi pohon (SNI 7724:2011) (Hairiah <i>et al.</i> , 2001).....	62
Gambar 28. Tingkat keutuhan pohon mati( Kauffman & Donato, 2012) 64	
Gambar 29. Grafik biomassa mangrove permukaan, tanaman bawah dan bawah permukaan untuk mangrove muara, laut dan campuran.....	74
Gambar 30. Karbon tanah untuk mangrove muara, mangrove laut dan mangrove muara-laut.....	78
Gambar 31. a) Kerapatan lindak ( $\text{g cm}^{-3}$ ) berdasarkan jarak mangrove; b) Ruang Pori tanah (%) berdasarkan jarak mangrove; c) Kedalaman sedimen berdasarkan jarak mangrove; d) Stok karbon tanah berdasarkan kedalaman tanah dan jarak mangrove. ....	80
Gambar 32. Grafik Karbon mangrove pada jenis mangrove muara, laut dan campuran.....	83
Gambar 33. Diagram prosentase stok karbon pada (a) Mangrove muara, (b) Mangrove Laut dan (c) magrove muara-laut. ....	84
Gambar 34. Grafik Karbon mangrove pada setiap jarak .....	85
Gambar 35. Grafik Karbon mangrove pada setiap jarak berdasarkan mangrove muara dan mangrove laut. ....	86
Gambar 36. Grafik stok biomassa pada setiap spesies mangrove di lokasi penelitian .....	87
Gambar 37. Grafik stok karbon pada setiap spesies mangrove di lokasi penelitian .....	87
Gambar 38. Prosentase stok karbon mangrove pada setiap spesies mangrove di lokasi penelitian.....	88
Gambar 39. Peta karbon mangrove hasil Model 1-1 .....	95
Gambar 40. Peta karbon mangrove hasil Model 1-2 .....	96
Gambar 41. Peta karbon mangrove hasil Model 2 .....	97
Gambar 42. Peta karbon mangrove hasil Model 3 .....	98
Gambar 43. Peta karbon mangrove hasil Model 4 .....	99
Gambar 44. Peta stok karbon mangrove hasil Model 1 citra LDCM ....	107
Gambar 45. Peta karbon mangrove hasil Model 2 citra LDCM.....	108
Gambar 46. Peta karbon mangrove hasil Model 3 citra LDCM.....	109
Gambar 47. Peta karbon mangrove hasil Model 4 citra LDCM.....	110

Gambar 48. Perbandingan Peta dan grafik estimasi karbon mangrove hasil model 1 pada citra Sentinel-2 dan LDCM .....	113
Gambar 49. Perbandingan Peta dan grafik estimasi karbon mangrove hasil model 2 pada citra Sentinel-2 dan LDCM .....	115
Gambar 50. Perbandingan Peta dan grafik estimasi karbon mangrove hasil model 3 pada citra Sentinel-2 dan LDCM .....	117
Gambar 51. Perbandingan Peta dan grafik estimasi karbon mangrove hasil model 4 pada citra Sentinel-2 dan LDCM .....	119
Gambar 52. Contoh penentuan stasiun tentative di wilayah selatan Pulau Madura .....	121
Gambar 53. Penentuan plot permanen (kotak kuning dan biru) untuk pemantauan komunitas mangrove. Keterangan : a) mangrove dengan tiga stratifi kasi/zona yang berbeda; b) vegetasi mangrove dengan stratifi kasi dan atau tanpa stratifi kasi yang jelas; dan c) vegetasi mangrove dengan ketebalan 50-100 meter (Wayan et al., 2014). .....	122
Gambar 54. (A) Penentuan lingkaran batang mangrove setinggi dada. (B) Penentuan lingkaran batang mangrove pada berbagai jenis batang mangrove.....	123
Gambar 55. Pencatatan data lapangan pada kertas tahan air. ....	124
Gambar 56. Posisi pengambilan foto pada kanopi yang berbeda (I. W. E. Dharmawan & Pramudji, 2017) .....	125
Gambar 57. (a) Ilustrasi metode hemispherical photography untuk mengukur tutupan mangrove(b) hasil pemotretan dengan lensa fisheye secara vertikal (Wayan et al., 2014) .....	126

## **I. KONDISI MANGROVE**

Akhir-akhir ini pemanasan global menjadi isu yang mendunia. Pemanasan global mengakibatkan terjadi perubahan iklim. Perubahan iklim ini disebabkan karena terjadi peningkatan gas di atmosfer atau yang sering disebut gas rumah kaca. Gas rumah kaca ini akibat akumulasi karbon di atmosfer karena pembakaran bahan bakar fosil (kendaraan bermotor dan industri) (Griggs, 2002; IPCC, 2001; Komiyama, *et al.*, 2008). Tahun 2016 emisi gas rumah kaca mencapai sekitar 52 Gt CO<sub>2</sub>e tahun<sup>-1</sup> emisi gas rumah kaca ini kurang lebih dua kali lipat sejak tahun 1970 dan meningkat secara signifikan tahun 2000. Emisi ini sebagian besar dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil, semen dan lainnya (mencapai 70%). Hal ini mengakibatkan peningkatan suhu, peningkatan suhu 1,5<sup>0</sup>-2<sup>0</sup> C menyebabkan pemanasan global (UNEP, 2017). Indonesia sebagai negara penghasil emisi ke 12 tahun 2015 dengan emisi sebesar 502,96 Mt atau 1,39 % dari total emisi di dunia (EDGAR, 2015)

Perubahan iklim global ini menyebabkan terganggunya keseimbangan energi antara bumi dan atmosfer, yang dipengaruhi gas asam arang atau karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>) dan nitrous oksida (N<sub>2</sub>O) disebut gas rumah kaca (Hairiah & Rahayu, 2007). Disahkannya Undang Undang no 6 tahun 1994 tentang pengesahan konvensi kerangka kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa mengenai perubahan iklim (*United Nations Framework Convention on Climate Change*) menjadikan Indonesia harus berperan aktif dengan negara internasional lainnya untuk mencegah peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer. Hal ini disebabkan karena Indonesia mempunyai hutan tropis terbesar kedua di dunia dan merupakan negara kepulauan yang memiliki laut terluas yang mempunyai fungsi penyerap karbon dioksida.

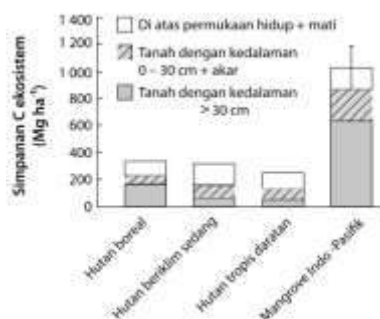
Penebangan hutan mengakibatkan berkurangnya vegetasi hutan yang salah satu fungsinya untuk penyerapan CO<sub>2</sub>. Hutan di Indonesia mempunyai potensi menyerap emisi gas sampai 48%. Pengelolaan hutan sangat penting untuk penyerap karbon (Wibowo, 2010). Mangrove merupakan salah satu ekosistem hutan yang mampu mengurangi terjadinya efek rumah kaca yang menyebabkan perubahan iklim (Komiyama, *et al.*, 2008).

Informasi dan data tentang mangrove yang berfungsi sebagai penyerap karbon masih relatif minim (Klinkhamer, 1995). Hasil beberapa penelitian menjelaskan bahwa kemampuan ekosistem mangrove dalam



**Karbon Mangrove**  
**Firman Farid Muhsoni**

menyimpan karbon yang tertinggi dibandingkan dengan hutan tropis, hutan subtropis dan hutan boreal (kawasan hutan yang bersebelahan dengan padang lumut sepanjang garis pepohonan kutub utara) seperti pada Gambar 1. Sebagian besar karbon yang tersimpan di bawah tanah yang kaya organik (Kauffman & Donato, 2012; Donato *et al.*, 2012; Page *et al.*, 2011; Hooijer *et al.*, 2010).



**Gambar 1. Sumber karbon ekosistem (di atas tanah dan di bawah tanah) untuk beberapa jenis tutupan lahan utama dunia (Kauffman & Donato, 2012; Donato *et al.*, 2011).**

Mangrove juga mempunyai fungsi menyediakan bahan makanan bagi kehidupan manusia terutama ikan, udang dan kepiting serta sumber energi bagi kehidupan di pantai (Noor *et al.*, 1999; Bismark *et al.*, 2008; Kauffman & Donato, 2012). Mangrove merupakan jembatan antara lautan dengan daratan. Mangrove sebagai habitat beraneka ragam biota perairan, tempat asuhan dan pembesaran, pemijahan dan pengatur iklim mikro (Brown, 1997). Selain itu fungsi mangrove sebagai sedimen trap, menjadikan wilayah ini kandungan karbon tanah yang tersimpan sangat besar dibandingkan karbon vegetasinya.

Mangrove hanya menempati 2% wilayah pesisir di dunia dengan fungsi sekitar 5% dari produksi primer, 12% dari ekosistem untuk respirasi dan sekitar 30% untuk penyerapan karbon. Luas Mangrove hanya 0,7% dari luas hutan tropis, tetapi kehancuran atau kerusakan mangrove akan menyuplai 10% CO<sub>2</sub> dari penggundulan mangrove tersebut (Alongi & Mukhopadhyay, 2015). Tanah mangrove dengan kandungan organik tinggi memiliki kedalaman antara 0,5 - 3 m dan memiliki stok karbon sebesar 49–98% (Donato *et al.*, 2012).

Luas mangrove di seluruh dunia beragam hasil penelitian Valiela *et al.* (2001) mendapatkan luas 16,6 juta ha. Sedangkan Giri *et al.* (2011) mendapatkan luas mangrove tahun 2000 seluas 13,77 juta ha, yang terdapat di 118 negara tropis dan subtropis. Kauffman & Donato (2012)

dan Giri *et al.* (2011) mendapatkan luas mangrove untuk kawasan Asia mencapai 6,8 juta ha atau 34-42%, Afrika mencapai 20%, Amerika Utara dan Tengah mencapai 15%, Oceania mencapai 12%, Amerika Selatan mencapai 11% dan Australia mencapai 7%.

Lima puluh tahun terakhir sepertiga mangrove di dunia hilang, namun sebagian besar data yang ada menunjukkan nilai yang berbeda. Rusaknya mangrove berhubungan dengan kepadatan populasi manusia. Alasan utama untuk pembangunan perkotaan, budidaya, pertambangan dan eksploitasi kayu. Kedepan masalah penebangan, budidaya dan eksploitasi yang berlebihan akan berakibat pada perubahan hidrologi, populasi dan pemanasan global (Alongi, 2002; Bouillon, 2011). Lebih dari 50% mangrove dunia hancur, dalam dua dekade terakhir 35% kerusakan akibat budidaya dan pengembangan pesisir (Feller *et al.*, 2010). Jenis mangrove (sebanyak 70 jenis ) atau 16% berada pada ancaman kepunahan (Polidoro *et al.*, 2010). Noor *et al.* (1999) menjelaskan mangrove di Indonesia tahun 1986-1990 mengalami penurunan sampai 40% dari 4.131.000 ha menjadi 2.490.000 ha.

Tiga puluh tahun terakhir mangrove di Indonesia hilang hampir 800.000 ha (Ilman *et al.*, 2016). Luas mangrove di Pulau Jawa mengalami penurunan yang signifikan dari tahun 1985-1997 dari 170.500 ha menjadi 19.077 ha, hal ini terjadi karena perubahan mangrove secara besar besaran menjadi lahan tambak. Perubahan mangrove menjadi lahan tambak di Jawa paling besar di Jawa Timur (Setyawan *et al.*, 2003). Hutan mangrove mempunyai stok karbon rata-rata lebih tinggi dibandingkan hutan lain (Hutan lahan kering, hutan gambut dan hutan tanaman). Stok karbon hutan mangrove primer nasional rata-rata sebesar 188,3 ton ha<sup>-1</sup> dan hutan mangrove sekunder 94,07 ton ha<sup>-1</sup>. (Rochmayanto *et al.*, 2014)

Mangrove sangat potensial menyimpan stok karbon dalam mengurangi emisi CO<sub>2</sub>. Diperlukan data yang valid dengan metode yang tepat, sehingga didapatkan informasi stok karbon mangrove yang akurat. Informasi ini penting untuk majemen pengelolaan hutan mangrove ke depan. Penelitian ini mencoba mengembangkan model hybrid dalam melakukan estimasi stok karbon mangrove dengan memanfaatkan citra penginderaan jauh. Data citra yang dipergunakan dalam penelitian ini merupakan data citra yang mudah diakses, yaitu : citra Sentinel-2 dan Landsat (Landsat 5, Landsat 7 dan LDCM). Model yang dipergunakan adalah model *hybrid* dengan mengkombinasikan antara data citra satelit dengan data lapang (kedalaman tanah/sedimen, kerapatan lindak, dan karbon tanah). Model

***Karbon Mangrove***  
***Firman Farid Muhsoni***

---

ini yang nantinya dipergunakan untuk melihat perubahan stok karbon mangrove selama 10 tahun terakhir.

.

## II. MORFOLOGI DAN KLASIFIKASI MANGROVE

Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 201 Tahun 2004 Tentang Kriteria Baku dan Pedoman Penentuan Kerusakan Mangrove menjelaskan “Mangrove adalah kumpulan tanaman *Dicotyledoneae* dan atau *Monocotyledoneae* terdiri dari jenis tumbuhan mempunyai taksonomi sampai dengan taksa kelas (*unrelated families*) tetapi mempunyai persamaan adaptasi morfologi dan fisiologi terhadap habitat yang dipengaruhi oleh pasang surut”.

Istilah mangrove disebut juga bakau dapat diperuntukkan untuk komunitas pohon atau semak yang tumbuh di pesisir laut, atau diterapkan pada salah satu jenis spesies vegetasi tersebut (Macnae, 1969; Noor *et al.*, 1999). Mangrove merupakan tanaman intertidal yang ditemukan di sepanjang garis pantai tropis dan non tropis (P. B. Tomlinson, 1986). Tanaman ini tergenang oleh pasang surut di daerah payau. Mereka memiliki adaptasi fisiologi terhadap kadar garam (Lewis, 2005; Kauffman & Donato, 2012; Dittmar *et al.*, 2006). Mangrove juga disebut dengan mangal, merupakan ekosistem yang penting karena banyak terdapat habitat hewan laut dan darat.

Mangrove juga diklasifikasikan sebagai *halophytes*. *Halophytes* adalah tanaman yang siklus hidupnya di lingkungan yang memiliki kandungan garam yang tinggi dan berlawanan dengan *glycophytes*. Mangrove diklasifikasikan sebagai *halophytes* karena pohon dan semak-semak yang tumbuh terutama di habitat bersalinitas. Definisi ini dalam dua aspek, yaitu sifat garam yang terlibat dan konsentrasi (Field, 1984; Lugo & Snedaker, 1974). Beberapa jenis beradaptasi dengan berkecambah waktu di pohon induknya atau sering disebut vivipar, seperti : *Rhizophora*, *Bruguiera*, *Kandelia*, dan *Ceriops* (Noor *et al.*, 1999).

Mangrove juga hidup di lingkungan berlumpur, hal ini menjelaskan mengapa sedikit perhatian publik dan ilmiah dibandingkan terumbu karang yang berwarna warni (Dittmar *et al.*, 2006). Jenis mangrove memiliki sejumlah adaptasi yang unik untuk memudahkan hidup dalam lingkungan pesisir, termasuk akar nafas dan *pneumatophores* untuk memungkinkan pertukaran gas untuk jaringan akar. Gangguan tutupan kanopi pada mangrove beberapa spesies merespon dengan mengisi ruang tumbuh yang tersedia (Kauffman & Cole, 2010; Kauffman & Donato, 2012). Mangrove berada pada kondisi salinitas tinggi, pasang ekstrim, angin

kencang, suhu tinggi dan berlumpur, tanah anaerob. Mungkin tidak ada kelompok lain dari tanaman dengan adaptasi yang sangat maju morfologi, biologis, ekologi dan fisiologis seperti mangrove (Kathiresan & Bingham, 2001).

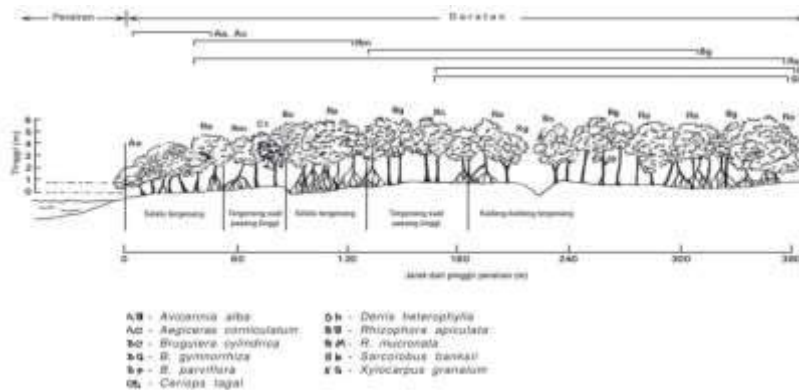
Pada lingkungan mangrove juga terjadi siklus transportasi. Siklus transportasi materi di mangrove didorong oleh faktor fisik dan faktor biologis mangrove yang mengontrol laju impor dan ekspor anorganik dan senyawa organik. Faktor fisik meliputi pasang surut, limpasan, dan curah hujan. Faktor biologis adalah aliran mineral dari guguran daun, dekomposisi, penyerapan mineral, dan aktifitas fauna (Lugo & Snedaker, 1974). Komponen perubahan iklim yang mempengaruhi mangrove adalah: perubahan permukaan air laut, pasang surut, badai, curah hujan, suhu, konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer, pola sirkulasi laut, kesehatan ekosistem, serta aktifitas manusia terhadap perubahan iklim. Kenaikan permukaan laut relatif menjadi ancaman terbesar mangrove (Gilman *et al*, 2008)

Mangrove sangat cocok untuk lahan basah. Mangrove sangat toleran, yang memungkinkan untuk tumbuh dalam kondisi lingkungan yang tanaman lain tidak akan bisa. Mangrove sangat produktif, mampu memproses nutrisi dan bahan kimia lainnya, memasok bahan organik sebagai masukan untuk jaring makanan. Mangrove mudah untuk melakukan transportasi dan tumbuh dari benih atau bibit dari alam. (Sánchez & Rodríguez, 2008). Mangrove memberikan manfaat ekologi termasuk menstabilkan garis pantai, mengurangi gelombang dan energi angin terhadap garis pantai, melindungi struktur pedalaman, mendukung perikanan pesisir untuk ikan dan kerang melalui dukungan makanan langsung dan tidak langsung, dukungan dari populasi satwa liar termasuk sejumlah spesies burung dan burung laut. Hutan bakau juga mendukung produksi kayu untuk bahan konstruksi dan pasokan beberapa bahan kimia khusus untuk industri, dan produk obat untuk penggunaan lokal (Lewis, 2005; Sánchez & Rodríguez, 2008) .

Mangrove sangat bervariasi dalam struktur dan fungsi, sebagian besar akibat perbedaan topografi, substrat, lintang dan hidrologi (Saenger & Snedaker, 1993). Secara global setidaknya ada 68 spesies bakau. Wilayah Indo-Pasifik tercatat terdapat 52 spesies tanaman (Kauffman & Donato, 2012). Mangrove memiliki zonasi, contoh zonasi mangrove seperti pada Gambar 2 zonasi mangrove di Cilacap. Secara umum zonasi mangrove terdiri dari : daerah terbuka, daerah tengah, daerah bersungai

berair payau sampai hampir tawar dan daratan yang berair tawar lainnya (Noor *et al.*, 1999), sebagai berikut :

1. Mangrove terbuka yang berhadapan dengan laut. Komposisi dari zona ini sangat tergantung dari pada substratnya. Jenis *Sonneratia alba* cenderung mendominasi daerah berpasir. Daerah berlumpur didominasi *Avicennia marina* dan *Rhizophora mucronata*. Jika tanah lumpurnya kaya bahan organik *Sonneratia* akan berasosiasi dengan *Avicennia* (Komiyama *et al.*, 2008; Lugo & Snedaker, 1974).
2. Zona tengah berada di belakang zona terbuka. Pada zona ini didominasi jenis *Rhizophora*.
3. Zona daerah berair payau sampai hampir tawar hingga hampir tawar. Daerah ini didominasi *Nypa* atau *Sonneratia*.
4. Mangrove daratan yang berair hampir tawar. Jenis yang sering ditemukan *Ficus microcarpus*, *Intsia bijuga*, *Nypa fruticans*, *Lumnitzera racemosa*,
5. *Pandanus sp.* dan *Xylocarpus moluccensis*. Zona ini jenisnya lebih banyak daripada zona lainnya.

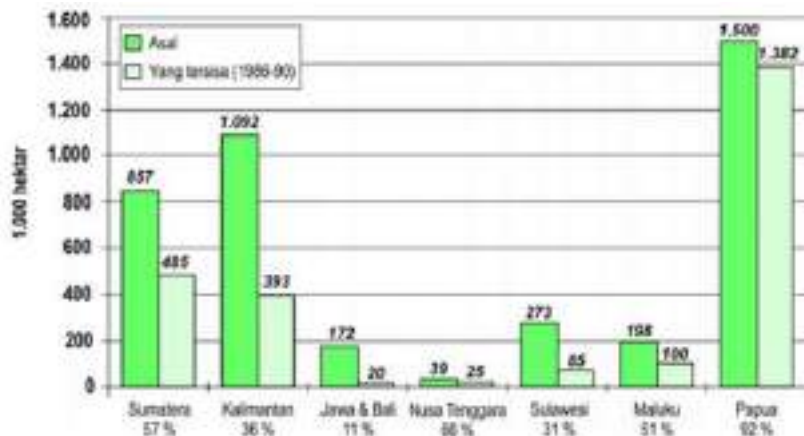


**Gambar 2. Contoh zonasi mangrove di Cilacap, Jawa Tengah (Dsikowitzky et al., 2011; Hinrichs et al, 2009; Noor et al., 1999)**

Jenis mangrove yang ditemukan di Indonesia ada 39 jenis : *Acanthus ebracteatus*, *Acanthus ilicifolius*, *Aegilites annulata*, *Aegiceras corniculatum*, *Aegiceras Floridum*, *Avicennia alba*, *Avicennia Eucalyptifolia*, *Avicennia marina*, *Avicennia Officialis*, *Bruguiera cylindrica*, *Bruguiera Exaristata*, *Bruguiera Gymnorrhiza*, *Bruguiera Hainesii*, *Bruguiera Parviflora*, *Bruguiera Sexangula*, *Camptosperma philippinensis*, *Camptosperma Schultzii*, *Ceriops decandra*, *Ceriops Tagal*, *Cynometra ramiflora*, *Excoecaria agallocha*, *Heritiera litoralis*, *Kandelia candel*, *Lumnitzera littorea*, *Lumnitzera Recemosa*, *Nypa*

fruticans, *Osbornia octodonta*, *Phoenix paludosa*, *Rhizophora apiculata*, *Rhizophora mucronata*, *Rhizophora stylosa*, *Scyphiphora hydrophyllacea*, *Sonneratia alba*, *Sonneratia caseolaris*, *Sonneratia ovata*, *Xylocarpus granatum*, *Xylocarpus mekongensis*, *Xylocarpus moluccensis* (Noor et al., 1999)

Mangrove sebesar 2,4% dari hutan tropis di dunia (Chmura et al. 2003). Secara global mangrove terbesar di Asia Tenggara yang mempunyai curah hujan tinggi dan tidak musiman (Macnae, 1969). Tahun 1980 kawasan mangrove di Asia Tenggara mencapai 6,8 juta ha (34-42% dari total mangrove dunia). Namun pada tahun 1990 turun menjadi di bawah 5,7 juta ha (mengalami penurunan sekitar 15 % atau >110.000 ha tahun<sup>-1</sup>). Antara tahun 1990-2000 mengalami penurunan 13,8%. Kawasan mangrove terbesar Asia Tenggara di Indonesia (60% dari total Asia Tenggara), Malaysia (11,7%), Myanmar (8,8%), Papua Nugini (8,7%) dan Thailand (5,0%)(Khairunnisa & Hasmadi, 2012). Sedangkan selama tahun 2000-2005 penurunan rata-rata mangrove 0,66% (Kuenzer et al, 2011).



**Gambar 3. Perbandingan luas mangrove yang tersisa di Indonesia (1986-1990) (Noor et al., 1999)**

Mangrove di Indonesia tahun 1986-1990 mengalami penurunan sampai 40% dari 4.131.000 ha menjadi 2.490.000 ha. Seperti pada Gambar 3, luas mangrove terluas di Indonesia tahun 1990 di Papua mencapai 1.382.000 ha (55%), Sumatera 485.000 ha (19%), Kalimantan 393.000 ha (15 %), Maluku 100.000 ha (4 %), Sulawesi 85.000 ha (3 %), Nusa Tenggara 25.000 ha (1 %) dan Jawa-Bali 20.000 ha (0,8 %) dan (Noor et al., 1999).

## 2.1. Biomassa

*Environmental Protection Agency* menjelaskan biomassa merupakan keseluruhan dari makhluk hidup, baik bahan organik hidup atau mati. Biomassa juga dijelaskan merupakan total berat kering dari seluruh makhluk hidup pada masing-masing tingkat rantai makanan. Sedangkan dalam *Intergovernmental Panel on Climate Change* dijelaskan biomassa merupakan berat atau volume organisme dalam area tertentu. Pengukuran biomassa hutan mencakup seluruh biomassa hidup dan mati diatas dan dibawah permukaan tanah, baik berupa pohon, semak, palem, anakan, tumbuhan bawah lain, tumbuhan mati seperti kayu dan serasah (Sutaryo, 2009).

Definisi yang digunakan oleh Konvensi Kerangka Kerja PBB tentang perubahan Iklim menjelaskan biomassa adalah bahan organik non fosil dan *biodegradable* yang berasal dari tumbuhan, hewan dan mikroorganisme. Juga meliputi produk, produk sampingan, residu dan limbah dari pertanian, kehutanan dan industri terkait serta organik non fosil dan *biodegradable* limbah industri dan kota. Biomassa terbentuk dari spesies seperti tanaman dan hewan, baik yang hidup atau mati. Tanaman memanfaatkan cahaya matahari melalui proses fotosintesis untuk metabolisme karbon dioksida atmosfer dan tumbuh. Hewan tumbuh dengan mengambil makanan dari biomassa. Setiap tahun, sejumlah besar biomassa tumbuh melalui fotosintesis dengan menyerap CO<sub>2</sub> dari atmosfer (Basu, 2010; Sutaryo, 2009; McKendry, 2002).

Biomassa terus menerus dibentuk oleh interaksi CO<sub>2</sub>, udara, air, tanah, dan sinar matahari dengan tumbuhan dan hewan. Setelah organisme mati, mikroorganisme memecah biomassa menjadi bagian-bagian penyusunnya seperti H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, dan energi potensialnya. Karena karbon dioksida, biomassa dilepas melalui aksi mikroorganisme atau pembakaran diserap oleh tanaman (Basu, 2010; McKendry, 2002). Sumber umum dari biomassa adalah (Basu, 2010):

- Pertanian: makanan biji-bijian, ampas tebu, batang jagung, jerami, sekam benih, kulit kacang, dan pupuk kandang dari ternak, unggas, dan babi
- Hutan: pohon, limbah kayu, kayu atau kulit kayu, serbuk gergaji, serasah kayu.
- Kota: limbah lumpur, limbah makanan, limbah kertas, dan halaman.



- Energi: bioetanol dari jagung dan kedelai, dan minyak tumbuhan lainnya
- Biologi: kotoran hewan, spesies air, limbah biologis

**Tabel 1. Dua Kelompok Utama dari Biomassa (Basu, 2010)**

---

Primer	biomassa terestrial	biomassa hutan
		Rumput
		tanaman energi
		tanaman yang dibudidayakan
	biomassa air	Alga
		Lumut
Limbah	Sampah kota	sampah kota
		Biosolids, limbah
		Gas TPA
	limbah padat pertanian	Ternak dan pupuk
		sisa tanaman pertanian
	residu kehutanan	Kulit kayu, daun, serasah
	limbah industri	kayu pembongkaran, serbuk gergaji
		limbah minyak atau lemak

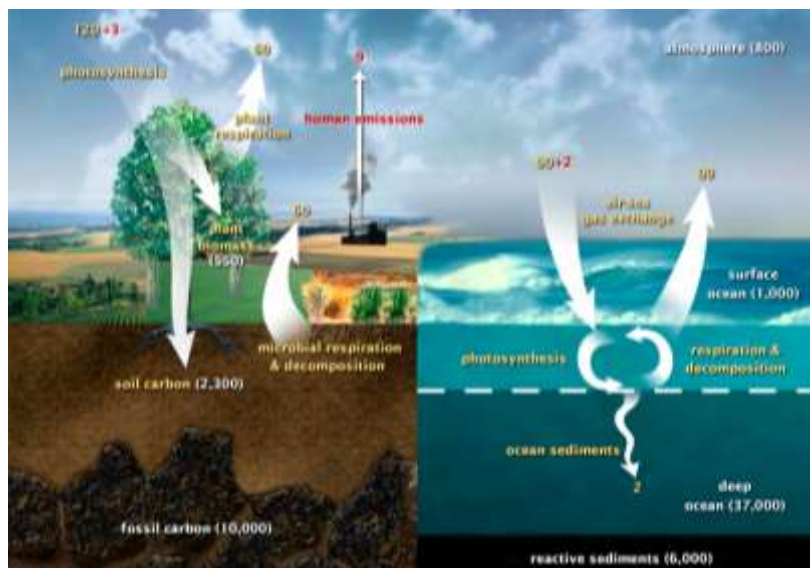
---

Basu (2010) menjelaskan secara umum biomassa dibagi menjadi dua, yaitu biomassa primer dan biomassa limbah (Tabel 2). Biomassa primer berasal langsung dari tanaman atau hewan. Biomassa limbah berasal dari produk yang diturunkan dari biomassa yang berbeda.

### **III. KARBON**

Isu perubahan iklim sangat berkaitan dengan keberadaan biomassa hutan. Biomassa sangat berperan dalam siklus karbon. Vegetasi hutan 50% -nya adalah disimpan dalam bentuk karbon. Penambahan jumlah karbon di atmosfer jika terjadi kerusakan atau kebakaran hutan. Perubahan karbon dijelaskan dalam siklus karbon. Siklus karbon merupakan siklus biogeokimia dimana terjadi perpindahan/pertukaran karbon. Siklus karbon merupakan proses yang rumit dan setiap proses saling mempengaruhi. Tanah, hutan, laut dan atmosfer menyimpan karbon yang berpindah secara dinamis sepanjang waktu. Tempat penyimpanan karbon tersebut diistilahkan kantong karbon aktif. Contohnya penggundulan hutan atau kebakaran hutan dapat mengubah kesetimbangan karbon, dimana akan meningkatkan karbon di atmosfer dan mengurangi stok karbon di hutan. Bahan bakar fosil merupakan simpanan karbon penting lainnya. Simpanan karbon fosil jika diambil dan dilepaskan ke atmosfer sebagai bahan bakar kendaraan bermotor, akan menambah keberadaan karbon di atmosfer (Sutaryo, 2009).

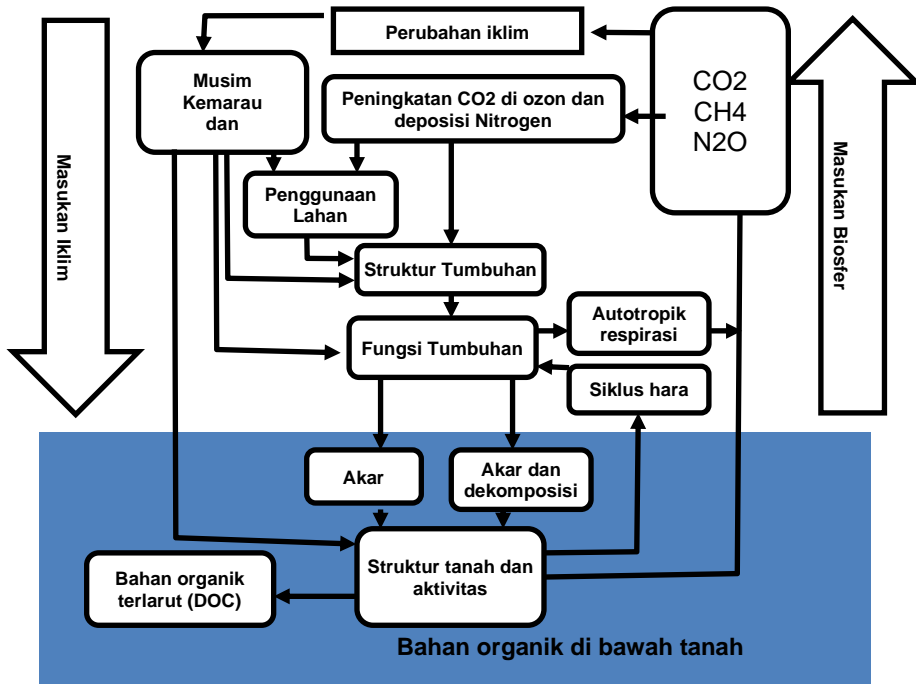
Tumbuhan di bumi menyebabkan konversi karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) di atmosfer dan lautan menjadi senyawa anorganik dan organik yang tak terhitung jumlahnya di darat dan air (Hairiah et al., 2001). Melalui proses fotosintesis dan hasilnya disimpan dalam jaringan tumbuhan, tumbuhan dapat mengurangi karbon di atmosfer ( $\text{CO}_2$ ). Karbon tersebut akan menempati kantong karbon dalam tumbuhan. Akar tumbuhan merupakan penyimpan karbon di bawah tanah. Lahan gambut jumlah karbon yang tersimpan lebih besar dari karbon di atas permukaan. Bahan organik mati dan produk biomassa seperti kayu juga merupakan tempat penyimpanan karbon (Sutaryo, 2009). Gangguan pada siklus karbon bisa memiliki pengaruh besar pada perubahan iklim di masa depan dan konsentrasi  $\text{CO}_2$  di atmosfer. Pengurangan konsentrasi karbon di atmosfer dari penyerapan karbon oleh tanaman, tanah dan laut (Gregory *et al*, 2009; Lin *et al.*, 2010). Lebih jelasnya siklus karbon dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4. Diagram siklus karbon menunjukkan pergerakan karbon antara tanah, atmosfer, dan lautan. Warna kuning fluks alami, dan merah adalah kontribusi manusia (dalam gigaton C tahun<sup>-1</sup>). Warna putih mengindikasikan disimpan karbon. (Diagram diadaptasi dari AS DOE, Biologi dan Sistem Informasi Penelitian Lingkungan)(Riebeek, 2011)**

Karbon yang tersimpan pada vegetasi atau biomassa lain dan di dalam tanah merupakan stok karbon. Mengurangi konsentrasi karbon di atmosfer dengan mengurangi pelepasan karbon ke udara. Jumlah CO<sub>2</sub> di udara dikendalikan dengan menekan pelepasan emisi dan menambah jumlah tanaman penyerap karbon. Sangat penting menjaga kelestarian hutan, menanam pohon, menjaga lahan gambut, menanam lahan pertanian dalam upaya mengurangi jumlah CO<sub>2</sub> di udara (Lugina *et al.*, 2011). Penyimpanan karbon tinggi di tanah merupakan fungsi langsung dari komunitas mikroba tanah (Lange *et al.*, 2015).

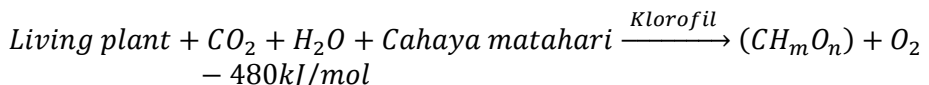
Interaksi antara tanaman dan tanah memainkan peran yang penting dalam karbon biogeokimia (C), nitrogen (N) dan siklus hidrologi. Dalam konteks perubahan lingkungan global penting dalam modulasi dampak perubahan iklim dan dalam mengatur umpan balik dari emisi gas rumah kaca (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> dan N<sub>2</sub>O) terhadap sistem iklim (Gambar 5) (Ostle *et al.*, 2009)



Gambar 5. Perubahan dan penggunaan lahan efek global tanaman dan tanah biogeokimia C dan N sebagai masukan. Menunjukkan bagaimana perubahan iklim, CO<sub>2</sub> tinggi, deposisi N, ozon atmosfer dan penggunaan lahan dapat memiliki efek langsung dan tidak langsung pada komposisi dan fungsi produsen utama berupa tanaman, aktivitas biologis tanah dan masukan gas rumah kaca ke atmosfer (Ostle et al., 2009)

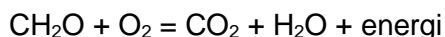
### 3.1. Siklus Karbon Dalam Tumbuhan

Biomassa botani terbentuk melalui konversi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) di atmosfer menjadi karbohidrat dengan energi matahari dan adanya klorofil dan air, proses tersebut disebut fotosintesis. Sinar matahari dengan panjang gelombang tertentu dan tanaman hijau dan air menggunakannya untuk mengubah CO<sub>2</sub> menjadi glukosa (diwakili oleh CH<sub>m</sub>O<sub>n</sub>), menghasilkan O<sub>2</sub> sebagai produk limbah. Proses ini mungkin dijelaskan dengan persamaan ini (Basu, 2010; Hairiah & Rahayu, 2007) :



Setiap mol CO<sub>2</sub> diserap ke dalam karbohidrat atau glukosa dalam biomassa, 1 mol oksigen dilepaskan. Oksigen ini berasal dari air dengan tanaman mengambil dari tanah. Klorofil menyerap karbon dioksida dari atmosfer, menambah pertumbuhan tanaman. Bahan penting untuk pertumbuhan biomassa adalah: tanaman hidup, spektrum radiasi

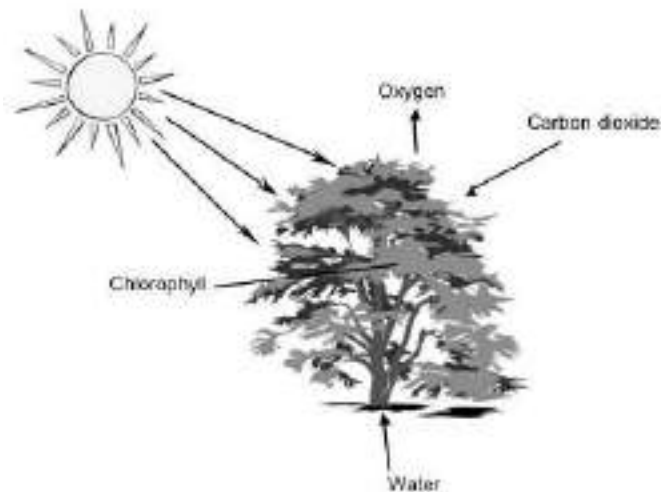
matahari, karbon dioksida, Klorofil (sebagai katalis) dan air. Energi kimia yang tersimpan dalam tanaman ini kemudian diteruskan ke hewan dan manusia yang mengambil tanaman sebagai makanan. Hewan dan kotoran manusia juga berkontribusi terhadap biomassa (Basu, 2010; Riebeek, 2011). Kemudian tanaman mati dan membusuk (diurai oleh bakteri). Dalam setiap kasus, oksigen menggabungkan dengan gula untuk melepaskan air, karbon dioksida, dan energi. Reaksi kimia terlihat seperti ini:



Karbon dioksida dilepaskan dalam reaksi biasanya berakhir di atmosfer. Siklus karbon begitu cepat erat hubungannya dengan kehidupan tanaman (Riebeek, 2011).

Tanaman mempengaruhi iklim melalui peran mereka dalam siklus karbon. Fotosintesis menyerap  $\text{CO}_2$  dari atmosfer. Produksi primer global atau fotosintesis menyerap karbon sekitar 20 kali lebih dari yang dilepas oleh bahan bakar fosil pembakaran (Gambar 6) (Field, 2001). Fotosintesis adalah salah satu proses metabolisme yang terintegrasi dan diatur untuk memaksimalkan penggunaan cahaya yang tersedia, untuk meminimalkan efek merusak dari cahaya yang berlebih dan mengoptimalkan penggunaan sumber karbon dan nitrogen (Paul & Foyer, 2001).

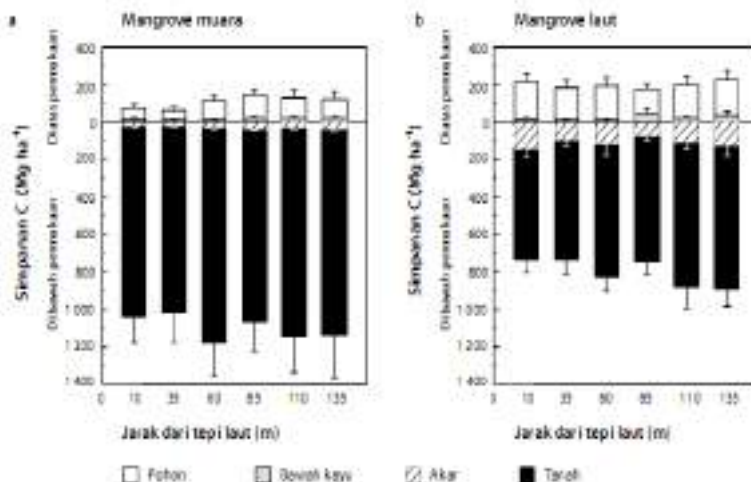
Emisi terkait dengan bahan bakar fosil dan pembakaran biomassa telah menyebabkan sekitar dua kali lipat konsentrasi ozon troposfer secara global. Ozon troposfer diketahui dapat merusak tanaman, mengurangi produktivitas primer tanaman dan hasil panen, namun peningkatan konsentrasi karbon dioksida di atmosfer dapat merangsang produktivitas primer tanaman. Peningkatan karbon dioksida dan ozon bisa menyebabkan penutupan stomata, yang mengurangi penyerapan gas, dan pada gilirannya membatasi efek merusak ozon dan fertilisasi karbon dioksida fotosintesis (Sitchet *al.*, 2007)



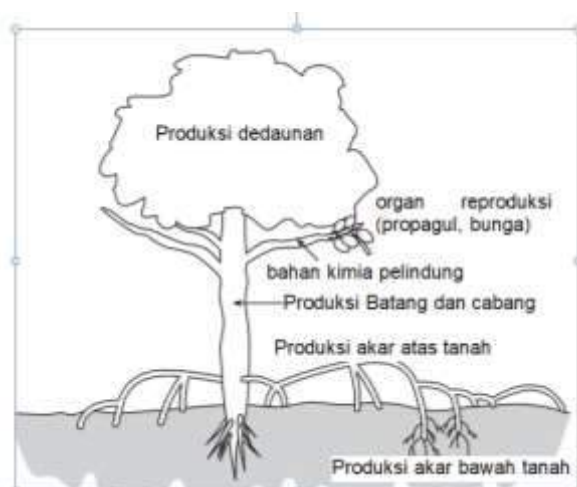
**Gambar 6. Biomassa tumbuh dengan menyerap energi matahari, karbon dioksida, dan air melalui fotosintesis (Basu, 2010)**

### **3.2. Mangrove Sebagai Stok Karbon**

Mangrove juga mempunyai peran yang sangat besar dalam ekosistem sebagai penyerap karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dari udara. Akibat pembakaran fosil karena bahan bakar minyak dan batu bara, perubahan alih fungsi hutan dan pembakaran hutan. Mangrove menyimpan karbon empat kali lebih cepat dari hutan tropis (Imiliyana *et al.*, 2012; Kauffman & Donato, 2012). Bahkan Bouillon (2011) menjelaskan mangrove menyimpan lima kali lebih cepat (Bouillon, 2011). Penyerap dan penyimpanan karbon guna mengurangi kadar  $\text{CO}_2$  di udara disimpan dalam bentuk biomassa. Biomassa pada mangrove disimpan dalam stok karbon pada batang, akar, seresah dan nekromassa. Manfaat langsung dari pengelolaan hasil kayu hanya 4,1%, sedangkan fungsi optimal mangrove dalam penyerapan karbon mencapai 77,9% (Heriyanto & Subiandono, 2012).



**Gambar 7. Simpanan karbon di kawasan mangrove Indo-Pasifik, a) Mangrove muara pada delta aluvial. b) Mangrove laut pada pesisir pulau. (Donato et al., 2012)**



**Gambar 8. Skema alokasi karbon yang berasal dari fotosintesis dalam pohon bakau Serasah (Alongi, 2009)**

Mangrove merupakan salah satu hutan yang mempunyai simpanan Karbon tertinggi di kawasan tropis (rerata 1.023 Mg C ha<sup>-1</sup>). Rerata karbon di mangrove muara sebesar 1.074 Mg C ha<sup>-1</sup>; untuk mangrove laut sebesar 990 ± 96 Mg C ha<sup>-1</sup>, seperti dalam Gambar 7 (Donato *et al.*, 2012).

Sekitar 2% dari energi radiasi dari matahari yang mencapai permukaan bumi digunakan oleh tanaman untuk mengasimilasi CO<sub>2</sub> di atmosfer menjadi senyawa organik yang digunakan untuk membangun

daun, batang, cabang, dan jaringan akar, serta untuk mempertahankan jaringan yang ada, membuat stokpenyimpanan. Gambar 8 merangkum alokasi karbon oleh pohon-pohon bakau. Produksi bersih adalah keseimbangan antara fotosintesis bruto dan respirasi daun, dan mewakili jumlah karbon yang tersedia untuk pertumbuhan dan pemeliharaan jaringan seperti pada Gambar 9 (Alongi, 2009).

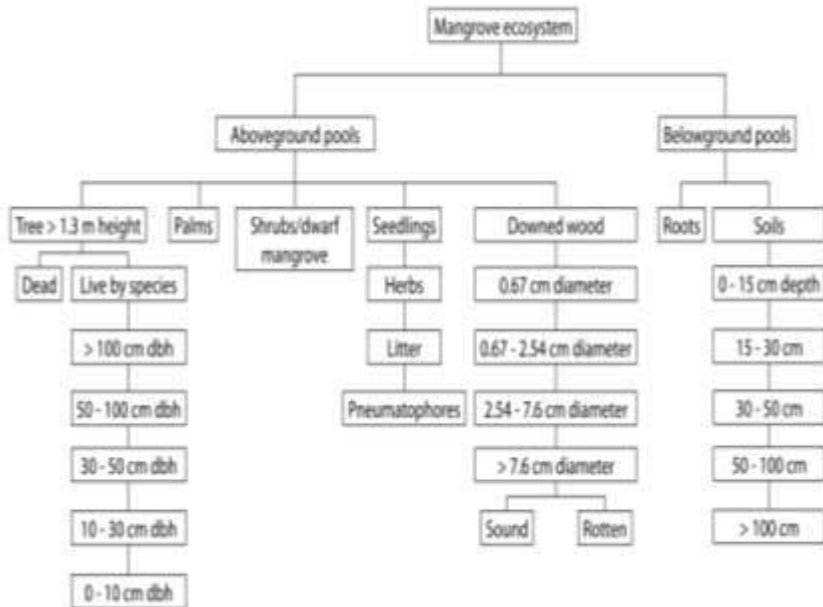


**Gambar 9. Keseimbangan karbon pada mangrove *Rhizophora apiculata* selama 22 tahun di Matang Mangrove Forest Reserve, Malaysia (Cloughet al., 1997; Alongi, 2009).**



## **IV. BIOMASSA MANGROVE**

Pengukuran biomassa dilakukan pada seluruh biomassa yang hidup di atas dan di bawah permukaan serta tumbuhan mati seperti kayu dan serasah (Kauffman & Donato, 2012). Melalui proses fotosintesis tanaman menyerap CO<sub>2</sub> dari atmosfer dan mengubah menjadi karbon organik (karbohidrat) dan menyimpan sebagai biomassa dalam bentuk batang, daun, akar, umbi buah dan lainnya. Dalam proses respirasi sebagian CO<sub>2</sub> yang terikat dilepaskan kembali ke atmosfer. Produktifitas primer juga akan hilang melalui proses dekomposisi. Biomassa sebagian juga akan berpindah atau keluar dari ekosistem karena terbawa aliran air atau proses pemindahan lainnya. Selisih antara proses produksi melalui fotosintesis dan konsumsi merupakan kuantitas biomassa hutan. Kuantitas biomassa juga dapat berubah akibat terjadi suksesi alami dan aktifitas manusia, seperti silvikultur, pemanenan dan degradasi. Perubahan juga dapat karena bencana alam (Sutaryo, 2009). Biomassa pada mangrove dan stok karbon disimpan dalam komponen yang terbagi dalam bagian diatas tanah dan di bawah tanah, seperti pada Gambar 10. Bagian atas tanah terdiri dari pohon, semak belukar, bibit, pohon mati. Sedangkan bagian bawah tanah terdapat akar dan tanah (Kauffman & Donato, 2012).



**Gambar 10. Komponen ekosistem mangrove untuk kuantifikasi biomassa mangrove dan stok karbon (Kauffman & Donato, 2012)**

Biomassa pohon ditentukan dengan persamaan alometrik (Chave *et al.*, 2005) dan tidak terkecuali untuk bakau (seperti pada Tabel 3, 4 dan 5). Metode tersebut membangun hubungan antara biomassa dari seluruh komponen pohon dan parameter yang mudah diukur, seperti diameter utama batang, spesies, dan tinggi pohon. Diameter batang utama biasanya dinyatakan sebagai diameter di atas tanah (dbh), atau dalam kasus *Rhizophora* diameter atas akar panggung tertinggi. Identifikasi spesies penting, karena memungkinkan penggunaan persamaan alometrik spesifik untuk setiap individu diukur. Tinggi juga merupakan parameter umum untuk persamaan alometrik. Namun, pengukuran tinggi yang akurat di lapangan sulit dan dengan demikian tidak direkomendasikan sebagai parameter, kecuali dikumpulkan untuk tujuan lain (Kauffman & Donato, 2012). Berat jenis kayu pada setiap jenis mangrove dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 2. Persamaan alometrik untuk menghitung biomassa pohon bakau pada biomassa di atas tanah**

No	Jenis	Persamaan	sumber
1	<i>Avicennia marina</i>	$W = 0,1848(\text{DBH})^{2,3524}$ , $R^2 = 0,9839$ , n=47, DBH max=35,2  $\log W = -0,7506 + 2,2990 \log(\text{DBH})$ , $R^2 = 0,969$ , n = 23, DBH = - cm,	(I. W. S. Dharmawan & Siregar, 2008) (Clough <i>et al.</i> , 1997)
		$\log W = -0,511 + 2,113 \log(\text{DBH})$ , $R^2 = 0,97$ , n = 22, DBH = - cm,	(Comley & McGuinness, 2005)
2	<i>Avicennia germinans</i>	$W = 0,140 (\text{DBH})^{2,40}$ , $R^2 = 0,97$ , n = 25, Dmax= 42 cm, $\ln W = 4,310 + 1,124 \ln(\text{DBH})$ , $R^2 = 0,98$ , n = 21	(Fromard <i>et al.</i> , 1998) (Ross <i>et al.</i> , 2009)
3	<i>Laguncularia racemosa</i>	$W = 103,3 (\text{DBH})^{2,5}$ , $R^2 = 0,97$ , n = 70, Dmax = 10 cm, $\ln W = 4,411 + 1,021 \ln(\text{DBH})$ , $R^2 = 0,962$ , n = 43	(Fromard <i>et al.</i> , 1998) (Ross <i>et al.</i> , 2009)
4	<i>Rhizophora apiculata</i>	$\log W = -1,832 + 2,420 \log(\text{DBH})$ , $R^2 = 0,98$ , n = 57, $W = 0,1050 (\text{DBH})^{2,6848}$ $R^2 = 0,995$ , n=23 , DBH = 3-23 $W = 0,0695 (\text{DBH})^{2,644 \cdot \rho}$ $R^2 = 0,89$ , n=191, DBH max = 60	(Ong <i>et al.</i> , 2004) (Robertson & Along, 1992) (Kauffman & Cole, 2010)
5	<i>Rhizophora mangle</i>	$\ln W = 3,960 + 1,481 \ln(\text{DBH})$ , $R^2 = 0,925$ , n = 52 $W = 1,41e^{0,3 \cdot (\text{DBH})}$ $R^2 = 0,93$ , n=10 , DBH = 3-11 $W = 0,722 (\text{DBH})^{1,731}$ , $R^2 = 0,94$ , n = 14, Dmax = 20 cm,	(Ross <i>et al.</i> , 2009) (Robertson & Along, 1992) (Smith & Whelan, 2006)
6	<i>Rhizophora stylosa</i>	$\log W = -0,696 + 2,465 \log(\text{DBH})$ , $R^2 = 1$ , n = 6, DBH = - cm,	(Comley & McGuinness, 2005)
7	<i>Rhizophora candeleria</i>	$W = 3,3512 (\text{DBH})^{0,7652}$ $R^2 = 0,888$ , n=270 , DBH = 0,4-7	(Robertson & Along, 1992)
8	<i>Rhizophora spp.</i> ( <i>mangle dan racemosa</i> )	$W = 128,2 (\text{DBH})^{2,60}$ , $R^2 = 0,92$ , n = 9, Dmax = 32 cm,	(Fromard <i>et al.</i> , 1998)

No	Jenis	Persamaan	sumber
		$\log W = -0,9789 + 2,6848 * \log (DBH)$ , $R^2 = 0,995$ , n = 23, DBH = 3-23 cm, $W = 0,251 * \rho * (DBH)^{2,46}$	(Clough & Scott, 1989)  (Komiyama <i>et al.</i> , 2005)
9	<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	$\log W = -0,7309 + 2,3055 \log (DBH)$ , $R^2 = 0,989$ , n = 17, DBH = 2-25 cm, $W = 0,1858 (DBH)^{2,3055}$ $R^2 = 0,989$ , n=17 , DBH = 2-21 $W = 0,0754 (DBH)^{2,505 * \rho}$ $R^2 = 0,91$ , n=326, DBH max=132 cm	(Clough & Scott, 1989)  (Robertson & Along, 1992)  (Kauffman & Cole, 2010)
10	<i>Bruguiera parviflor</i>	$\log W = -0,7749 + 2,4167 \log (DBH)$ , $R^2 = 0,993$ , n = 16, DBH = 2-21 cm, $W = 0,1679 (DBH)^{2,4167}$ $R^2 = 0,993$ , n=16, DBH = 2-21 cm	(Clough & Scott, 1989)  (Robertson & Along, 1992)
11	<i>Bruguiera exaristata</i>	$\log W = -0,643 + 1,141 \log (DBH)$ , $R^2 = 0,99$ , n = 10, DBH = - ,	(Comley & McGuinness, 2005)
12	<i>Ceriops tagal var. australis</i>	$\log W = -0,7247 + 2,3379 \log (DBH)$ , $R^2 = 0,989$ , n = 26, DBH = 2-18 cm, $\log W = -0,494 + 2,056 \log (DBH)$ , $R^2 = 0,97$ , n = 12, DBH = - cm, $W = 0,1885 (DBH)^{2,3379}$ $R^2 = 0,989$ , n=26, DBH = 2-8 cm	(Clough & Scott, 1989)  (Comley & McGuinness, 2005)  (Robertson & Along, 1992)
13	<i>Xylocarpus granatum</i>	$\log W = -1,0844 + 2,5883 \log (DBH)$ , $R^2 = 0,994$ , n = 15, DBH = 3-17 cm, $W = 0,0823 (DBH)^{2,5883}$ $R^2 = 0,994$ , n=15, DBH = 3-17 cm	(Clough & Scott, 1989)  (Robertson & Along, 1992)
14	<i>Sonneratia apetala</i>	$W = 2,835 (DBH)^{3,214}$	(Lunstrum & Chen, 2014)
15	<i>Sonneratia alba</i>	$W = 0,3841 (DBH)^{2,101 * \rho}$ $R^2 = 0,98$ ; N=104 , DBH max=323 cm	(Cole <i>et al.</i> , 1999) ; (Kauffman & Cole, 2010)

No	Jenis	Persamaan	sumber
	Umum	$W = 0,251\rho^*(DBH)^{2,46}$ , $R^2 = 0,98$ , $n = 104$ , $DBH\ mas=49$ $W=\rho^* \exp(-1,349+0,207*(\ln(DBH))^2-0,0281(\ln(DBH))^3)$ $R^2 = 0,45$ , $n = 69$ , $DBH\ max=42$ cm $W= 1,765*10^{-2} (DBH^2 *H)^{1,058+0,5853}$ $R^2=0,98$ $B = 10,8* H+ 34,9$ $R^2 = 0,77$ , $n=43$ $W=0,0957 \rho(DBH^2 *H)^{0,884}$ $R^2= 0,979$ $W=0,168*\rho^*(DBH)^{2,471}$ $R^2=0,99$ , $n=84$ , $DBH\ max=42$ cm	(Komiyama <i>et al.</i> , 2005) (Chave <i>et al.</i> , 2005) (Shihet <i>al.</i> , 2015) (Fatoyinbo <i>et al.</i> , 2008) (Komiyama <i>et al.</i> , 2002) (Chave <i>et al.</i> , 2005); (Komiyama <i>et al.</i> , 2008)

Keterangan: DBH= *Diameter Breast Height* (cm);  $\rho$ = *wood density* (g cm<sup>-3</sup>), H = tinggi, D = diameter

**Tabel 3. Persamaan alometrik untuk menghitung biomassa pohon bakau pada biomassa dibawah tanah**

No	Jenis	Persamaan	Sumber
1	<i>Avicennia marina</i>	$W = 0,1682(DBH)^{1,7939}$ , $R^2 = 0,8581$ $\log W = 0,106+1,1711\log (DBH)$ , $R^2 = 0,80$ , $n = 14$ , $DBH = -$ ,	(I. W. S. Dharmawan & Siregar, 2008) (Comley & McGuinness, 2005)
2	<i>Bruguiera exaristata</i>	$\log W = -0,520+2,150\log (DBH)$ , $R^2 = 0,88$ , $n = 9$ , $DBH = -$ ,	(Comley & McGuinness, 2005)
3	<i>Ceriops australis</i>	$\log W = -0,800+1,9511\log (DBH)$ , $R^2 = 0,87$ , $n = 9$ , $DBH = -$ ,	(Comley & McGuinness, 2005)
4	<i>Rhizophora apiculata</i>	$\log W = -3,454+2,611\log (DBH)$ , $R^2 = 0,99$ , $n = 11$ ,	(Ong <i>et al.</i> , 2004)
5	<i>Rhizophora stylosa</i>	$\log W = -0,583+1,860\log (DBH)$ , $R^2 = 0,92$ , $n = 5$ , $DBH = -$	(Comley & McGuinness, 2005)
6	<i>Sonneratia apetala</i>	$W = 2,491 (DBH)^{3,636}$	(Lunstrum & Chen, 2014)
7	<i>Xylocarpus granatum</i>	$W = 0,145(DBH)^{2,55}$ $R^2 = 0,99$ , $n=6$ , $DBH\ max = 8$ cm	

Umum	$W = 0,199\rho^{0,899}D^{2,22}$ $R^2 = 0,95, n = 26,$	(Komiyama <i>et al.</i> , 2005)
------	--	---------------------------------

Keterangan: DBH= *Diameter Breast Height* (cm);  $\rho$ = *wood density* (g cm<sup>-3</sup>), H = tinggi, D = diameter

**Tabel 4. Persamaan alometrik untuk menghitung biomassa pohon bakau pada biomassa Total.**

No	Jenis	Persamaan	Sumber
1	<i>Avicennia marina</i>	$\log W = 0,178 + 1,595 \log(\text{DBH})$ , $R^2 = 0,94, n = 14, \text{DBH} = -$ ,	(Comley & McGuinness, 2005)
2	<i>Rhizophora apiculata</i>	$\log W = -1,943 + 2,530 \log(\text{DBH})$ , $R^2 = 0,99, n = 11, \text{DBH} = -$ ,	(Ong <i>et al.</i> , 2004)
3	<i>Rhizophora stylosa</i>	$\log W = -0,6564 + 2,4292 \log(\text{DBH})$ , $R^2 = 0,969, n = 23, \text{DBH} = -$ ,	(Clough <i>et al.</i> , 1997)
4	<i>Bruguiera exaristata</i>	$\log W = -0,396 + 2,291 \log(\text{DBH})$ , $R^2 = 0,99, n = 5, \text{DBH} = -$ ,	(Comley & McGuinness, 2005)
5	<i>Ceriops australis</i>	$\log W = -0,284 + 1,953 \log(\text{DBH})$ , $R^2 = 0,94, n = 9, \text{DBH} = -$ ,	(Comley & McGuinness, 2005)

Keterangan: DBH= *Diameter Breast Height* (cm);  $\rho$ = *wood density* (g cm<sup>-3</sup>), H = tinggi, D = diameter

**Tabel 5. Berat jenis ( $\rho$ ) dari 15 jenis mangrove**

No	Spesies	$\rho$ (Mg m <sup>-3</sup> )
1	<i>Bruguiera cylindrica</i>	$0,6681 \pm 0,057$ (n = 6)
2	<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	$0,7273 \pm 0,016$ (n = 3)
3	<i>Bruguiera parviflora</i>	$0,6256 \pm 0,031$ (n = 3)
4	<i>Ceriops tagal</i>	$0,6952 \pm 0,028$ (n = 6)
5	<i>Ceriops decandra</i>	$0,6952 \pm 0,028$
6	<i>Rhizophora apiculata</i> Blume	$0,7417 \pm 0,032$ (n = 6)
7	<i>Rhizophora mucronata</i> Lam.	$0,6723 \pm 0,054$ (n = 6)
8	<i>Avicennia alba</i> Blume	$0,5220 \pm 0,021$ (n = 6)
9	<i>Avicennia officinalis</i>	$0,5362 \pm 0,051$ (n = 6)
10	<i>Sonneratia alba</i>	$0,4110 \pm 0,042$ (n = 5)
11	<i>Sonneratia ovata</i>	$0,5502 \pm 0,084$ (n = 3)
12	<i>Xylocarpus granatum</i> Koenig	$0,5894 \pm 0,021$ (n = 6)
13	<i>Xylocarpus moluccensis</i> Lam.	$0,5495 \pm 0,034$ (n = 6)

**Karbon Mangrove**  
**Firman Farid Muhsoni**

---

<b>No</b>	<b>Spesies</b>	<b><math>\rho</math> (Mg m<sup>-3</sup>)</b>
<b>14</b>	<i>Lumnitzera littorea</i>	0,5674 ± 0,053 (n= 6)
<b>15</b>	<i>Heritiera littoralis</i>	0,6010 ± 0,105 (n = 6)

Sumber : (Jachowski *et al.*, 2013)

## V. FAKTOR LINGKUNGAN PADA EKOSISTEM MANGROVE

Pada wilayah mangrove dengan banyak faktor yang mempengaruhi, yaitu: intensitas cahaya, suhu, nutrisi dan ketersediaan air, salinitas, pasang surut, usia, komposisi jenis, gelombang, dan cuaca. Faktor lingkungan yang dominan mangrove adalah : salinitas, pasang surut, air tanah, gelombang, sedimentasi, faktor kimia dan biologi air (Alongi, 2009).

### 5.1. Salinitas

Toleransi garam adalah kemampuan tanaman untuk tumbuh dan menyelesaikan siklus hidupnya pada substrat yang mengandung konsentrasi tinggi garam larut. Tanaman yang dapat bertahan hidup pada konsentrasi garam yang tinggi dalam *rhizosfer* dan tumbuh dengan baik disebut *halophytes*. Mangrove yang *halophytes* fakultatif toleran terhadap kedua salinitas tinggi dan berfluktuasi (Parida & Jha, 2010). Mangrove dapat mengakomodasi kadar garam dalam perairan. Mangrove menyerap beberapa ion natrium dan klorida tetapi mampu mengendalikan penyerapan untuk menjaga keseimbangan. Respon pertumbuhan dengan salinitas sangat bervariasi, yang mencerminkan berbagai toleransi antar spesies. Beberapa spesies seperti *Avicennia marina*, tidak tumbuh di air tawar dan mungkin *halophytes obligat*. Jenis lainnya bertahan dengan baik di air tawar (Robertson & Along, 1992). Mangrove menunjukkan perbedaan toleransi yang jelas antara spesies dapat dilihat pada Tabel 7. Salinitas tinggi mengakibatkan respon fisiologis mirip dengan tanaman mengalami kekeringan. Radiasi matahari dari pagi sampai sore, menyebabkan kehilangan air melebihi penyerapan air dan menurun menjelang malam. Menjaga keseimbangan air dalam tanah dengan salinitas tinggi diatasi dengan mengambil ion anorganik yang cukup untuk menjaga keseimbangan osmotik. Namun dengan menghindari efek samping dari konsentrasi ion tinggi dalam sitoplasma. Ion disimpan dalam vakuola untuk meminimalkan kerusakan fisiologis. Zat terlarut organik disintesis untuk menjaga keseimbangan osmotik dalam sitoplasma (Alongi, 2009).

Mangrove mengembangkan beberapa mekanisme untuk bertahan hidup dalam lingkungan garam. Ini termasuk morfologi, fisiologi dan



reproduksi adaptasi. Adaptasi morfologi meliputi akar panggung *Rhizophora*, *pneumatophores Avicennia*, *Sonneratia* dan *Lumnitzera*, akar lutut *Bruguiera*, *Ceriops* dan akar menopang *Xylocarpus* dan *Heritiera* (Sreeshan *et al.*, 2014).

**Tabel 6. Toleransi mangrove untuk salinitas dan frekuensi relatif mereka dengan zonasi pasang surut (Robertson & Along, 1992; Daniel M. Alongi, 2009)**

<b>Spesies</b>	<b>Toleransi garam</b>	<b>Zona pasang surut</b>
<i>Acanthus ilicifolius</i>	++	L → H
<i>Aegialitis annulata</i>	++++	M → H
<i>Aegiceras corniculatum</i>	+++	L → M
<i>Avicennia germinans</i>	+++++	L → H
<i>Avicennia marina</i>	+++++	L → H
<i>Bruguiera cylindrica</i>	++	M→H
<i>Bruguiera exaristata</i>	+++	M → H
<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	+++	M → H
<i>Bruguiera parviflora</i>	++	M → H
<i>Bruguiera sexangula</i>	+	M → H
<i>Ceriops decandra</i>	++	M → H
<i>Ceriops australis</i>	++++	M → H
<i>Ceriops tagal</i>	++++	M → H
<i>Cynametra iripa</i>	++	H
<i>Diospyros ferrea</i>	+	H
<i>Excoecaria agallocha</i>	+++	M → H
<i>Heritiera littoralis</i>	++	M → H
<i>Kandelia candel</i>	+++	M → H
<i>Lumnitzera littorea</i>	++++	H
<i>Lumnitzera racemosa</i>	++++	H
<i>Nypa fruticans</i>	+	L → M
<i>Osbornia octodonta</i>	+++	H
<i>Rhizophora apiculata</i>	+++	L → M
<i>Rhizophora lamarckii</i>	+++	L → M
<i>Rhizophora mangle</i>	++++	L → M
<i>Rhizophora mucronata</i>	++	L → M
<i>Rhizophora stylosa</i>	++++	L → M
<i>Sonneratia alba</i>	+++	L → M
<i>Sonneratia caseolaris</i>	+	L → M
<i>Xylocarpus granatum</i>	+++	M → H
<i>Xylocarpus mekongensis</i>	+++	M → H

+++++ = sangat toleran, + = tidak toleran. Level Pasang surut: H = tinggi, M= mediumdan L = zona intertidal rendah

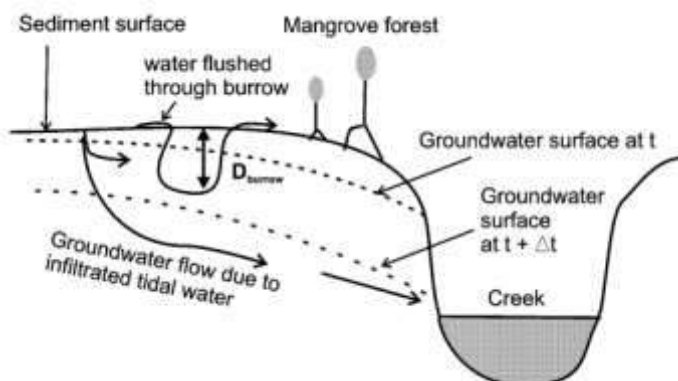
## **5.2. Pasang Surut**

Naik turunnya pasang surut di perairan mangrove adalah kondisi yang paling mencolok dari ekosistem mangrove. Gerakan air dan sedimen ke dalam dan keluar dari muara bakau akibat pasang surut dan gelombang. Energi Pasang surut dan gelombang di muara merupakan subsidi energi tambahan. Pasang memungkinkan hutan bakau untuk menyimpan dan meneruskan karbon. Pasang surut membawa nutrisi, makanan, dan sedimen mangrove serta mengeksport produk-produk limbah. Kondisi ini merupakan keuntungan organisme sehingga tidak perlu mengeluarkan energi pada proses ini dan energi lebih banyak untuk tumbuh dan berkembang baik. Kecepatan sirkulasi pasang surut akhirnya tergantung pada geometri ekosistem, terutama rasio kawasan hutan (Alongi, 2009).

Mazda *et al.* (1995) menjelaskan bahwa dominasi surut adalah akibat gesekan di mangrove. Tingkat gesekan dikendalikan oleh kerapatan hutan, dalam hutan, tingkat air dan kecepatan arus yang kuat dikendalikan oleh gaya *drag* karena vegetasi. Pada hutan padat semakin besar *drag*, menyebabkan kecepatan arus lebih lambat, dan asimetri pasang surut yang lebih besar. Oleh karena itu ada hubungan umpan balik alami antara vegetasi, air, dan sedimen. Mekanisme umpan balik ini memiliki dampak besar bagi manusia terhadap pengurangan hutan bakau (Mazda *et al.*, 1995). Konsep dasar dari hidrodinamika di bakau adalah air yang mengalir dalam bakau ditahan oleh gaya tarik karena pohon bakau dan akarnya, dan gesekan bawah di lantai lumpur tidak merata. Viskositas karena gerakan turbulen air melalui antara pohon/akar yang sempit. (Mazda *et al.*, 2005).

## **5.3. Air tanah**

Air yang berasal dari tanah sering mengambil jalan bawah tanah. Mengingat posisinya antara darat dan laut, tidak mengherankan bahwa mangrove dapat memiliki aliran air tanah yang signifikan. Aliran ini dapat menjadi keuntungan untuk menghilangkan garam yang dikeluarkan oleh akar (Ridd *et al.*, 1998) dan produk (misalnya: sulfida dan metana) dari dekomposisi mikroba dari bahan organik (Ovalle *et al.*, 1990). Tinggi lumpur dan tanah liat isi tanah bakau, sangat mungkin bahwa keping liang, retakan, dan retakan pada substrat memfasilitasi pergerakan air tanah (Alongi, 2009).



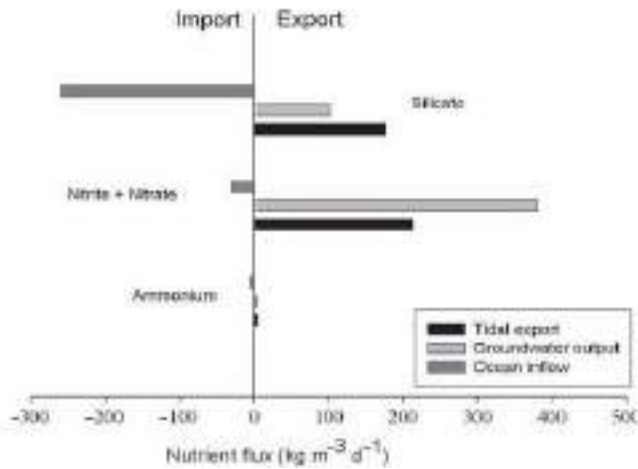
**Gambar 11. Aliran air tanah melalui mangrove selama genangan pasang surut, melalui aliran langsung disebabkan oleh infiltrasi dan melalui liang pembilasan (Susilo et al., 2005).**

Gambar 11 menjelaskan air pasang surut di mangrove dapat mengalir ke sungai oleh dua mekanisme (Susilo *et al.*, 2005):

(A) Tanah yang mengalir melalui sedimen pori dari rawa ke sungai. Aliran ini merupakan infiltrasi air, terutama selama dan setelah banjir pasang surut, dan ini disebabkan oleh gradien hidrolis antara rawa dan sungai. disebut "aliran air tanah langsung".

(B) Pembilasan air melalui liang hewan selama genangan pasang surut. Ini disebut "aliran liang pembilasan"

Dampak aliran air tanah sering berasal dari terjadinya anomali vertikal salinitas (perbedaan salinitas antara pasang surut dan pasang banjir) dan adanya air tanah garam di sumur yang berdekatan dengan hutan bakau. Saluran air dapat menjadi signifikan, dan sering dapat bervariasi tergantung pada musim (Kitheka, 1998).



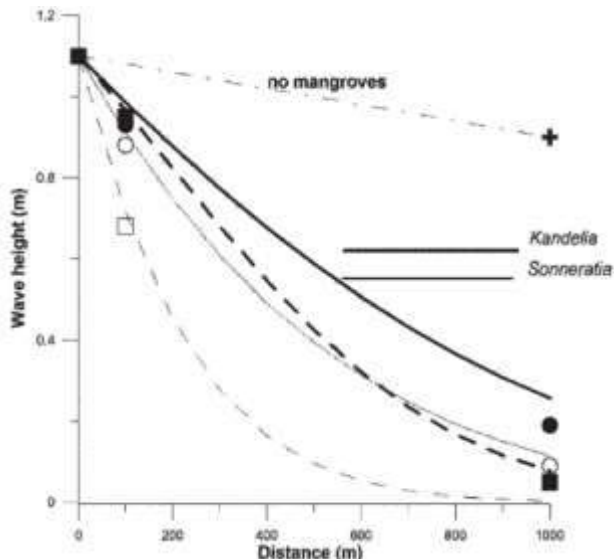
**Gambar 12.** Nilai relatif dari air tanah dibandingkan ekspor pasang surut dan arus masuk laut di Mida Creek, Kenya (Alongi, 2009)

Gambar 12 menunjukkan bahwa air tanah rembesan menjadi kontribusi nutrisi tertinggi. Pada ekspor pasang surut jauh lebih sedikit dari air tanah dan input laut. Hal ini menunjukkan bahwa ada lebih banyak nutrisi yang diimpor dari laut dan di darat diekspor oleh pasang surut. Sebagian besar  $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$  memasuki sungai melalui air tanah dan hanya jumlah yang sangat kecil diimpor dari laut terbuka. Untuk silikat, sebagian besar memasuki sungai dari laut terbuka meskipun pasokan air tanah masih besar (Alongi, 2009)

#### 5.4. Gelombang

Mangrove tumbuh lebih baik dalam kondisi perairan diam, namun sebagian besar sering terjadi gelombang, terutama di pinggiran teluk terbuka dan muara. Mangrove berfungsi meredam energi gelombang. Ada dua mekanisme yang menyebabkan mangrove dapat meredam gelombang: (1) Interaksi gelombang dengan bakau dan akar dan (2) gesekan bawah, dengan meningkatnya diameter pohon dan kepadatan mangrove, tingkat atenuasi gelombang meningkat. Namun, interaksi antara pohon dapat mempengaruhi tingkat *drag*. Pohon yang lebih besar dari spesies mangrove dapat mengurangi aksi gelombang sebesar 20% lebih dari jarak 100 m. Untuk hutan mangrove yang sangat lebat, energi gelombang hampir benar-benar hilang dalam hutan, dalam 40-50 m dari batas bakau/laut. Dalam hutan kepadatan rendah, sekitar 35% dari energi gelombang datang masih ada di belakang kawasan hutan. Gelombang yang lebih besar menyebarkan beberapa ratusan meter ke mangrove, dengan jarak tergantung pada jenis pohon. Sejauh mana gelombang

sangat tergantung pada periode gelombang. Lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 13 (Alongi, 2009).



**Gambar 13. Model yang menunjukkan keberadaan mangrove dapat meredam gelombang tergantung dari jenis. (jenis Kandelia dan Sonneratia (Alongi, 2009)**

Penelitian di Jepang memprediksi pelemahan energi tsunami oleh hutan bakau pengurangan gelombang tsunami sampai 90% untuk luas hutan 100 m dengan kerapatan pohon 3.000 batang perhektar. Sejauh mana bakau untuk perlindungan dari tsunami tergantung pada: lebar hutan, diameter pohon dan spesies, kerapatan pohon, tekstur tanah, lokasi hutan, keberadaan habitat tepi pantai, ukuran dan kecepatan tsunami, jarak dari peristiwa tektonik, sudut serbuan tsunami terhadap garis pantai, kemiringan dasar hutan, dan proporsi biomassa di atas tanah hak dalam akar (Alongi, 2008)

### 5.5. Sedimen

Bakau tumbuh terbaik dalam kondisi diam di mana energi gelombang rendah. Aliran pasang surut dan aliran air dalam mangrove terjadi pengendapan partikel halus dari kolom air di atasnya. Pengangkutan sedimen tersuspensi di hutan bakau dikendalikan oleh beberapa proses yang saling berkaitan (Wolanski, 1995) :

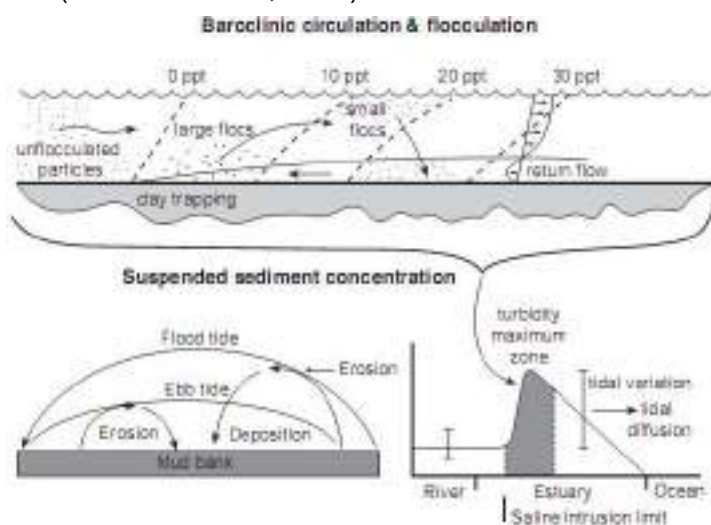
- Memompa pasang surut.
- Sirkulasi baroklinik
- Menjebak partikel kecil di zona maksimum

- Penggumpalan
- Pasang surut mangrove
- Reaksi fisika kimia yang menghancurkan gumpalan sedimen
- Produksi Mikroba

Proses ini sangat dipengaruhi spesifik lokasi. Misalnya mangrove di pinggir pantai yang sempit di sepanjang garis pantai, tidak memungkinkan terjadi dinamika sedimen. Faktor-faktor lain berperan dalam transportasi sedimen adalah tingkat kerusakan mangrove, banjir air tawar juga mempunyai peran yang kecil. Namun, dengan jarak dari laut, efisiensi sedimen perangkap menurun dari 65% menjadi 27%. Akresi sedimen yang tinggi mulai 0,25-3,5 cm pertahun. Kebanyakan sedimen terjadi di mangrove selama musim hujan. Masukan sedimen kebanyakan terjadi selama periode debit sungai tinggi dan musim semi (Kitheka *et al.*, 2003).

Sepanjang tepi sungai, endapan lumpur terbentuk bukan hanya sebagai hasil dari sirkulasi baroklinik, tetapi juga akibat dari pemompaan pasang surut dan pencampuran, terutama di zona keruh (Gambar 14). Zona ini dibentuk di daerah muara, air umumnya dangkal pada zona ini di mana sedimen terakumulasi. Sehubungan dengan kekeruhan maksimum, flokulasi partikel dimulai pada salinitas <1. Gumpalan terbesar di bagian bawah sungai. Gumpalan kecil bergerak ke hilir dengan arus, di mana bertemu dengan partikel lokal. Partikel-partikel ini diendapkan oleh pasang surut dan turbulensi gelombang yang dihasilkan. Gumpalan adalah partikel tanah liat dan lumpur dengan diameter beberapa puluh mikrometer, dan dikendalikan oleh kekuatan arus pasang surut. Disagregasi dimulai ketika kecepatan pasang surut melebihi  $1 \text{ m s}^{-1}$ . Gumpalan juga terdiri dari bakteri, protista, dan jamur, dan produk ekstraseluler. Mikroba membantu untuk memperkeras gumpalan dan mempertahankan ukuran ketika mengalami turbulensi. Dalam hutan, turbulensi juga dihasilkan oleh aliran sekitar pohon-pohon, sehingga gumpalan suspensi. Gumpalan ini terdiri dari tanah liat dan lumpur, dan membentuk gumpalan yang lebih besar. Pengendapan partikel sedimen di hutan terjadi dalam waktu yang singkat (<30 menit) ketika pasang surut berbalik dari naik ke turun dan air menjadi diam. Pengendapan juga diperkuat oleh mikroba dan kotoran invertebrata (Wolanski, 1995; Alongi, 2009). Oleh karena itu dengan berbagai mekanisme, mangrove tidak hanya mengimpor pasif partikel halus, tetapi juga secara aktif menangkap lumpur, tanah liat, dan bahan organik (Furukawa *et al.*, 1997).

Ukuran, bentuk, dan pola distribusi pohon memiliki dampak pada sedimentasi. Pohon-pohon besar dengan sistem akar yang kompleks (misalnya: *Rhizophora*) memfasilitasi pengendapan partikel ke tingkat yang jauh lebih besar dari pohon yang lebih kecil dan lebih sederhana (misalnya: *Ceriops*). Deposisi partikel terjadi di sekitar air yang tinggi ketika arus minimal. Furukawa dan Wolanski (1996) menemukan bahwa sebagian besar gumpalan terbentuk dalam waktu 30 menit sebelum pasang turun. Endapan diciptakan oleh batang pohon, akar, *pneumatophores* dan mempertahankan partikel dalam suspensi. Diperkirakan bahwa 80% dari partikel dibawa pasang banjir saat musim semi dalam hutan, dengan tingkat sedimentasi dari 10-12 kg sedimen per meter. Setara dengan kenaikan sedimen sekitar 0,1 cm pertahun di dalam hutan (Furukawa *et al.*, 1997).

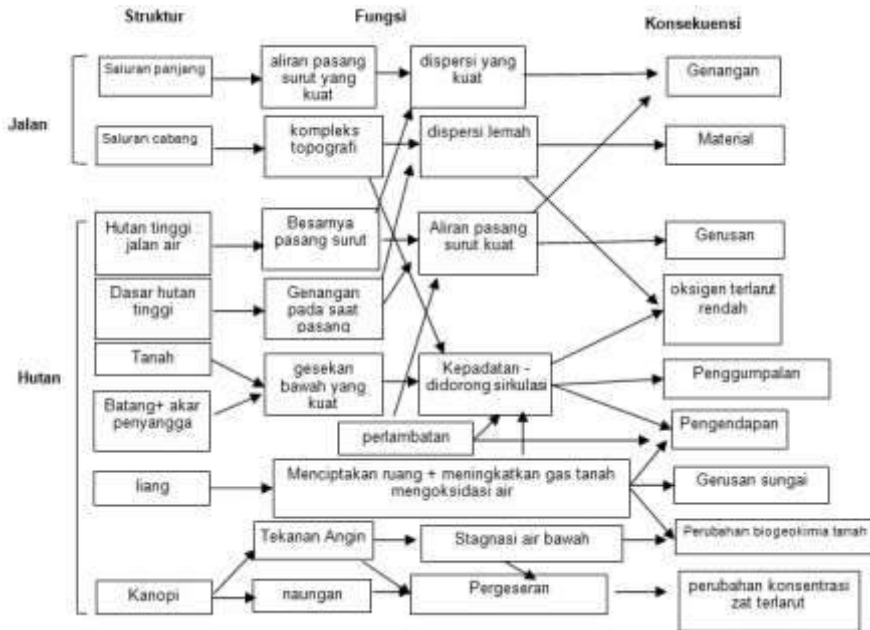


**Gambar 14. Diagram efek sirkulasi baroklinik, memompa pasang surut, pencampuran, dan flokulasi di zona kekeruhan maksimum dari muara model bakau (Kitheka *et al.*, 2003)**

## **5.6. Kimia dan Biologi**

Aliran air dan sedimen di hutan bakau secara alami memiliki konsekuensi penting bagi kimia dan biologi ekosistem. Modifikasi dari Wolanski *et al.* (1992) memberikan gambaran singkat bagaimana air dan gerakan sedimen berdampak pada biogeokimia dan ekologi hutan dan air, dijelaskan dalam Gambar 15 (Wolanski *et al.*, 1992). Topografi dan morfologi hutan dan saluran air, mengontrol pasang surut dan pengendapan. Faktor-faktor ini mempengaruhi fisik dari air dan sedimen, termasuk tingkat penambahan tanah dan tingkat anoksia (akibat tidak

adanya suplai oksigen) di air sungai dan air tanah. Pohon mangrove dan struktur biogeniknya memberikan pengaruh gesekan untuk memperlambat gerakan air dan sedimen. Bahkan kanopi hutan mempengaruhi sifat ekosistem lainnya, dengan menekan angin dan memberikan keteduhan, kanopi mengubah evapotranspirasi dan gerakan pasang surut air dan gas. Karakteristik ini sangat mempengaruhi kehidupan dan aliran energi dalam hutan bakau dan perairan (Alongi, 2009).



**Gambar 15. Konsekuensi dari struktur fisik dan fungsi proses kimia dan biologi ekosistem bakau (Wolanski et al., 1992; Alongi, 2009)**

Dengan demikian, biota bakau harus toleran terhadap berbagai salinitas atau mampu bermigrasi ke perairan pantai terbuka. Oksigen terlarut dan konsentrasi hara terlarut juga sangat bervariasi di muara mangrove, dengan nilai tergantung pada geomorfologi, salinitas, ukuran partikel, pasang surut, pola curah hujan, aktivitas biologis, dan tingkat vertikal dan horizontal pencampuran air sungai. Salah satu hal yang terjadi sepanjang saluran bakau adalah hubungan antara pH, oksigen dan konsentrasi DOM, senyawa khususnya polifenol. Pada wilayah hulu ketika hujan telah terbatas, terjadi penurunan pH dan konsentrasi oksigen tetapi meningkatkan bahan organik terlarut (*Dissolved Organic Matter =DOM*)(Alongi, 2009).



## **VI. KONSEP DASAR PENGINDERAAN JAUH**

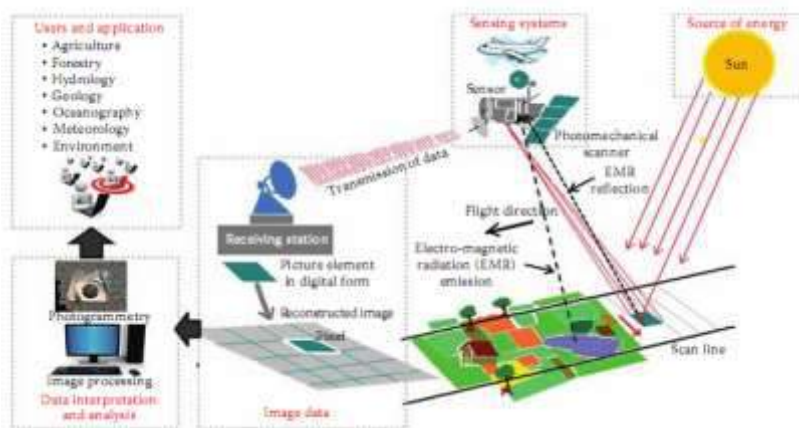
Penginderaan jauh adalah ilmu atau seni untuk mendapatkan informasi objek atau fenomena tanpa kontak langsung dengan objek, atau daerah dengan menggunakan alat. Alat tersebut adalah sensor yang dipasang pada satelit, pesawat udara atau balon udara (Lillesand *et al.*, 2004; Schowengerdt, 2012; Köhl *et al.*, 2006). Penginderaan jauh adalah alat pilihan untuk memberikan informasi *spasial-temporal* distribusi suatu ekosistem, misalnya ekosistem mangrove, spesies, status kondisinya, dan perubahan dalam populasi mangrove. Studi tersebut diperoleh didasarkan pada berbagai sensor, mulai dari foto udara untuk resolusi tinggi dan citra optik resolusi menengah dan dari data *hyperspectral* ke *microwave* aktif data. Teknik penginderaan jarak jauh telah menunjukkan potensi yang tinggi untuk mendeteksi, mengidentifikasi, peta, dan memantau kondisi mangrove dan perubahan selama dua dekade terakhir (Kuenzer *et al.*, 2011).

Teknik ini telah banyak digunakan untuk memperkirakan biomassa hutan, dan beberapa studi telah melaporkan penggunaannya dalam karakterisasi tanaman (Kulawardhana *et al.*, 2014). Penginderaan jauh adalah satu-satunya cara yang efektif dan sistematis untuk mengukur hutan dan biomassa pada skala besar (Fatoyinbo *et al.*, 2008). Penginderaan jauh menawarkan peluang untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan tentang permukaan bumi sekitar tanah, air, dan kondisinya. Mencakup kondisi kualitas air, kesehatan vegetasi, tingkat polutan, dan bagaimana kondisi ini berubah dengan waktu (Schott, 2007).

Sistem penginderaan jarak jauh terutama yang menggunakan satelit, memberikan pandangan berulang dan konsisten dari bumi untuk memantau jangka pendek dan jangka panjang perubahan dan dampak dari aktivitas manusia. Beberapa aplikasi penting dari teknologi penginderaan jarak jauh adalah: (1) Penilaian lingkungan dan pemantauan (pertumbuhan kota, limbah berbahaya); (2) Deteksi perubahan global dan monitoring (atmosfer penipisan ozon, penggundulan hutan, pemanasan global); (3) Pertanian (kondisi tanaman, prediksi hasil, erosi tanah); (4) Eksplorasi tak terbarukan sumber daya mineral, minyak, gas alam; (5) Sumber daya alam terbarukan (lahan basah, tanah, hutan, lautan); (6) Meteorologi (dinamika atmosfer, prediksi cuaca); (7) Pemetaan (topografi, penggunaan lahan, teknik sipil); (8) Pengawasan militer dan pengintaian (kebijakan strategis, penilaian taktis);

(9) Media berita (ilustrasi, analisis) (Schowengerdt, 2012). Pemodelan penginderaan jauh dalam ekologi, antara lain melakukan pemodelan siklus carbon, siklus air, siklus nutrien, model spasial distribusi pertumbuhan dan produktivitas (Franklin, 2001).

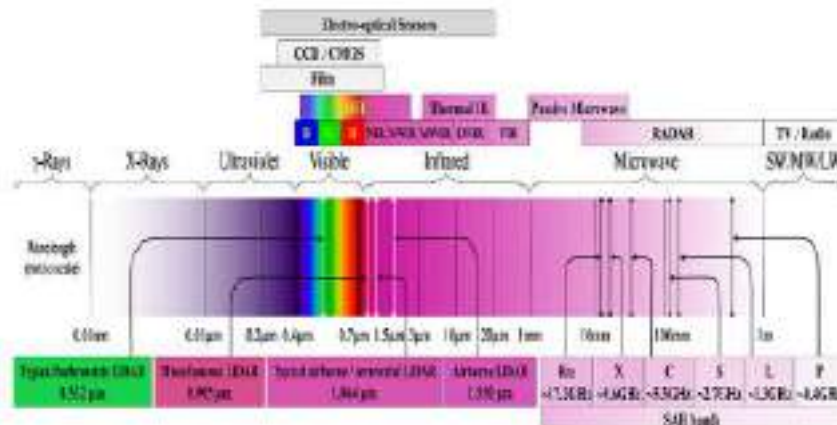
Ruang lingkup penginderaan jauh dapat dipecah menjadi : (1) satelit penginderaan jauh (saat platform satelit yang digunakan), (2) fotografi dan fotogrametri (ketika foto-foto yang digunakan untuk menangkap cahaya tampak), (3) penginderaan jauh termal (ketika bagian inframerah termal dari spektrum yang digunakan), (4) radar penginderaan jauh (saat panjang gelombang microwave yang digunakan), dan (5) LIDAR penginderaan jauh (saat pulsa laser ditransmisikan ke tanah dan jarak antara sensor dan tanah diukur berdasarkan waktu pengembalian pulsa) (Weng, 2010). Ilustrasi proses pengumpulan data citra melalui satelit dapat dilihat pada Gambar 16.



**Gambar 16. Ilustrasi pengumpulan data penginderaan jauh untuk aplikasi pengguna (Thenkabail, 2015).**

Analisis penginderaan jauh dapat dilakukan dengan interpretasi digital maupun visual. Interpretasi visual dilakukan menggunakan kemampuan evaluasi spasial secara subjektif terhadap objek yang dikaji. Analisis ini terbatas pada kemampuan mata manusia untuk membedakan rona pada citra. Sedangkan interpretasi digital merupakan analisis bentuk numeric menggunakan komputer. Analisis ini disebut otomatis pengolahan citra digital (Lillesand *et al.*, 2004). Kemajuan dalam resolusi spasial dan spektral sensor sekarang, tersedia untuk analisa ekologi yang membuat penginderaan jauh langsung dari aspek-aspek tertentu dari keanekaragaman hayati semakin layak. Misalnya dapat membedakan spesies kumpulan atau bahkan mengidentifikasi spesies pohon individu

(Turner *et al.*, 2003). Sensor pencitraan adalah komponen inti dari sistem penginderaan jauh, dan mempunyai berbagai macam resolusi spasial, temporal dan spektral. Sensor juga ada yang konfigurasi tunggal dan beberapa sensor, penginderaan aktif dan pasif (Toth & Józków, 2016). Berbagai panjang gelombang yang dipakai dalam sensor citra satelit dapat dilihat pada Gambar 17.



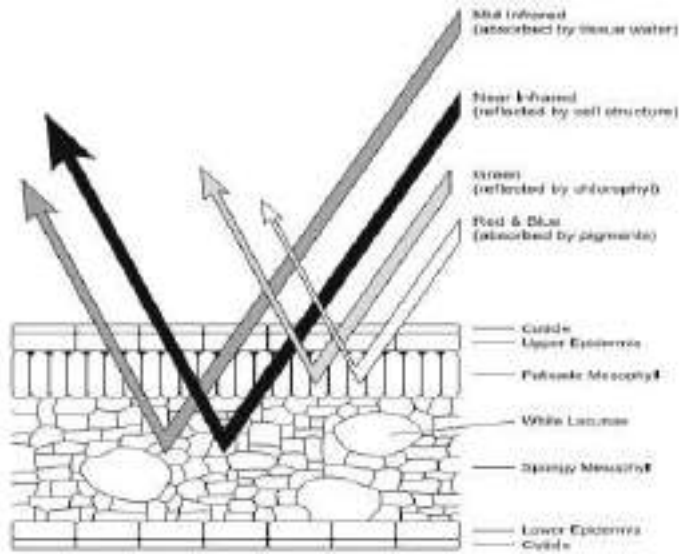
**Gambar 17. Spektrum elektromagnetik band-band/saluran pada satelit penginderaan jauh (Toth & Józków, 2016)**

### 6.1. Konsep Penginderaan jauh dalam Pemetaan Vegetasi

Pemetaan vegetasi menyajikan informasi berharga untuk memahami lingkungan alam dan buatan manusia melalui mengukur tutupan vegetasi dari skala lokal sampai global pada waktu tertentu atau selama periode terus menerus. Hal ini penting untuk mendapatkan tutupan vegetasi dalam rangka untuk memulai program perlindungan dan pemulihan vegetasi. Ekstraksi vegetasi dari citra penginderaan jauh adalah proses penggalian informasi vegetasi dengan interpretasi citra satelit berdasarkan pada unsur-unsur interpretasi seperti warna gambar, tekstur, nada, pola dan informasi asosiasi, dan lainnya. Berbagai metode telah dikembangkan untuk melakukan hal ini (Xie *et al.*, 2008).

Prinsip karakteristik spektral vegetasi air yang sama dengan vegetasi darat. Pada tingkat daun, keberadaan dan konsentrasi pigmen daun menentukan respon spektrum, morfologi daun dan kandungan air merupakan faktor utama yang berpengaruh pada panjang gelombang inframerah (Gambar 18). Pada tingkat individu faktor biofisik seperti distribusi daun, kerapatan daun, orientasi, dan struktur kanopi keseluruhan penting. Kanopi bercabang dan tanaman berdaun lebar memiliki area reflektif yang

lebih efektif (Williams *et al.*, 2003). Secara umum biomassa tanaman dan kepadatannya merupakan variabel penting. Meskipun respon spektral vegetasi air menyerupai vegetasi terestrial, kondisi terendam atau banjir menjadi faktor yang mengubah karakteristik spektral secara keseluruhan (Silva *et al.*, 2008).



**Gambar 18.** Interaksi radiasi daun pada tingkat mikroskopis dengan panjang gelombang tertentu. Ketebalan panah sebanding dengan besarnya fluks radiasi (Silva *et al.*, 2008)

Prinsip karakteristik spektral vegetasi air yang sama dengan vegetasi darat. Pada tingkat daun, keberadaan dan konsentrasi pigmen daun menentukan respon spektrum, morfologi daun dan kandungan air merupakan faktor utama yang berpengaruh pada panjang gelombang inframerah (Gambar 18). Pada tingkat individu faktor biofisik seperti distribusi daun, kerapatan daun, orientasi, dan struktur kanopi keseluruhan penting. Kanopi bercabang dan tanaman berdaun lebar memiliki area reflektif yang lebih efektif (Williams *et al.*, 2003). Secara umum biomassa tanaman dan kepadatannya merupakan variabel penting. Meskipun respon spektral vegetasi air menyerupai vegetasi terestrial, kondisi terendam atau banjir menjadi faktor yang mengubah karakteristik spektral secara keseluruhan (Silva *et al.*, 2008).

Pemilahan citra satelit yang akan digunakan dalam proses klasifikasi vegetasi harus dipastikan bahwa citra tersebut sesuai dengan cakupan kawasan yang dikaji, serta memperhatikan resolusi yang tepat baik temporal maupun spasial. Beberapa hal yang diperhatikan dalam

memilih citra adalah: (1) Citra tidak boleh berumur lebih dari 12 bulan dan harus memiliki resolusi setidaknya 30 meter. (2) Data harus memiliki kualitas yang memadai untuk analisis, dengan penutupan awan kurang dari 5% dalam batas area kajian, tanpa atau dengan kabut yang minimal dan terlokalisir. (3) Ketersediaan saluran (band) spektral hijau, merah, inframerah dekat dan inframerah menengah yang berperan dalam penentuan tutupan vegetasi (R. A. Houghton, 2005).

## 6.2. Indeks Vegetasi

Sifat vegetasi sering diukur dengan mengkonversi spektrum reflektansi menjadi sebuah indeks nilai tunggal atau indeks vegetasi. Sifat vegetasi diukur menjadi tiga kategori utama: (1) struktur; (2) biokimia; dan (3) fisiologi tanaman/stres. Kategori struktural termasuk penutup pecahan, biomassa daun hijau, indeks luas daun, biomassa, dan fraksi diserap fotosintesis radiasi aktif. Mayoritas indeks dikembangkan untuk analisis struktural dirumuskan untuk sistem saluran yang lebar sampai sempit, hiperspektral. Sifat biokimia termasuk air, pigmen (klorofil, karoten, antosianin), senyawa kaya nitrogen lainnya (misalnya protein), dan bahan tanaman struktural (lignin dan selulosa). Indeks fisiologis dan stres mengukur perubahan yang disebabkan oleh perubahan stres yang disebabkan bagian xanthopil, perubahan kadar klorofil, fluoresensi, atau perubahan kelembaban daun. Indeks umum, biokimia dan fisiologis/stres dirumuskan menggunakan laboratorium atau instrumen lapangan ( $\leq 10$  nm spektral sampling) dan ditargetkan pada fitur spektral yang sangat halus (Roberts *et al.*, 2012). Macam algoritma indeks vegetasi dapat dilihat pada Tabel 8.

**Tabel 7. Daftar vegetasi indeks hyperspectral (Roberts *et al.*, 2012)**

Indeks	Persamaan	Sumber
<b>Struktur</b>		
SR ( <i>simple ratio</i> )	$R_{NIR}/R_{red}$	(Jordan, 1969)
EVI ( <i>environmental vegetation index</i> )	$R_{IR}/R_{red}$	(Birth & McVey, 1968; Thenkabail, 2016)
RVI ( <i>ratio Vegetation index</i> )	$R_{NIR}/R_{red}$	(Broge & Leblanc, 2001)
NDVI ( <i>normalized difference vegetation index</i> )	$(R_{NIR}-R_{red}) / (R_{NIR}+R_{red})$	(Pettorelli <i>et al.</i> , 2011; Gitelson & Merzlyak, 1997)

Indeks	Persamaan	Sumber
GNDVI ( <i>Green normalized difference Vegetation index</i> )	$(R_{NIR}-R_{green}) / (R_{NIR}+R_{green})$	(Gitelson & Merzlyak, 1997)
GARI ( <i>Green Atmospherically Resistant Vegetation Index</i> )	$(R_{NIR}-(R_{green} - (R_{blue}-R_{red}))) / (R_{NIR}-(R_{green} + (R_{blue}-R_{red})))$	(Gopal & Woodcock, 1996)
PVI ( <i>perpendicular vegetation index</i> )	$\sqrt{(R_{Red\ soil} - R_{Red\ veg})^2 + (R_{IRed\ soil} - R_{IRed\ veg})^2}$	(Richardson & Wiegand, 1977; Thenkabail, 2016)
MSR ( <i>Modified Simple Ratio</i> )	$((R_{NIR}/R_{red})-1) / ((R_{NIR}/R_{red})+1)$	(Chen, 1996; Haboudane <i>et al.</i> , 2004)
MTV ( <i>Modified Triangular Vegetation Index1</i> )	$1,2*(1,2*(R_{800}-R_{550})-2,5*(R_{670}-R_{550}))$	(Haboudane <i>et al.</i> , 2004)
MTV ( <i>Modified Triangular Vegetation Index2</i> )	$1,5 * (1,2 * (R_{800} - R_{550}) - 2,5 * (R_{670} - R_{550})) / \sqrt{(2 * R_{800} + 1)^2 - (6 * R_{800} - 5 * R_{670} - 5 * R_{550})}$	(Haboudane <i>et al.</i> , 2004)
EVI ( <i>enhanced vegetation index-MODIS</i> )	$2,5*(R_{NIR}-R_{red}) / (R_{NIR}+6*R_{red}-7,5*R_{blue}+1)$	(Huete <i>et al.</i> , 1997)
EVI2	$2,5*(R_{NIR}-R_{red}) / (R_{NIR}+2,4*(R_{red}+1))$	(Jiang <i>et al.</i> , 2008)
ARVI ( <i>atmospherically resistant vegetation index</i> )	$((R_{NIR}-(R_{red}-\gamma*(R_{blue}-R_{red}))) / (R_{NIR}+(R_{red}-\gamma*(R_{blue}-R_{red}))))$	(Kaufman & Tanré, 1992)
SAVI ( <i>Soil-Adjusted Vegetation Index</i> )	$(1+L)*(R_{805}-R_{710}) / ((R_{805}+R_{710})+L)$ atau $(1+0,2)*R_{805}-R_{710} / ((R_{805}+R_{710})+0,2)$ L = soil correction factor (faktor koreksi yang nilainya berkisar dari 0 (tutupan vegetasi tinggi) dan 1 (vegetasi rendah))	(Huete, 1988; Roujean & Breon, 1995; Haboudane <i>et al.</i> , 2004)
OSAVI ( <i>Optimized SAVI</i> )	$(1+0,16)*(R_{800}-R_{670}) / (R_{800}+R_{670}+0,16)$ atau $(1+0,16)*(R_{805}-R_{710}) / (R_{805}+R_{710}+0,16)$	(Rondeaux <i>et al.</i> , 1996)
MSAVI (modified SAVI)	$\frac{1}{2} [2 * R_{800} + 1 - \sqrt{(2 * R_{800} + 1)^2 - 8 * (R_{800} - R_{red})}]$	(Qi <i>et al.</i> , 1994)

**Karbon Mangrove**  
**Firman Farid Muhsoni**

Indeks	Persamaan	Sumber
TVI ( <i>Triangular Vegetation Index</i> )	$0,5*(120*(R_{750}-R_{550})-200*(R_{670}-R_{550}))$	(Broge & Leblanc, 2001)
RDVI (Renormalized Difference Vegetation Index)	$(R_{800}-R_{670})/(SQRT(R_{800}+R_{670}))$	(Roujean & Breon, 1995)
VARI ( <i>Vegetation Atmospherically Resistant Index</i> )	$(R_{green}-R_{red})/(R_{green}+R_{red}-R_{blue})$	(Gitelson <i>et al.</i> , 2002)
VI green	$(R_{green}-R_{red})/(R_{green}+R_{red})$	(Gitelson <i>et al.</i> , 2002)
NDRE ( <i>Normalized Difference Red-Edge Index</i> )	$(R_{805}-R_{710})/(R_{805}+R_{710})$	(Eitel <i>et al.</i> , 2011; Ramoelo <i>et al.</i> , 2015)
ZM (Zarco and Miller)	$R_{750}-R_{710}$	(Zarco-Tejada <i>et al.</i> , 2001)
RGI ( <i>Red/Green Index</i> )	$R_{690}/R_{550}$	(Zarco-Tejada <i>et al.</i> , 2005)
BGI ( <i>Blue/Green Index</i> )	$R_{400}/R_{550}$	
BRI ( <i>Blue/Red Index</i> )	$R_{400}/R_{690}$	
DVI ( <i>Difference Vegetation Index</i> )	$R_{805}-R_{710}$	(Jordan, 1969)
VOG ( <i>Vogelmann Indices</i> )	$VOG1= R_{740}/R_{720}$ $VOG2=(R_{734}-R_{747})/(R_{715}+R_{726})$	(Vogelmann <i>et al.</i> , 1993)
GM ( <i>Gitelson and Merzlyak</i> )	$GM1= R_{750}/R_{550}$ $GM2= R_{750}/R_{700}$	(Gitelson & Merzlyak, 1997)
CUR ( <i>Curvature Index</i> )	$(R_{675} * R_{690})/(R_{683}^2)$	(Zarco-Tejada <i>et al.</i> , 2000)

**Biokimia - Pigmen**

SRPI ( <i>Simple Ratio Pigment Index</i> )	$R_{475}/R_{710}$	(Penuelas <i>et al.</i> , 1995)
NPCI ( <i>Normalized Pigment Chlorophyll Index</i> )	$(R_{680}-R_{430})/(R_{680}+R_{430})$	(Peñuelas <i>et al.</i> , 1994)
NPQI ( <i>Normalized Phaeophytinization Index</i> )	$(R_{415}-R_{435})/(R_{415}+R_{435})$	(Barnes <i>et al.</i> , 1992)
SIPI ( <i>structurally insensitive pigment index</i> )	$(R_{800}-R_{445})/(R_{800}+R_{680})$	(Sims & Gamon, 2002)
PSSR ( <i>pigment specific</i> )	$(R_{800}-R_{675}); (R_{800}+R_{650})$	(Blackburn, 1998)

Indeks	Persamaan	Sumber
<i>spectral ratio</i>		
PSND ( <i>pigment sensitive normalized difference</i> )	$((R_{800}-R_{675}) / (R_{800}+R_{675}));$ $((R_{800}-R_{650}) / (R_{800}+R_{650}));$	
PSRI ( <i>plant senescence relectance index</i> )	$(R_{680}-R_{500}) / R_{750}$	(Sims & Gamon, 2002)
PRI ( <i>photochemical reflectance index</i> )	$((R_{531}-R_{570}) / (R_{531}+R_{570}))$	
PPR ( <i>plant pigment ratio</i> )	$(R_{550}-R_{450}) / (R_{550}+R_{450})$	(Metternicht, 2003)
Klorofil		
CARI ( <i>chlorophyll absorption in relectance index</i> )	$((R_{700}-R_{670})-0,2 / (R_{700}+R_{550}))$	(Kim <i>et al.</i> , 1994)
MCARI ( <i>modified CARI</i> )	$((R_{700}-R_{670})-0,2*(R_{700}-R_{550}))* (R_{700}/R_{670})$	( Daughtry, 2000; Haboudane <i>et al.</i> , 2004)
MCARI <sub>1</sub>	$1,2*(2,5*(R_{800}-R_{670})-1,3*(R_{800}-R_{550}))$	(Haboudane <i>et al.</i> , 2004)
MCARI <sub>2</sub>	$\frac{1,5 * ((R_{800} - R_{670}) - 1,3 * (R_{800} - R_{550}))}{\sqrt{(2 * R_{800} + 1)^2 - (6 * R_{800} - 5 * (R_{800} - R_{670} - 1,3 * (R_{800} - R_{550})))}}$	(Haboudane <i>et al.</i> , 2004)
C <sub>i</sub> red edge ( <i>chlorophyll red-edge index</i> )	$R_{NIR}-R_{red\ edge} -1$	(Gitelson <i>et al.</i> , 2006)
MERIS ( <i>Terrestrial Chlorophyll Index</i> )	$(R_{805}-R_{710}) / (R_{710}+R_{657})$	(Ramoelo <i>et al.</i> , 2015)
MTCI ( <i>MERIS terrestrial chlorophyll index</i> )	$(R_{754}-R_{709}) / (R_{709}+R_{681})$	(Dash & Curran, 2007)
Anthocyanins		
mARI ( <i>modified ARI</i> )	$(1/R_{green}) - (1/R_{reg\ edge})*R_{NIR}$	(Gitelson <i>et al.</i> , 2006)
PGRI ( <i>model include the red/green ratio</i> )	$R_{red} / R_{green}$	(Gamon & Surfus, 1999)
ACI ( <i>anthocyanin content index</i> )	$R_{green} / R_{NIR}$	(Van Den Berg & Perkins, 2005)
Carotenoids		
CRI1 ( <i>carotenoid relectance index 1</i> )	$(1/R_{510}) - (1/R_{550})$	(Gitelson <i>et al.</i> , 2002)
CRI2 ( <i>carotenoid relectance index 2</i> )	$(1/R_{510}) - (1/R_{700})$	(Gitelson <i>et al.</i> , 2002)
Water		



**Karbon Mangrove**  
**Firman Farid Muhsoni**

Indeks	Persamaan	Sumber
NDII ( <i>normalized difference infrared index</i> )	$(R_{NIR}-R_{SWIR}) / (R_{NIR}+R_{SWIR})$	(Hunt Jr & Rock, 1989)
WBI ( <i>water band Index</i> )	$R_{900}-R_{970}$	(Penuelas <i>et al.</i> , 1997)
MSI ( <i>moisture stress index</i> )	$R_{SWIR}-R_{NIR}$	(Rock <i>et al.</i> , 1986)

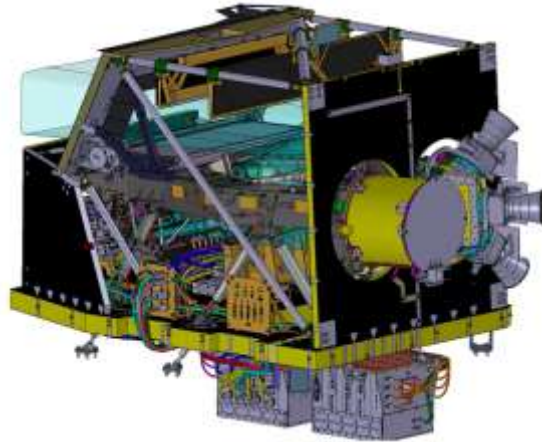
**Lignin dan selulosa / residu**

CAI ( <i>cellulose absorption index</i> )	$100*(0,5*(R_{2031}+R_{2211})-R_{2101})$	(Daughtry, 2001)
NDLI ( <i>normalized difference lignin index</i> )	$(\log(1/R_{1754})-\log(1/R_{1680})) / (\log(1/R_{1754})+\log(1/R_{1680}))$	(Serrano <i>et al.</i> , 2002)
Nitrogen		
NDNI ( <i>normalized difference nitrogen index</i> )	$(\log(1/R_{1510})-\log(1/R_{1680})) / (\log(1/R_{1510})+\log(1/R_{1680}))$	(Serrano <i>et al.</i> , 2002)
NRI ( <i>nitrogen reflectance index</i> )	$(R_{NIR}/R_{green}) / (R_{NIR}+R_{green})$	(Diker & Bausch, 2003)
efisiensi penggunaan cahaya		
PGRI dan SIPI	$R_{red} / R_{green}$ $(R_{800}-R_{445}) / (R_{800}+R_{680})$	(Gamon & Surfus, 1999; Sims & Gamon, 2002)
PRI ( <i>photochemical reflectance index</i> )	$(R_{531}-R_{570}) / (R_{531}+R_{570})$	(Gamon <i>et al.</i> , 1997; Suárez <i>et al.</i> , 2009)
Stess		
MSI ( <i>moisture stress index</i> )	$R_{SWIR}-R_{NIR}$	(Rock <i>et al.</i> , 1986)
REP	$L(\max \text{ first derivative: } 680-750 \text{ nm})$	(Horler <i>et al.</i> , 1983)

**6.3. Penginderaan Jauh Satelit Sentinel-2**

*Global Monitoring for Environment and Security* (GMES) merupakan inisiatif bersama *European Commission* (EC) dan *European Space Agency* (ESA) membangun kapasitas untuk Eropa penyediaan dan penggunaan informasi operasional monitoring bagi lingkungan dan keamanan. Peran ESA dalam GMES adalah untuk memberikan pengembangan sistem ruang dan tanah. Misi GMES Sentinel-2 memberikan kontinuitas layanan pengamatan optik multi-spektral resolusi

tinggi di atas permukaan bumi. Tujuan misi utama Sentinel-2 adalah: (1) Untuk memperoleh data global citra resolusi tinggi multispektral dengan frekuensi kunjungan ulang yang tinggi, (2) untuk memberikan kontinuitas peningkatan citra multispektral yang disediakan oleh satelit SPOT (*Satellite Pour l'Observation de la Terre*), dan (3) untuk memperoleh data pengamatan untuk generasi berikutnya dari produk-produk operasional seperti peta tutupan lahan, peta deteksi perubahan lahan, dan variabel geofisika. Sentinel-2 akan berkontribusi terhadap pemantauan lahan, tanggap darurat, dan jasa keamanan. Menampilkan *Multi Spectral Instrument* (MSI) dengan 13 band spektral dari inframerah dekat dengan inframerah gelombang pendek. Bentuk satelit sentinel-2 dapat dilihat pada Gambar 19 (Drusch *et al.*, 2012)

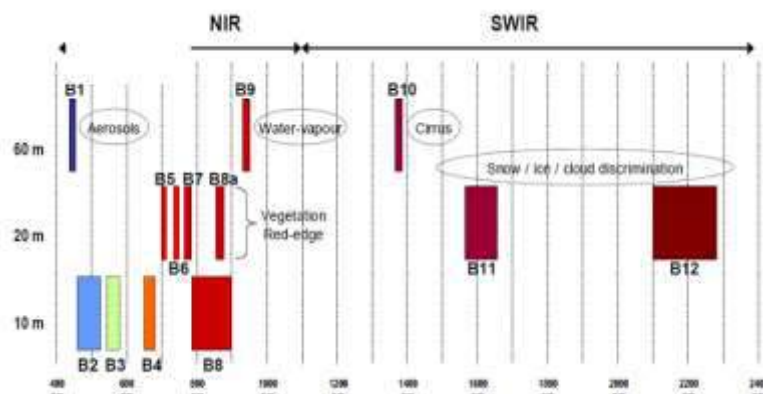


**Gambar 19. Satelit Sentinel-2 (Drusch *et al.*, 2012)**

Resolusi spasial bervariasi dari 10m-60m tergantung pada band spektral. Spesifikasi misi satelit Sentinel-2 adalah : Waktu Misi selama 15 tahun; 2 satelit; Nominal orbit satelit orbit selama 7,25 tahun habis pakai dan untuk tambahan 5 tahun; Sistem orbit Sunsinkron ketinggian 786 km; waktu orbit <5 hari; kualitas produk berkualitas Level 0,1; stasiun bumi di Kiruna, Svalbard, Maspalomas, Prince Albert, ditambah stasiun pengguna lokal; Akurasi < 20m; luas area cover 290 km; pencitraan maksimum 32 menit/100 menit orbit; berat satelit 1.225 kg (dengan 70 kg marjin); dimensi satelit 3390mm x 1630mm x 2350mm (Drusch *et al.*, 2012).

Beberapa penelitian kebanyakan citra ini dipadukan dengan citra lain. Dalam kasus dua sensor dapat dikombinasikan dengan baik. Namun, beberapa masalah timbul mengenai band inframerah dekat ketika Sentinel-2 yang digabungkan dengan Landsat 8 (Mandanici & Bitelli, 2016; Storey *et al.*, 2016). Beberapa kasus citra Sentinel-2 juga dipergunakan

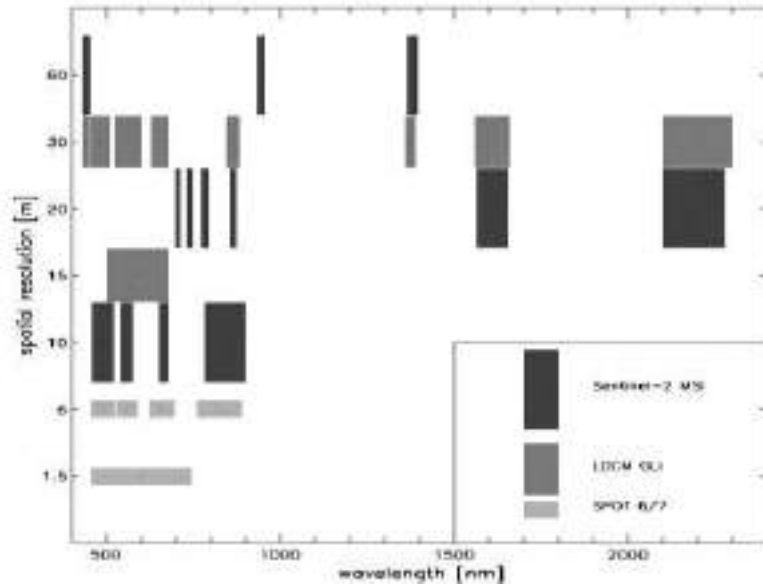
dengan citra yang mempunyai resolusi tinggi untuk estimasi indeks vegetasi (Ng *et al.*, 2017). Tujuan Sentinel-2 untuk layanan seperti: perubahan tutupan lahan, manajemen risiko bencana (banjir dan kebakaran hutan, penurunan dan lahan), manajemen air dan perlindungan tanah, ketahanan pangan/sistem peringatan dini, pemantauan hutan, pemetaan terestrial untuk bantuan kemanusiaan. Resolusi spektral dan spasial citra sentinel-2 dapat dilihat pada Gambar 20 (Gatti *et al.*, 2016). Panjang gelombang pada masing-masing band pada citra sentinel-2 dapat dilihat pada Tabel 9. Sedangkan perbandingan resolusi spektral dan spasial citra sentinel-2 dengan citra Landsat 8/LDCM dan SPOT 6/7 dapat dilihat pada Gambar 20.



**Gambar 20. Resolusi Spektral Band dan Resolusi Spasial Sentinel-2 (Gatti *et al.*, 2016)**

**Tabel 8. Resolusi spektral dan spasial pada citra Sentinel-2 (Richter *et al.*, 2011)**

Band	Centre wavelength (µm)	Bandwidth (nm)	Spatial resolution (m)
1	0.443	20	60
2	0.490	65	10
3	0.560	35	10
4	0.665	30	10
5	0.705	15	20
6	0.740	15	20
7	0.783	20	20
8	0.842	115	10
8a	0.865	20	20
9	0.945	20	60
10	1.375	30	60
11	1.610	90	20
12	2.190	180	20



**Gambar 21. Band spektral dibandingkan resolusi spasial untuk Sentinel-2 MSI, SPOT-6/7 dan LDCM OLI instrumen. Luas area cover 290 km (MSI), 185 km (LDCM), dan 60 km (SPOT)(Drusch *et al.*, 2012)**

#### 6.4. Penginderaan Jauh Satelit Landsat

Satelit Landsat telah menyediakan produk citra multispektral selama 30 tahun lebih, dan sejarah dan keandalannya yang panjang menjadikannya sumber populer untuk mendokumentasikan perubahan tutupan lahan dan penggunaan dari waktu ke waktu. Data ini tersedia untuk umum di Pusat Data Sistem Pengamatan Sumber Daya Bumi dari US Geological Survey, dan akan memberikan informasi dasar untuk analisis penutupan lahan masa lalu dan pendeteksian perubahan tutupan lahan (Turner *et al.*, 2003). Pencapaian utama Landsat adalah mengakuisisi arsip data penginderaan jauh lebih dari 40 tahun, yang telah disampaikan melalui peluncuran satelit Landsat berikutnya ditambah dengan keinginan untuk memastikan kesinambungan data antara berbagai misi. Landsat didirikan oleh National Aeronautics and Space Administration (NASA), kemudian dipindahkan ke sektor swasta di bawah pengelolaan National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) pada awal tahun 1980-an, dan, setelah tantangan operasional, kembali ke Pemerintah AS kontrol pada tahun 1992. Ada juga masalah teknis, terutama kegagalan Landsat 6 untuk mencapai orbit yang ditentukan dan Landsat 7 mengalami kegagalan parsial pada tahun 2003 (Lavender & Lavender, 2015).

Seri Landsat hingga saat ini sudah ada 8 generasi (Tabel 10 dan 11), dan yang terakhir LDCM (*Landsat Data Continuity Mission*) yang orbit pada Februari 2013. Mulai dari Landsat 1 hingga LDCM Landsat mengalami perubahan desain sensor. Landsat 1 dan 2 memuat 2, yaitu sensor RBV (*Return Beam Vidicon*) dan MSS (*Multi Spectral Scanner*). Landsat 3 masih memuat ketiga macam sensor tersebut, tetapi untuk saluran RBV menjadi 1 saluran tunggal beresolusi spasial 40 meter. Landsat 4 dan 5 memuat dua sensor, tetapi mengganti RBV dengan TM (*Thematic Mapper*). Landsat 6 tahun 1993 tetapi misi ini gagal karena sesaat setelah diluncurkan satelit Landsat 6 hilang (tanggal 5 Oktober 1993). Generasi selanjutnya Landsat 7 memiliki sensor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper*), dengan resolusi 30 m. Sensor ETM+ merupakan sensor TM yang dilengkapi dengan satu saluran tambahan, berupa saluran pankromatik dengan resolusi spasial 15 m dan saluran thermal yang telah disempurnakan. Saluran termal mempunyai resolusi spasial 60 m. Landsat 7 diluncurkan pada tanggal 15 April 1999. Pada tanggal 11 februari 2013 jam 10.02 a.m. PST di Atlas V-401, Vandenberg Air Force Base California NASA meluncurkan satelit generasi 8 satelit Landsat diberi nama Landsat Data Continuity Mission (LDCM). Satelit ini mempunyai 2 sensor, yaitu OLI (*Operational Land Imager*) dengan 9 saluran (*visible, NIR, SWIR*) dan resolusi spasial 30 meter kecuali saluran 8 pankromatik dengan spasial 15 meter. Sensor kedua TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) dengan 2 saluran (TIR) dengan resolusi spasial 100 m. Lebih jelasnya dapat dilihat pada (USGS, (2016); USGS, (2011)) .

**Tabel 9. Informasi status operasional seri Landsat**

Satelit	Peluncuran	Tidak Aktif	Jenis Sensor
Landsat 1	23 Juli 1972	6 Januari 1978	MSS dan RBV
Landsat 2	22 Januari 1975	25 Februari 1982	MSS dan RBV
Landsat 3	5 Maret 1978	31 Maret 1983	MSS dan RBV1
Landsat 4	16 Juli 1982	*	TM dan MSS
Landsat 5	1 Maret 1984	**	TM dan MSS
Landsat 6	5 Oktober 1993	Gagal orbit	ETM
Landsat 7	15 April 1999		ETM+
LDCM	11 Februari 2013		OLI dan TIRS

\* = Data transmisi TM gagal pada Agustus 1993

\*\* = Masih beroperasi  
(Chuvieco *et al.*, 2010)

**Tabel 10. Spesifikasi sensor dan julat spektral Landsat 1-LDCM**

Sensor	Misi Sate-lit	Band	Panjang Gelombang ( $\mu\text{m}$ )	IFOV (m)	Dynamic Range (bits)	Sumber
RBV <sup>m</sup>	1,2	1	0,475 – 0,575 (biru)	79 x 79		(USGS, 2011)
		2	0,580 – 0,680 (merah)	79 x 79		
		3	0,689 – 0,830 (inframerah dekat)	79 x 79		
RBV <sup>p</sup>	3		0,505 – 0,750 (pankromatik)	40 x 40		
MSS	1 – 5	4 <sup>a</sup>	0,5 – 0,6 (hijau)	79 x 79	7	
		5	0,6 – 0,7 (merah)	79 x 79	7	
		6	0,7 – 0,8 (inframerah dekat)	79 x 79	7	
		7	0,8 – 1,1 (inframerah dekat)	79 x 79	6	
	3	8 <sup>b</sup>	10,4 – 12,6 (termal)	237x237		
TM	4,5	1	0,45 – 0,52 (biru)	30 x 30	8	(USGS, 2011)
		2	0,52 – 0,60 (hijau)	30 x 30	8	
		3	0,63 – 0,69 (merah)	30 x 30	8	
		4	0,76 – 0,90 (inframerah dekat)	30 x 30	8	
		5	1,55 – 1,75 (inframerah tengah)	30 x 30	8	
		7 <sup>c</sup>	2,08 – 2,35 (inframerah tengah)	30 x 30	8	
		6	10,4 – 12,5 (termal)	120x120	8	

**Karbon Mangrove**  
**Firman Farid Muhsoni**

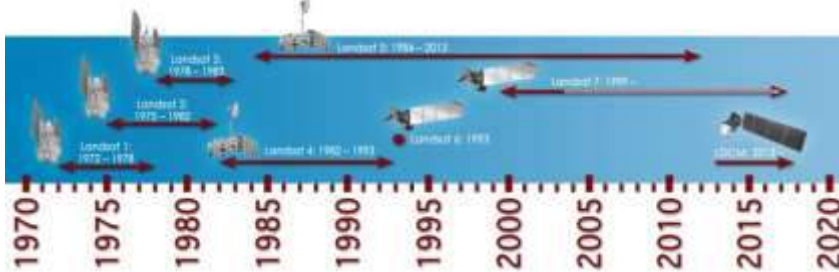
Sensor	Misi Sate-lit	Band	Panjang Gelombang ( $\mu\text{m}$ )	IFOV (m)	Dynamic Range (bits)	Sumber
ETM+	6	1	0,450 – 0,515 (biru)	30 x 30	8	(USGS, 2011)
		2	0,525 – 0,605 (hijau)	30 x 30	8	
		3	0,630 – 0,690 (merah)	30 x 30	8	
		4	0,775 – 0,900 (inframerah dekat)	30 x 30	8	
		5	1,550 – 1,750 (inframerah tengah)	30 x 30	8	
		7	2,090 – 2,350 (inframerah tengah)	30 x 30	8	
		6	10,40 – 12,50 (termal)	60 x 60	8	
	7	Pan	0,520 – 0,900 (pankromatik)	15x15	8	
OLI	LDC M	1	0,43–0,45 (coastal blue)	30x30	12	(USGS, 2016)
		2	0,45–0,51 (blue)	30x30	12	
		3	0,53–0,59 (green)	30x30	12	
		4	0,64–0,67 (red)	30x30	12	
		5	0,85–0,88 (NIR)	30x30	12	
		6	1,57–1,65 (SWIR-1)	30x30	12	
		7	2,11–2,29 (SWIR-2)	30x30	12	
		8	0,50–0,68 (panchromatic)	15x15	12	
		9	1,36–1,38 (cirrus)	30x30	12	

Sensor	Misi Sate-lit	Band	Panjang Ge-lombang ( $\mu\text{m}$ )	IFOV (m)	Dynamic Range (bits)	Sum-ber
TIRS	LDCM	10	10,60–11,19 (TIR-1)	100x10 0	12	
		11	11,50–12,51(TIR-2)	100x10 0	12	

<sup>a</sup> MSS : band 4 sampai band 7 dimiliki oleh MSS. Saluran 1-4 dari Landsat 4 dan seterusnya. IFOV = 81,5; 82,5m untuk Landsat 4,5

<sup>b</sup> untuk MSS band 8 hanya digunakan di dalam Landsat 3

<sup>c</sup> TM saluran 7 digunakan untuk pemetaan hidrotermal (Lavender & Lavender, 2015)



**Gambar 22. Generasi satelit landsat 1-8 (LDCM) (<https://landsat.gsfc.nasa.gov/a-landsat-timeline/>)**

Integrasi teknologi penginderaan jarak jauh dengan memanfaatkan citra landsat dan GIS telah diterapkan secara luas dan telah diakui sebagai alat yang efektif dalam penelitian yang berkaitan dengan perkotaan atau tutupan lahan lain (Weng, 2010). Salah satu pemanfaatan citra Landsat multi temporal adalah untuk pemetaan hutan mangrove (Abdul *et al.*, 2015; Fatoyinbo *et al.*, 2008; Haryani, 2013; Green *et al.*, 1998; Franklin, 2001). Lebih jauh lagi citra ini juga dimanfaatkan untuk perhitungan stok karbon mangrove (Hamdan *et al.*, 2013; Zheng *et al.*, 2007).

### 6.5. Pemanfaatan Penginderaan Jauh untuk Pemetaan Mangrove

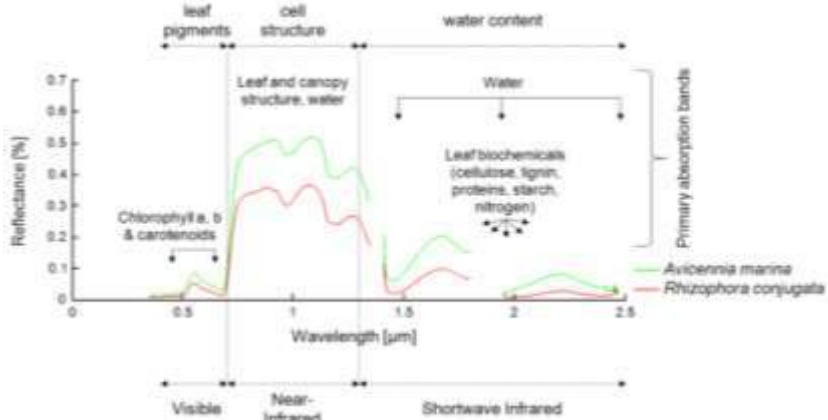
Ekosistem bakau memiliki relevansi yang luar biasa terhadap kondisi ekologis dan ekonomis, ada permintaan mendesak untuk tindakan konservasi dan restorasi. Mengambil informasi terbaru berkenaan dengan luas dan kondisi ekosistem mangrove merupakan hal penting untuk manajemen dan proses kebijakan dan pengambilan keputusan. Habitat bakau yang khas terendam dan sering berada di daerah tidak dapat diakses, akibatnya observasi lapangan dan survei sangat memakan waktu dan biaya. Untuk mengatasi masalah ini, dalam skala besar dan jangka



panjang, monitoring dan pemetaan yang hemat biaya diperlukan. Hal ini dapat diselesaikan menggunakan teknologi penginderaan jauh (Wang & Sousa, 2009; Kuenzer *et al.*, 2011)

Teknologi penginderaan jauh telah diterapkan dalam berbagai cara untuk pemetaan ekosistem mangrove. Beberapa aplikasi didokumentasikan termasuk pemetaan luas, mendeteksi spesies individu, dan memberikan perkiraan struktur dan parameter seperti luas daun, tinggi kanopi, dan biomassa. Karakterisasi ekosistem ini adalah untuk memantau dan mengevaluasi mangrove. Secara umum semua aplikasi penginderaan jauh dalam ekosistem bakau dapat mengidentifikasi sumber daya mangrove; mendeteksi; seleksi dan inventarisasi (Valiela *et al.*, 2001). Beberapa teknik yang telah digunakan untuk mendeteksi dan menggambarkan bakau adalah teknik klasifikasi *supervise* dan *unsupervise*, dan kadang-kadang kombinasi keduanya. Transformasi spektral seperti *principal components analysis* (PCA) atau *Tassel-Cap Transformation*, atau *indeks vegetasi spektral* seperti *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) (Mensah, 2013).

Mangrove dapat dibedakan dari karakteristik tekstur dan spektral kanopi dan daun. Penampilan strukturalnya sebagian lebih homogen atau heterogen tergantung pada beberapa faktor, seperti komposisi spesies, pola distribusi, bentuk pertumbuhan, kepadatan, dan tinggi. Nilai spektral dari suatu spesies dipengaruhi usia, vitalitas, dan fenologi dan karakteristik fisiologis (Blasco *et al.*, 1998). Perubahan iklim secara periodik yang mempengaruhi dinamika daun dan penuaan daun juga dapat berdampak pada respon spektral (Wang *et al.*, 2008). Perbedaan spektral yang disebabkan oleh komponen daun (garam, gula, air, protein, minyak, lignin, pati, dan selulosa, serta struktur daun) berinteraksi dengan radiasi elektromagnetik pada panjang gelombang dekat dan inframerah pertengahan bekerja lebih baik. Selain itu, efek pasang surut dan jenis tanah mempengaruhi sinyal spektral komunitas tumbuhan (Blasco *et al.*, 1998; Kuenzer *et al.*, 2011). Perbedaan nilai pantulan/spektral pada jenis mangrove *Avicennia marina* dan *Rhizophora* dapat dilihat pada Gambar 23.



**Gambar 23.** Karakteristik spektral dan parameter yang mempengaruhi jenis mangrove *Avicennia marina* dan *Rhizophora conjugata* yang diukur dengan spektrometer lapangan di Ca Mau Province, Vietnam, Januari 2010. (Kuenzer *et al.*, 2011)

## 6.6. Teknologi Penginderaan Jauh Dalam Pendugaan Stok Karbon Mangrove

Mangrove dapat menyerap karbon lebih baik dari ekosistem darat karena kemampuannya untuk mengubur karbon dalam sedimen (Jennerjahn & Ittekkot, 2002). Estimasi biomassa mangrove dengan survei lapangan dikombinasikan dengan data penginderaan jauh adalah metode yang ideal dan dianggap praktis (Heumann, 2011). Penginderaan jauh dikombinasikan dengan data survei lapangan seperti dbh (diameter setinggi dada), tinggi pohon dan persamaan alometrik untuk memperkirakan biomassa mangrove. Penilaian stok karbon dengan penginderaan jauh diharapkan dapat mengurangi metode destruktif atau kehancuran mangrove. Estimasi biomassa atau stok karbon mangrove menggunakan citra penginderaan jauh telah dilakukan dengan berbagai citra, seperti: Quickbird (Hirata *et al.*, 2014), ALOS (Frananda *et al.*, 2015), Landsat (Ishil & Tateda, 2004), RADARSAT (Li *et al.*, 2007). Resolusi citra yang berbeda menghasilkan akurasi model yang berbeda. Pemetaan stok karbon oleh penginderaan jauh terlepas dari spesies/jenis vegetasi mangrove dapat menyebabkan kesalahan, karena spesies yang berbeda tergantung pada kerapatan kanopi berkorelasi dengan nilai karbon. Jenis mangrove yang berbeda menunjukkan perbedaan yang signifikan dalam refleksi spektral dari spektrum elektromagnetik. Citra resolusi spasial tinggi memiliki kemampuan memetakan stok karbon lebih rinci pada tingkat spesies mangrove (Candra *et al.*, 2016).

Penggunaan penginderaan jauh satelit untuk mengukur biomassa mangrove untuk penghitungan karbon telah menyebar luas karena dapat memberikan penilaian yang akurat, efisien, dan berulang. Data penginderaan jauh dapat menyediakan sarana yang berguna untuk mengukur stok karbon di hutan (Khairunnisa & Hasmadi, 2012). Beberapa indeks vegetasi seperti : Indeks vegetasi seperti DVI (*Difference Vegetation Index*), EVI (*Enhanced Vegetation Index*), dan MRE-SR (*Modified Red Edge-Simple Ratio*) dan data lapangan dimodelkan untuk memperkirakan stok karbon (Candra *et al.*, 2016).

## VII. METODE ESTIMASI KARBON MANGROVE

Tahapan penelitian yang dilakukan terdiri dari 4 tahapan, yaitu : 1) Analisis citra satelit Sentinel-2 dan Landsat dengan menggunakan metode indeks vegetasi dan masking hasil klasifikasi wilayah mangrove, 2) Pengukuran data lapang mangrove untuk perhitungan biomassa dan karbon mangrove, 3) Pemodelan *hybrid* untuk estimasi karbon menggunakan citra Sentinel-2 dan Landsat. 4) Penerapan pemodelan untuk evaluasi perubahan stok karbon mangrove dan konversi ke CO<sub>2</sub> secara temporal tahun 1994, 2002, 2017.

### 7.1. Tahap I : Analisis citra satelit Sentinel-2 dan Landsat dengan menggunakan metode indeks vegetasi dan masking wilayah mangrove

Tahapan dalam tahap 1, yaitu : a) Praprosesing koreksi radiometrik citra satelit dengan menggunakan metode *at-sensor reflectance*; b) Koreksi geometri citra tidak dilakukan karena citra sudah terkoreksi; c) Transformasi indeks vegetasi dengan 24 metode : BR, GNV, GR, SAVI, MSAVI, NDRE, NDVI, NDVI2, NDWI, NNIP, PSRI, RR, RVI, SVI, VIRE, VIRRE, WVI, MTV1, MTV2, RDVI, VARI, VIGeen; MSR;TVI; d) Pemisahan wilayah mangrove hasil klasifikasi dengan metode *Otsu Threshold*; f) Penentuan lokasi plot sampling.

#### 7.1.1. Koreksi radiometrik

Koreksi radiometrik yang dipergunakan adalah metode *at-sensor reflectance*. Metode ini dilakukan dengan mengubah nilai piksel (*digital number*) ke *at-sensor radiance*. Kemudian dilakukan konversi ke *at-sensor reflectance*. Persamaan sebagai berikut (Danoedoro *et al.*, 2015; Lillesand *et al.*, 2004):

$$L_x = offset_x + Gain_x \times (BV)_x \dots\dots\dots (1)$$

$$Gain_x = (L_{maks} - L_{min})/BV_{maks} \dots\dots\dots (2)$$

$L_x$  adalah nilai radiansi; BV adalah *Brightness Value*; dan *Offset*, *Gain* dari perhitungan matematis nilai radiansi spektral maksimum-minimum pada metadata citra. Nilai *radiance* dirubah menjadi nilai *at-sensor reflectance* berdasarkan persamaan:

$$\rho P = \frac{\pi * L_x * d^2}{ESUN_x * Cos \theta S} \dots\dots\dots (3)$$

$$d = 1 - 0,01674 \cos (0,9856(JD - 4)) \dots\dots\dots (4)$$

- Dimana :  $\rho P$  = nilai *at-sensor reflectance*;  
 $L_{\lambda}$  = nilai radiansi ( $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ );  
 $\pi$  = 3,142857142857143;  
 $d$  = jarak bumi-matahari (unit astronomi);  
 $ESUN_{\lambda}$  = nilai spektral iradiansi matahari ( $Wm^{-2}\mu m^{-1}$ );  
 $\Theta_s$  = Sudut zenith matahari (derajat);  
 $JD$  = *Julian Day*.

Metode *at-sensor reflectance* lebih baik dari beberapa koreksi radiometrik menggunakan metode penyesuaian histogram, kalibrasi bayangan, dan koreksi *at-surface reflectance* (Danoedoro *et al.*, 2015).

### 7.1.2. Koreksi geometri

Pada penelitian ini citra yang dipergunakan adalah citra Sentinel-2, LDCM, Landsat 7 dan Landsat 5 sudah terkoreksi geometri, sehingga tidak dilakukan koreksi geometri ulang.

### 7.1.3. Transformasi Indeks Vegetasi

Setelah citra dilakukan koreksi dilakukan tahapan selanjutnya, yaitu: 1) analisis indeks vegetasi yang mempergunakan 24 metode indeks vegetasi, 2) klasifikasi mangrove dengan menggunakan metode *Otsu Threshold*. Indeks vegetasi yang dipergunakan adalah indeks vegetasi struktur. Indeks vegetasi yang dipilih disesuaikan dengan saluran yang dimiliki citra Sentinel-2 dan Landsat. Indeks vegetasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 13.

**Tabel 11. Persamaan Indeks vegetasi yang dipergunakan pada penelitian.**

No	Indeks	Persamaan	Sumber
1	BR ( <i>Blue Ratio</i> )	$\left(\frac{R}{B}\right) \times \left(\frac{G}{B}\right) \times \left(\frac{RE1}{B}\right) \times \left(\frac{NIR1}{B}\right)$	(Waser <i>et al.</i> , 2014; Ng <i>et al.</i> , 2017)
2	GNDVI ( <i>Green normalized difference Vegetation index</i> )	$\frac{NIR1 - G}{NIR1 + G}$	(Gitelson & Merzlyak, 1997)
3	GR ( <i>Green Ratio</i> )	$\frac{G}{R}$	(Waser <i>et al.</i> , 2014)
4	SAVI ( <i>Soil-Adjusted Vegetation Index</i> )	$\frac{(1 + 0.2) * (NIR1 - NIR2)}{(NIR1 + NIR2) + 0.2}$	(Huete, 1988; Roujean & Breon, 1995;

No	Indeks	Persamaan	Sumber
			Haboudane <i>et al.</i> , 2004)
5	MSAVI(modified SAVI)	$\frac{1}{2} \left[ 2 * NIR1 + 1 - \sqrt{(2 * NIR1 + 1)^2 - 8 * (NIR1 - R)} \right]$	(Qi <i>et al.</i> , 1994)
6	NDRE (Normalized difference Red-Edge index)	$\frac{NIR1 - RE}{NIR1 + RE}$	(Eitel <i>et al.</i> , 2011; Ramoelo <i>et al.</i> , 2015)
7	NDVI (normalized difference vegetation index)	$\frac{NIR1 - R}{NIR1 + R}$	(Rouse <i>et al.</i> , 1973; Pettorelli <i>et al.</i> , 2011; Gitelson & Merzlyak, 1997)
8	NDVI2 (normalized difference vegetation index)	$\frac{NIR2 - R}{NIR2 + R}$	(Rouse <i>et al.</i> , 1973)
9	NDWI (Normalized Difference Water Index)	$\frac{G - NIR1}{G + NIR1}$	(Gao, 1996)
10	NNIP (Normalized Near Infrared)	$\frac{NIR1}{(NIR1 + R + G)}$	(Sripada <i>et al.</i> , 2005; Ng <i>et al.</i> , 2017)
11	PSRI (Plant Senescence Reflectance Index)	$\frac{R - B}{RE1}$	(Merzlyak <i>et al.</i> , 1999)
12	RR (Red Ratio)	$\left(\frac{NIR1}{R}\right) \times \left(\frac{G}{R}\right) \times \left(\frac{NIR1}{RE1}\right)$	(Waser <i>et al.</i> , 2014)
13	RVI (Ratio Vegetation index)	$\frac{NIR1}{R}$	(Broge & Leblanc, 2001)
14	SVI (Sentinel Improved Vegetation Index)	$\frac{NIR2 - R}{NIR2 + R}$	(Ng <i>et al.</i> , 2017)
15	VIRE (Vegetation Index based on RedEdge)	$\frac{10.000 - NIR1}{RE1^2}$	(Ng <i>et al.</i> , 2017)
16	VIRRE (Vegetation	$\frac{NIR1}{RE1}$	(Ng <i>et al.</i> , 2017)

No	Indeks	Persamaan	Sumber
	<i>Index Ratio based on RedEdge)</i>		
17	WVVI ( <i>World View Improved Vegetative Index</i> )	$\frac{NIR2 - REI}{NIR2 + REI}$	(Wolf, 2012)
18	MTV ( <i>Modified Triangular Vegetation Index 1</i> )	$1,2 * [1,2 * (NIR - G) - 2,5 * (R - G)]$	(Haboudane et al., 2004)
19	MTV 2 ( <i>Modified Triangular Vegetation Index 2</i> )	$\frac{1.5 * (1,2 * (NIR - G) - 2.5 * (R - G))}{\sqrt{(2 * NIR + 1)^2 - (6 * NIR - 5 * \sqrt{R})}}$	(Haboudane et al., 2004)
20	RDVI ( <i>renormalized difference vegetation index</i> )	$[(NIR - R)/(NIR + R)^2]$	(Roujean & Breon, 1995)
21	VARI ( <i>vegetation atmospherically resistant index</i> )	$\frac{(G - R)}{(G + R - B)}$	(Gitelson et al., 2002)
22	VI green	$\frac{(G - R)}{(G + R)}$	(Gitelson et al., 2002)
23	MSR ( <i>Modified Simple Ratio</i> )	$\frac{\left(\left(\frac{NIR}{R}\right) - 1\right)}{\left(\left(\frac{NIR}{R}\right) + 1\right)^{0.5}}$	(Chen, 1996; Haboudane et al., 2004)
24	TVI ( <i>triangular vegetation index</i> )	$0.5 * (120 * (NIR - G)) - 200 * (R - G)$	(Broge & Leblanc, 2001)

Keterangan : Blue (B), Green (G), Red (R), Near-infrared 1 (NIR1), Near-infrared 2 (NIR2), Red Edge 1 (RE1), Red Edge 2 (RE2).

#### 7.1.4. Masking wilayah mangrove

Masking wilayah mangrove bertujuan untuk memisahkan wilayah mangrove dengan wilayah yang bukan mangrove. Metode yang dipergunakan adalah metode *hybrid* NDVI dengan mendeteksi hutan mangrove dan bukan menggunakan nilai *threshold* dari NDVI. Metode *automatic thresholding* yang dipergunakan adalah *Otsu Threshold*. Metode ini diformulasikan oleh Professor Nobuyuki Otsu dari Tokyo University tahun 1979 (Otsu, 1979). Metode ini secara otomatis dapat memisahkan antara

vegetasi yang kecil (semai), pancang dan pohon. Persamaan *Otsu Threshold* :

$$\begin{cases} \sigma^2 = P_{nw} \cdot (M_{nw} - M)^2 + P_w \cdot (M_w - M)^2 \\ M = P_{nw} \cdot M_{nw} + P_w \cdot M_w \\ P_{nw} + P_w = 1 \end{cases}$$

$$t^* = \text{ArgMax}\{P_{nw} \cdot (M_{nw} - M)^2 + P_w \cdot (M_w - M)^2\} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan :

- $\sigma^2$  = varian di dalam kelas perairan maupun bukan perairan
- $P_{nw}$  = probabilitas nilai pixel untuk masuk kelas bukan perairan
- $P_w$  = probabilitas nilai pixel untuk masuk kelas perairan
- $M_{nw}$  = rata-rata nilai pixel kelas bukan perairan
- $M_w$  = rata-rata nilai pixel kelas perairan
- $M$  = rata-rata nilai pixel citra NDVI
- $t^*$  = nilai threshold

Dalam penelitian ini penentuan *otsu Threshold* ini dengan menggunakan software Fiji.

#### **7.1.5. Penentuan lokasi sampel**

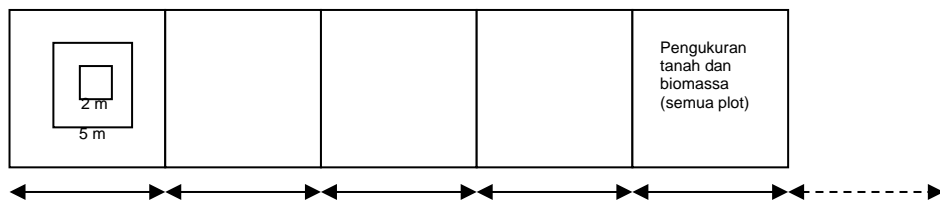
Tahap selanjutnya menentukan titik-titik sampel untuk pengambilan data lapang pengukuran pohon, pancang, kayu mati, tumbuhan bawah/sampah dan tanah. Jumlah plot yang dibutuhkan harus dihitung sebagai berikut:

$$\text{jumlah minimum plot sampel } (n) = \left(\frac{t \cdot s}{E}\right)^2 \dots\dots\dots (6)$$

keterangan:

- $n$  = jumlah plot sampel,
- $t$  = sampel statistik dari t-distribusi untuk interval kepercayaan 95%,  $t$  biasanya ditetapkan pada 2, ukuran sampel tidak diketahui;
- $s$  = standar deviasi yang diharapkan atau diketahui dari data sebelumnya atau awal;
- $E$  = kesalahan yang diperbolehkan atau diinginkan setengah lebar dari selang kepercayaan, dihitung dengan mengalikan stok karbon rata-rata dengan presisi yang diinginkan, yaitu berarti \* 0,1 (untuk 10% presisi)(Kauffman & Donato, 2012).



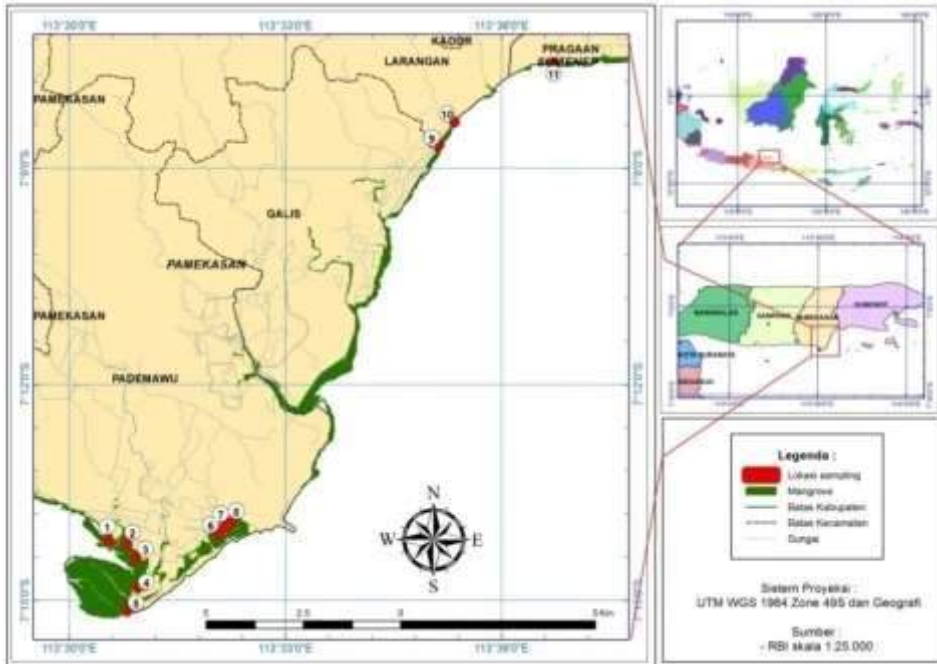


**Gambar 24.** Desain pengambilan sampel lapangan di transek untuk memperkirakan karbon di atas dan di bawah tanah yang dimodifikasi (Murdiyarso *et al.*, 2009; Kauffman & Donato, 2012; Hairiah, *et al.*, 2001)

Penelitian ini dalam penentuan plot sampel menggunakan metode *stratified random sampling*. Penentuan stratifikasi berdasarkan kondisi volume tegakan biomassa mangrove dan lokasi mangrove berdasarkan mangrove muara dan mangrove laut. Jumlah stratifikasi dalam penelitian terdapat 11 stasiun. Pada masing-masing stasiun/strata terdapat 10 plot. Desain plot pada setiap stasiun seperti pada Gambar 30. Total jumlah plot sampel pada penelitian ini terdapat 110 plot. Jenis mangrove berdasarkan lokasi penelitian dibagi menjadi mangrove muara dan mangrove laut. Lokasi mangrove muara pada stasiun 1, 2, 3, 4, 5 dan untuk stasiun mangrove laut pada stasiun 6, 7, 8, 9, 10, 11 (Gambar 31).

Menghitung stok karbon hutan yang beranekaragam perlu distratifikasi. Tujuan stratifikasi adalah membedakan kondisi tegakan berdasarkan perbedaan volume biomassa, sehingga meningkatkan ketelitian. Penerapan stratifikasi awal menggunakan data citra penginderaan jauh sehingga meningkatkan akurasi dan efektifitas biaya (Stringer *et al.*, 2015; Jones *et al.*, 2014; Eckert *et al.*, 2011; Hamdan *et al.*, 2013)

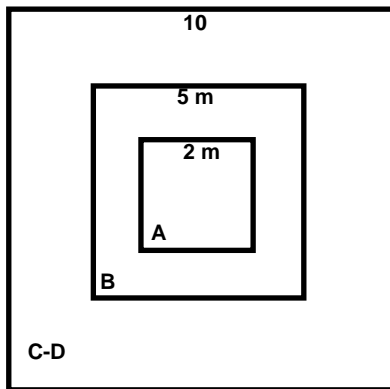
Metode stratified sampling disarankan untuk inventarisasi karbon di hutan tropis Indonesia karena memiliki variasi stok karbon yang sangat tinggi. Pada setiap stratifikasi dilakukan pengukuran karbon dengan menempatkan plot-plot pengukuran. Metode *stratified random sampling* menghasilkan pendugaan yang lebih teliti dibandingkan metode lain (Wibowo, 2010; Lugina *et al.*, 2011).



**Gambar 25.** Titik sampel di Desa Manjung Kecamatan Pademawu Kabupaten Pamekasan.

## **7.2. Tahap II : Pengukuran lapang untuk perhitungan biomassa dan karbon mangrove**

Pada tahap awal setelah menentukan lokasi titik sampel, maka menentukan ukuran plot. Ukuran plot/petak dalam penelitian ini disesuaikan dengan pixel pada citra sentinel-2 yang dipergunakan yaitu 10x10 m. Plot sebagai berikut: a) Semai luasan minimal 4 m<sup>2</sup>; b) Pancang luasan minimal 25 m<sup>2</sup>; c) Tiang luasan minimal 100 m<sup>2</sup>; d) Pohon luasan minimal 100 m<sup>2</sup>. Bentuk dan ukuran plot lihat Gambar 32.



Keterangan gambar :  
 A : sub plot untuk semai, serasah, tumbuhan bawah  
 B : sub plot untuk pancang  
 C-D : sub plot untuk tiang dan pohon

**Gambar 26. Contoh bentuk plot persegi**

**7.2.1. Identifikasi mangrove, dbh, kerapatan, frekuensi, INP, dominasi**

Pada tahap awal dilakukan identifikasi jenis mangrove. Identifikasi ini berdasarkan panduan pengenalan mangrove di Indonesia yang dibuat oleh Wetlands International dan Ditjen PHKA. Pohon mangrove memiliki banyak kesamaan, pengamatan difokuskan pada perbedaan kulit kayu, tipe akar serta bunga/buahnya. Jika waktu pengamatan tidak memungkinkan, dilakukan dengan mengambil daun, bunga, dan buah dari pohon yang akan diidentifikasi (Noor *et al.*, 1999; Tomlinson, 1986).

Struktur vegetasi mangrove ditentukan dengan menganalisis parameter dalam SNI 7717:2011 tentang survei dan pemetaan mangrove (Ati *et al.*, 2014; Rachmawati *et al.*, 2007; Manuri *et al.*, 2013; Sutaryo, 2009), yaitu :

a. Kerapatan:

$$\text{Kerapatan Mutlak (KM)} = \frac{\sum \text{Individu suatu jenis}}{\text{Luas plot contoh}} \dots\dots\dots (7)$$

$$\text{Kerapatan Relatif(KR)} = \frac{\text{Kerapatan mutlak suatu jenis}}{\sum \text{Total kerapatan mutlak jenis}} \times 100\% . (8)$$

b. Frekuensi

$$\text{Frekuensi Mutlak (FM)} = \frac{\sum \text{Plot yang ditempati suatu jenis}}{\sum \text{Seluruh plot contoh}} \dots\dots (9)$$

$$\text{Frekuensi Relatif (FR)} = \frac{\text{Frekuensi suatu jenis}}{\text{Frekuensi total seluruh jenis}} \times 100\% (10)$$

c. Dominasi

$$\text{Dominasi Mutlak (DM)} = \frac{\text{Luas basal area suatu jenis } (\frac{1}{4}\pi d^2)}{\text{Luas area penelitian}} . (11)$$

$$\text{Dominasi Relatif (DR)} = \frac{\sum \text{Dominansi suatu jenis}}{\sum \text{Dominansi seluruh jenis}} \times 100\% \dots\dots (12)$$

d. Indeks Nilai Penting

Untuk pohon :  $INP=KR+FR+DR$  ..... (13)

Untuk pancang dan semai :  $INP = KR+FR$ ..... (14)

**7.2.2. Estimasi biomassa dan karbon mangrove pada permukaan dan biomassa bawah permukaan mangrove di lapang**

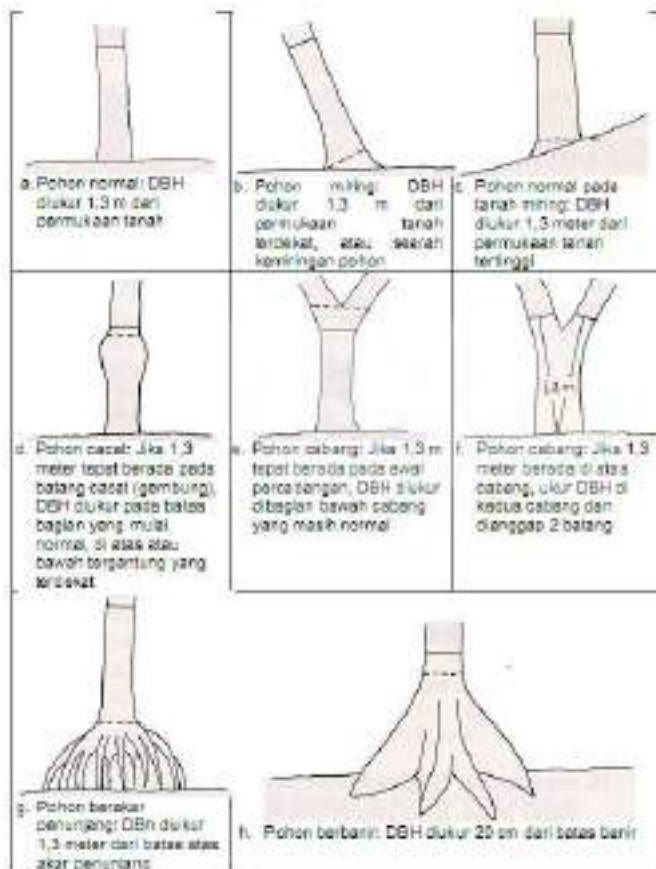
Pengukuran biomassa mangrove menggunakan SNI 7724:2011 tentang pengukuran dan perhitungan stok karbon–pengukuran lapangan untuk penaksiran stok karbon hutan (Kauffman & Donato, 2012; Bismark *et al.*, 2008; Dharmawan & Siregar, 2008; Dharmawan, 2010).

**1) Pengukuran biomassa di atas permukaan tanah**

a. **Pengukuran biomassa pohon**, tahapan pengukuran biomassa pohon dilakukan sebagai berikut:

- identifikasi nama dan jenis pohon mangrove;
- ukur diameter setinggi dada (dbh) setiap pohon mangrove dalam petak;
- catat data dbh dan nama jenis ke dalam lembar perhitungan;
- hitung biomassa pohon mangrove.

Pengukuran diameter setinggi dada (dbh) pada kondisi pohon mangrove di lapangan dapat mengacu pada Gambar 33. Dalam penelitian ini untuk menduga biomassa pohon mangrove menggunakan persamaan alometrik dari beberapa penelitian sebelumnya. Persamaan alometrik yang dipergunakan dapat dilihat pada Tabel 14.



**Gambar 27. Pengukuran diameter setinggi dada pada berbagai kondisi pohon(SNI 7724:2011) (Hairiah et al., 2001).**

**Tabel 12. Persamaan Alometrik untuk pendugaan biomassa pohon mangrove .**

No	Jenis	Persamaan	Sumber
1	<i>Avicennia marina</i>	$W = 0,1848(DBH)^{2,3524}$ , $R^2 = 0,9839$ , n=47, DBH max=35,2	(I. W. S. Dharmawan & Siregar, 2008)
2	<i>Avicennia germinans</i>	$W = 0,140 (DBH)^{2,40}$ , $R^2 = 0,97$ , n = 25, Dmax= 42 cm,	(Fromard et al, 1998)
3	<i>Laguncularia racemosa</i>	$W = 103,3 (DBH)^{2,5}$ , $R^2 = 0,97$ , n = 70, Dmax = 10 cm,	(Fromard et al., 1998)
4	<i>Rhizophora apiculata</i>	$W=0,0695 (DBH)^{2,644*p}$ $R^2=0,89$ , n=191, DBH max = 60	(Kauffman & Cole, 2010)

5	<i>Rhizophora mangle</i>	$W = 0,722 (DBH)^{1,731}$ , $R^2 = 0,94$ , $n = 14$ , $D_{max} = 20$ cm,	(Smith & Whelan, 2006)
6	<i>Rhizophora stylosa</i>	$\log W = -0,696 + 2,465 \log (DBH)$ , $R^2 = 1$ , $n = 6$ , $DBH = -$ cm,	(Comley & McGuinness, 2005)
7	<i>Rhizophora candelera</i>	$W = 3,3512 (DBH)^{0,7652}$ $R^2 = 0,888$ , $n = 270$ , $DBH = 0,4-7$	(Robertson & Along, 1992)
8	<i>Rhizophora spp. (mangle dan racemosa)</i>	$W = 128,2 (DBH)^{2,60}$ , $R^2 = 0,92$ , $n = 9$ , $D_{max} = 32$ cm,	(Fromard et al, 1998)
9	<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	$W = 0,0754 (DBH)^{2,505 \cdot \rho}$ $R^2 = 0,91$ , $n = 326$ , $DBH_{max} = 132$ cm	(Kauffman & Cole, 2010)
10	<i>Bruguiera parviflor</i>	$W = 0,1679 (DBH)^{2,4167}$ $R^2 = 0,993$ , $n = 16$ , $DBH = 2-21$ cm	(Robertson & Along, 1992)
11	<i>Bruguiera exaristata</i>	$\log W = -0,643 + 1,141 \log (DBH)$ , $R^2 = 0,99$ , $n = 10$ , $DBH = -$ ,	(Comley & McGuinness, 2005)
12	<i>Ceriops tagal var. australis</i>	$W = 0,1885 (DBH)^{2,3379}$ $R^2 = 0,989$ , $n = 26$ , $DBH = 2-8$ cm	(Robertson & Along, 1992)
13	<i>Xylocarpus granatum</i>	$W = 0,0823 (DBH)^{2,5883}$ $R^2 = 0,994$ , $n = 15$ , $DBH = 3-17$ cm	(Robertson & Along, 1992)
14	<i>Sonneratia apetala</i>	$W = 2,835 (DBH)^{3,214}$	(Lunstrum & Chen, 2014)
15	<i>Sonneratia alba</i>	$W = 0,3841 (DBH)^{2,101 \cdot \rho}$ $R^2 = 0,98$ ; $N = 104$ , $DBH_{max} = 323$ cm	(Cole et al., 1999 ; Kauffman & Cole, 2010)
	umum	$W = 0,251 \rho \cdot (DBH)^{2,46}$ , $R^2 = 0,98$ , $n = 104$ , $DBH_{mas} = 49$ $W = \rho \cdot \exp(-1,349 + 1,980 \ln(DBH) + 0,207 \cdot (\ln(DBH))^2 - 0,0281 (\ln(DBH))^3)$ $R^2 = 0,45$ , $n = 69$ , $DBH_{max} = 42$ cm $W = 0,168 \rho \cdot (DBH)^{2,471}$ $R^2 = 0,99$ , $n = 84$ , $DBH_{max} = 42$ cm	(Komiya et al., 2005) (Chave et al., 2005) (Komiya et al., 2008)

- b. **Pengukuran biomassa tumbuhan bawah.** Pengukuran biomassa tumbuhan bawah dengan tahapan sebagai berikut: dengan menggunakan gunting stek potong semua bagian tumbuhan bawah di atas permukaan tanah; dalam area plot timbang berat basah total tumbuhan bawah; sebanyak  $\pm 300$  gram ambil dan timbang berat basah tumbuhan sebagai contoh; lakukan

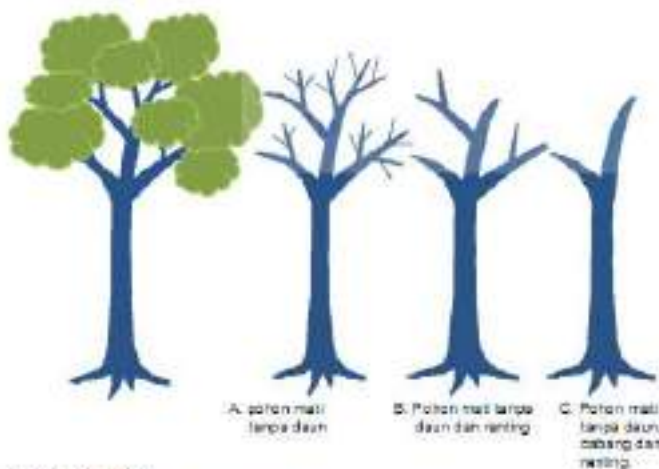
pengeringan dengan menggunakan oven di laboratorium dengan kisaran suhu 70 °C sampai dengan 85 °C hingga mencapai berat konstan; timbang berat kering tumbuhan bawah; lakukan analisis karbon organik di laboratorium untuk melihat stok karbonnya (SNI 7724:2011);

**2) Pengukuran biomassa serasah**, dalam SNI 7724:2011 menjelaskan bahwa pengukuran serasah untuk tipe nisbah akar pucuk mangrove tidak dilakukan pada penelitian ini. Hal tersebut karena faktor pasang surut air laut yang menyebabkan serasah yang diukur sepenuhnya bukan berasal dari tegakan mangrove pada lokasi tersebut. Kauffman & Donato (2012) menjelaskan *vegetasi understory* (misalnya bibit dan tumbuhan) umumnya diabaikan di hutan bakau dan pengukuran untuk stok karbon biasanya tidak diperlukan.

**3) Pengukuran biomassa pohon mati dan kayu mati (*necromass*),**

a. **Pengukuran biomassa pohon mati.** Penelitian ini pengukuran biomassa pohon mati menggunakan metode alometrik. Tahapan pengukuran biomassa pohon mati dengan metode alometrik sebagai berikut:

- Pengukuran dbh pohon mati;
- Penentuan tingkat keutuhan pohon mati dengan melihat Gambar 34;
- Perhitungan biomassa pohon mati dengan persamaan alometrik dikalikan dengan faktor koreksi dari tingkat keutuhan pohon mati (lihat Gambar 34).



Keterangan gambar:  
A: tingkat keutuhan dengan faktor koreksi 0,3  
B: tingkat keutuhan dengan faktor koreksi 0,5  
C: tingkat keutuhan dengan faktor koreksi 0,7

**Gambar 28. Tingkat keutuhan pohon mati( Kauffman & Donato, 2012)**

b. **Pengukuran biomassa kayu mati.** Penelitian ini pengukuran biomassa kayu mati berdasarkan penimbangan langsung, tahapannya sebagai berikut:

- kayu mati pada plot pengukuran dikumpulkan;

- dilakukan penimbangan berat total dari kayu mati;
- diambil contoh dan timbang minimal 300 gram;
- contoh kayu mati dilakukan pengeringan dengan menggunakan oven terhadap pada kisaran suhu 70 °C sampai dengan 85 °C hingga beratnya konstan;
- timbang berat kering contoh kayu mati.

**4) Pengukuran stok karbon organik tanah**, pada tanah mineral mangrove melalui tahapan sebagai berikut (Lugina *et al.*, 2011; BSN, 2011):

- Pengambilan contoh tanah dari keempat arah mata angin dan tengah plot.
- Contoh tanah dilakukan komposit dengan mencampurkan contoh tanah dari kelima titik dan pada kedalaman 0 - 5 cm, 15-50 cm, dan >50 cm
- Pengambilan sampel tanah pada masing-masing titik dengan ring soil, pada kedalaman 0 - 5 cm;
- Contoh tanah dari ring soil sampler ditimbang berat basah nya di lapangan;
- Pengeringan contoh tanah dengan dianginkan di laboratorium; dan dilakukan penimbangan dan pencatatan berat;
- Dilakukan analisis berat jenis tanah dan stok karbon organik tanah. Berat jenis tanah ditentukan dengan membagi sampel tanah oven-kering dengan volume sampel. sebagai berikut (Kauffman & Donato, 2012) :

$$\text{Berat jenis tanah } (gcm^{-3}) = \frac{\text{sampel massa kering-oven } (g)}{\text{Volume sampel } (m^3)} \dots (15)$$

**1) Pengukuran biomassa di bawah permukaan tanah/akar**, dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$B_{bp} = NAP \times B_{ap} \dots \dots \dots (16)$$

Keterangan:

- $B_{bp}$  : biomassa di bawah permukaan tanah (kg);
- NAP : nilai nisbah akar pucuk;
- $B_{ap}$  : nilai biomassa atas permukaan (*above ground biomass*), (kg)

**Tabel 13. Nisbah akar pucuk pada berbagai tipe hutan tropis**

Tipe hutan	Nisbah akar pucuk	Contoh lokasi
Hutan hujan tropis	0,37	Hutan campuran Dipterocarpa di Kalimantan
Hutan yang menggugurkan daun	0,20 – 0,24	Hutan jati
Hutan daerah kering tropis	0,28 - 0,56	Hutan savana di NTT
Semak tropis	0,40	Hutan bekas kebakaran
Hutan pegunungan tropis	0,27 -0,28	Hutan wilayah dataran tinggi



Sumber data IPCC 2006 *Guideline for National Greenhouse Gas Inventories* (SNI 7724:2011)

Pada Tabel 15 nisbah akar tidak ada yang spesifik untuk mangrove. Pada penelitian ini menggunakan metode dalam Kauffman dan Donato (2012). Persamaan umum sebagai berikut (Kauffman & Donato, 2012; Komiyama *et al.*, 2008):

$$B = 0,199 * \rho^{0,899} * (DBH)^{2,22} \dots\dots\dots (17)$$

Keterangan : B = Biomassa bawah tanah (kg),  
 ρ = Berat jenis kayu (g cm<sup>-3</sup>) dalam Tabel 16  
 DNH diameter setinggi dada (cm).

Massa karbon akar dihitung sebagai produk dari biomassa akar dan konsentrasi akar karbon. konsentrasi karbon dari akar biasanya lebih rendah dari komponen pohon di atas tanah

**Tabel 14. Berat jenis kayu untuk jenis mangrove**

Jenis Mangrove	Berat jenis (g cm <sup>-3</sup> )
<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	0,741
<i>Rhizophora apiculata</i>	1,050
<i>Rhizophora mangle</i>	0,830
<i>Sonneratia alba</i>	0,078
<i>Avicennia germinans</i>	0,661
<i>Laguncularia racemosa</i>	0,600
<i>Avicennia officinalis</i>	0,670
<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	0,860
<i>Ceriops decandra</i>	0,960
<i>Excoecaria agallocha</i>	0,450
<i>Heritiera fomes</i>	1,074
<i>Sonneratia apetala</i>	0,559
<i>Xylocarpus granatum</i>	0,700
<i>Xylocarpus mekongensis</i>	0,725
Rata-rata	0,752

Sumber : (Kauffman & Donato, 2012)

**2) Perhitungan Stok Karbon**, perhitungan stok karbon didasarkan pada SNI 7724 :2011.

- a) **Penghitungan biomasa atas permukaan.** Pada penelitian ini penghitungan biomasa atas permukaan berdasarkan persamaan alometrik (Tabel 14). Biomasa dihitung menggunakan persamaan alometrik yang sesuai dengan nama jenis atau kelompok jenis mangrove.
- b) **Penghitungan biomasa bawah permukaan (akar)**, tahapan dilakukan dengan: pertama hitung biomassa pohon atas permukaan; hitung nisbah akar pucuk. Persamaan yang dipergunakan adalah persamaan nomor 17.

c) **Penghitungan bahan organik serasah, kayu mati dan pohon mati**, dilakukan dengan persamaan:

$$Bo = \frac{BksXBbt}{Bbs} \dots\dots\dots (18)$$

Keterangan: Bo : berat bahan organik (kg);  
Bks : berat kering contoh (kg);  
Bbt : berat basah total (kg);  
Bbs : berat basah contoh (kg)

3) **Penghitungan karbon**, perhitungan karbon didasarkan pada SNI 7724:2011.

a) **Penghitungan karbon dari biomassa**, karbon dari biomassa diperhitungkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Cb = B \times \% C \text{ organik} \dots\dots\dots (19)$$

Keterangan: Cb : stok karbon biomassa (kg);  
B : total biomassa (kg);  
%C organik : nilai persentase stok karbon sebesar 0,47 atau nilai persen karbon hasil pengukuran di laboratorium.

b) **Penghitungan karbon dari bahan organik mati (serasah, kayu mati dan pohon mati)**, sebagai berikut:

$$Cm = Bo \times \% C \text{ organik} \dots\dots\dots (20)$$

Keterangan: Cm : stok karbon bahan organik mati (kg);  
Bo : total biomassa/bahan organik (kg);  
%C organik : nilai persentase stok karbon sebesar 0,47 atau diperoleh dari hasil pengukuran di laboratorium

c) **Penghitungan karbon tanah** , rumus sebagai berikut:

$$Ct = Kd \times \rho \times \% C \text{ organik} \dots\dots\dots (21)$$

Keterangan: Ct : stok karbon tanah (g cm<sup>-2</sup>);  
Kd : kedalaman contoh tanah (cm)  
 $\rho$  : kerapatan lindak (bulk density) (g cm<sup>-3</sup>);  
% C organik : persentase stok karbon sebesar 0,47 atau dari hasil pengukuran laboratorium pada tanah kedalaman 0 - 5 cm, 15-50 cm, dan >50 cm.

Menghitung kolam karbon tanah, dengan menjumlahkan massa masing-masing kedalaman tanah sampel. Kolam karbon total tanah ditentukan dengan membagi horizon tanah menjadi interval kedalaman 0-15 cm, 15-50 cm, >50 cm dan melakukan pengukuran konsentrasi karbon di setiap lapisan (Kauffman & Donato, 2012).

8) **Penghitungan stok karbon total pada tiap plot**, perhitungan stok karbon total didasarkan pada SNI 7724 :2011. Menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Cplot = (Cbap + Cbbp + Ckm + Cpm + Ctanah \dots\dots (22)$$

- Keterangan: Cplot : total stok karbon pada plot (ton ha<sup>-1</sup>);  
Cbap : total stok karbon biomassa atas permukaan per hektar pada plot (ton ha<sup>-1</sup>);  
Cbbp: total stok karbon biomassa bawah permukaan per hektar pada plot (ton ha<sup>-1</sup>);  
Ckm : total stok karbon kayu mati per hektar pada plot, (ton ha<sup>-1</sup>);  
Cpm : total stok karbon pohon mati per hektar pada plot, (ton ha<sup>-1</sup>);  
Ctanah: total stok karbon tanah per hektar pada plot (ton ha<sup>-1</sup>).

### **7.3. Tahap III : Pemodelan *hybrid* estimasi karbon menggunakan citra Sentinel-2 dan Landsat**

#### **7.3.1. Pemetaan kerapatan lindak tanah, % C tanah dan kedalaman sedimen dengan metode interpolation pengukuran data lapang (data kerapatan lindak, % C tanah, pengukuran kedalaman).**

Pemetaan kedalaman sedimen mangrove, kerapatan lindak dan % C tanah. Parameter tersebut didapatkan dari pengukuran lapang pada semua plot pengukuran (110 plot), data tersebut adalah kedalaman sedimen (cm), kerapatan lindak (g cm<sup>-3</sup>), C organik tanah (%) (kedalaman 0-15 cm, 15-50 cm dan > 50 cm). Data tersebut kemudian dimodelkan untuk mendapatkan peta sebaran kedalaman sedimentasi, peta kerapatan lindak dan peta % C tanah. Metode yang dipergunakan dalam membuat peta tersebut adalah metode interpolasi. Metode interpolasi yang dipergunakan adalah metode kriging (seperti pada persamaan 27).

Kriging adalah metode estimasi dengan memberikan estimator BLUE (*Best Linier Unbiased Estimator*) dari nilai titik atau rata-rata blok. Faktor-factoryang mempengaruhi akurasi metode ini, yaitu: banyaknya sampel, posisi sampel, jarak antar sampel dengan titik yang akan diestimasi, kontinuitas spasial dari variabel-variabel yang terlibat. Persamaan kriging sebagai berikut (Chilès & Delfiner, 2012) :

$$\hat{Z}(X_0) - m = \sum_{i=1}^k \lambda_i [Z(X_i) - m] \dots\dots\dots (23)$$

- Keterangan : m = nilai mean (konstanta skalar)  
 $\lambda_i$  = bobot  $z(\lambda_i)$  untuk estimasi lokasi x. Nilai  $z(\lambda_i)$  yang sama akan memiliki koefisien bobot yang berbeda untuk estimasi pada lokasi yang berbeda.  
 $X_i$  = vector lokasi berbeda.  
k = banyak data yang tersampel untuk estimasi.

### 7.3.2. Pemodelan stok karbon mangrove.

Tahap selanjutnya adalah untuk mencari pemodelan stok karbon mangrove terbaik (dengan akurasi paling tinggi). Beberapa pemodelan dilakukan untuk mendapatkan pemodelan terbaik, yaitu :

- 1) Pemodelan estimasi karbon total dengan indeks vegetasi (citra Sentinel-2 dan LDCM) menggunakan pendekatan regresi.
- 2) Pemodelan *Hybrid* : Pemodelan estimasi karbon mangrove dengan memisahkan karbon biomassa dan karbon tanah, yaitu :
  - a) Pemodelan estimasi karbon biomassa (batang, akar, tanaman bawah) dengan indeks vegetasi menggunakan pendekatan regresi non linier
  - b) Pemodelan estimasi karbon tanah yang dilakukan dengan beberapa model, kemudian dicari model dengan akurasi paling baik (uji RMSE paling kecil). Pemodelan tersebut yaitu:
    - Pemodelan dengan menggunakan persamaan perhitungan karbon tanah (persamaan 21).
    - Pemodelan dengan pendekatan regresi antara stok karbon tanah (variabel terikat) dan indeks vegetasi (variabel bebas).
    - Pemodelan dengan pendekatan regresi berganda antara stok karbon tanah (variabel terikat) dengan indeks vegetasi, kedalaman sedimen, kerapatan lindak dan % C tanah (variabel bebas)

Indeks vegetasi yang dipergunakan 24 jenis, kemudian dicari yang terbaik. Mencari persamaan yang terbaik pada tahap awal dilakukan dengan melihat nilai koefisien korelasi (R) dan koefisien determinasi (R<sup>2</sup>). Seperti dalam Danoedoro *et al.*, 2015; Candra *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2007; Wahyuni, 2014; Yu *et al.*, 2014 menggunakan analisis statistik regresi non-linear berupa nilai koefisien korelasi (R), koefisien determinasi (R<sup>2</sup>). Tahap selanjutnya dilakukan uji RMSE.

Model analisis regresi yang digunakan adalah regresi non-linear terdiri atas eksponensial, logaritmik, polynomial, Power/geometrik untuk mendapatkan rumus. Persamaan regresi sebagai berikut (Davidson & Mackinnon, 1999):

- Eksponensial :  $Y = a * e^{bX}$  ..... (24)
- Logaritmik :  $Y = a + b * \ln(x)$  ..... (25)
- Polynomial :  $Y = a + bX + cX^2$  ..... (26)
- Power/geometrik :  $Y = a * X^b$  ..... (27)

Model akhir didapatkan dengan mensimulasikan dari pemodelan-pemodelan yang dilakukan diatas, dengan menggabungkan antara model estimasi karbon biomassa terbaik dengan model estimasi karbon tanah terbaik. Pemodelan dengan menggunakan metode *hybrid*. Metode *hybrid*

dengan menggabungkan dua pendekatan yang berbeda, yaitu dengan menggunakan data citra satelit dan data pengukuran lapang. Sebagai contoh untuk pemetaan lahan basah oleh beberapa parameter : (1) menganalisis data citra series tahunan dari satelit dan (2) pemodelan topografi. Metode ini merangkum berbagai dataset dengan latar belakang yang berbeda dan menggabungkan indeks berasal dari lahan digunakan bersama-sama (Gumbricht, 2015).

Pada penelitian ini tahapan akhir pemodelan dilakukan beberapa simulasi, yaitu :

1. Simulas model dengan input nilai indeks vegetasi, kedalaman sedimen, kerapatan lindak tanah dan % karbon tanah.
2. Simulasi model dengan input nilai indeks vegetasi, kedalaman sedimen dan kerapatan lindak.
3. Simulasi model dengan input nilai indeks vegetasi dan kedalam tanah.
4. Simulasi model dengan input hanya indeks vegetasi.

### **7.3.3. Uji akurasi model dengan RMSE.**

Uji akurasi seperti yang dalam penelitian Clark *et al.*, (2011); Kulawardhana *et al.*, (2014); Cartus *et al.*, (2014); Hu *et al.*, (2016); Frananda *et al.*, (2015); Li *et al.*, (2007) menggunakan *correlation coefficient* (r) dan *Root Mean Square Error* (RMSE) untuk menentukan transformasi indeks vegetasi yang paling baik dalam memodelkan stok karbon pada mangrove. Persamaan regresi ini digunakan untuk membangun peta distribusi stok karbon berdasarkan indeks vegetasi terbaik. Persamaan RMSE sebagai berikut :

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \dots\dots\dots(28)$$

$$RMSE \% = 100 \times \frac{RMSE}{\bar{y}} \dots\dots\dots(29)$$

dimana :  $x_i$  = Nilai Stok karbon hasil pengukuran,  $y_i$  =prediksi nilai stok karbon,  $\bar{y}$ = rata-rata karbon hasil pengukuran (Alan *et al.*, 2017; Köhl *et al.*, 2006; Weng, 2010a; Kamal, 2015; Thenkabail, 2016; Chuvieco *et al.*, 2010; Alparone *et al.*, 2015; Vicharnakorn *et al.*, 2014)

### **7.4. Tahap IV : Evaluasi Perubahan stok karbon mangrove dan konversi ke CO2 secara temporal tahun 1994, 2002, 2017.**

Tahapan selanjutnya adalah evaluasi perubahan stok karbon mangrove di Pulau Madura dengan memanfaatkan model estimasi stok karbon menggunakan citra satelit Landsat. Evaluasi perubahan ini memanfaatkan citra Landsat karena citra ini memiliki beberapa generasi satelit, mulai dari

Landsat 1 sampai 8. Data citra untuk analisis evaluasi perubahan stok karbon mangrove pada penelitian ini adalah (1) Citra Landsat 5 tahun 1994, (2) Citra Landsat 7 tahun 2002, (3) Citra Landsat 8 (LDCM) tahun 2017. Alasan dipergunakannya citra pada tahun tersebut adalah : (1) diperlukan citra yang cukup lama (>8 tahun) sehingga mampu melihat perubahan mangrove, (2) ketersediaan citra yang memenuhi syarat (gangguan awan <10%) sehingga menghasilkan hasil analisis yang akurat. Hasil analisis stok karbon pada masing-masing tahun, kemudian dianalisis perubahan stok karbonnya. Selanjutnya nilai stok karbon dikonversikan ke CO<sub>2</sub>.

Persediaan gas rumah kaca (dan emisi) sering dilaporkan dalam satuan setara karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), atau CO<sub>2</sub>e. Konvensi ini karena CO<sub>2</sub> adalah bentuk karbon rumah kaca yang paling umum. Deforestasi dan degradasi hutan menghasilkan emisi gas rumah kaca yang didominasi oleh CO<sub>2</sub>, dengan gas jejak lainnya seperti CH<sub>4</sub> juga dilepaskan (Guild *et al.*, 2004)

Total stok karbon dapat dikonversi menjadi CO<sub>2</sub>e dengan mengalikan densitas karbon atau persediaan sebesar 3,67. Ini adalah rasio berat molekul antara karbon dioksida [44] dan karbon [12]. Pelepasan CO<sub>2</sub>e dianggap konservatif, karena kehilangan karbon dalam bentuk CH<sub>4</sub> dan gas rumah kaca lainnya memiliki potensi pemanasan global yang lebih tinggi daripada CO<sub>2</sub> (Kauffman & Donato, 2012).

Konversi karbon ke CO<sub>2</sub>e = *Total ecosystem carbon stock* X 3,67  
.....(30)

## VIII. BIOMASSA MANGROVE MUARA DAN LAUT

Analisis biomassa mangrove dilakukan pada setiap plot pada semua stasiun di lapang. Nilai biomassa mangrove terdiri dari: (1) nilai biomassa permukaan/biomassa pohon, (2) nilai biomassa di bawah permukaan/ biomassa akar, (3) Biomassa tanaman bawah.

Tahapan pengukuran biomassa diawali dengan pengukuran diameter setinggi dada (dbh) untuk semua jenis mangrove pohon pada setiap plot pada semua stasiun. Selanjutnya menggunakan persamaan alometrik (Tabel 14) untuk estimasi berat biomassa mangrove di atas permukaan. Perhitungan biomassa tumbuhan bawah dilakukan dengan menimbang berat sampling mangrove pada setiap plot tumbuhan bawah. Pengukuran biomassa bawah permukaan/akar pada penelitian ini menggunakan persamaan dari Kauffman & Donato (2012) dan Komiyama *et al.*, (2008) persamaan 17. Perhitungan dengan menggunakan persamaan ini memerlukan nilai berat jenis kayu untuk setiap jenis mangrove (Tabel 16).

Perhitungan biomassa serasah diabaikan karena pada lahan mangrove sangat dipengaruhi pasang surut air laut yang menyebabkan serasah yang diukur sepenuhnya bukan berasal dari tegakan mangrove pada lokasi tersebut. Perhitungan biomassa pohon mati dan kayu mati di lokasi penelitian juga diabaikan karena sangat kecil ditemukan pada lokasi penelitian. Hasil perhitungan pengukuran biomassa dapat dilihat pada lampiran 3.

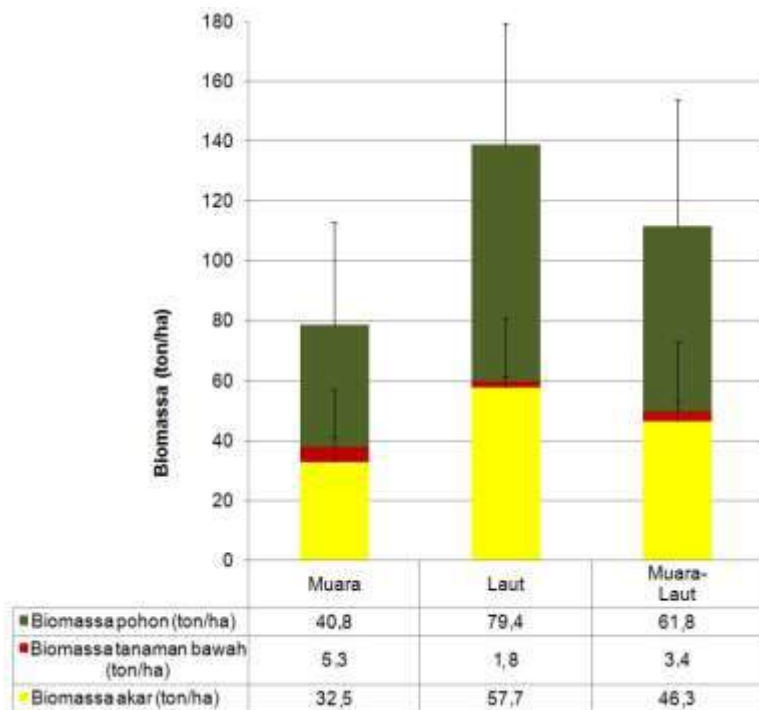
Hasil analisis rata-rata biomassa untuk mangrove muara-laut pada semua plot pengukuran mencapai 111,5 ton ha<sup>-1</sup>. Terdiri dari: 61,8 ton ha<sup>-1</sup> (55,5%) biomassa pohon, 46,3 ton ha<sup>-1</sup> (41,5%) biomassa akar, dan 3,4 ton ha<sup>-1</sup> (3%) biomassa tanaman bawah. Jika dipisahkan berdasarkan jenis mangrove muara dan laut, maka untuk mangrove muara total biomassa sebesar 78,6 ton ha<sup>-1</sup>. Terdiri dari: 40,8 ton ha<sup>-1</sup> (51,9%) biomassa pohon, 32,5 ton ha<sup>-1</sup> (41,4%) biomassa akar, dan 5,3 ton ha<sup>-1</sup> (6,7%) biomassa tanaman bawah. Mangrove laut total biomassa sebesar 138,9 ton ha<sup>-1</sup>. Terdiri dari: 79,4 ton ha<sup>-1</sup> (57,1%) biomassa pohon, 57,7 ton ha<sup>-1</sup> (41,6%) biomassa akar, dan 1,8 ton ha<sup>-1</sup> (1,3%) biomassa tanaman bawah. Nilai biomassa mangrove muara, laut dan campuran dapat dilihat pada Tabel 20 dan Gambar 36. Pada grafik Gambar 36 terlihat bahwa mangrove muara memiliki biomasnya lebih kecil dibandingkan mangrove laut (selisih 60,3 ton ha<sup>-1</sup>).

**Tabel 15. Biomassa pada vegerasi mangrove muara, laut dan campuran**

No	Jenis Man-grove	Biomassa	Minimal	Maksimal	rata-rata	%
1	Muara	Biomassa pohon (ton ha <sup>-1</sup> )	3,1	155,7	40,8	51,9
		Biomassa akar (ton ha <sup>-1</sup> )	2,9	106,3	32,5	41,4
		Biomassa tanaman bawah (ton ha <sup>-1</sup> )	0,00	12,7	5,3	6,7
		Total			78,6	100,0
2	Laut	Biomassa pohon (ton ha <sup>-1</sup> )	20,9	214,5	79,4	57,1
		Biomassa akar (ton ha <sup>-1</sup> )	19,1	125,2	57,7	41,6
		Biomassa tanaman bawah (ton ha <sup>-1</sup> )	0,0	6,3	1,8	1,3
		Total			138,9	100,0
3	Muara-Laut	Biomassa pohon (ton ha <sup>-1</sup> )	3,1	214,5	61,8	55,5
		Biomassa akar (ton ha <sup>-1</sup> )	2,9	125,2	46,3	41,5
		Biomassa tanaman bawah (ton ha <sup>-1</sup> )	0,0	12,7	3,4	3,0
		Total			111,5	100,0

Perbandingan mangrove muara dengan mangrove laut adalah 1:1,8. Hal ini menunjukkan bahwa vegetasi mangrove laut lebih lebat daripada vegetasi mangrove muara. Data pengukuran lapang menunjukkan mangrove muara mempunyai mangrove jenis tiang 460 batang dan jenis pohon 20 batang, sedangkan mangrove laut mempunyai mangrove jenis tiang 1.850 batang dan jenis pohon 480 batang. Sedangkan perbandingan komposisi biomassa pohon, biomassa akar dan biomassa tanaman bawah tidak terlalu berbeda jauh (dengan selisih  $\pm 0,1-5,4\%$ ). Dharmawan (2010) mendapatkan besar biomassa diatas tanah di wilayah mangrove Purwakarta sebesar 77,2 ton ha<sup>-1</sup>. Nilai ini hampir mendekati hasil penelitian ini untuk mangrove laut (79,4 ton ha<sup>-1</sup>). Hartoko *et al.*, (2015) mendapatkan besar biomassa mangrove di Karimunjawa mencapai 128,29 ton ha<sup>-1</sup>. Hasil penelitian ini tidak jauh berbeda dengan yang dihasilkan pada penelitian ini sebesar 111,5 ton ha<sup>-1</sup>.





**Gambar 29. Grafik biomassa mangrove permukaan, tanaman bawah dan bawah permukaan untuk mangrove muara, laut dan campuran.**

## IX. HASIL PERHITUNGAN STOK KARBON MANGROVE

Perhitungan stok karbon mangrove dilakukan pada setiap plot pada semua stasiun di lapang. Nilai stok karbon mangrove terdiri dari (1) stok karbon permukaan atau biomassa pohon, (2) stok karbon di bawah permukaan atau biomassa akar, (3) stok karbon tanaman bawah, dan (4) stok karbon tanah. Stok karbon tanah diukur pada beberapa kelas, yaitu : kedalaman 0-15 cm, kedalaman 15-50 cm dan kedalaman > 50 cm. Hasil perhitungan karbon pada setiap plot kemudian dikonversi ke dalam satuan ton perhektar dapat dilihat pada lampiran 4.

### 9.1. Hasil Perhitungan C Organik Tanah, Kedalaman Tanah, Kerapatan Lindak dan Ruang Pori untuk Mangrove Muara, Mangrove Laut dan Mangrove Campuran (muara-laut)

Perhitungan karbon tanah dilakukan pada setiap plot pada semua stasiun. Parameter yang di ukur untuk setiap plot adalah kedalaman sedimen, kerapatan lindak, ruang pori dan C organik tanah (kedalaman 0-15 cm, 15-50 cm, >50 cm). Hasil pengukuran di kelompokkan ke dalam mangrove muara, mangrove laut dan mangrove campuran (muara-laut). Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 21. Rata-rata kedalaman sedimen jenis mangrove campuran 100,6 cm, rata-rata kerapatan lindak 1,02 g cm<sup>-3</sup>, rata-rata ruang pori 61,68%, rata-rata stok C organik tanah pada kedalaman 0-15 cm adalah 3,41%, kedalaman 15-50 cm adalah 3,03% dan >15 cm adalah 2,28%. Stok C organik tanah paling tinggi pada permukaan (0-15 cm), dan semakin dalam semakin turun.

Jika dibandingkan stok C organik tanah untuk mangrove muara dan mangrove laut, mangrove muara mempunyai C organik tanah lebih tinggi dibandingkan mangrove laut. Pada kedalaman 0-15 cm (selisih 0,71%), kedalaman 15-50 cm (selisih 0,38%) dan kedalaman > 50 cm lebih tinggi mangrove laut (selisih 0,51%). Hasil penelitian ini sama dengan penelitian Donato *et al.*, (2011) yang mendapatkan stok C tertinggi di bagian atas profil tanah yang kemudian menurun, sedangkan stok karbon tanah untuk mangrove muara rerata 7,9% dan mangrove laut rerata 14,6%. Hasil penelitian ini mendapatkan untuk mangrove muara rerata 3,0% dan mangrove laut 2,8%.

Rata-rata kedalaman sedimen untuk mangrove muara sebesar 128,3 cm lebih dalam dari mangrove laut sedalam 77,55 cm (selisih 50,77 cm). Kerapatan lindak untuk mangrove muara lebih tinggi sebesar 1,11 g cm<sup>-3</sup> lebih tinggi dibandingkan mangrove laut sebesar 0,95 g cm<sup>-3</sup> (selisih 0,16 g cm<sup>-3</sup>).

**Tabel 16. Hasil perhitungan lapang % C organik, kedalaman lumpur, kerapatan lindak, ruang pori pada mangrove muara, mangrove laut dan mangrove muara-laut.**

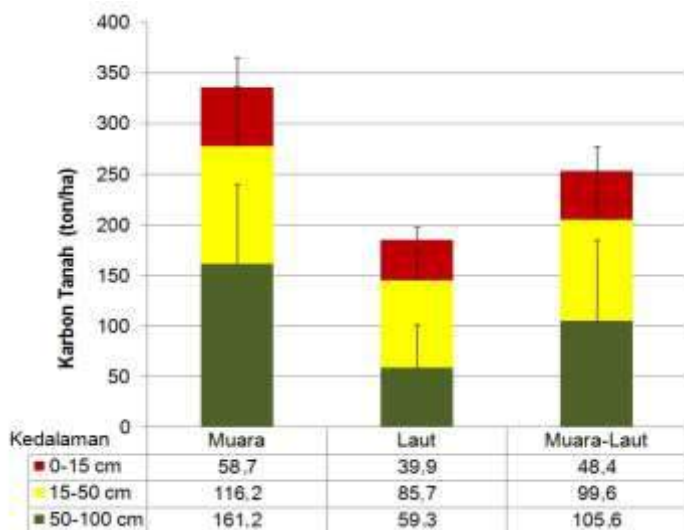
No	Jenis Mangrove	Parameter	Minimal	Maksimal	rata-rata
1	Muara	C organik (%) 0-15 cm	1,57	7,00	3,79
		C organik (%) 15-50 cm	1,20	6,73	3,24
		C organik (%) > 50 cm	0,78	3,93	2,00
		Kedalaman (cm)	83,00	140,00	128,32
		Kerapatan lindak (g cm <sup>-3</sup> )	0,46	2,00	1,11
		Ruang Pori (%)	24,54	83,85	58,24
2	Laut	C organik (%) 0-15 cm	0,81	5,06	3,08
		C organik (%) 15-50 cm	0,91	5,48	2,86
		C organik (%) > 50 cm	0,65	4,20	2,52
		Kedalaman (cm)	41,00	123,00	77,55
		Kerapatan lindak (g cm <sup>-3</sup> )	0,50	1,60	0,95
		Ruang Pori (%)	38,93	79,43	64,42
3	Muara-Laut	C organik (%) 0-15 cm	0,81	7,00	3,41
		C organik (%) 15-50 cm	0,91	6,73	3,03
		C organik (%) > 50 cm	0,65	4,20	2,28
		Kedalaman (cm)	41,00	140,00	100,63
		Kerapatan lindak (g cm <sup>-3</sup> )	0,46	2,00	1,02
		Ruang Pori (%)	24,54	83,85	61,68

## 9.2. Hasil Perhitungan Stok Karbon Tanah Mangrove Muara, Laut, dan Mangrove Campuran (Muara-Laut)

Perhitungan karbon tanah menggunakan persamaan 21. Persamaan tersebut memerlukan data kedalaman, kerapatan lindak dan prosentase karbon tanah. Hasil perhitungan dalam setiap plot dikonversikan kedalam ton perhektar. Hasil perhitungan stok karbon tanah dapat dilihat pada Tabel 22 dan Gambar 37. Rata-rata stok karbon tanah untuk mangrove muara-laut sebesar 253,6 ton ha<sup>-1</sup>, yang terkandung dalam tanah kedalaman 0-15 cm sebesar rata-rata 48,4 ton ha<sup>-1</sup> (19,1%), tanah kedalaman 15-50 cm sebesar rata-rata 99,6 ton ha<sup>-1</sup> (39,3%) dan kedalaman >50 cm sebesar rata-rata 105,6 ton ha<sup>-1</sup> (41,6%).

**Tabel 17. Hasil perhitungan stok karbon tanah untuk mangrove muara, mangrove laut dan mangrove muara-laut.**

No	Jenis Mangrove	Kedalaman Tanah	Minimal (ton ha <sup>-1</sup> )	Maksimal (ton ha <sup>-1</sup> )	rata-rata (ton ha <sup>-1</sup> )	%
1	Muara	0-15 cm	17,7	178,2	58,7	17,5
		15-50 cm	31,4	363,3	116,2	34,6
		> 50 cm	46,7	451,0	161,2	48,0
		Total			336,1	100,0
2	Laut	0-15 cm	12,7	102,6	39,9	21,6
		15-50 cm	34,6	202,7	85,7	46,4
		> 50 cm	0,0	181,4	59,3	32,1
		Total			184,9	100,0
3	Muara-Laut	0-15 cm	12,7	178,2	48,4	19,1
		15-50 cm	31,4	363,3	99,6	39,3
		> 50 cm	0,0	451,0	105,6	41,6
		Total			253,6	100,0



**Gambar 30. Karbon tanah untuk mangrove muara, mangrove laut dan mangrove muara-laut**

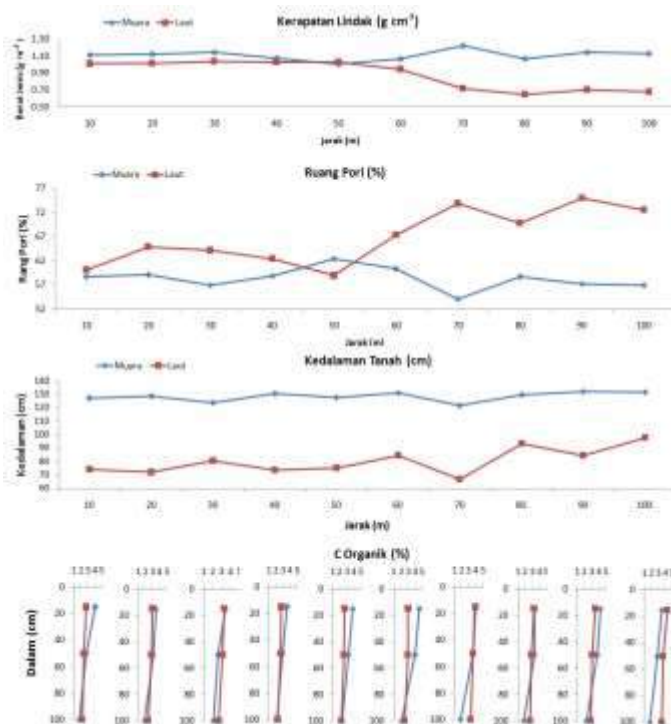
Perbandingan stok karbon tanah antara mangrove muara dengan laut lebih besar mangrove muara, sebesar  $336,1 \text{ ton ha}^{-1} : 184,9 \text{ ton ha}^{-1}$  atau 1,8:1. Hal ini disebabkan karena sedimentasi mangrove muara lebih dalam dibandingkan mangrove laut, yaitu 128,3 cm:77,5 cm atau 1,7:1. Selain itu stok C organik untuk mangrove muara lebih tinggi dibandingkan mangrove laut untuk kedalaman 0-15 cm (perbandingan 1,5:1), kedalaman 15-50 cm (perbandingan 1,4:1), sedangkan > 50cm (perbandingan 2,7:1). Hasil penelitian Donato *et al.*,(2011) menjelaskan Karbon tertinggi mangrove wilayah tropis  $1.023 \pm 88 \text{ ton ha}^{-1}$ . Rerata mangrove muara sebesar  $1.074 \pm 171 \text{ ton ha}^{-1}$  dan mangrove laut sebesar  $990 \pm 99 \text{ ton ha}^{-1}$ . Nilai ini menunjukkan stok karbon mangrove muara lebih tinggi dibandingkan mangrove laut, seperti yang dihasilkan dalam penelitian ini dimana stok karbon mangrove muara lebih tinggi dari mangrove laut.

### **9.3. Hasil Perhitungan Stok Karbon Tanah Mangrove Berdasarkan Jarak**

Klasifikasi berdasarkan jarak mangrove dari tepi pada jarak 0-100m dapat dilihat pada Gambar 38. Kerapatan lindak rata-rata jarak 10-100 m untuk mangrove muara lebih tinggi, kecuali pada jarak 50 m yang nilai berat jenisnya hampir sama (Gambar 38a). Prosentase ruang pori kebalikan dengan kerapatan lindak dimana kerapatan ruang pori untuk tanah mangrove laut lebih tinggi dari mangrove muara, kecuali pada jarak

50 m yang relatif hampir sama (Gambar 38b). Rata-rata kedalaman sedimen mulai jarak 10-100 m mangrove muara mempunyai sedimentasi lebih dalam dari mangrove laut (Gambar 38c). Stok prosentase C organik pada kedalaman 0-15 cm, 15-50 cm dan >50 cm untuk setiap jarak 10-100 m bisa dilihat pada Gambar 38d. Prosentase karbon untuk setiap kedalaman pada jarak 0-100m bervariasi. Secara umum terlihat pada kedalaman 0-15 cm mempunyai nilai lebih tinggi, cenderung menurun pada kedalaman 15-50 cm. Paling rendah prosentase C organik tanah pada kedalaman >50 cm. Disimpulkan semakin dalam semakin turun stok C organik. Donato *et al.*, (2011) menjelaskan kerapatan lindak untuk mangrove tropis tidak dipengaruhi signifikan berdasarkan jarak, dengan nilai sebesar 0,35- 0,55 g cm<sup>-3</sup>. Nilai ini lebih rendah dari hasil penelitian ini dengan rerata kerapatan lindak 1,02 g cm<sup>-3</sup>.

Rerata kedalaman sedimen untuk mangrove laut lebih dangkal dibandingkan mangrove muara. Kombinasi antara kerapatan lindak dengan stok C menghasilkan rerata stok karbon tanah. Donato *et al.*, (2011) menjelaskan pada wilayah tropis stok karbon 0,038-0,061 g C cm<sup>-3</sup>. Rerata stok karbon tanah pada penelitian ini sebesar 0,0298 g C cm<sup>-3</sup>, nilai ini lebih rendah dari stok karbon tanah mangrove di wilayah tropis.



**Gambar 31.** a) Kerapatan lindak (g cm<sup>-3</sup>) berdasarkan jarak mangrove; b) Ruang Pori tanah (%) berdasarkan jarak mangrove; c) Kedalaman sedimen berdasarkan jarak mangrove; d) Stok karbon tanah berdasarkan kedalaman tanah dan jarak mangrove.

### 9.4. Hasil Perhitungan Stok Karbon Mangrove Total

Perhitungan stok karbon mangrove pada penelitian ini diestimasi dari karbon biomassa (terdiri dari: biomassa atas permukaan/biomassa pohon, biomassa bawah permukaan/akar, dan biomassa tanaman bawah) ditambah karbon tanah (dengan kedalaman sedimen). Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 23.

Hasil analisis rata-rata stok karbon untuk mangrove muara-laut mencapai 306,04 ton ha<sup>-1</sup>. Terdiri dari: karbon pohon sebesar 29,06 ton ha<sup>-1</sup> (9,49%), karbon akar sebesar 21,75 ton ha<sup>-1</sup> (7,11 %), karbon tanaman bawah sebesar 1,59 ton ha<sup>-1</sup> (0,52 %) dan karbon tanah sebesar 253,65 ton ha<sup>-1</sup> (82,88%). Karbon tanah terbagi atas 15,82% pada kedalaman 0-15 cm, 32,54% pada kedalaman 15-50 cm dan 34,52% pada kedalaman >50 cm. Jika dibandingkan stok karbon biomassa (pohon, akar dan tanaman bawah) dengan karbon tanah mencapai perbandingan

1:4,8. Hasil penelitian Muryono dan Purnobasuki (2002) mendapatkan rata-rata stok karbon mangrove di wilayah Pamekasan sebesar 196,85 ton ha<sup>-1</sup>. Nilai ini jauh lebih kecil dari rata-rata yang dihasilkan penelitian ini sebesar 306,04 ton ha<sup>-1</sup>. Sedangkan Donato *et al.*, (2011) mendapatkan stok karbon mangrove di daerah tropis sebesar 1.023 ton ha<sup>-1</sup>.

Stok karbon untuk mangrove muara sebesar 373,04 ton ha<sup>-1</sup>. Terdiri dari: karbon pohon sebesar 19,17 ton ha<sup>-1</sup> (5,14%), karbon akar sebesar 15,29 ton ha<sup>-1</sup> (4,10 %), karbon tanaman bawah 2,47 ton ha<sup>-1</sup> (0,66%), dan karbon tanah 336,12 ton ha<sup>-1</sup> (90,1%). Perbandingan stok karbon biomassa dengan karbon tanah sebesar 1:9,1. Mangrove laut memiliki total stok karbon sebesar 250,20 ton ha<sup>-1</sup>. Terdiri dari: karbon pohon sebesar 37,30 ton ha<sup>-1</sup> (14,91 %), karbon akar sebesar 27,13 ton ha<sup>-1</sup> (10,84 %), karbon tanaman bawah sebesar 0,86 ton ha<sup>-1</sup> (0,34 %), dan karbon tanah sebesar 184,92 ton ha<sup>-1</sup> (73,91%). Perbandingan stok karbon biomassa dengan karbon tanah mencapai 1:2,8. Hasil penelitian Alongi *et al.* (2016) mendapatkan stok karbon mangrove di Pulau Jawa untuk karbon diatas tanah (pohon dan tanaman bawah) sebesar 311,8 ±77,2 ton ha<sup>-1</sup> (±24%), stok karbon di bawah tanah (akar) sebesar 27,9 ± 4,4 ton ha<sup>-1</sup> (±2%), dan stok karbon tanah mangrove sebesar 979,5 ± 152,4 ton ha<sup>-1</sup> (±74%). Perbandingan stok karbon dari biomassa (pohon, akar) dengan karbon tanah sebesar 1:2,9. Perbandingan ini hampir sama dengan yang dihasilkan pada penelitian ini untuk wilayah mangrove laut (sebesar 1:2,8).

**Tabel 18. Stok Karbon mangrove pada jenis mangrove muara, laut dan campuran**

No	Jenis Mangrove	Karbon	Minimal	Maksimal	rata-rata	%
1	Muara	Karbon pohon (ton ha <sup>-1</sup> )	1,46	73,17	19,17	5,14
		Karbon akar (ton ha <sup>-1</sup> )	1,35	49,97	15,29	4,10
		Karbon tanaman bawah (ton ha <sup>-1</sup> )	0,00	5,95	2,47	0,66
		Tanah (kedalaman 0-15 cm)	17,67	178,21	58,66	15,73
		Tanah (kedalaman 15-50 cm)	31,44	363,32	116,25	31,16
		Tanah (>50 cm)	46,71	451,04	161,21	43,21
		Total Stok Karbon (ton ha <sup>-1</sup> )	140,44	863,81	373,04	100,00



**Karbon Mangrove**  
**Firman Farid Muhsoni**

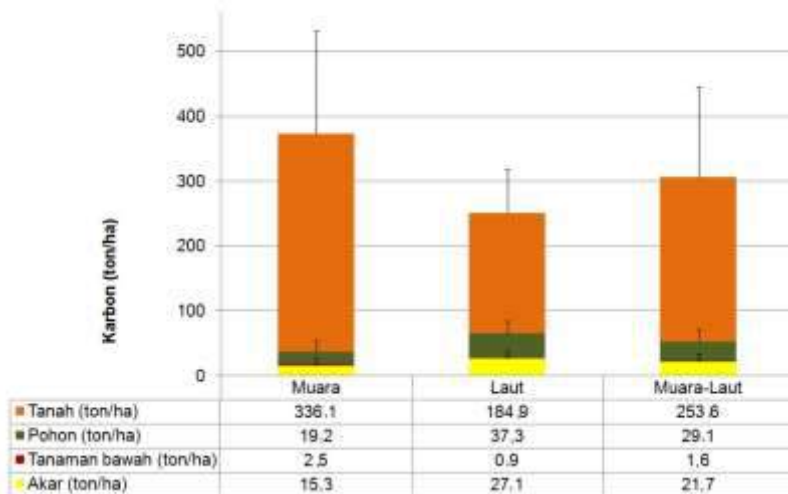
2	Laut	Karbon pohon (ton ha <sup>-1</sup> )	9,81	100,81	37,30	14,91
		Karbon akar (ton ha <sup>-1</sup> )	8,97	58,86	27,13	10,84
		Karbon tanaman bawah (ton ha <sup>-1</sup> )	0,00	2,97	0,86	0,34
		Tanah (kedalaman 0-15 cm)	12,72	102,56	39,87	15,94
		Tanah (kedalaman 15-50 cm)	34,58	202,75	85,73	34,26
		Tanah (>50 cm)	0,00	181,40	59,32	23,71
		Total Stok Karbon (ton ha <sup>-1</sup> )	98,73	469,85	250,20	100,00
3	Muara-Laut	Karbon pohon (ton ha <sup>-1</sup> )	1,46	100,81	29,06	9,49
		Karbon akar (ton ha <sup>-1</sup> )	1,35	58,86	21,75	7,11
		Karbon tanaman bawah (ton ha <sup>-1</sup> )	0,00	5,95	1,59	0,52
		Tanah (kedalaman 0-15 cm)	12,72	178,21	48,42	15,82
		Tanah (kedalaman 15-50 cm)	31,44	363,32	99,60	32,54
		Tanah (>50 cm)	0,00	451,04	105,63	34,52
		Total Stok Karbon (ton ha <sup>-1</sup> )	98,73	863,81	306,04	100,00

Donato *et al.*, (2011) mendapatkan stok karbon bawah permukaan untuk mangrove muara 71-98% dan mangrove laut 49-90%. Hasil ini sama dengan penelitian ini dimana stok karbon mangrove muara bawah tanah mencapai 94,2% (karbon tanah dan karbon akar), sedangkan untuk mangrove laut mencapai 84,8%. Kauffman and Donato (2012) menjelaskan perbandingan antara karbon biomassa dan karbon tanah di wilayah Kalimantan sebesar 1:8, hasil ini tidak jauh yang dihasilkan penelitian ini untuk mangrove muara sebesar 1:9,1.

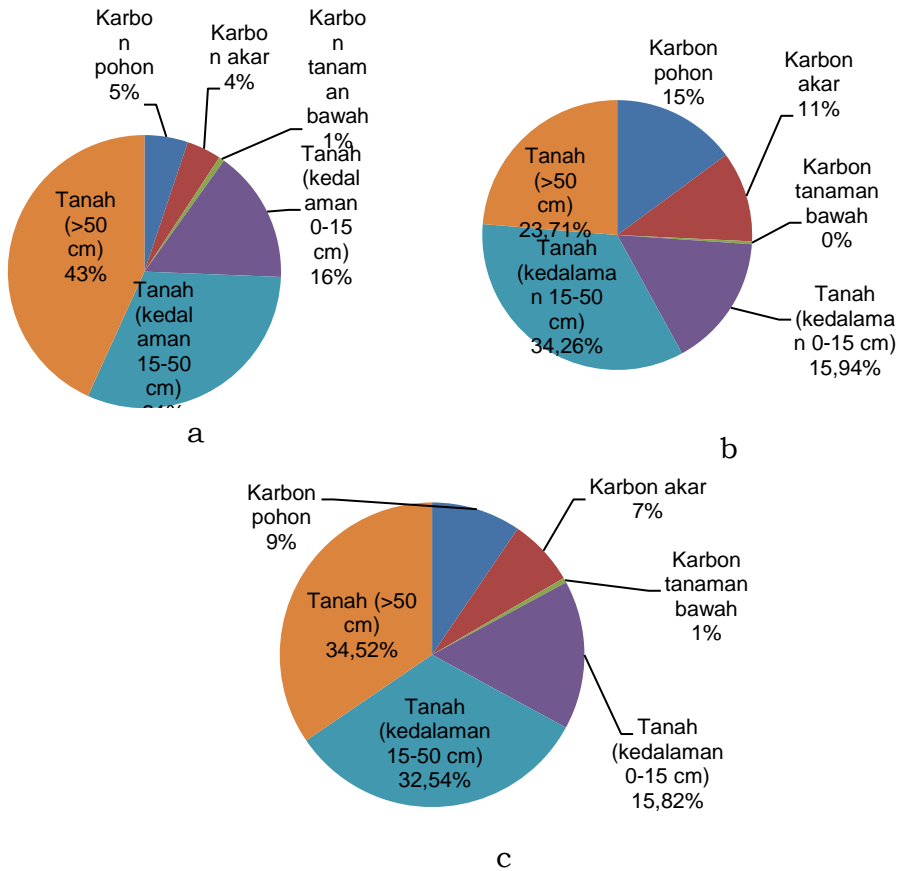
Perbandingan stok karbon mangrove muara, laut dan campuran dapat dilihat pada Gambar 39. Pada gambar ini menggambarkan bahwa mangrove muara memiliki stok karbon lebih kecil dibandingkan mangrove muara (selisih 122,84 ton ha<sup>-1</sup>). Perbandingan stok karbon mangrove muara dengan mangrove laut adalah 1,4:1. Mangrove muara mempunyai stok karbon 1,4 kali lebih besar dari mangrove laut. Walaupun stok karbon biomassa mangrove muara 0,56 lebih kecil dari karbon biomassa man-

grove laut, akan tetapi stok karbon tanahnya 1,8 kali lebih besar dari mangrove laut. Hal ini disebabkan sedimentasi di daerah mangrove muara lebih tinggi dibandingkan daerah mangrove laut. Sedimentasi tersebut berasal dari wilayah daratan yang terbawa melalui aliran sungai. Wilayah daratan merupakan wilayah pemukiman, pertanian maupun industri yang membawa akumulasi karbon buangan.

Rata-rata karbon tanah untuk semua jenis mangrove campuran 83%. Terdiri dari: kedalaman >50 cm sebesar 34%, kedalaman 15-50 cm sebesar 33% dan kedalaman 0-15 cm sebesar 16%. Stok karbon tanah jenis mangrove muara mencapai 90%, sedangkan mangrove laut mencapai 74%. Prosentasi stok karbon untuk setiap bagian mangrove dapat dilihat pada Gambar 40. Hasil penelitian Donato *et al*, (2011) mendapatkan karbon mangrove muara sebesar  $1.074 \pm 171 \text{ ton ha}^{-1}$  dan mangrove laut  $990 \pm 96 \text{ ton ha}^{-1}$ . Hasil ini menunjukkan karbon mangrove muara lebih besar dibandingkan dengan karbon mangrove laut, hasil ini sama dengan yang dihasilkan pada penelitian ini.



**Gambar 32** Grafik Karbon mangrove pada jenis mangrove muara, laut dan campuran



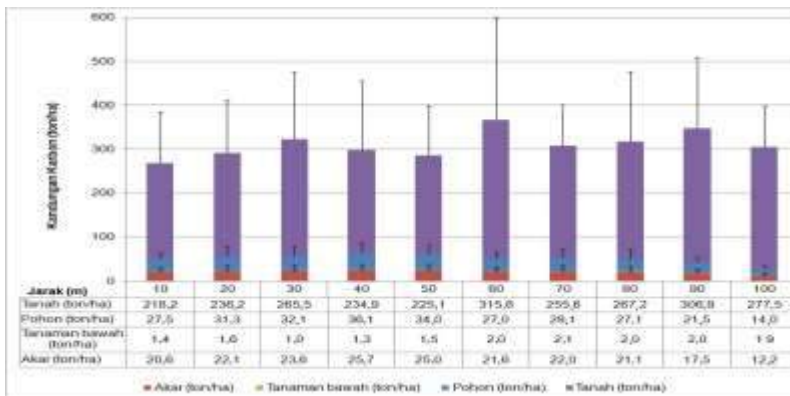
**Gambar 33. Diagram prosentase stok karbon pada (a) Mangrove muara, (b) Mangrove Laut dan (c) mangrove muara-laut.**

Mangrove muara mempunyai kandungan stok karbon tanah yang sangat tinggi disebabkan karena endapan sedimen yang dibawa oleh aliran sungai mulai dari daerah hulu sampai hilir. Banyaknya endapan ini sangat dipengaruhi oleh dinamika pembangunan dan pengembangan penggunaan lahan di area tangkapan air sungai Kalisemajid. Luas daerah tangkapan air DAS Sungai Kalisemajid seluas ± 199.940 ha. Hasil interpretasi citra satelit Landsat tahun 2002 mendapatkan penggunaan lahan di daerah tangkapan air ini sebagai berikut : Hutan 1,1%, Pemukiman 0,3%, sawah 14,4%, tambak 1%, tanah terbuka/kebun 53,9% dan tegalan 20,3%. Kondisi Penggunaan lahan yang potensial membawa sedimen seluas 89% (sawah, tanah terbuka dan tegalan).

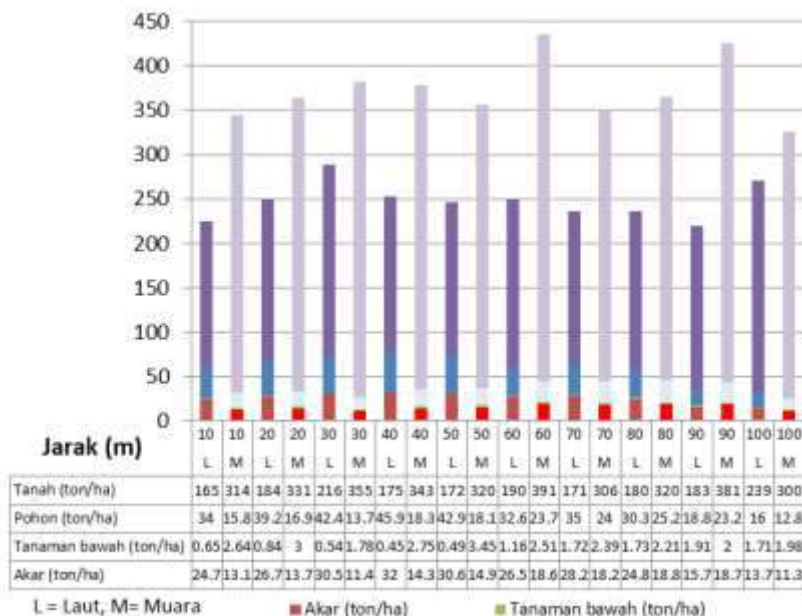
### 9.5. Hasil Perhitungan stok karbon mangrove muara dan laut berdasarkan jarak dari pantai

Besar karbon mangrove campuran berdasarkan jarak pantai dapat dilihat pada Gambar 41. Nilai karbon terendah ada pada mangrove dengan jarak 0-10 m sebesar 267,6 ton ha<sup>-1</sup>. Nilai karbon tertinggi ada pada mangrove dengan jarak 50-60 m sebesar 366,2 ton ha<sup>-1</sup>. Rata-rata karbon berdasarkan jarak sebesar 311 ton ha<sup>-1</sup>, sedangkan rata-rata keseluruhan sebesar 306,04 ton ha<sup>-1</sup>. Jika dilihat dari grafik mulai jarak 0-10 m sampai 90-100 m tidak terlihat tren tertentu, disini indikasi bahwa jarak tidak mempengaruhi stok karbon mangrove.

Jika karbon berdasarkan jenis mangrove muara dan laut pada setiap jarak pantai dapat dilihat pada Gambar 42. Nilai minimum mangrove muara terdapat pada jarak 90-100m, sedangkan nilai maksimum pada jarak 50-60 m. Rata-rata karbon berdasarkan jarak untuk mangrove muara sebesar 373 ton ha<sup>-1</sup>, nilai ini sama dengan rata-rata keseluruhan mangrove muara yaitu 373,4 ton ha<sup>-1</sup>.



**Gambar 34. Grafik Karbon mangrove pada setiap jarak**



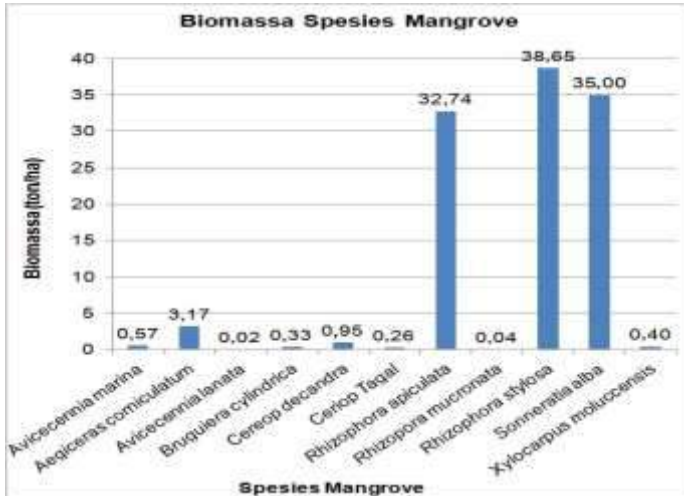
**Gambar 35. Grafik Karbon mangrove pada setiap jarak berdasarkan mangrove muara dan mangrove laut.**

Mangrove laut nilai minimum terdapat pada jarak 80-90 m dan nilai maksimum terdapat pada jarak 20-30 m. Rata-rata karbon berdasarkan jarak sebesar 247,7 ton ha<sup>-1</sup>, nilai ini hampir sama dengan nilai mangrove keseluruhan untuk mangrove laut 250,2 ton ha<sup>-1</sup>. Grafik menjelaskan bahwa jarak tidak mempengaruhi stok karbon didalamnya. Pola stok karbon antara mangrove muara dan mangrove laut hampir sama, namun untuk mangrove muara memiliki nilai karbon lebih tinggi dibandingkan mangrove laut.

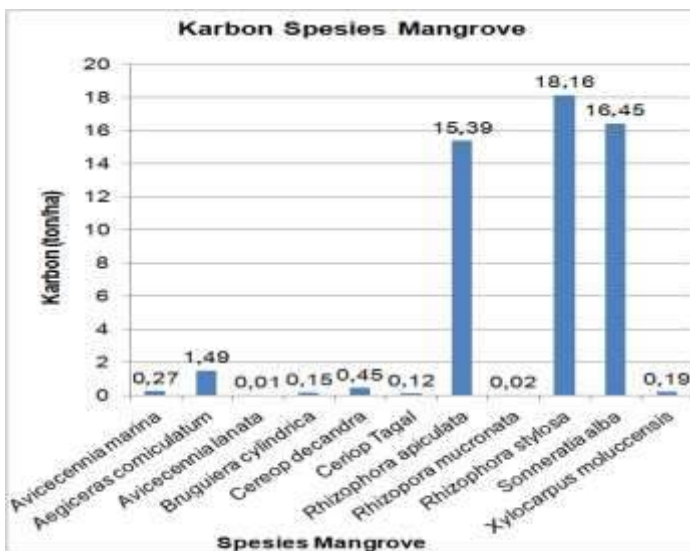
### 9.6. Hasil Perhitungan Biomassa dan Karbon pada setiap spesies Mangrove

Grafik besar biomassa dan karbon mangrove berdasarkan jenis mangrove dapat dilihat pada Gambar 43 dan 44. Grafik biomassa dan karbon mangrove menjelaskan bahwa stok biomassa dan karbon terbesar pada jenis mangrove *R. Stylosa* 38,65 ton ha<sup>-1</sup> dan 18,16 ton C ha<sup>-1</sup> (mencapai 35%), selanjutnya jenis *Sonneratia alba* 35 ton ha<sup>-1</sup> dan 16,45 ton C ha<sup>-1</sup> (31%) dan *R. Apiculata* 32,74 ton ha<sup>-1</sup> dan 15,39 ton C ha<sup>-1</sup> (29%). Sedangkan mangrove jenis lain tidak lebih dari 3%. Prosentase stok karbon untuk setiap jenis mangrove dapat dilihat pada Gambar 45. Penelitian Heriyanto & Subiandono (2012) di Alas Purwo mendapatkan jenis mangrove dominan *R. mucronata* dengan biomassa sebesar 217,22 ton ha<sup>-1</sup>

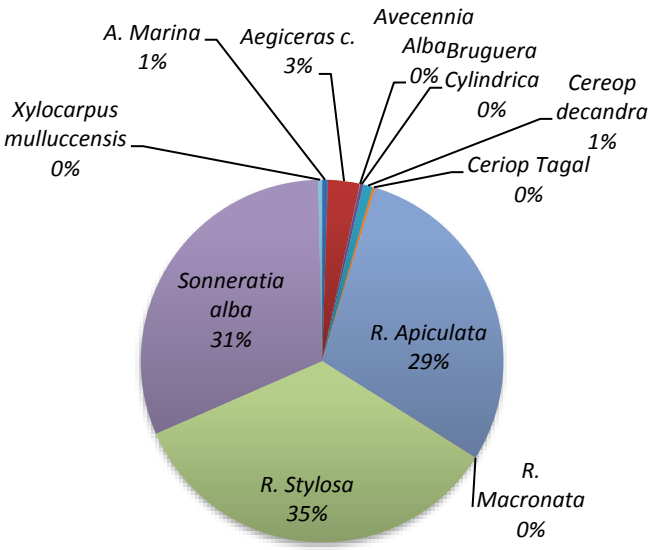
dan karbon 108,61 ton C ha<sup>-1</sup>, *B. cylindrica* dengan biomassa 115,66 ton ha<sup>-1</sup> dan karbon 57,83 ton C ha<sup>-1</sup>; *A. officinalis* dengan biomassa 18,99 ton ha<sup>-1</sup> dan karbon 9,49 ton C ha<sup>-1</sup>, *X. moluccensis* biomassa sebesar 6,92 ton ha<sup>-1</sup> dan karbon 3,46 ton C ha<sup>-1</sup>.



Gambar 36. Grafik stok biomassa pada setiap spesies mangrove di lokasi penelitian



Gambar 37. Grafik stok karbon pada setiap spesies mangrove di lokasi penelitian



**Gambar 38. Prosentase stok karbon mangrove pada setiap spesies mangrove di lokasi penelitian**

## X. PEMODELAN ESTIMASI STOK KARBON MANGROVE

Jumlah stasiun pada penelitian sebanyak 11 stasiun dan pada setiap stasiun terdapat 10 plot. Total jumlah plot sebanyak 110 plot. Data hasil pengukuran pada semua plot dilakukan perhitungan dan didapatkan nilai karbon biomassa, karbon tanah dan karbon total. Nilai hasil analisis indeks vegetasi citra sentinel-2 diambil pada setiap lokasi plot pengukuran. Data-data tersebut sebelum dipergunakan untuk pemodelan terlebih dahulu dilakukan uji normalitas. Danoedoro *et al.* (2015) menjelaskan uji normalitas *Kolmogorov-Smirnov* dilakukan sebelum proses regresi untuk mengetahui apakah variabel bebas yang digunakan terdistribusi secara normal terhadap variabel terikat atau tidak. Berdasarkan analisis statistik nilai uji normalitas *Kolmogorov-Smirnov* menggunakan program SPSS pada semua data didapatkan nilai  $>0,05$ , kecuali data hasil indeks vegetasi SAVI yang mempunyai nilai 0. Hal ini menunjukkan data tersebut berdistribusi normal.

Model yang dibangun untuk estimasi karbon didapatkan dari analisis statistik antara nilai indeks vegetasi citra Sentinel-2 dengan hasil perhitungan karbon mangrove di lapangan pada setiap plot. Satuan karbon mangrove pada analisis ini disesuaikan dengan luas piksel citra Sentinel-2 dan pengukuran lapang sebesar 10x10m. Pemodelan estimasi karbon mangrove dilakukan dengan beberapa pendekatan. Pendekatan ini dilakukan agar didapatkan model dengan akurasi paling baik. Pendekatan pemodelan tersebut menggunakan pemodelan estimasi stok karbon mangrove dilakukan dengan memisahkan antara karbon biomassa (karbon pohon, karbon akar dan karbon tanaman bawah) dan karbon tanah.

Hasil beberapa model dicari model yang terbaik dengan akurasi paling tinggi. Model terbaik pada tahap awal dilihat berdasarkan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ). Nilai  $R^2$  menunjukkan proporsi penurunan variasi variabel bebas akibat dimanfaatkannya informasi variabel terikat. Model dikatakan baik bilamana sesuai dengan asumsi yang dibangun, yaitu nilai  $R^2 >0,5$  dan cenderung mendekati angka 1 (Krause & Boyle, 2005). Tahapan selanjutnya untuk menentukan model terbaik dipergunakan analisis *Root mean square error* (RMSE) untuk uji akurasi, nilai error terendah pada nilai RMSE menunjukkan model terbaik (Yan *et al.*, 2016).



### 10.1. Model Stok Karbon Mangrove menggunakan Citra Sentinel 2

Pada tahap ini pemodelan dilakukan dengan memisahkan antara pemodelan karbon biomassa (terdiri dari : karbon pohon, karbon akar dan karbon tanaman bawah) dengan pemodelan karbon tanah. Pemisahan ini bertujuan untuk mendapatkan persamaan dengan akurasi RMSE yang terbaik.

Penentuan model stok karbon mangrove total terbaik dilakukan dengan menggabungkan antara model estimasi karbon biomassa dengan model estimasi tanah. Penelitian ini dilakukan beberapa simulasi pemodelan, yaitu :

1. Model 1 dengan input nilai indeks vegetasi, kedalaman sedimen, kerapatan lindak tanah dan % karbon tanah.
2. Model 2 dengan input nilai indeks vegetasi, kedalaman sedimen dan kerapatan lindak.
3. Model 3 dengan input nilai indeks vegetasi dan kedalaman sedimen.
4. Model 4 dengan input hanya indeks vegetasi.

Hasil simulasi model dapat dilihat pada Tabel 35 dan 36. Pemodelan dilakukan dengan menggabungkan antara model karbon biomassa dengan model karbon tanah. Pemodelan terbaik didapatkan dengan uji RMSE dan % RMSE yang mempunyai nilai terkecil. Penggabungan 2 persamaan tersebut dilakukan simulasi model seperti di atas (4 model simulasi).

**Tabel 19. Pemodelan total karbon mangrove dengan input : indeks vegetasi, kedalaman sedimen, kerapatan lindak dan % C organik tanah.**

No	Persamaan	Keterangan
<b>Model 1</b>		
1	$y = (280,445188*(X1)^{13,638683} + (-3,42587-3,44731*X2+ 0,017952*X3+2,817974*X4 +25,45099*X5+17,43371*X6+ 50,02014*X7)$	RMSE (ton piksel <sup>-1</sup> )= 0,47786 % RMSE=16,12 Mean(ton)= 2,84 Std(ton)= 0,59 Min(ton)= 1,39 Max(ton)= 5,47
	Keterangan : X1= Indeks vegetasi NNIP X2= Indeks vegetasi NDRE X3= Kedalaman sedimen (cm), X4= Kerapatan lindak (g cm <sup>-3</sup> ), X5=% C kedalaman 0-15cm, X6=% C kedalaman 15-50 cm,	

X7 =% C kedalaman >15cm

2	$y = (280,445188 * (X1)^{13,638683}) + (-3,42587 - 3,44731 * X2 + 0,017952 * X3 + 2,817974 * X4 + 25,45099 * X5 + 17,43371 * X6 + 50,02014 * X7)$ <p>Keterangan :</p> <p>X1= Indeks vegetasi NNIP  X2= Indeks vegetasi WVVI  X3= Kedalaman sedimen (cm),  X4= Kerapatan lindak (g cm<sup>-3</sup>),  X5=% C kedalaman 0-15cm,  X6=% C kedalaman 15-50 cm,  X7 =% C kedalaman &gt;15cm</p>	<p>RMSE (ton piksel<sup>-1</sup>)= 0,47786</p> <p>% RMSE=16,12</p> <p>Mean(ton)= 2,86</p> <p>Std(ton)= 0,68</p> <p>Min(ton)= 1,28</p> <p>Max(ton)= 9,11</p>
---	---	---

**Model 2**

1	$y = (280,445188 * (X1)^{13,638683}) + (1,263297 - 0,00004 * X2 + 0,016307 * X3 + 1,535762 * X4)$ <p>Keterangan :</p> <p>X1= Indeks vegetasi NNIP  X2= Indeks vegetasi VIRE  X3= Kedalaman sedimen (cm),  X4= Kerapatan lindak (g cm<sup>-3</sup>),</p>	<p>RMSE (ton piksel<sup>-1</sup>)= 0,55941</p> <p>% RMSE=18,88</p> <p>Mean(ton)= 2,90</p> <p>Std(ton)= 0,65</p> <p>Min(ton)= -0,55</p> <p>Max(ton)= 5,07</p>
2	$y = (280,445188 * (X1)^{13,638683}) + (3,083467 - 1,7259 * X2 + 0,016404 * X3 + 1,528649 * X4)$ <p>X1= Indeks vegetasi NNIP  X2= Indeks vegetasi VIRRE  X3= Kedalaman sedimen (cm),  X4= Kerapatan lindak (g cm<sup>-3</sup>),</p>	<p>RMSE (ton piksel<sup>-1</sup>)= 0,56398</p> <p>% RMSE=19,03</p> <p>Mean(ton)= 2,95</p> <p>Std(ton)= 0,69</p> <p>Min(ton)= 1,10</p> <p>Max(ton)= 5,48</p>

**Model 3**

1	$y = (280,445188 * (X1)^{13,638683}) + (3,346314 - 7,78604 * X2 + 0,020421 * X3)$ <p>X1= Indeks vegetasi NNIP  X2= Indeks vegetasi NDRE  X3= Kedalaman sedimen (cm),</p>	<p>RMSE (ton piksel<sup>-1</sup>)= 0,72950</p> <p>% RMSE=24,63</p> <p>Mean(ton)= 3,29</p> <p>Std(ton)= 0,73</p> <p>Min(ton)= 1,23</p> <p>Max(ton)= 6,38</p>
---	--	---

2	$y = (280,445188*((X1)^{13,638683}) + (3,346314 - 7,78604 * X2 + 0,020421 * X3)$ X1= Indeks vegetasi NNIP X2= Indeks vegetasi WVVI X3= Kedalaman sedimen (cm),	RMSE (ton piksel <sup>-1</sup> )= 0,72950 % RMSE=24,62 Mean(ton)= 3,32 Std(ton)= 1,04 Min(ton)= 1,05 Max(ton)= 15,01
---	---	---

Keterangan : n (RMSE) = 80, ukuran piksel 10x10m=100m<sup>2</sup>

**Tabel 20. Pemodelan total karbon mangrove dengan input : indeks vegetasi, rata-rata kedalaman sedimen (100,63 cm), kerapatan lindak (1,02 g cm<sup>-3</sup>) dan % C organik tanah kedalaman 0-15 cm (0,0341), % C organik tanah kedalaman 15-50 cm (0,0303), % C organik tanah kedalaman >50 cm (0,0228).**

No	Persamaan	Keterangan
<b>Model 4</b>		
1	$y = (280,445188*((X1)^{13,638683}) + (3,083467 - 1,7259 * X2 + 0,016404 * X3 + 1,528649 * X4)$ X1= Indeks vegetasi NNIP X2= Indeks vegetasi VIRRE X3= rata-rata kedalaman sedimen ( 100,63 cm), X4= rata-rata kerapatan lindak (1,02 g cm <sup>-3</sup> ),	RMSE (ton piksel <sup>-1</sup> )= 1,0043 % RMSE=33,89 Mean(ton)= 3,2 Std(ton)= 0,44 Min(ton)= 1,07 Max(ton)= 5,05
2	$y = (280,445188*((X1)^{13,638683}) + (1,263297 - 0,00004 * X2 + 0,016307 * X3 + 1,535762 * X4)$ Keterangan : X1= Indeks vegetasi NNIP X2= Indeks vegetasi VIRE X3= rata-rata kedalaman sedimen ( 100,63 cm), X4= rata-rata kerapatan lindak (1,02 g cm <sup>-3</sup> ),	RMSE (ton piksel <sup>-1</sup> )= 1,0057 % RMSE=33,94 Mean(ton)= 3,14 Std(ton)= 0,37 Min(ton)= -0,6 Max(ton)= 4,39
3	$y = (280,445188*((X1)^{13,638683}) + (3,346314 - 7,78604 * X2 + 0,020421 * X3)$ X1= Indeks vegetasi NNIP X2= Indeks vegetasi NDRE X3= rata-rata kedalaman sedimen ( 100,63 cm),	RMSE (ton piksel <sup>-1</sup> )= 1,0118 % RMSE=34,14 Mean(ton)= 3,24 Std(ton)= 0,52 Min(ton)= 1,56 Max(ton)= 6,66
4	$y = (280,445188*((X1)^{13,638683}) + (3,346314 - 7,78604 * X2 + 0,020421 * X3)$	RMSE (ton piksel <sup>-1</sup> )= 1,0118

No	Persamaan	Keterangan
	X1= Indeks vegetasi NNIP	% RMSE=34,14
	X2= Indeks vegetasi WVVI	Mean(ton)= 3,27
	X3= rata-rata kedalaman sedimen ( 100,63 cm),	Std(ton)= 0,89
		Min(ton)= 1,09
		Max(ton)= 14,55
5	$y = (280,445188*(X1)^{13,638683})+(-3,42587-3,44731*X2+ 0,017952*X3+2,817974*X4 +25,45099*X5+17,43371*X6+ 50,02014*X7)$	RMSE (ton piksel <sup>-1</sup> )= 1,061
	Keterangan :	% RMSE=35,82
	X1= Indeks vegetasi NNIP	Mean(ton)= 3,01
	X2= Indeks vegetasi NDRE	Std(ton)= 0,39
	X3= rata-rata kedalaman sedimen ( 100,63 cm),	Min(ton)= 1,93
	X4= rata-rata kerapatan lindak (1,02 g cm <sup>-3</sup> ),	Max(ton)= 8,60
	X5=rata-rata % C kedalaman 0-15cm (0,0341),	
	X6=rata-rata % C kedalaman 15-50 cm (0,0303),	
	X7 =rata-rata % C kedalaman >15cm (0,0228)	
6	$Y=(280,445188*((X1)^{13,638683})+((15*X2*X3)+(35*X2*X4)+((X6-50)*X2*X5))$	RMSE (ton piksel <sup>-1</sup> )= 1,1722
	X1= Indeks vegetasi NNIP	% RMSE=39,56
	X2= rata-rata kedalaman sedimen ( 100,63 cm),	Mean(ton)= 3,06
	X3= rata-rata kerapatan lindak (1,02 g cm <sup>-3</sup> ),	Std(ton)= 0,25
	X4=rata-rata % C kedalaman 0-15cm (0,0341),	Min(ton)= 2,78
	X5=rata-rata % C kedalaman 15-50 cm (0,0303),	Max(ton)= 4,50
	X6 =rata-rata % C kedalaman >15cm (0,0228)	
7	$y=(280,445188*((X1)^{13,638683})+(-3,42587-3,44731*X2+0,017952*X3 +2,817974* X4 +25,45099*X5 +17,43371*X6 +50,02014*X7)$	RMSE (ton piksel <sup>-1</sup> )= 6,3304
	Keterangan :	% RMSE=213,6
	X1= Indeks vegetasi NNIP	Mean(ton)= -7,42
	X2= Indeks vegetasi WVVI	Std(ton)= 1,05
	X3= rata-rata kedalaman sedimen ( 100,63cm),	Min(ton)= -7,42
	X4= rata-rata kerapatan lindak (1,02 g cm <sup>-3</sup> ),	Max(ton)= 1,31

No	Persamaan	Keterangan
	X5=rata-rata % C kedalaman 0-15cm (0,0341),	
	X6=rata-rata % C kedalaman 15-50 cm (0,0303),	
	X7 =rata-rata % C kedalaman >15cm (0,0228)	

Keterangan : n (RMSE)= 80, ukuran piksel 10x10m=100m<sup>2</sup>

Model terbaik dengan beberapa simulasi dengan citra Sentinel-2 adalah (satuan dalam piksel Sentinel-2 atau 10x10m) :

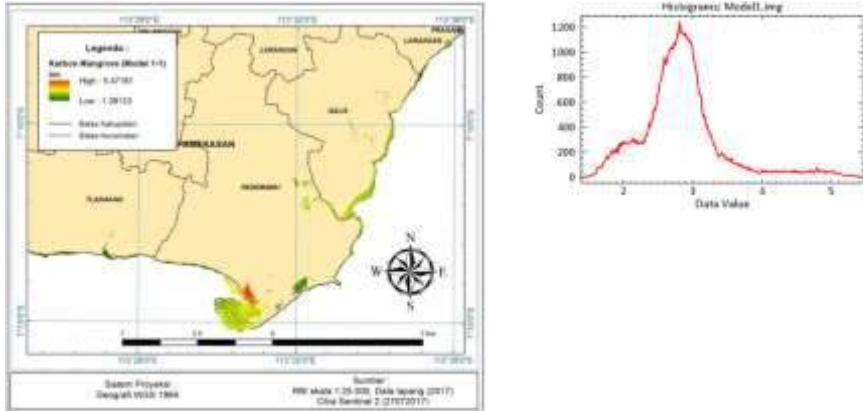
1. Model 1 dengan input nilai indeks vegetasi, kedalaman sedimen, kerapatan lindak tanah, dan % karbon tanah. Model ini penggabungan model karbon biomassa menggunakan regresi power/geometri untuk indeks vegetasi NNIP (*Normalized Near Infrared*) dengan model stok karbon tanah menggunakan regresi berganda 6 variabel (Indeks vegetasi NDRE atau WVVI, Kedalaman sedimen, Kerapatan lindak, %C kedalaman 0-15cm, %C kedalaman 15-50 cm, %C kedalaman >15cm). Hasil uji RMSE model 1-1 dan 1-2 sama sebesar 0,47786 ton 100m<sup>-2</sup> dan % RMSE sama sebesar 16,12%. Hasil persamaan untuk kedua model 1 pada Gambar 54 dan 55.

Persamaan model 1-1 :

$$y = (280,445188*(X1)^{13,638683})+(-3,42587-3,44731*X2+0,017952*X3+ 2,817974*X4 + 25,45099*X5+17,43371*X6+ 50,02014*X7)$$

Keterangan :

- X1 = Indeks vegetasi NNIP
- X2 = Indeks vegetasi NDRE
- $$NNIP = \frac{NIR1}{(NIR1+R+G)}$$
- $$NDRE = \frac{NIR1-RE}{NIR1+RE}$$
- NIR1 = band 8 Citra Sentinel-2
- R = band 4 Citra Sentinel-2
- G = band 3 Citra Sentinel-2
- RE = band 5 Citra Sentinel-2
- X3 = Kedalaman sedimen (cm),
- X4 = Kerapatan lindak (g cm<sup>-3</sup>),
- X5 = % C kedalaman 0-15cm,
- X6 = % C kedalaman 15-50 cm,
- X7 = % C kedalaman >15cm



**Gambar 39. Peta karbon mangrove hasil Model 1-1**

- RMSE=0,47786 ton 100m<sup>-2</sup>
- % RMSE = 16,12 %
- Mean = 2,84 ton 100m<sup>-2</sup>
- Std = 0,59 ton 100m<sup>-2</sup>
- Min = 1,39 ton 100 m<sup>-2</sup>
- Max = 5,47 ton piksel<sup>-1</sup>
- Total Karbon mangrove = 187.398,0 ton
- Rata-rata Karbon ha<sup>-1</sup> = 283,61 ton ha<sup>-1</sup>

Persamaan model 1-2 :

$$y=(280,445188*((X1)^{13,638683}))+ (-3,42587-3,44731*X2+0,017952*X3+ 2,817974* X4 +25,45099*X5 +17,43371*X6 +50,02014*X7)$$

Keterangan :

X1= Indeks vegetasi NNIP

X2= Indeks vegetasi WVVI

$$NNIP = \frac{NIR1}{(NIR1+R+G)}$$

$$WVVI = \frac{NIR2-RE}{NIR2+RE}$$

NIR1 = band 8 Citra Sentinel-2

NIR2 = band 8A Citra Sentinel-2

R = band 4 Citra Sentinel-2

G = band 3 Citra Sentinel-2

RE = band 5 Citra Sentinel-2

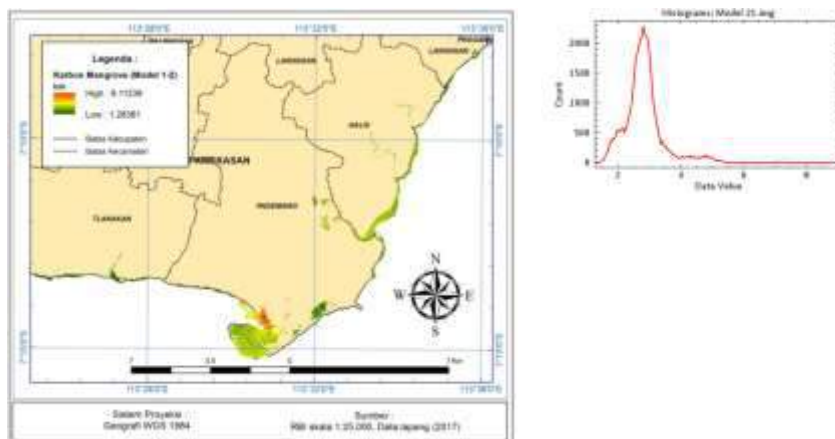
X3 = Kedalaman sedimen (cm),

X4 = Kerapatan lindak (g cm<sup>-3</sup>),

X5 = % C kedalaman 0-15cm,

X6 = % C kedalaman 15-50 cm,

X7 = % C kedalaman >15cm



**Gambar 40. Peta karbon mangrove hasil Model 1-2**

- RMSE=0,47786 ton 100 m<sup>-2</sup>
- % RMSE = 16,12 %
- Mean = 2,86 ton 100 m<sup>-2</sup>
- Std = 0,68 ton 100m<sup>-2</sup>
- Min 1,28 ton 100m<sup>-2</sup>
- Max = 9,11 ton 100m<sup>-2</sup>
- Total Karbon mangrove = 187.790,3 ton
- Rata-rata Karbon ha<sup>-1</sup> = 284,20 ton ha<sup>-1</sup>

2. Model 2 dengan input nilai indeks vegetasi, kedalaman sedimen, dan kerapatan lindak tanah. Model ini penggabungan antara model karbon biomassa menggunakan regresi power/geometri untuk indeks vegetasi NNIP (*Normalized Near Infrared*) dengan model stok karbon tanah menggunakan regresi berganda 3 variabel (Indeks vegetasi VIRRE, Kedalaman sedimen, dan Kerapatan lindak). Hasil uji RMSE model 2 sebesar 0,5639 ton 100m<sup>-2</sup> dan % RMSE sebesar 19,03%. Indeks vegetasi VIRRE lebih sesuai dipergunakan daripada VIRE, karena pada indeks vegetasi VIRE pada nilai minimum menghasilkan nilai negatif. Padahal pada obyek yang teridentifikasi semua pixel adalah vegetasi mangrove, sehingga tidak mungkin menghasilkan nilai negatif. Hasil persamaan model 2 pada Gambar 56.

Persamaan model 2 :

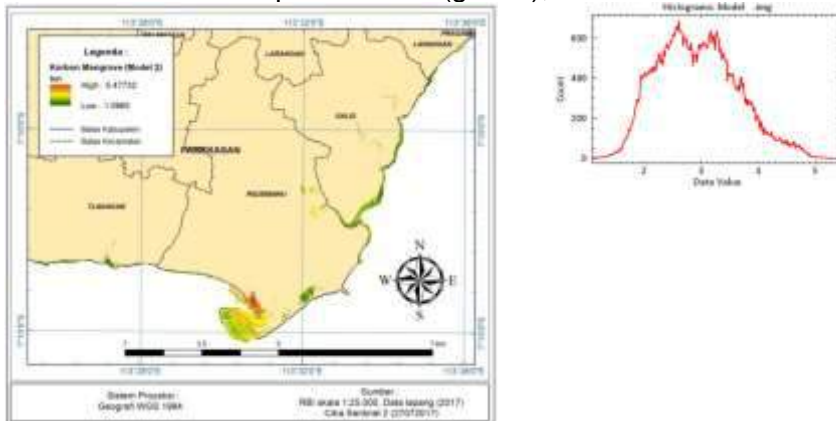
$$y = (280,445188*((X1)^{13,638683}))+ (3,083467 -1,7259*X2 +0,016404*X3 +1,528649*X4)$$

Keterangan :

- X1 = Indeks vegetasi NNIP
- X2 = Indeks vegetasi VIRRE
- NNIP =  $\frac{NIR1}{(NIR1+R+G)}$

$$\text{VIRRE} = \frac{\text{NIR1}}{\text{RE}}$$

NIR1 = band 8 Citra Sentinel-2  
 R = band 4 Citra Sentinel-2  
 G = band 3 Citra Sentinel-2  
 RE = band 5 Citra Sentinel-2  
 X3 = Kedalaman sedimen (cm)  
 X4 = Kerapatan lindak ( $\text{g cm}^{-3}$ ),



Gambar 41. Peta karbon mangrove hasil Model 2

- $\text{RMSE} = 0,56398 \text{ ton } 100 \text{ m}^{-2}$
  - $\% \text{RMSE} = 19,03 \%$
  - $\text{Mean} = 2,95 \text{ ton } 100\text{m}^{-2}$
  - $\text{Std} = 0,69 \text{ ton } 100\text{m}^{-2}$
  - $\text{Min} = 1,10 \text{ ton } 100\text{m}^{-2}$
  - $\text{Max} = 5,48 \text{ ton } 100\text{m}^{-2}$
  - $\text{Total Karbon mangrove} = 194.301,0 \text{ ton}$
  - $\text{Rata-rata Karbon } \text{ha}^{-1} = 294,05 \text{ ton } \text{ha}^{-1}$
3. Model 3 dengan input nilai indeks vegetasi dan kedalaman sedimen. Model ini menggabungkan antara model karbon biomassa menggunakan regresi power/geometri untuk indeks vegetasi NNIP (*Normalized Near Infrared*) dengan model stok karbon tanah menggunakan regresi berganda 2 variabel (Indeks vegetasi NDRE dan Kedalaman sedimen). Hasil uji RMSE model 3 sebesar  $0,7295 \text{ ton } 100\text{m}^{-2}$  dan  $\% \text{ RMSE}$  sebesar  $24,63\%$ . Hasil persamaan model 3 pada Gambar 57. Persamaan model 3 :
- $$y = (280,445188 * ((X1)^{13,638683})) + (3,346314 - 7,78604 * X2 + 0,020421 * X3)$$

Keterangan :

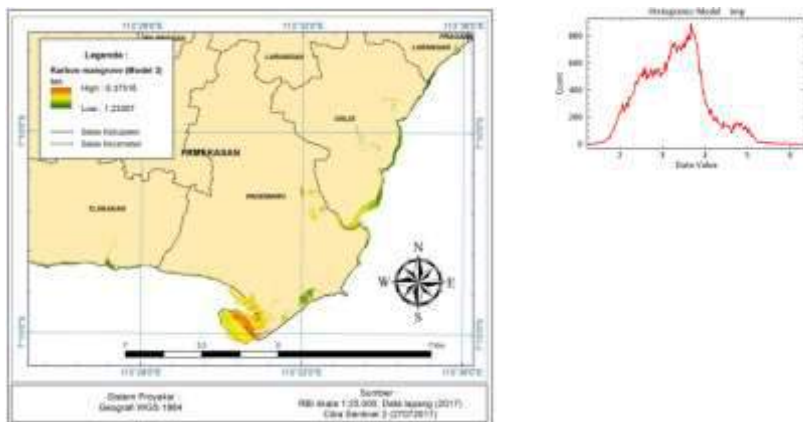
- X1 = Indeks vegetasi NNIP  
 X2 = Indeks vegetasi NDRE



$$NNIP = \frac{NIR1}{(NIR1+R+G)}$$

$$NDRE = \frac{NIR1-RE}{NIR1+RE}$$

NIR1 = band 8 Citra Sentinel-2  
R = band 4 Citra Sentinel-2  
G = band 3 Citra Sentinel-2  
RE = band 5 Citra Sentinel-2  
X3 = Kedalaman sedimen (cm),



**Gambar 42. Peta karbon mangrove hasil Model 3**

- RMSE=0,7295 ton 100m<sup>-2</sup>
- % RMSE=24,63%
- Mean = 3,29ton 100m<sup>-2</sup>
- Std = 0,73 ton 100m<sup>-2</sup>
- Min 1,23 ton 100m<sup>-2</sup>
- Max = 6,38 ton 100m<sup>-2</sup>
- Total Karbon mangrove = 216.574,4 ton
- Rata-rata Karbon ha<sup>-1</sup> = 327,76 ton ha<sup>-1</sup>

4. Model 4 dengan input nilai indeks vegetasi. Model ini didapatkan dari simulasi model-model diatas (model dengan 6 variabel, 3 variabel dan 2 variabel). Model yang dipergunakan yang mempunyai nilai RMSE terbaik (nilai terkecil). Hasil perhitungan RMSE untuk setiap persamaan model dapat dilihat pada Tabel 36. Model ini dipergunakan jika tidak didapatkan data lapang sebagai pendukung untuk estimasi karbon mangrove. Data yang dipergunakan dalam model ini adalah data rata-rata kedalaman sedimen sebesar 100,63 cm, data kerapatan lindak sebesar 1,02 g cm<sup>-3</sup>, data %C kedalaman 0-15 cm sebesar 0,0341%, data %C kedalaman 15-50 cm sebesar 0,0303%, data %C kedalaman >15cm sebesar 0,0228%. Data tersebut didapatkan dari hasil pengukuran lapang dari 110 plot.

Persamaan terbaik dengan RMSE terendah hasil uji sebesar 1,0043 ton 100m<sup>-2</sup> dengan % RMSE sebesar 33,89%. Hasil persamaan model 4 dapat dilihat pada Gambar 58. Persamaan model 4 :  

$$y = (280,445188 * ((X1)^{13,638683})) + (3,083467 - 1,7259 * X2 + 0,016404 * X3 + 1,528649 * X4)$$

Keterangan :

X1 = Indeks vegetasi NNIP

X2 = Indeks vegetasi VIRRE

NNIP =  $\frac{NIR1}{(NIR1+R+G)}$

VIRRE =  $\frac{NIR1}{RE}$

NIR1 = band 8 Citra Sentinel-2

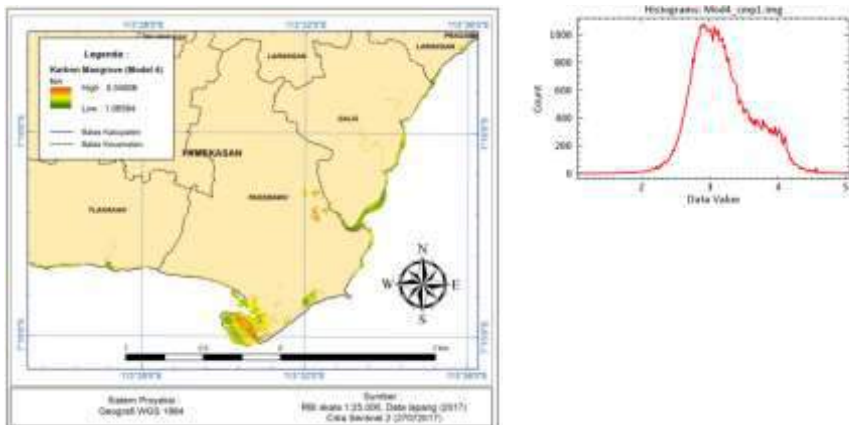
R = band 4 Citra Sentinel-2

G = band 3 Citra Sentinel-2

RE = band 5 Citra Sentinel-2

X3 = rata-rata kedalaman sedimen ( 100,63 cm),

X4 = rata-rata kerapatan lindak (1,02 g cm<sup>-3</sup>),



**Gambar 43. Peta karbon mangrove hasil Model 4**

- RMSE=1,0043 ton 100m<sup>-2</sup>
- %RMSE = 33,89 %
- Mean = 3,2 ton 100m<sup>-2</sup>
- Std = 0,44 ton 100m<sup>-2</sup>
- Min 1,073 ton 100m<sup>-2</sup>
- Max = 5,05 ton 100m<sup>-2</sup>
- Total Karbon mangrove = 210.619,7 ton
- Rata-rata Karbon ha<sup>-1</sup> = 318,75 ton ha<sup>-1</sup>

Pemodelan total stok karbon mangrove terbaik adalah dengan memisahkan estimasi karbon biomassa dan stok karbon tanah. Pemo-

elan terbaik adalah model 1 dengan penggabungan antara persamaan estimasi karbon biomassa menggunakan indeks vegetasi NNIP dengan regresi power/geometri, dan estimasi stok karbon tanah menggunakan regresi berganda 6 variabel (indeks vegetasi NDRE atau WVI, kedalaman sedimen, kerapatan lindak tanah, % C kedalaman 0-15 cm, % C kedalaman 15-50 cm, dan %C kedalaman > 50 cm). Hasil uji RMSE persamaan tersebut sebesar 0,4778 ton 100m<sup>-2</sup> dan % RMSE sebesar 16,12%. Model 2 estimasi biomassa menggunakan indeks vegetasi NNIP dan estimasi stok karbon tanah menggunakan regresi berganda 3 variabel dengan indeks vegetasi VIRRE. Hasil uji RMSE persamaan tersebut sebesar 0,5639 ton piksel<sup>-1</sup> dan % RMSE sebesar 19,03%. Model 3 estimasi biomassa menggunakan indeks vegetasi NNIP dan estimasi tanah menggunakan 2 variabel dengan indeks vegetasi NDRE. Hasil uji RMSE persamaan tersebut sebesar 0,7295 ton 100m<sup>-2</sup> dan % RMSE sebesar 24,63%. Model 4 penggabungan antara persamaan estimasi karbon biomassa menggunakan indeks vegetasi NNIP dengan regresi power/geometri dengan estimasi stok karbon tanah menggunakan regresi berganda 3 variabel ((1) indeks vegetasi VIRRE, (2) rata-rata kedalaman sedimen sebesar 100,63cm, (3) rata-rata kerapatan lindak tanah sebesar 1,02 g cm<sup>-3</sup>). Hasil uji RMSE persamaan ini sebesar 1,0043 ton 100m<sup>-2</sup> dan nilai % RMSE sebesar 33,89%.

Wicaksono et al. (2016) dengan menggunakan citra ALOS AVNIR-2 mendapatkan indeks vegetasi terbaik untuk karbon diatas tanah adalah EVI1 dengan *error* 22,9% dan untuk karbon di bawah tanah indeks vegetasi GEMI dengan *error* 40%. Hasil ini berbeda dengan yang dihasilkan pada penelitian ini. Jika dibandingkan dengan penelitian ini mendapatkan akurasi lebih baik dengan *error* 16,2%

## **10.2. Model Stok Karbon Mangrove menggunakan Citra LDCM**

Model terbaik citra LDCM dilihat dari nilai determinasi dan uji RMSE. Model terbaik dengan memisahkan antara estimasi karbon biomassa dan karbon tanah. Pada pemodelan citra LDCM juga dilakukan simulasi sama dengan pada citra Sentinel-2, sebagai berikut: (1) Model 1 dengan input nilai indeks vegetasi, kedalaman sedimen, kerapatan lindak tanah dan % karbon tanah; (2) Model 2 dengan input nilai indeks vegetasi, kedalaman sedimen dan kerapatan lindak; (3) Model 3 dengan input nilai indeks vegetasi dan kedalaman sedimen; (4) Model 4 dengan input hanya indeks vegetasi. Persamaan pemodelan dengan berbagai simulasi dapat dilihat pada Tabel 47 dan 48.

**Tabel 21. Pemodelan total karbon mangrove Citra LDCM dengan input : indeks vegetasi, kedalaman sedimen, kerapatan lindak dan % C organik tanah.**

No	Persamaan	Keterangan
<b>Model 1</b>		
1	$Y = (66,38 \cdot X_1^{2,104}) + (-97,618 + 2,740589 \cdot X_2 + 0,36241 \cdot X_3 + 40,69228 \cdot X_4 - 7325,77 \cdot X_6 + 9758,635 \cdot X_6 - 526,508 \cdot X_7)$ <p>Keterangan :</p> <p>X1= Indeks vegetasi VARI  X2= Indeks vegetasi RDVI  X3= Kedalaman sedimen (cm),  X4= Kerapatan lindak (g cm<sup>-3</sup>),  X5=% C kedalaman 0-15cm,  X6=% C kedalaman 15-50 cm,  X7 =% C kedalaman &gt;15cm</p>	<p>RMSE (ton piksel<sup>-1</sup>)= 2,5307  % RMSE=9,578  Mean(ton)= 24,62  Std(ton)= 7,51  Min(ton)= 0,15  Max(ton)= 57,02</p>
2	$Y = (66,38 \cdot X_1^{2,104}) + (-93,1961 + 14,8121 \cdot X_2 + 0,36955 \cdot X_3 + 40,1223 \cdot X_4 - 6937,07 \cdot X_5 + 9110,63 \cdot X_6 - 263,046 \cdot X_7)$ <p>Keterangan :</p> <p>X1= Indeks vegetasi VARI  X2= Indeks vegetasi VIgreen  X3= Kedalaman sedimen (cm),  X4= Kerapatan lindak (g cm<sup>-3</sup>),  X5=% C kedalaman 0-15cm,  X6=% C kedalaman 15-50 cm,  X7 =% C kedalaman &gt;15cm</p>	<p>RMSE (ton piksel<sup>-1</sup>)= 2,7485  % RMSE=10,402  Mean(ton)= 24,29  Std(ton)= 7,54  Min(ton)= -0,22  Max(ton)= 57,25</p>
3	$Y = (66,38 \cdot X_1^{2,104}) + ((15 \cdot X_3 \cdot X_4) + (35 \cdot X_3 \cdot X_5) + ((X_2 - 50) \cdot X_3 \cdot X_6))$ <p>Keterangan :</p> <p>X1= Indeks vegetasi VARI  X2= rata-rata kedalaman sedimen</p>	<p>RMSE (ton piksel<sup>-1</sup>)= 5,7960  % RMSE=24,123</p>

No	Persamaan	Keterangan
	X3=rata-rata kerapatan lindak,	Mean(ton)=
	X4=rata-rata % C kedalaman 0-15cm	25,19
	X5=rata-rata % C kedalaman 15-50 cm	Std(ton)= 6,94
	X6 =rata-rata % C kedalaman >15cm	Min(ton)= 12,64
		Max(ton)= 55,02

**Model 2**

<b>1</b>	$Y = (66,38 \cdot X1^{2,104}) + (-46,1009 + 69,02285 \cdot X2 + 0,182429 \cdot X3 + 19,40405 \cdot X4)$ Keterangan : X1= Indeks vegetasi VARI X2= Indeks vegetasi MSAVI X3= Kedalaman sedimen (cm), X4= Kerapatan lindak (g cm <sup>-3</sup> ),	RMSE (ton piksel <sup>-1</sup> )= 6,8708 % RMSE=26,004 Mean(ton)= 18,14 Std(ton)= 11,94 Min(ton)= -8,51 Max(ton)= 62,36
<b>2</b>	$Y = (66,38 \cdot X1^{2,104}) + (-47,9258 + 1,973006 \cdot X2 + 0,175553 \cdot X3 + 19,34522 \cdot X4)$ Keterangan : X1= Indeks vegetasi VARI X2= Indeks vegetasi TVI X3= Kedalaman sedimen (cm), X4= Kerapatan lindak (g cm <sup>-3</sup> ),	RMSE (ton piksel <sup>-1</sup> )= 6,9386 % RMSE=26,260 Mean(ton)= 18,07 Std(ton)= 12,06 Min(ton)= -8,52 Max(ton)= 62,67

**Model 3**

<b>1</b>	$Y = (66,38 \cdot X1^{2,104}) + (-13,91 + 20,54032 \cdot X2 + 0,26787 \cdot X3)$ Keterangan : X1= Indeks vegetasi VARI X2= Indeks vegetasi MSAVI X3= Kedalaman sedimen (cm),	RMSE (ton piksel <sup>-1</sup> )= 6,6503 % RMSE=25,169 Mean(ton)= 24,63 Std(ton)= 8,73
----------	---	--

No	Persamaan	Keterangan
		Min(ton)= 5,66 Max(ton)= 49,70
<b>2</b>	$Y = (66,38 \cdot X_1^{2,104}) + (-24,4633 + 23,18259 \cdot X_2 + 0,282121 \cdot X_3)$ Keterangan : X1= Indeks vegetasi VARI X2= Indeks vegetasi NDVI X3= Kedalaman sedimen (cm),	RMSE (ton piksel <sup>-1</sup> )= 6,6573 % RMSE=25,195 Mean(ton)= 24,08 Std(ton)= 9,46 Min(ton)= 2,42 Max(ton)= 48,08

Keterangan : n (RMSE) = 30, ukuran piksel 30x30m=300m<sup>2</sup>

**Tabel 22. Pemodelan total karbon mangrove dengan citra LDCM dengan input : indeks vegetasi, rata-rata kedalaman sedimen (100,63 cm), kerapatan lindak (1,02 g cm<sup>-3</sup>) dan % C organik tanah kedalaman 0-15 cm (0,0341), % C organik tanah kedalaman 15-50 cm (0,0303), % C organik tanah kedalaman >50 cm (0,0228).**

No	Persamaan	Keterangan
<b>Model 4</b>		
1	$Y = (66,38 \cdot X_1^{2,104}) + (-13,91 + 20,54032 \cdot X_2 + 0,26787 \cdot X_3)$ Keterangan : X1= Indeks vegetasi VARI X2= Indeks vegetasi MSAVI X3= rata-rata kedalaman sedimen ( 100,63cm)	RMSE (ton piksel <sup>-1</sup> )= 9,03122 % RMSE=34,180 Mean(ton)= 23,90 Std(ton)= 4,27 Min(ton)= 16,30 Max(ton)= 44,18
2	$Y = (66,38 \cdot X_1^{2,104}) + (-93,1961 + 14,8121 \cdot X_2 + 0,36955 \cdot X_3 + 40,1223 \cdot X_4 - 6937,07 \cdot X_5 + 9110,63 \cdot X_6 - 263,046 \cdot X_7)$ Keterangan :	RMSE (ton piksel <sup>-1</sup> )= 9,28062 % RMSE=35,123 Mean(ton)= 23,45 Std(ton)= 3,35

No	Persamaan	Keterangan
	X1= Indeks vegetasi VARI	Min(ton)= 18,42
	X2= Indeks vegetasi VIgreen	Max(ton)= 40,89
	X3= rata-rata kedalaman sedimen ( 100,63cm),	
	X4= rata-rata kerapatan lindak (1,02 g cm <sup>-3</sup> ),	
	X5=rata-rata % C kedalaman 0-15cm (0,0341),	
	X6=rata-rata % C kedalaman 15-50 cm (0,0303),	
	X7 =rata-rata % C kedalaman >15cm (0,0228)	
3	$Y = (66,38 \times X1^{2,104}) + (-24,4633 + 23,18259 \times X2 + 0,282121 \times X3)$ Keterangan : X1= Indeks vegetasi VARI X2= Indeks vegetasi NDVI X3= rata-rata kedalaman sedimen ( 100,63cm)	RMSE (ton piksel-1)= 9,28712 % RMSE=35,148 Mean(ton)= 23,31 Std(ton)= 4,98 Min(ton)= 13,93 Max(ton)= 42,32
4	$Y = (66,38 \times X1^{2,104}) + (-47,9258 + 1,973006 \times X2 + 0,175553 \times X3 + 19,34522 \times X4)$ Keterangan : X1= Indeks vegetasi VARI X2= Indeks vegetasi TVI X3= rata-rata kedalaman sedimen ( 100,63cm), X4= rata-rata kerapatan lindak (1,02 g cm <sup>-3</sup> ),	RMSE (ton piksel-1)= 9,35484 % RMSE=35,404 Mean(ton)= 21,30 Std(ton)= 9,27 Min(ton)= 0,37 Max(ton)= 56,69
5	$Y = (66,38 \times X1^{2,104}) + (-97,618 + 2,740589 \times X2 + 0,36241 \times X3 + 40,69228 \times X4 - 7325,77 \times X5 + 9758,635 \times X6 - 526,508 \times X7)$ Keterangan :	RMSE (ton piksel-1)= 9,39665 % RMSE=35,563 Mean(ton)= 23,70 Std(ton)= 3,10

No	Persamaan	Keterangan
	X1= Indeks vegetasi VARI	Min(ton)= 17,03
	X2= Indeks vegetasi RDVI	Max(ton)= 37,63
	X3= rata-rata kedalaman sedimen ( 100,63cm),	
	X4= rata-rata kerapatan lindak (1,02 g cm <sup>-3</sup> ),	
	X5=rata-rata % C kedalaman 0-15cm (0,0341),	
	X6=rata-rata % C kedalaman 15-50 cm (0,0303),	
	X7 =rata-rata % C kedalaman >15cm (0,0228)	
6	$Y = (66,38 \cdot X1^{2,104}) + (-46,1009 + 69,02285 \cdot X2 + 0,182429 \cdot X3 + 19,40405 \cdot X4)$ Keterangan : X1= Indeks vegetasi VARI X2= Indeks vegetasi MSAVI X3= rata-rata kedalaman sedimen ( 100,63cm), X4= rata-rata kerapatan lindak (1,02 g cm <sup>-3</sup> ),	RMSE (ton piksel-1)= 9,42689 % RMSE=35,677 Mean(ton)= 21,36 Std(ton)= 9,02 Min(ton)= 2,28 Max(ton)= 55,66
7	$Y = (66,38 \cdot X1^{2,104}) + ((15 \cdot X3 \cdot X4) + (35 \cdot X3 \cdot X5) + ((X2 - 50) \cdot X3 \cdot X6))$ Keterangan : X1= Indeks vegetasi VARI X2= rata-rata kedalaman sedimen ( 100,63cm), X3= rata-rata kerapatan lindak (1,02 g cm <sup>-3</sup> ), X4=rata-rata % C kedalaman 0-15cm (0,0341), X5=rata-rata % C kedalaman 15-50 cm (0,0303),	RMSE (ton piksel-1)= 21,09406 % RMSE=79,833 Mean(ton)= 5,82 Std(ton)= 2,43 Min(ton)= 2,78 Max(ton)= 20,15



No	Persamaan	Keterangan
	X6 =rata-rata % C kedalaman >15cm (0,0228)	

Keterangan : n (RMSE)= 30, ukuran piksel 30x30m=300m<sup>2</sup>

Model terbaik citra LDCM dengan beberapa simulasi adalah sebagai berikut (luas piksel 30x30 m):

1. Model 1 merupakan gabungan model karbon biomassa menggunakan regresi power/geometri untuk indeks vegetasi VARI dengan model karbon tanah menggunakan regresi berganda 6 variabel (Indeks vegetasi RDVI (*renormalized difference vegetation index*), Kedalaman sedimen (cm), Kerapatan lindak (g cm<sup>-3</sup>), %C kedalaman 0-15cm, %C kedalaman 15-50 cm, %C kedalaman >15cm). Hasil uji RMSE untuk model ini sebesar 2,53079 ton 900m<sup>-2</sup> dan % RMSE sebesar 9,58%. Peta stok karbon mangrove hasil model 1 seperti pada Gambar 62. Persamaan untuk model 1 untuk cita LDCM adalah :

$$Y = (66,38*(X1^2,104))+(-97,618+2,740589*X2 +0,36241*X3+40,69228*X4 -7325,77*X5 +9758,635*X6 -526,508*X7)$$

Keterangan :

X1 = Indeks vegetasi VARI

X2 = Indeks vegetasi RDVI

$$VARI = \frac{(G-R)}{(G+R-B)}$$

$$RDVI = [(NIR - R)/(NIR + R)^2]$$

G = band 3 Citra LDCM

R = band 4 Citra LDCM

B = band 2 Citra LDCM

NIR = band 5 Citra LDCM

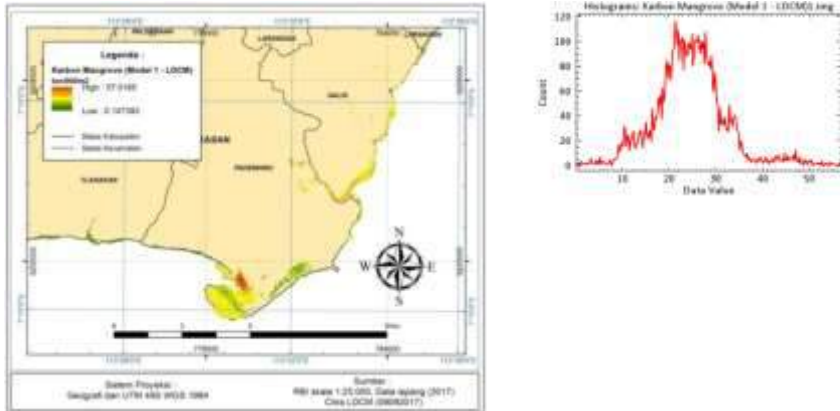
X3 = Kedalaman sedimen (cm),

X4 = Kerapatan lindak (g cm<sup>-3</sup>),

X5 =% C kedalaman 0-15cm,

X6 =% C kedalaman 15-50 cm,

X7 =% C kedalaman >15cm

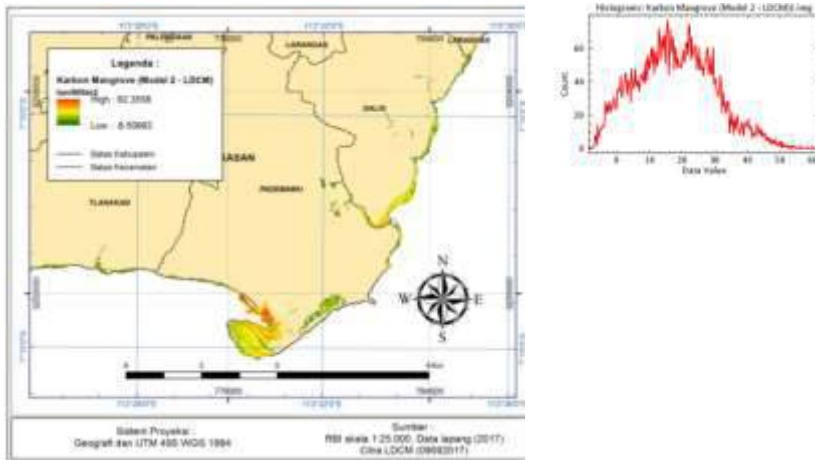


Gambar 44. Peta stok karbon mangrove hasil Model 1 citra LDCM

- RMSE=2,53079 ton/900m<sup>2</sup>
  - % RMSE = 9,58%
  - Mean = 24,62 ton 900m<sup>-2</sup>
  - Std = 7,51ton 900m<sup>-2</sup>
  - Min = 0,15 ton 900m<sup>-2</sup>
  - Max = 57,02 ton 900m<sup>-2</sup>
  - Total Karbon mangrove = 171.799,8 ton
  - Rata-rata Karbon ha<sup>-1</sup> = 272,35 ton ha<sup>-1</sup>
2. Model 2 merupakan gabungan model karbon biomassa menggunakan regresi power/geometri untuk indeks vegetasi VARI dengan model karbon tanah regresi berganda 3 variabel (Indeks vegetasi MSAVI (*modified Soil-Adjusted Vegetation Index*), Kedalaman sedimen (cm) dan Kerapatan lindak (g cm<sup>-3</sup>)). Hasil uji RMSE untuk model 2 sebesar 6,87089 ton 900m<sup>-2</sup> dan % RMSE sebesar 26,004%. Peta stok karbon mangrove hasil model 2 seperti pada Gambar 63. Persamaan untuk model ini adalah :
- $$Y = (66,38*(X1^2,104)) + (-46,1009 + 69,02285*X2 + 0,182429*X3 + 19,40405*X4)$$

Keterangan :

- X1 = Indeks vegetasi VARI
- X2 = Indeks vegetasi MSAVI
- VARI =  $\frac{(G-R)}{(G+R-B)}$
- MSAVI =  $\frac{1}{2} [2 * NIR1 + 1 - \sqrt{(2 * NIR1 + 1)^2 - 8 * (NIR1 - R)}]$
- G = band 3 Citra LDCM
- R = band 4 Citra LDCM
- B = band 2 Citra LDCM
- NIR = band 5 Citra LDCM
- X3 = Kedalaman sedimen (cm)
- X4 = Kerapatan lindak (g cm<sup>-3</sup>),



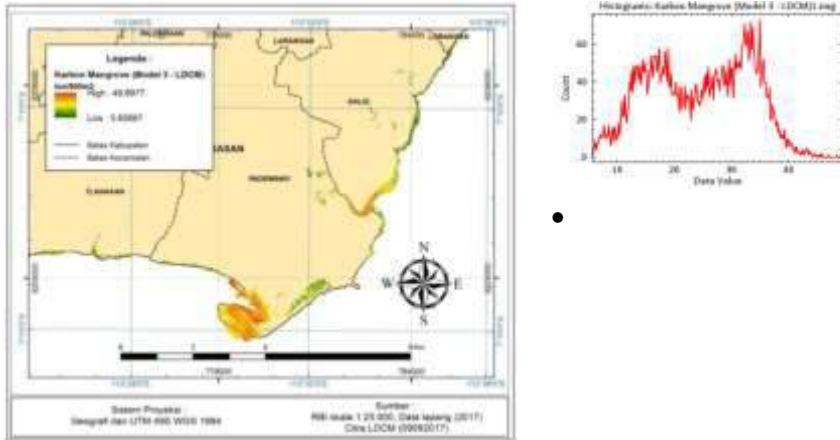
**Gambar 45. Peta karbon mangrove hasil Model 2 citra LDCM**

- RMSE=6,87089 ton 900m<sup>-2</sup>
  - %RMSE = 26,004%
  - Mean= 18,14 ton 900m<sup>-2</sup>
  - Std = 11,94 ton 900m<sup>-2</sup>
  - Min = -8,51 ton 900m<sup>-2</sup>
  - Max = 62,36 ton 900m<sup>-2</sup>
  - Total Karbon mangrove = 127.315,5 ton
  - Rata-rata Karbon ha<sup>-1</sup> = 201,83 ton ha<sup>-1</sup>
3. Model 3 merupakan gabungan model karbon biomassa menggunakan regresi power/geometri untuk indeks vegetasi VARI dengan model karbon tanah regresi berganda 2 variabel (Indeks vegetasi MSAVI dan kedalaman sedimen (cm)). Hasil uji RMSE mendapatkan model ini sebesar 6,65033 ton 900m<sup>-2</sup> dan % RMSE sebesar 25,169%. Peta stok karbon mangrove hasil model 3 seperti pada Gambar 64. Persamaan untuk model 3 adalah:

$$Y = (66,38*(X1^2,104)) + (-13,91 + 20,54032*X2 + 0,26787*X3)$$

Keterangan :

- X1 = Indeks vegetasi VARI
- X2 = Indeks vegetasi MSAVI
- VARI =  $\frac{(G-R)}{(G+R-B)}$
- MSAVI =  $\frac{1}{2} [2 * NIR1 + 1 - \sqrt{(2 * NIR1 + 1)^2 - 8 * (NIR1 - R)}]$
- G = band 3 Citra LDCM
- R = band 4 Citra LDCM
- B = band 2 Citra LDCM
- NIR = band 5 Citra LDCM
- X3 = Kedalaman sedimen (cm),



**Gambar 46. Peta karbon mangrove hasil Model 3 citra LDCM**

- RMSE=6,65033 ton 900m<sup>-2</sup>
  - % RMSE=25,169%
  - Mean = 24,63 ton 900m<sup>-2</sup>
  - Std = 8,73 ton 900m<sup>-2</sup>
  - Min = 5,66 ton 900m<sup>-2</sup>
  - Max = 49,70 ton 900m<sup>-2</sup>
  - Total Karbon mangrove = 171.993,7 ton
  - Rata-rata Karbon ha<sup>-1</sup> = 272,66 ton ha<sup>-1</sup>
4. Model 4 data yang dipergunakan dalam model ini adalah data rata-rata kedalaman sedimen sebesar 100,63 cm, data kerapatan lindak sebesar 1,02 g/cm<sup>3</sup>, data %C tanah kedalaman 0-15cm sebesar 0,0341%, data %C tanah kedalaman 15-50 cm sebesar 0,0303 %, data %C tanah kedalaman >15cm sebesar 0,0228%. Data tersebut didapatkan dari hasil pengukuran lapang dari 38 plot lokasi sampel. Persamaan terbaik adalah karbon biomassa menggunakan indeks vegetasi VARI dengan karbon tanah regresi berganda 2 variabel (indeks vegetasi MSAVI dan rata-rata kedalaman sedimen sebesar 100,63 cm). Hasil uji RMSE persamaan ini sebesar 9,03122 ton 900m<sup>-2</sup> dan %RMSE sebesar 34,18%. Nilai RMSE untuk semua persamaan dapat dilihat pada Tabel 50. Peta stok karbon mangrove hasil model 4 seperti pada Gambar 65. Persamaan model 4 adalah sebagai berikut :

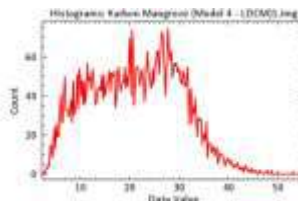
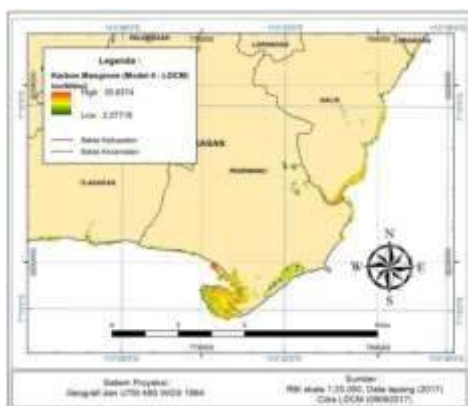
$$Y = (66,38*(X1^2,104))+(-13,91+20,54032*X2 + 0,26787*X3)$$

Keterangan :

- X1 = Indeks vegetasi VARI
- X2 = Indeks vegetasi MSAVI
- VARI =  $\frac{(G-R)}{(G+R-B)}$

$$MSAVI = \frac{1}{2} [2 * NIR1 + 1 - \sqrt{(2 * NIR1 + 1)^2 - 8 * (NIR1 - R)}]$$

G = band 3 Citra LDCM  
R = band 4 Citra LDCM  
B = band 2 Citra LDCM  
NIR = band 5 Citra LDCM  
X3 = rata-rata kedalaman sedimen ( 100,63cm),



**Gambar 47. Peta karbon mangrove hasil Model 4 citra LDCM**

- RMSE=9,03122 ton 900m<sup>-2</sup>
- %RMSE = 34,180%
- Mean = 21,36 ton 900m<sup>-2</sup>
- Std = 9,02 ton 900m<sup>-2</sup>
- Min = 2,28 ton 900m<sup>-2</sup>
- Max = 55,66 ton 900m<sup>-2</sup>
- Total Karbon mangrove = 148.957 ,6 ton
- Rata-rata Karbon ha<sup>-1</sup> = 236,14 ton ha<sup>-1</sup>

Pemodelan dilakukan dengan memisahkan estimasi karbon biomassa dan karbon tanah. Pemodelan terbaik untuk estimasi karbon mangrove dengan citra LDCM adalah model 1, penggabungan antara estimasi karbon biomassa menggunakan persamaan indeks vegetasi VARI (*vegetation atmospherically resistant index*) regresi power/geometri dengan estimasi karbon tanah menggunakan regresi berganda 6 variabel. Enam variabel tersebut terdiri dari: indeks vegetasi RDVI (*renormalized difference vegetation index*), kedalaman sedimen, kerapatan lindak tanah, %C kedalaman 0-15 cm, %C kedalaman 15-50 cm dan %C kedalaman > 50 cm. Hasil uji model dengan RMSE mendapatkan nilai sebesar 2,53079 ton 900m<sup>-2</sup> dan % RMSE sebesar 9,58 %. Model 2 penggabungan esti-

masi biomassa menggunakan indeks vegetasi VARI dengan estimasi karbon tanah menggunakan regresi berganda 3 variabel. Tiga variabel tersebut terdiri dari: indeks vegetasi MSAVI, kedalaman sedimen, kerapatan lindak tanah. Hasil uji model dengan RMSE mendapatkan nilai sebesar 6,87089 ton 900m<sup>-2</sup> dan % RMSE sebesar 26,0 %. Model 3 penggabungan estimasi karbon biomassa menggunakan indeks vegetasi VARI dengan estimasi karbon tanah menggunakan 2 variabel. Dua variabel tersebut adalah: indeks vegetasi MSAVI dan kedalaman sedimen. Hasil uji RMSE model tersebut mendapatkan nilai sebesar 6,65033 ton 900m<sup>-2</sup> dan % RMSE sebesar 25,17 %. Model 4 dengan memasukkan nilai rata-rata kedalaman sedimen hasil pengukuran lapang sebesar 100,63 cm dan rata-rata kerapatan lindak sebesar 1,02 g cm<sup>-3</sup>. Persamaan yang paling sesuai untuk model 4 adalah penggabungan estimasi karbon biomassa menggunakan persamaan regresi power/geometri indeks vegetasi VARI dengan regresi berganda 3 variabel. Tiga variabel tersebut adalah indeks vegetasi MSAVI, kedalaman sedimen sebesar 100,63 cm, kerapatan lindak tanah sebesar 1,02 g cm<sup>-3</sup>. Hasil uji RMSE untuk model ini sebesar 9,03122 ton 900m<sup>-2</sup> dan % RMSE sebesar 34,180 %.

### **10.3. Perbandingan Estimasi Karbon Mangrove Citra Sentinel-2 dengan Citra LDCM (dalam satuan ton ha<sup>-1</sup>)**

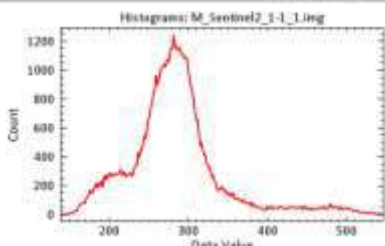
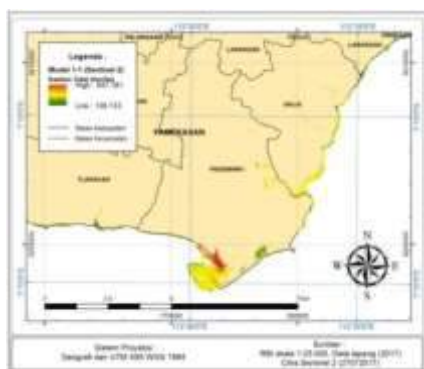
Perbedaan antara citra Sentinel-2 dan Landsat yang dipergunakan untuk estimasi mangrove pada penelitian ini adalah :

1. Citra Sentinel-2 memiliki band *Blue* (0,490  $\mu\text{m}$ ), *Green* (0,560  $\mu\text{m}$ ), *Red* (0,665  $\mu\text{m}$ ), *Near-infrared 1* (0,842  $\mu\text{m}$ ), *Near-infrared 2* (0,865  $\mu\text{m}$ ), *Red Edge 1* (0,705  $\mu\text{m}$ ) dan *Red Edge 2* (0,740  $\mu\text{m}$ ) yang dapat dipergunakan untuk analisis indeks vegetasi. Sedangkan pada citra LDCM hanya memiliki saluran *Blue*, *Green*, *Red*, *Near-infrared*, dan tidak memiliki saluran *Red Edge*.
2. Citra Sentinel-2 memiliki resolusi spasial 10 m pada band *Blue*, *Green*, *Red*, *Near-infrared 1* dan 20 meter pada band *Near-infrared 2*, *Red Edge 1* dan *Red Edge 2*. Sedangkan citra Landsat memiliki resolusi spasial 30m.
3. Citra Sentinel-2 yang diluncurkan tahun 2015. Sedangkan citra Landsat yang dimanfaatkan dalam penelitian ini Landsat 5 (tahun 1984), Landsat 7 (tahun 1999) dan Landsat 8/LDCM (tahun 2013). Menggunakan citra Landsat dapat melihat perubahan stok karbon mangrove secara temporer dalam jangka waktu yang panjang. Dalam perbandingan ini satuan piksel yang dipergunakan dirubah dalam hektar, hal ini agar hasil pemodelan antara citra Sentinel-2 dan LDCM setara (dalam satuan yang sama). Hal ini disebabkan luas satu

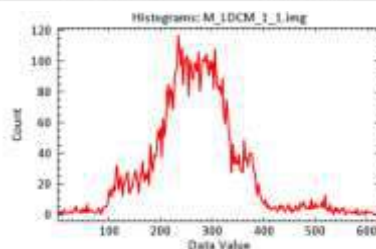
piksel citra Sentinel-2 adalah 10x10 m, sedangkan citra LDCM 30x30 m. Hasil perbandingan model 1 dapat dilihat pada tabel 49 dan Gambar 66, model 2 pada Tabel 50 dan Gambar 67, model 3 pada Tabel 51 dan Gambar 68, model 4 pada Tabel 52 dan Gambar 69.

Perbandingan antara model 1, model 2, model 3 dan model 4 untuk citra Sentinel-2 dan citra LDCM menunjukkan model terbaik adalah model 1, karena hasil uji RMSE mendapatkan nilai terkecil. Secara berurut hasil uji RMSE untuk citra Sentinel-2 adalah 12,85 % (model 1), 16,65 % (model 2), 23,38 % (model 3) dan 29,96 % (model 4). Sedangkan citra LDCM sebagai berikut 9,18 % (model 1), 24,8 % (model 2), 24,05 % (model 3) dan 34,05 % (model 4).

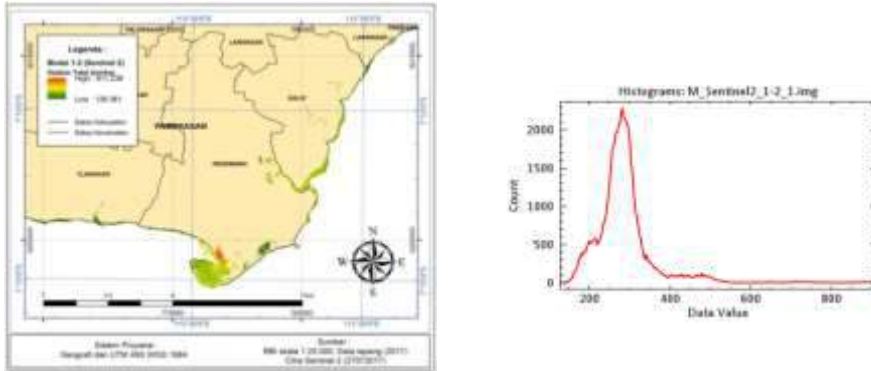
Pemodelan estimasi stok karbon mangrove menggunakan citra sentinel-2, terbaik untuk estimasi stok karbon biomassa vegetasi mangrove menggunakan indeks vegetasi NNIP (terdiri dari saluran merah, hijau dan *Near Infra Red*). Sedangkan untuk estimasi stok karbon tanah menggunakan indeks vegetasi NDRE, WVVI, VIRRE (terdiri dari saluran *Near Infra Red* dan Red Edge). Pemodelan menggunakan citra LDCM, terbaik untuk estimasi stok biomassa vegetasi mangrove menggunakan indeks vegetasi VARI (merah, hijau dan biru). Sedangkan untuk estimasi tanah menggunakan indeks vegetasi RDVI, MSAVI (terdiri dari saluran merah dan *Near Infra Red*).



Model 1-1 citra Sentinel-2



Model 1 citran LDCM



Model 1-2 citra Sentinel-2

**Gambar 48. Perbandingan Peta dan grafik estimasi karbon mangrove hasil model 1 pada citra Sentinel-2 dan LDCM**

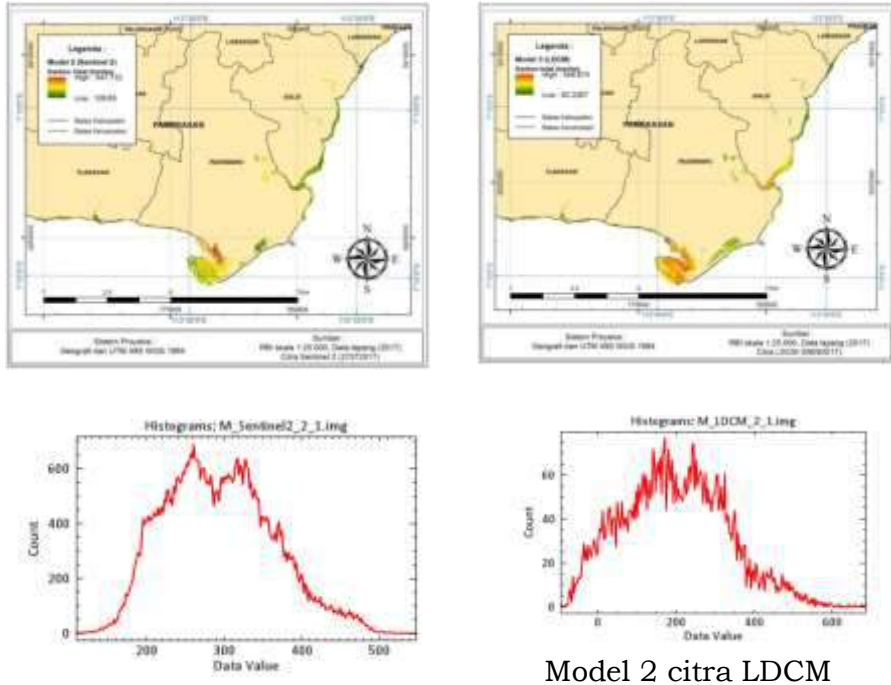
Perbandingan hasil estimasi karbon citra Sentinel-2 (tanggal 27-7-2017) dan LDCM (9-9-2017), untuk luas mangrove dengan citra Sentinel-2 seluas 660,77 ha dan dengan citra LDCM seluas 630,81 ha. Selisih luas mangrove citra Sentinel-2 dan LDCM seluas 30,0 ha. Hal ini terjadi karena perbedaan resolusi spasial antara citra sentinel-2 (10m) dan citra LDCM (30m). Estimasi stok karbon dengan citra Sentinel-2 sebesar 187.397,99 ton (model 1-1) dan 187.790,34 ton (model 1-2), sedangkan dengan citra LDCM sebesar 171.799,79 ton. Rata-rata estimasi karbon untuk citra Sentinel-2 sebesar 284 ton ha<sup>-1</sup>, sedangkan citra LDCM sebesar 272 ton ha<sup>-1</sup> (selisih 11 ton ha<sup>-1</sup>). Hasil uji RMSE untuk citra Sentinel-2 sebesar 39,33 ton ha<sup>-1</sup> dengan % RMSE sebesar 12,85 %, sedangkan untuk citra LDCM sebesar 28,11 ton ha<sup>-1</sup> dengan % RMSE sebesar 9,18%. Hasil uji RMSE mendapatkan estimasi karbon citra LDCM lebih baik dibandingkan Sentinel-2. Sedangkan jika dilihat dari prosen bias rata-rata karbon estimasi dengan karbon lapang, untuk citra sentinel-2 lebih baik sebesar 4,03% dibandingkan citra LDCM sebesar 5,44%. Perbandingan model 1 antara citra Sentinel-2 dengan LDCM bisa dilihat pada Tabel 49 dan Gambar 66.



**Tabel 23. Perbandingan pemodelan citra Sentinel-2 dan Citra LDCM pada model 1.**

No	Parameter	Sentinel-2	Sentinel-2	LDCM
		<b>Model 1-1</b>	<b>Model 1-2</b>	<b>Model 1</b>
1	Luas mangrove hasil citra (ha)	660,77	660,77	630,81
2	Jumlah total karbon estimasi model (ton)	187.397,99	187.790,34	171.799,79
3	rata-rata karbon estimasi model (ton ha <sup>-1</sup> )	283,61	284,20	272,35
4	rata-rata karbon pengukuran lapang (ton ha <sup>-1</sup> )	306,04	306,04	306,04
5	RMSE (ton ha <sup>-1</sup> )	39,33	39,33	28,11
6	%RMSE	12,85	12,85	9,18
7	Bias (ton ha <sup>-1</sup> )	12,33	12,33	16,64
8	% bias	4,03	4,03	5,44
9	Min (ton ha <sup>-1</sup> )	139,13	128,36	1,62
10	Max (ton ha <sup>-1</sup> )	547,16	911,24	627,18
11	Mean (ton ha <sup>-1</sup> )	3,82	3,84	3,51
12	Std (ton ha <sup>-1</sup> )	33,44	33,82	32,04

Perbandingan hasil estimasi stok karbon model 2 untuk citra Sentinel-2 mendapatkan 194.301,02 ton dan citra LDCM 127.315,47 ton (selisih 66.985 ton). Rata-rata estimasi karbon citra Sentinel-2 sebesar 294,05 ton ha<sup>-1</sup> dan untuk citra LDCM sebesar 201,83 ton ha<sup>-1</sup> (selisih 92 ton ha<sup>-1</sup>). Hasil uji RMSE untuk citra Sentinel-2 sebesar 50,95 ton ha<sup>-1</sup> dan % RMSE sebesar 16,65%, sedangkan untuk citra LDCM sebesar 75,91 ton ha<sup>-1</sup> dan % RMSE sebesar 24,80%. Hasil uji RMSE untuk estimasi karbon menunjukkan bahwa citra Sentinel-2 lebih baik dari citra LDCM. Jika dilihat dari prosentase bias rata-rata estimasi karbon dengan karbon lapang menunjukkan untuk citra sentinel-2 menunjukkan hasil lebih baik dengan % bias sebesar 5,43%, sedangkan citra LDCM sebesar 5,73%. Perbandingan model 2 antara citra Sentinel-2 dan LDCM dapat dilihat pada Tabel 50 dan Gambar 67.



Model 2 citra Sentinel-2

Model 2 citra LDCM

**Gambar 49. Perbandingan Peta dan grafik estimasi karbon mangrove hasil model 2 pada citra Sentinel-2 dan LDCM**

**Tabel 24. Perbandingan pemodelan citra Sentinel-2 dan Citra LDCM pada model 2.**

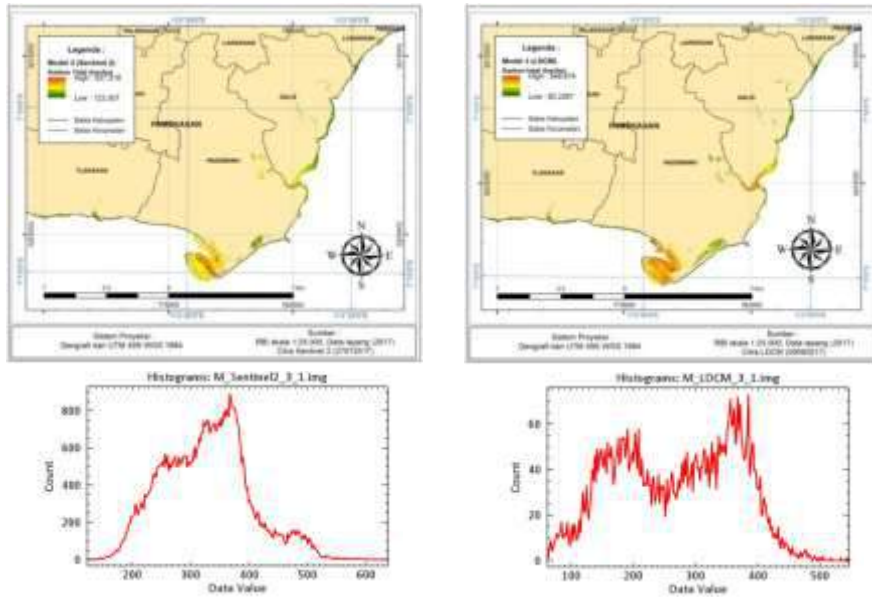
No	Parameter	Sentinel-2	LDCM
		<b>Model 2</b>	<b>Model 2</b>
1	Luas mangrove hasil citra (ha)	660,77	630,81
2	Jumlah total karbon estimasi model (ton)	194.301,02	127.315,47
3	rata-rata karbon estimasi model (ton ha <sup>-1</sup> )	294,05	201,83
4	rata-rata karbon pengukuran lapang (ton ha <sup>-1</sup> )	306,04	306,04
5	RMSE (ton ha <sup>-1</sup> )	50,95	75,91
6	%RMSE	16,65	24,80
7	Bias (ton ha <sup>-1</sup> )	16,62	17,54
8	% bias	5,43	5,73
9	Min (ton ha <sup>-1</sup> )	109,65	-93,61
10	Max (ton ha <sup>-1</sup> )	547,73	685,91

No	Parameter	Sentinel-2	LDCM
		<b>Model 2</b>	<b>Model 2</b>
11	Mean (ton ha <sup>-1</sup> )	3,96	2,58
12	Std (ton ha <sup>-1</sup> )	34,88	27,06

Perbandingan estimasi karbon model 3 untuk citra Sentinel-2 mendapatkan estimasi stok karbon sebesar 216.574,39 ton, sedangkan citra LDCM sebesar 171.993,67 ton. Selisih estimasi stok karbon mangrove sebesar 44.580 ton. Rata-rata estimasi stok karbon untuk citra Sentinel-2 sebesar 327,76 ton ha<sup>-1</sup> dan citra LDCM sebesar 272,66 ton ha<sup>-1</sup> (selisih 55 ton ha<sup>-1</sup>). Hasil uji RMSE untuk citra Sentinel-2 sebesar 71,55 ton ha<sup>-1</sup> dengan % RMSE sebesar 23,38%. Sedangkan citra LDCM RMSE sebesar 73,61 ton ha<sup>-1</sup> dengan % RMSE 24,05%. Nilai ini menunjukkan estimasi karbon citra Sentinel-2 lebih baik dari citra LDCM. Jika dilihat dari prosen bias rata-rata hasil estimasi karbon dengan karbon lapang, untuk citra sentinel-2 sebesar 2,65 % lebih baik dibandingkan citra LDCM sebesar 3,61 %. Perbandingan model 3 estimasi karbon citra Sentinel-2 dan LDCM dapat dilihat pada Tabel 51 dan Gambar 68.

**Tabel 25. Perbandingan pemodelan citra Sentinel-2 dan Citra LDCM pada model 3.**

No	Parameter	Sentinel-2	LDCM
		<b>Model 3</b>	<b>Model 3</b>
1	Luas mangrove hasil citra (ha)	660,77	630,81
2	Jumlah total karbon estimasi model (ton)	216.574,39	171.993,67
3	rata-rata karbon estimasi model (ton ha <sup>-1</sup> )	327,76	272,66
4	rata-rata karbon pengukuran lapang (ton ha <sup>-1</sup> )	306,04	306,04
5	RMSE (ton ha <sup>-1</sup> )	71,55	73,61
6	%RMSE	23,38	24,05
7	Bias (ton ha <sup>-1</sup> )	8,10	11,04
8	% bias	2,65	3,61
9	Min (ton ha <sup>-1</sup> )	123,31	62,23
10	Max (ton ha <sup>-1</sup> )	637,52	546,67
11	Mean (ton ha <sup>-1</sup> )	4,42	3,51
12	Std (ton ha <sup>-1</sup> )	38,79	32,52



Model 3 citra Sentinel-2

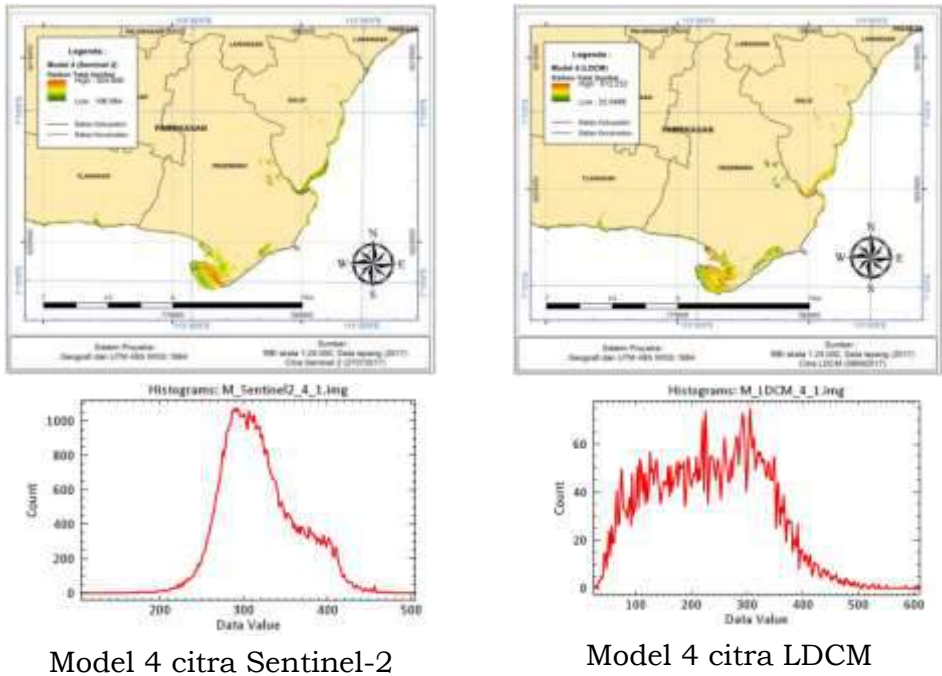
Model 3 citra LDCM

**Gambar 50. Perbandingan Peta dan grafik estimasi karbon mangrove hasil model 3 pada citra Sentinel-2 dan LDCM**

Perbandingan estimasi stok karbon model 4 untuk citra Sentinel-2 mendapatkan karbon sebesar 210.619,7 ton dan citra LDCM sebesar 148.957,6 ha (selisih 61.662,1 ton). Rata-rata estimasi karbon untuk citra Sentinel-2 sebesar 318,75 ton ha<sup>-1</sup> dan citra LDCM sebesar 236,14 ton ha<sup>-1</sup> (selisih 82,6 ton ha<sup>-1</sup>). Hasil uji RMSE untuk citra Sentinel-2 sebesar 91,7 ton ha<sup>-1</sup> dengan % RMSE sebesar 29,96 %. Sedangkan untuk citra LDCM RMSE sebesar 104,2 ton ha<sup>-1</sup> dengan % RMSE sebesar 34,05 %. Hasil ini menunjukkan model 3 dengan citra Sentinel-2 lebih baik dari citra LDCM. Jika dilihat dari prosen bias rata-rata estimasi karbon dengan karbon lapang, untuk citra sentinel-2 sebesar 2,39% dan citra LDCM sebesar 0,78 %. Perbandingan model 4 untuk citra Sentinel-2 dan LDCM dapat dilihat pada Tabel 52 dan Gambar 69.

**Tabel 26. Perbandingan pemodelan citra Sentinel-2 dan Citra LDCM pada model 4.**

No	Parameter	Sentinel-2	LDCM
		Model4	Model4
1	Luas mangrove hasil citra (ha)	660,77	630,81
2	Jumlah total karbon estimasi model (ton)	210.619,70	148.957,64
3	rata-rata karbon estimasi model (ton ha <sup>-1</sup> )	318,75	236,14
4	rata-rata karbon pengukuran lapang (ton ha <sup>-1</sup> )	306,04	306,04
5	RMSE (ton ha <sup>-1</sup> )	91,70	104,21
6	%RMSE	29,96	34,05
7	Bias (ton ha <sup>-1</sup> )	7,30	2,39
8	% bias	2,39	0,78
9	Min (ton ha <sup>-1</sup> )	106,58	25,05
10	Max (ton ha <sup>-1</sup> )	504,91	612,23
11	Mean (ton ha <sup>-1</sup> )	4,29	3,04
12	Std (ton ha <sup>-1</sup> )	37,14	28,87



**Gambar 51. Perbandingan Peta dan grafik estimasi karbon mangrove hasil model 4 pada citra Sentinel-2 dan LDCM**

Hasil penelitian ini berbeda dengan yang dilakukan oleh Li *et al.* (2007); Vicharnakorn *et al.* (2014); Yu *et al.* (2014); Eckert (2012); Jachowski *et al.* (2013); Hirata *et al.* (2014); Kulawardhana *et al.*, (2014); Wahyuni (2014); Hamdan *et al.* (2014); Frananda *et al.*, (2015); Danoedoro *et al.* (2015); Wicaksono *et al.*, (2016); Hartoko *et al.* (2015); Dabrowska-Zielinska *et al.*, (2016) dimana hanya menggunakan parameter indeks vegetasi atau persamaan statistik pada band citra untuk menduga stok karbon atau biomassa. Sedangkan pada penelitian ini selain indeks vegetasi faktor parameter fisika dan kimia lahan juga diperhitungkan (kedalaman sedimen, kerapatan lindak, % karbon tanah) dengan pendekatan metode *hybrid*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menggunakan metode *hybrid* mendapatkan model lebih baik untuk estimasi stok karbon mangrove.

## **XI. PEMANTAUAN KERAPARAN DAN TUTUPAN MANGROVE**

Pedoman yang dipergunakan dalam pemantauan mangrove ini adalah :

- Panduan Monitoring Statud Ekositem Mangrove (Wayan et al., 2014)
- Panduan Pemantauan Komunitas Mangrove (Edisi 2) (I. W. E. Dharmawan & Pramudji, 2017)

Panduan ini dikeluarkan oleh Coral Reef Information and Training Center (CRITC) Coral Reef Rehabilitation and Management Program (COREMAP) Pusat Penelitian Oseanografi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Metode untuk tutupan mangrove menggunakan metode fografi, Metode ini sudah banyak digunakan untuk penelitian kehutanan. Keuntungan metode ini adalah hasil penelitian lebih akurat, dan memiliki bukti kuat dan dapat dilakukan oleh penelitian lainnya. Metode ini dapat digunakan untuk mengetahui status degradasi dan kesehatan hutan mangrove. Komponen penentuan kesehatan komunitas mangrove, adalah: persentase tutupan mangrove dan struktur komunitasnya (berdasar Kepmen LH No. 201 tahun 2004 tentang Kriteria Baku dan Pedoman Penentuan Kerusakan Mangrove). Tujuan kegiatan ini mengukur atau menganalisis kondisi mangrove terupdate, memberi penilaian status kondisinya (I. W. E. Dharmawan & Pramudji, 2017).

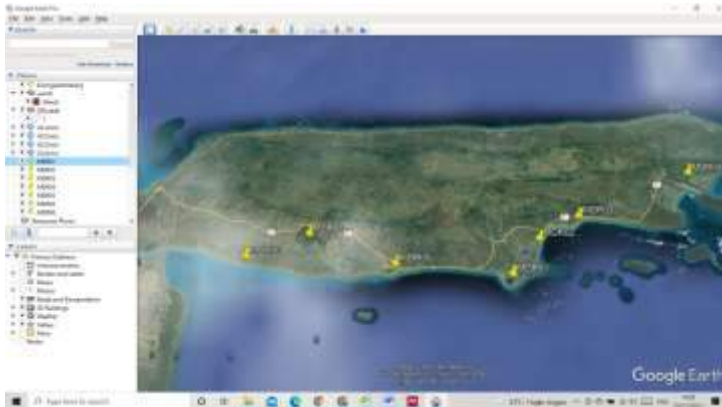
Tahapan pemantauan mangrove : (1) Persiapan TIM, (2) persiapan administrasi dan ijin, (3) persiapan peralatan (terdiri dari : perahu/sampah jika diperlukan, Perlengkapan dasr pribadi/alat pelindung diri, peta tematik lokasi penelitian, buku identifikasi mangrove, GPS, car semplot untuk penandaan, tali rafia/plastic, kamera/HP untuk foto hemerisperikal, meteran jahit untuk mengukur diameter setinggi dada, (4) kertas tahan air untuk pencatatan, P3K (I. W. E. Dharmawan & Pramudji, 2017).

### **11.1. Tahapan Penentuan Stsiun Tentatif**

Penentuan stasiun pemantauan untuk kegiatan monitoring dilakukan pada kegiatan survey awal ( $t_0$ ), untuk kegiatan survey selanjutnya ( $t_n$ ) tinggal mendatangi lokasi survey awal . Langkah-langkah penentuan stasiun pengamatan untuk survey awal ( $t_0$ ), sebagai berikut (I. W. E. Dharmawan & Pramudji, 2017) :

1. Penentuan/interpretasi mangrove, sebaran stasiun mangrove diidentifikasi secara spasial. Aplikasi paling mudah menggunakan Google Earth.

2. Menentukan jumlah stasiun, mempertimbangkan representasi area, waktu, sumber daya dan anggaran.
3. Stasiun potensial/tentative sebagai calon lokasi stasiun permanen dan dimasukkan ke peta tematik.
4. Tidak semua stasiun potensial dijadikan stasiun permanen, namun diperlukan verifikasi dan diseleksi berdasarkan: akses cukup mudah



**Gambar 52. Contoh penentuan stasiun tentative di wilayah selatan Pulau Madura**

## **11.2. Pelaksanaan Kegiatan Pemantauan.**

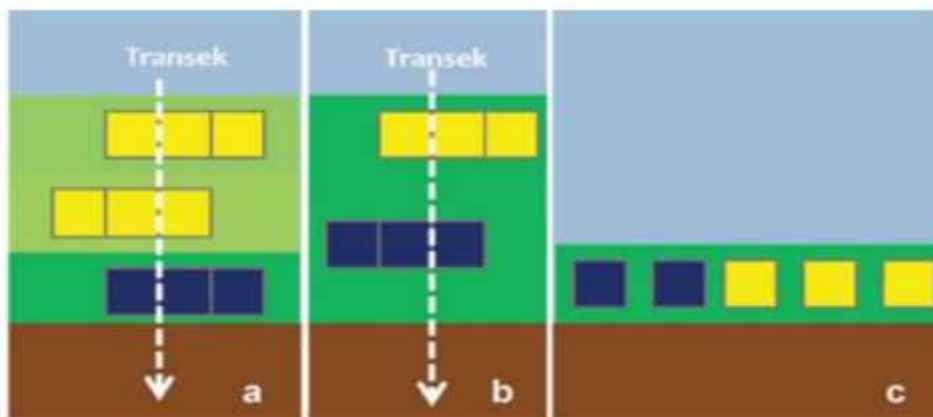
Pelaksanaan kegiatan diawali dengan tahapan penentuan plot permanen dilakukan dengan beberapa tahapan (Wayan et al., 2014):

1. Stasiun penelitian yang disajikan dalam peta tematik temporer (gambar 52), sebagai stasiun tentative/sementara. Penentuan plot berdasarkan zonasi (I. W. E. Dharmawan et al., 2020). Pada tahapan ini titik tentative/temporar dimasukkan ke dalam GPS, Setelah ditentukan lokasi stasiun potensial untuk jadi stasiun permanen berdasarkan.
2. Setelah stasiun potensial dituju, maka ditentukan stasiun permanen (masukkan posisi koordinat pada GPS dan dicatat). Persyaratan stasiun permanen: Kondisi harus aman dari bahaya (binatang buas, arus dan gelombang), Akses masuk tidak sulit dan berbahaya, Informasi dari masyarakat local kondisi wilayah tersebut, tidak berada dipinggir/batas laut dan mangrove, minimal masuk ke dalam 10-20 meter, apabila ekosistem mangrove tipis, maka diambil titik tengahnya sebagai titik plot (gambar 53). Kawasan yang zonasi jelas petakan 3 plot berseri di setiap zona (gambar 53a), lokasi yang memiliki komunitas mangrove yang homogen dan atau tidak memiliki batas stratifikasi yang jelas (Gambar 53b), maka penentuan plot bisa dilakukan secara acak dengan minimal 3 plot ulangan. Hal tersebut juga dilakukan apabila



stasiun potensial memiliki ketebalan hutan mangrove kurang dari 10-30 meter (Gambar 53c)

3. Dibuat plot berukuran 10x10 m<sup>2</sup> menggunakan tali transek, dipastikan bujur sangkar. Setiap stratifikasi/zona dibuat tiga plot sebagai ulangan.
4. Disepanjang transek, diikuti tali plastic/rafia diikat pada pohon atau akar terdekat untuk menghubungkan setiap pojok plot. Setiap plot digunakan warna tali plastik yang berbeda-beda.
5. Setiap plot paling pojok plot dilakukan pengecatan menggunakan cat semprot fluorescence lebih tebal (dibandingkan pohon lainnya). Lebar pengecatan lebih dari 5 cm.
6. Lakukan cara yang sama untuk plot lainnya, dengan warna tali plastic/ravia dan cat semprot yang berbeda pada plot yang berhimpitan.



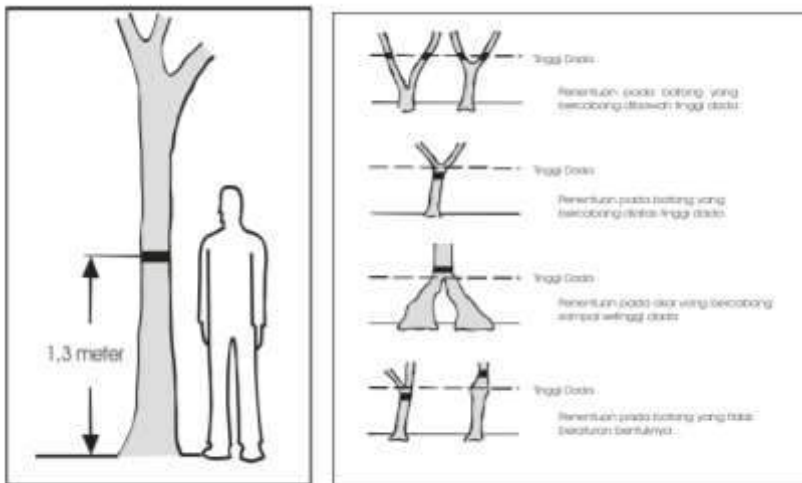
**Gambar 53. Penentuan plot permanen (kotak kuning dan biru) untuk pemantauan komunitas mangrove. Keterangan : a) mangrove dengan tiga stratifikasi/zona yang berbeda; b) vegetasi mangrove dengan stratifikasi dan atau tanpa stratifikasi yang jelas; dan c) vegetasi mangrove dengan ketebalan 50-100 meter (Wayan et al., 2014).**

Metode stratified dengan zonasi sampling disarankan untuk di hutan tropis Indonesia karena memiliki variasi yang sangat tinggi. Pada setiap stratifikasi dilakukan pengukuran dengan menempatkan plot-plot pengukuran. Metode *stratified random sampling* menghasilkan pendugaan yang lebih teliti dibandingkan metode lain (Wibowo, 2010; Lugina et al., 2011).

### 11.3. Pengukuran Data Struktur Komunitas Mangrove

Pengukuran data struktur komunitas mangrove dilakukan dengan menggunakan beberapa tahapan (Wayan et al., 2014):

1. Dalam setiap plot, 10x10 m<sup>2</sup> dilakukan pengukuran diameter batang pohon mangrove (diameter > 4 cm atau keliling batang > 16 cm) (Ashton & Macintosh, 2002), menggunakan meteran berdasarkan Menteri Negara Lingkungan Hidup RI, 2004 tentang Kriteria Baku dan Pedoman Penentuan Kerusakan Mangrove yang ditampilkan pada Gambar 54.



**Gambar 54. (A) Penentuan lingkaran batang mangrove setinggi dada. (B) Penentuan lingkaran batang mangrove pada berbagai jenis batang mangrove.**

2. Pengukuran pada seluruh pohon yang ada di dalam plot.
3. Batang yang sudah diukur di beri tanda dengan cat semprot.
4. Identifikasi jenis mangrove menggunakan acuan Philip Barry Tomlinson, (1986) atau Noor et al., (1999).
5. Jika ragu dalam identifikasi, lakukan pemotretan bagian tanaman pada bagian akar, batang, daun, pembungaan dan buah, lakukan pengambilan sampel untuk diidentifikasi lebih lanjut.
6. Setiap data dilakukan pencatatan dalam data sheet pada kertas tahan air (gambar 55).

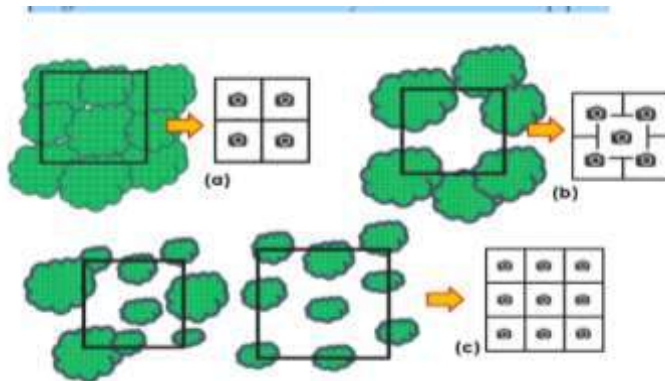


**Gambar 55.** Pencatatan data lapangan pada kertas tahan air.

#### **11.4. Penghitungan persentase tutupan kanopi mangrove**

Persentase tutupan mangrove dihitung dengan menggunakan metode hemispherical photography, dibutuhkan kamera dengan lensa *fish eye* dengan sudut pandang  $180^\circ$  pada satu titik pengambilan foto. Teknik pelaksanaannya adalah sebagai berikut (Wayan et al., 2014); (I. W. E. Dharmawan & Pramudji, 2017):

1. Pengambilan foto dilakukan tegak lurus ke arah langit menggunakan kamera atau HP.
2. Setiap plot 10x10 m<sup>2</sup> dibagi beberapa kuadran posisi pengambilan foto dan tergantung dari kondisi hutan mangrove, antara lain: Mangrove rapat, menutupi seluruh plot, pengambilan foto sebanyak 4 empat foto pada setiap plot; Mangrove kanopi tinggi, ada beberapa penebangan/kondisi tutupan tidak sempurna menutup seluruh plot, foto sebanyak 5 foto pada setiap plot; pohon rendah/ tutupan kanopi tidak beraturan/banyak penebangan, foto 9 kali dalam setiap plot (gambar 56).



**Gambar 56. Posisi pengambilan foto pada kanopi yang berbeda (I. W. E. Dharmawan & Pramudji, 2017)**

3. Titik pengambilan foto, ditempatkan di sekitar pusat kuadran, harus berada diantara satu pohon dengan pohon lainnya. serta hindarkan pemotretan tepat disamping batang satu pohon.
4. Posisi kamera disejajarkan dengan tinggi dada peneliti/tim pengambil foto, serta tegak lurus/menghadap lurus ke langit (gambar 57). Untuk foto anatar plot sebaiknya diberi foto lain sebagai pembatas, untuk memudahkan pembedaan antar plot.
5. Mangrove berukuran rendah, pengambilan gambar dilakukan dibawah kanopi atau sejajar dengan batang utama.
6. Dicatat nomor foto pada form data sheet untuk mempermudah pencarian foto setiap plot. Hindarkan pengambilan foto ganda pada setiap titik untuk mencegah kebingungan dalam analisis data.
7. Saat mengambil foto hindari cahaya matahari secara langsung, agar foto yang dihasilkan kualitasnya baik. Pastikan lensa kamera kering.



**Gambar 57. (a) Ilustrasi metode hemispherical photography untuk mengukur tutupan mangrove(b) hasil pemotretan dengan lensa fisheye secara vertikal (Wayan et al., 2014)**

### 11.5. Identifikasi mangrove, dbh, kerapatan, frekuensi, INP, dominasi

Pada tahap awal dilakukan identifikasi jenis mangrove. Identifikasi ini berdasarkan panduan pengenalan mangrove di Indonesia yang dibuat oleh Wetlands International dan Ditjen PHKA. Pohon mangrove memiliki banyak kesamaan, pengamatan difokuskan pada perbedaan kulit kayu, tipe akar serta bunga/buahnya. Jika waktu pengamatan tidak memungkinkan, dilakukan dengan mengambil daun, bunga, dan buah dari pohon yang akan diidentifikasi (Noor *et al.*, 1999; Tomlinson, 1986).

Struktur vegetasi mangrove ditentukan dengan menganalisis parameter dalam SNI 7717:2011 tentang survei dan pemetaan mangrove (Ati *et al.*, 2014; Rachmawati *et al.*, 2007; Manuri *et al.*, 2013; Sutaryo, 2009), yaitu :

a. Kerapatan:

$$\text{Kerapatan Mutlak (KM)} = \frac{\sum \text{Individu suatu jenis}}{\text{Luas plot contoh}}$$

$$\text{Kerapatan Relatif(KR)} = \frac{\text{Kerapatan mutlak suatu jenis}}{\sum \text{Total kerapatan mutlak jenis}} \times 100\%$$

b. Frekuensi

$$\text{Frekuensi Mutlak (FM)} = \frac{\sum \text{Plot yang ditempati suatu jenis}}{\sum \text{Seluruh plot contoh}}$$

$$\text{Frekuensi Relatif (FR)} = \frac{\text{Frekuensi suatu jenis}}{\text{Frekuensi total seluruh jenis}} \times 100\%$$

c. Dominasi

$$\text{Dominasi Mutlak (DM)} = \frac{\text{Luas basal area suatu jenis } (\frac{1}{4}\pi d^2)}{\text{Luas area penelitian}}$$

$$\text{Dominasi Relatif (DR)} = \frac{\sum \text{Dominansi suatu jenis}}{\sum \text{Dominansi seluruh jenis}} \times 100\%$$

d. Indeks Nilai Penting

Untuk pohon :  $INP=KR+FR+DR$

Untuk pancang dan semai :  $INP = KR+FR$

Perhitungan Kerapatan, persen Kanopi dan INP pada penelitian ini menggunakan templet perhitungan excel dari LSP Pro Brin (Lembaga Serifikasi Profesi Pusat Riset Oseanografi Badan Riset dan Inovasi Nasional).

### 11.6. Status Kondisi Mangrove.

Hasil data lapang untuk kerapatan mangrove dalam satuan pohon/ha, sedangkan untuk tutupan mangrove dalam satuan persen (%). Berdasarkan standar Pemerintah Indonesia melalui Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 201 tahun 2004 status kondisi hutan mangrove dikategorikan dalam menjadi tiga, yaitu jarang, sedang dan padat.

**Tabel 27. Standar baku kerusakan mangrove berdasarkan Kepmen LH No 201 tahun 2004**

Kriteria		Penutupan (%)	Kerapatan (pohon/ha)
Baik	Padat	$\geq 75\%$	$\geq 1500$
	Sedang	50% - 75 %	1000 - 1500
Rusak	Jarang	$< 50\%$	$< 1000$

### 10.7. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini sebagai contoh bahasan kondisi mangrove di Desa Tajungan Kecamatan Kamal Kabupaten Bangkalan. Hasil pengukuran mangrove di lokasi tersebut didapatkan jenis mangrove sebanyak 5 jenis. Lebih jelas dapat dilihat pada tabel 1.

**Tabel 28. Jenis mangrove ditemukan di lokasi monitoring Tajungan**

No	Jenis	Plot 1	Plot 2	Plot 3
1	<i>Rhizophora mucronata</i>	√	√	√
2	<i>Rhizophora Apiculata</i>		√	
3	<i>Avicennia Alba</i>	√		√
4	<i>Sonneratia Alba</i>		√	
5	<i>Sonneratia Caseolaris</i>		√	
	Jumlah	2	4	2

Hasil pengukuran di plot didapatkan 5 jenis mangrove, yaitu *Rhizophora mucronata*, *Rhizophora Apiculata*, *Avicennia Alba*, *Sonneratia Alba*, *Sonneratia Caseolaris*. Paling banyak ditemukan di plot 2 ada 4 jenis. Masing-masing jenis dapat dilihat pada tabel 1. Di lokasi sekitar lokasi plot juga ditemukan jenis mangrove lain, antara lain : *Avicennia marina*, *Avicennia officinalis*, *Rhizophora stylosa*, *Lumnitzera recemosa*.

Snedaker & Snedaker (1984) menjelaskan tentang perhitungan kerapatan, frekuensi, dominansi dan INP mangrove. Kerapatan jenis mangrove pohon adalah jumlah individu mangrove yang ditemukan dibagi dengan luas area pengamatan, dalam analisis ini dilakukan konversi dalam 1 ha, dengan menghitung kerapatan jenis mangrove pada setiap plot untuk masing-masing stasiun. Jenis spesies apa saja yang ditemukan pada masing-masing plot, maka distribusi jenis mangrove dapat diketahui.

Kategori prosentasi tutupan mangrove dan kategori kerapatan mangrove mengacu pada berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup RI, 2004 tentang Kriteria Baku dan Pedoman Penentuan Kerusakan Mangrove. Hasil monitoring prosentase tutupan mangrove, kerapatan mangrove dan INP dapat dilihat pada tabel 29.

**Tabel 29. Prosentase tutupan mangrove, kerapatan mangrove dan INP di**

No	Lokasi	Kode	% Kanopi	Kategori	Kerapatan (ind/ha)	Kategori	INP (%)	
							Min	Mak
1	Desa Tajungan	MDR M5	87,64% ± 2,67%	Padat	3400 ind/ha ± 721 ind/ha	Padat	SC: 14,22%	RM: 161,32%

Hasil monitoring lapang Desa Tajungan didapatkan prosentase tutupan 87,64% ± 2,67% atau dalam kategori padat. Sedangkan kerapatan mangrove mencapai 3400 ind/ha ± 721 ind/ha juga dalam kategori padat. Nilai INP untuk lokasi ini INP minimum *Sonneratia Caseolaris*: 14,22% dan INP maksimum *Rhizophora mucronata* : 161,32%. Hal ini menunjukkan bahwa jenis *Rhizophora mucronata* mendominasi dan mempunyai pengaruh yang besar pada ekosistem di lokasi Desa Byankuk.

Sedangkan Yusuf & Muhsoni, (2020) melakukan penelitian mangrove di Bangkalan mendapatkan persentase tutupan mencapai 77,75% - 77,78% (dalam kategori padat ≥75%). Sedangkan Muhsoni, (2014) mendapatkan luas mangrove di Madura mencapai 15.118,2 ha, yang tersebar di Kabupaten Bangkalan 1.508,1 ha (10%). Mangrove di

Kecamatan Kamal sendiri mencapai 233,4 ha (15,5% dari mangrove di Bangkalan), dengan kondisi sangat padat 11,6 ha, sedang 11,6 ha dan jarang 210,3 ha.

Hasil ini jika dibandingkan dengan hasil monitoring menunjukkan bahwa keberadaan mangrove di wilayah Kecamatan Kamal tidak merata, salah satunya di Desa Tajungan, ada wilayah yang mempunyai mangrove dalam kondisi padat, namun sebagian menunjukkan dalam kondisi jarang, Hal ini diperkuat dengan temuan lapang bahwa banyak di beberapa lokasi mangrove sudah ditebang, selain itu di lokasi hutan mangrove juga ditemukan plang kepemilikan lahan, hal ini kemungkinan kedepan lokasi tersebut akan berubah alih fungsi lahannya.





## DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Aziz, A., Phinn, S., & Dargusch, P. (2015). Investigating the decline of ecosystem services in a production mangrove forest using Landsat and object-based image analysis. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 164, 353–366. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2015.07.047>
- Agustin, Y. L., Muryono, M., & Purnobasuki, H. (2002). *Estimasi Stok Karbon Pada Tegakan Pohon Rhizophora stylosa Di Pantai Talang Iring, Pamekasan Madura. OCTOBER 2011.*
- Alan, J., Castillo, A., Apan, A. A., Narayan, T., & Iii, S. G. S. (2017). Geoderma Soil C quantities of mangrove forests , their competing land uses , and their spatial distribution in the coast of Honda Bay , Philippines. *Geoderma*, 293, 82–90. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.025>
- Alongi, D. M., Murdiyarso, D., Fourqurean, J. W., Kauffman, J. B., Hutahaean, A., Crooks, S., Lovelock, C. E., Howard, J., Herr, D., Fortes, M., Pidgeon, E., & Wagey, T. (2016). Indonesia’s blue carbon: a globally significant and vulnerable sink for seagrass and mangrove carbon. *Wetlands Ecology and Management*, 24(1), 3–13. <https://doi.org/10.1007/s11273-015-9446-y>
- Alongi, D., & Mukhopadhyay, S. (2015). Contribution of mangroves to coastal carbon cycling in low latitude seas. *Agricultural and Forest Meteorology*, 213, 266–272. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.10.005>
- Alongi, D M. (2002). Present state and future of the world’s mangrove forests. *Environmental Conservation*, 29(3), 331–349. <https://doi.org/10.1017/S0376892902000231>
- Alongi, Daniel M. (2008). Mangrove forests: Resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 76(1), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.08.024>

- Alongi, Daniel M. (2009). The Energenics of Mangrove Forests. In *Springer*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Alparone, L., Aiazzi, B., Baronti, S., & Garzelli, A. (2015). *Remote Sensing Image Fusion*.
- Ashton, E. C., & Macintosh, D. J. (2002). Preliminary assessment of the plant diversity and community ecology of the Sematan mangrove forest, Sarawak, Malaysia. *Forest Ecology and Management*, 166(1–3), 111–129. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00673-9](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00673-9)
- Ati, R. N., Rustam, A., Kepel, T., Sudirman, N., Astrid, M., Mangindaan, P., Salim, H. L., & Hutahaeen, A. A. (2014). Stok Karbon dan Struktur Komunitas Mangrove Sebagai Blue Carbon di Tanjung Lesung Banten. *Segara*, 10(2), 119–127.
- Barnes, J. D., Balaguer, L., Manrique, E., Elvira, S., & Davison, A. W. (1992). A reappraisal of the use of DMSO for the extraction and determination of chlorophylls a and b in lichens and higher plants. *Environmental and Experimental Botany*, 32(2), 85–100. [https://doi.org/10.1016/0098-8472\(92\)90034-Y](https://doi.org/10.1016/0098-8472(92)90034-Y)
- Basu, P. (2010). Biomass gasification and pyrolysis Practical Design and Theory. In *Comprehensive Renewable Energy* (Vol. 5). Elsevier Inc. All rights reserved. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-087872-0.00514-X>
- Birth, G. S., & McVey, G. R. (1968). Measuring the Color of Growing Turf with a Reflectance Spectrophotometer1. *Agronomy Journal*, 60(6), 60:640-643. <https://doi.org/10.2134/agronj1968.00021962006000060016x>
- Bismark, Subiandono, E., & Heriyanto, N. M. (2008). Keragaman dan potensi jenis serta kandungan karbon hutan mangrove di Sungai Subelen Siberut, Sumatera Utara. *Jurnal Penelitian Hutan Dan Konservasi Alam*, V(3), 297–306.
- Blackburn, G. A. (1998). Spectral indices for estimating photosynthetic pigment concentrations : a test using senescent tree leaves. *Int.*

*J. Remote Sensing*, 19(4), 657–675.  
<https://doi.org/10.1080/014311698215919>

Blasco, F., Gauquelin, T., Rasolofoharinoro, M., Denis, J., Aizpuru, M., & Caldairou, V. (1998). Recent advances in mangrove studies using remote sensing data. *Marine Freshwater Research*, 49, 287–296.  
[www.publish.csiro.au/journals/mfr](http://www.publish.csiro.au/journals/mfr)

BNS. (2011). *SNI 7724 : Pengukuran dan penghitungan cadangan karbon – Pengukuran lapangan untuk penaksiran cadangan karbon hutan ( ground based forest carbon accounting )*. Badan Standardisasi Nasional.

Bouillon, S. (2011). Carbon cycle: Storage beneath mangroves. *Nature Geoscience*, 4(5), 282–283. <https://doi.org/10.1038/ngeo1130>

Broge, N. H., & Leblanc, E. (2001). Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density. *Remote Sensing of Environment*, 76(2), 156–172.  
[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00197-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00197-8)

Brown, S. (1997). Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. *FAO Forestry Paper*, 134(August), 55.  
<https://doi.org/ISBN 92-5-103955-0>

Candra, E. D., Hartono, & Wicaksono, P. (2016). Above Ground Carbon Stock Estimates of Mangrove Forest Using Worldview-2 Imagery in Teluk Benoa, Bali. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 47(1), 1–11.  
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/47/1/012014>

Cartus, O., Kellndorfer, J., Walker, W., Franco, C., Bishop, J., Santos, L., & Fuentes, J. (2014). A national, detailed map of forest aboveground carbon stocks in Mexico. *Remote Sensing*, 6(6), 5559–5588. <https://doi.org/10.3390/rs6065559>

Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., Fölster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J. P., Nelson, B. W., Ogawa, H., Puig, H., Riéra, B., & Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks

- and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145(1), 87–99.  
<https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>
- Chen, J. M. (1996). Evaluation of vegetation indices and a modified simple ratio for boreal applications. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 22(3), 229–242.  
<https://doi.org/10.1080/07038992.1996.10855178>
- Chilès, J. P., & Delfiner, P. (2012). *Geostatistics Modeling spatial uncertainty* (D. J. Balding, N. A. C. Cressie, G. M. Fitzmaurice, H. Goldstein, I. M. Johnstone, G. Molenberghs, D. W. Scott, A. F. M. Smith, R. S. Tsay, & S. Weisberg (eds.)). John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Chuvieco, E., Li, J., & Yang, X. (2010). *Advances in Earth Observation of Global Change*. Springer. [https://doi.org/DOI 10.1007/978-90-481-9085-0](https://doi.org/DOI%2010.1007/978-90-481-9085-0)
- Clark, M. L., Roberts, D. A., Ewel, J. J., & Clark, D. B. (2011). Estimation of tropical rain forest aboveground biomass with small-footprint lidar and hyperspectral sensors. *Remote Sensing of Environment*, 115(11), 2931–2942.  
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.08.029>
- Clough, B. F., Dixon, P., & Dalhaus, O. (1997). Allometric Relationships for Estimating Biomass in Multi-stemmed Mangrove Trees. *Australian Journal of Botany*, 45, 1023–1031.  
<https://doi.org/10.1071/BT96075>
- Clough, B. F., & Scott, K. (1989). Allometric relationships for estimating above-ground biomass in six mangrove species. In *Forest Ecology and Management* (Vol. 27, Issue 2).  
[https://doi.org/10.1016/0378-1127\(89\)90034-0](https://doi.org/10.1016/0378-1127(89)90034-0)
- Cole, T. G., Ewel, K. C., & Devoe, N. N. (1999). Structure of mangrove trees and forests in Micronesia. *Forest Ecology and Management*, 117(1999), 95–109.  
[https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(98\)00474-5](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00474-5)
- Comley, B. W. T., & McGuinness, K. A. (2005). Above- and below-ground biomass, and allometry, of four common northern Australian

- mangroves. *Australian Journal of Botany*, 53(5), 431–436.  
<https://doi.org/10.1071/BT04162>
- Dabrowska-Zielinska, K., Budzynska, M., Tomaszewska, M., Malinska, A., Gatkowska, M., Bartold, M., & Malek, I. (2016). Assessment of Carbon Flux and Soil Moisture in Wetlands Applying Sentinel-1 Data. *Remote Sensing*, 8(9), 756.  
<https://doi.org/10.3390/rs8090756>
- Danoedoro, P., Kristian, G., & Rahmi, K. N. I. (2015). Pengaruh Metode Koreksi Radiometrik Citra ALOS AVNIR-2 Terhadap Akurasi Hasil Estimasi Karbon Vegetasi Tegakan di wilayah Kota Semarang Bagian Timur. *ResearchGate*, February, 1–16.  
<https://www.researchgate.net/publication/302581648%0APENG%0AARUH>
- Dash, J., & Curran, P. J. (2007). Evaluation of the MERIS terrestrial chlorophyll index (MTCI). *Advances in Space Research*, 39(1), 100–104. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2006.02.034>
- Daughtry, C. (2000). Estimating Corn Leaf Chlorophyll Concentration from Leaf and Canopy Reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 74(2), 229–239. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00113-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00113-9)
- Daughtry, C. S. T. (2001). Discriminating crop residues from soil by shortwave infrared reflectance. *Agronomy Journal*, 93(1), 125–131. <https://doi.org/10.2134/agronj2001.931125x>
- Davidson, R., & Mackinnon, J. G. (1999). *Econometric Theory and Method*. Oxford University Press, USA.  
<https://doi.org/10.4135/9781412985611>
- Dharmawan, I. W. E., & Pramudji. (2017). Panduan Pemantauan Komunitas Mangrove. In *Critic Coremap Cti Lipi* (Issue 2).
- Dharmawan, I. W. E., Suyarso, Ulumuddin, Y. I., Prayudha, B., & Pramudji. (2020). *Panduan Monitoring Struktur Komunitas Mangrove Di Indonesia* (Issue September).

- Dharmawan, I. W. S. (2010). Pendugaan Biomasa Karbon di Atas Tanah Pada Tegakan *Rhizophora mucronata* di Ciasem, Purwakarta. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 15(1), 50–56.
- Dharmawan, I. W. S., & Siregar, C. A. (2008). Karbon Tanah Dan Pendugaan Karbon Tegakan *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. di Ciasem, Purwakarta. *Jurnal Penelitian Hutan Dan Konservasi Alam*, V(4), 317–328.
- Diker, K., & Bausch, W. C. (2003). Potential use of nitrogen reflectance index to estimate plant parameters and yield of maize. *Biosystems Engineering*, 85(4), 437–447. [https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(03\)00097-7](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(03)00097-7)
- Dittmar, T., Hertkorn, N., Kattner, G., & Lara, R. J. (2006). Mangroves, a major source of dissolved organic carbon to the oceans. *Global Biogeochemical Cycles*, 20(1). <https://doi.org/10.1029/2005GB002570>
- Donato, D. C., Kauffman, J. B., Mackenzie, R. a., Ainsworth, a., & Pflieger, a. Z. (2012). Whole-island carbon stocks in the tropical Pacific: Implications for mangrove conservation and upland restoration. *Journal of Environmental Management*, 97, 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.12.004>
- Donato, Daniel C., Kauffman, J. B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, 4(5), 293–297. <https://doi.org/10.1038/ngeo1123>
- Donato, Daniel C, Kauffman, J. B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. (2012). Mangrove adalah salah satu hutan terkaya karbon di kawasan tropis. *CIFOR Brief*, 13(12), 12.
- Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., Hoersch, B., Isola, C., Laberinti, P., Martimort, P., Meygret, A., Spoto, F., Sy, O., Marchese, F., & Bargellini, P. (2012). Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sensing of Environment*, 120, 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>

- Dsikowitzky, L., Nordhaus, I., Jennerjahn, T. C., Khrycheva, P., Sivatharshan, Y., Yuwono, E., & Schwarzbauer, J. (2011). Anthropogenic organic contaminants in water, sediments and benthic organisms of the mangrove-fringed Segara Anakan Lagoon, Java, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 62(4), 851–862. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.02.023>
- Eckert, S. (2012). Improved forest biomass and carbon estimations using texture measures from worldView-2 satellite data. *Remote Sensing*, 4(4), 810–829. <https://doi.org/10.3390/rs4040810>
- Eckert, S., Ratsimba, H. R., Rakotondrasoa, L. O., Rajoelison, L. G., & Ehrensperger, A. (2011). Deforestation and forest degradation monitoring and assessment of biomass and carbon stock of lowland rainforest in the Analanjirofo region, Madagascar. *Forest Ecology and Management*, 262(11), 1996–2007. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.08.041>
- Eitel, J. U. H., Vierling, L. A., Litvak, M. E., Long, D. S., Schulthess, U., Ager, A. A., Krofcheck, D. J., & Stoscheck, L. (2011). Broadband, red-edge information from satellites improves early stress detection in a New Mexico conifer woodland. *Remote Sensing of Environment*, 115(12), 3640–3646. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.09.002>
- Fatoyinbo, T. E., Simard, M., Washington-Allen, R. A., & Shugart, H. H. (2008). Landscape-scale extent, height, biomass, and carbon estimation of Mozambique's mangrove, forests with Landsat ETM+ and Shuttle Radar Topography Mission elevation data. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 113(2), 1–13. <https://doi.org/10.1029/2007JG000551>
- Feller, I. C., Lovelock, C. E., Berger, U., McKee, K. L., Joye, S. B., & Ball, M. C. (2010). Biocomplexity in mangrove ecosystems. *Annual Review of Marine Science*, 2, 395–417. <https://doi.org/10.1146/annurev.marine.010908.163809>
- Field, C.D. (1984). Ions in mangroves. In H. J. Teas (Ed.), *Physiology and Management of Mangroves* (9th ed., pp. 38–43). DR W. Junk Publishers.



- Field, Christopher D. (2001). Plant Physiology of the “Missing” Carbon Sink. *Plant Physiology*, 125(1), 25–28. <https://doi.org/10.1104/pp.125.1.25>
- Frananda, H., Hartono, & Jatmiko, R. H. (2015). Komparasi Indeks Vegetasi untuk Estimasi Stok Karbon Hutan Mangrove Kawasan Segoro Anak pada Kawasan Taman Nasional Alas Purwo Banyuwangi, Jawa Timur. *Majalah Ilmiah Globè*, 17(2), 113–123.
- Franklin, S. E. (2001). Remote sensing for sustainable forest management. In *Lewis Publishers*. <https://doi.org/10.1201/9781420032857.ch2>
- Fromard, F., Puig, H., Mougin, E., Marty, G., Betoulle, J. L., & Cadamuro, L. (1998). Structure, above-ground biomass and dynamics of mangrove ecosystems: New data from French Guiana. *Oecologia*, 115(1998), 39–53. <https://doi.org/10.1007/s004420050489>
- Furukawa, K., Wolanski, E., & Mueller, H. (1997). Currents and Sediment Transport in Mangrove Forests. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 44(3), 301–310. <https://doi.org/10.1006/ecss.1996.0120>
- Gamon, A., Gamon, A., Serrano, L., Serrano, L., Surfus, S., & Surfus, S. (1997). The photochemical reflectance index: an optical indicator of photosynthetic radiation use efficiency across species, functional types, and nutrient levels. *Oecologia*, 112(4), 492–501. <https://doi.org/10.1007/s004420050337>
- Gamon, J. A., & Surfus, J. S. (1999). Assessing leaf pigment content and activity with a reflectometer. *New Phytologist*, 143(1), 105–117. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1999.00424.x>
- Gao, B. C. (1996). NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 257–266. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
- Gatti, A., Bertolini, A., & Acs, F. C. (2016). *Sentinel-2 Products Specification Document*. Thales Alenia Space.

- Gilman, E. L., Ellison, J., Duke, N. C., & Field, C. (2008). Threats to mangroves from climate change and adaptation options: A review. *Aquatic Botany*, 89(2), 237–250. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.12.009>
- Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L. L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., Masek, J., & Duke, N. (2011). Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, 20(1), 154–159. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x>
- Gitelson, A. A., Keydan, G. P., & Merzlyak, M. N. (2006). Three-band model for noninvasive estimation of chlorophyll, carotenoids, and anthocyanin contents in higher plant leaves. *Geophysical Research Letters*, 33(11), 2–6. <https://doi.org/10.1029/2006GL026457>
- Gitelson, A. A., & Merzlyak, M. N. (1997). Remote estimation of chlorophyll content in higher plant leaves. *International Journal of Remote Sensing*, 18(12), 37–41. <https://doi.org/10.1080/014311697217558>
- Gitelson, A. a, Zur, Y., Chivkunova, O. B., & Merzlyak, M. N. (2002). Assessing carotenoid content in plant leaves with reflectance spectroscopy. *Photochemistry and Photobiology*, 75(3), 272–281. [https://doi.org/10.1562/0031-8655\(2002\)0750272ACCIPL2.0.CO2](https://doi.org/10.1562/0031-8655(2002)0750272ACCIPL2.0.CO2)
- Gitelson, A., Kaufman, Y., Stark, R., & Rundquist, D. (2002). Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, 80(1), 76–87. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00289-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00289-9)
- Gopal, S., & Woodcock, C. (1996). Remote sensing of forest change using artificial neural networks. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 34(2), 398–404. <https://doi.org/10.1109/36.485117>
- Green, E. P., Clark, C. D., Mumby, P. J., Edwards, a. J., & Ellis, a. C. (1998). Remote sensing techniques for mangrove mapping.

- International Journal of Remote Sensing*, 19(5), 935–956.  
<https://doi.org/10.1080/014311698215801>
- Gregory, J. M., Jones, C. D., Cadule, P., & Friedlingstein, P. (2009). Quantifying carbon cycle feedbacks. *Journal of Climate*, 22(19), 5232–5250. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2949.1>
- Griggs, D. J. (2002). Climate change 2001: The scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Weather*, 57, 267–269. <https://doi.org/10.1256/004316502320517344>
- Gumbricht, T. (2015). Hybrid Mapping of Pantropical Wetlands from Optical Satellite Images, Hydrology, and Geomorphology. In R. W. Tiner, M. W. Lang, & V. V. Klemas (Eds.), *Remote sensing of wetlands* (pp. 435–454). CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business. <http://www.taylorandfrancis.com>
- Haboudane, D., Miller, J. R., Pattey, E., Zarco-Tejada, P. J., & Strachan, I. B. (2004). Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture. *Remote Sensing of Environment*, 90(3), 337–352. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.12.013>
- Hairiah, K., Sitompul, S., van Noordwijk, M., & Palm, C. (2001). Methods for sampling carbon stocks above and below ground. *International Centre for Research in Agroforestry, Bogor, Indonesia, ASB Lecture Note 4B*, pp.25. <http://www.asb.cgiar.org/PDFwebdocs/LectureNotes/ASB-LN-4B-Hairiah-et-al-2001-Methods-sampling-carbon-stocks.pdf>.
- Hairiah, Kurniatun, Dewi, S., Agus, F., Velarde, S., Andree, E., Rahayu, S., & van Noordwijk, M. (2001). Measuring Carbon Stocks. In *World Agroforestry Centre*. <http://www.worldagroforestry.org/sea/Publications/files/manual/MN0050-11/MN0050-11-1.pdf>

- Hairiah, Kurniatun, & Rahayu, S. (2007). Pengukuran karbon tersimpan di berbagai macam penggunaan lahan. In *World Agroforestry Centre*.
- Hamdan, O., Khairunnisa, M., Ammar, A., Mohd Hasmadi, I., & Khali Aziz, H. (2013). Mangrove Carbon Stock Assessment By Optical Satellite Imagery. *Journal of Tropical Forest Science*, 25(4), 554–565.
- Hamdan, O., Khali Aziz, H., & Mohd Hasmadi, I. (2014). L-band ALOS PALSAR for biomass estimation of Matang Mangroves, Malaysia. *Remote Sensing of Environment*, 155, 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.04.029>
- Hartoko, A., Chayaningrum, S., Febrianti, D. A., & Ariyanto, D. (2015). Carbon Biomass Algorithms Development for Mangrove Vegetation in Kemujan, Parang Island Karimunjawa National Park and Demak Coastal Area – Indonesia. *Procedia Environmental Sciences*, 23, 39–47. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.01.007>
- Haryani, N. S. (2013). Analisis Perubahan Hutan Mangrove Menggunakan Citra Landsat. *Jurnal Ilmiah Widya*, 1(1), 72–77.
- Heriyanto, N. M., & Subiandono, E. (2012). Composition and Structure , Biomass , and Potential of Carbon Content In Mangrove Forest At National Park Alas Purwo. *Jurnal Penelitian Hutan Dan Konservasi Alam*, 9(1), 23–32.
- Heumann, B. W. (2011). Satellite remote sensing of mangrove forests: Recent advances and future opportunities. *Progress in Physical Geography*, 35(1), 87–108. <https://doi.org/10.1177/0309133310385371>
- Hinrichs, S., Nordhaus, I., & Geist, S. J. (2009). Status, diversity and distribution patterns of mangrove vegetation in the Segara Anakan lagoon, Java, Indonesia. *Regional Environmental Change*, 9(4), 275–289. <https://doi.org/10.1007/s10113-008-0074-4>

- Hirata, Y., Tabuchi, R., Patanaponpaiboon, P., Pongparn, S., Yoneda, R., & Fujioka, Y. (2014). Estimation of aboveground biomass in mangrove forests using high-resolution satellite data. *Journal of Forest Research*, 19(1), 34–41. <https://doi.org/10.1007/s10310-013-0402-5>
- Hooijer, A., Page, S., Canadell, J. G., Silvius, M., Kwadijk, J., Wösten, H., & Jauhiainen, J. (2010). Current and future CO<sub>2</sub> emissions from drained peatlands in Southeast Asia. *Biogeosciences*, 7(5), 1505–1514. <https://doi.org/10.5194/bg-7-1505-2010>
- Horler, D. N. H., Dockray, M., & Barber, J. (1983). The red edge of plant leaf reflectance. *International Journal of Remote Sensing*, 4(2), 273–288.  
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1080/01431168308948546>  
PLEASE
- Houghton, R. A. (2005). Aboveground forest biomass and the global carbon balance. *Global Change Biology*, 11(6), 945–958. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.00955.x>
- Hu, T., Su, Y., Xue, B., Liu, J., Zhao, X., Fang, J., & Guo, Q. (2016). Mapping Global Forest Aboveground Biomass with Spaceborne LiDAR, Optical Imagery, and Forest Inventory Data. *Remote Sensing*, 8(7), 565. <https://doi.org/10.3390/rs8070565>
- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 295–309. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)
- Huete, A. R., Liu, H. Q., Batchily, K., & J., L. van W. (1997). A comparison of vegetation indices over a Global set of TM images for EO - MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 59, 440–451.
- Hunt Jr, E. R., & Rock, B. N. (1989). Detection of changes in leaf water content using Near- and Middle-Infrared reflectances. *Remote Sensing of Environment*, 30(1), 43–54. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(89\)90046-1](https://doi.org/10.1016/0034-4257(89)90046-1)
- Ilman, M., Dargusch, P., Dart, P., & Onrizal. (2016). A historical analysis of the drivers of loss and degradation of Indonesia's mangroves.

*Land Use Policy*, 54(2016), 448–459.  
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.03.010>

- Imiliyana, A., Muryono, M., & Purnobasuki, H. (2012). *Estimates of Carbon Stock to Rhizophora Stylosa, in Camplong Beach, Sampang-Madura, Indonesia*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- IPCC. (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. In J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, & C. A. Johnson (Eds.), *Cambridge University Press*. <https://doi.org/10.1256/004316502320517344>
- Ishil, T., & Tateda, Y. (2004). Leaf area index and biomass estimation for mangrove plantation in Thailand. *IGARSS 2004. 2004 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 4(c), 2323–2326. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2004.1369751>
- Jachowski, N. R. A., Quak, M. S. Y., Friess, D. A., Duangnamon, D., Webb, E. L., & Ziegler, A. D. (2013). Mangrove biomass estimation in Southwest Thailand using machine learning. *Applied Geography*, 45, 311–321. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.09.024>
- Jennerjahn, T. C., & Ittekkot, V. (2002). Relevance of mangroves for the production and deposition of organic matter along tropical continental margins. *Naturwissenschaften*, 89(1), 23–30. <https://doi.org/10.1007/s00114-001-0283-x>
- Jiang, Z., Huete, A. R., Didan, K., & Miura, T. (2008). Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. *Remote Sensing of Environment*, 112(10), 3833–3845. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.06.006>
- Jones, T. G., Ratsimba, H. R., Ravaoarinosihoarana, L., Cripps, G., & Bey, A. (2014). Ecological Variability and Carbon Stock Estimates of Mangrove Ecosystems in Northwestern Madagascar. *Forests*, 5(1), 177–205. <https://doi.org/10.3390/f5010177>
- Jordan, C. F. . (1969). Derivation of Leaf-Area Index from Quality of Light on the Forest Floor. *Ecology*, 50(4), 663–666. <http://www.jstor.org/stable/1936256> .

- Kamal, M. (2015). Remote Sensing for Multi-scale Mangrove Mapping. In *School of Geography*. <https://doi.org/10.14264/uql.2015.847>
- Kathiresan, K., & Bingham, B. L. (2001). Biology of mangroves and mangrove Ecosystems. In *Advances in Marine Biology* (Vol. 40, Issue October). [https://doi.org/10.1016/S0065-2881\(01\)40003-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2881(01)40003-4)
- Kauffman, J. B., & Cole, T. G. (2010). Micronesia mangrove forest structure and tree responses to a severe typhoon. *Wetlands*, 30(6), 1077–1084. <https://doi.org/10.1007/s13157-010-0114-y>
- Kauffman, J., & Donato, D. (2012). Protocols for the measurement, monitoring and reporting of structure, biomass and carbon stocks in mangrove forests. In *Center for International Forestry: Vol. Working pa*. <https://doi.org/10.17528/cifor/003749>
- Kaufman, Y. J., & Tanré, D. (1992). Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI) for EOS-MODIS. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30(2), 261–270. <https://doi.org/10.1109/36.134076>
- Khairunnisa, R., & Hasmadi, M. (2012). Biomass and Carbon in Mangrove: Measuring and Managing through Remote Sensing Technique. *Malaysia Geospatial Forum, March, 12*.
- Kim, M. S., Daughtry, C. S. T., Chappelle, E. W., McMurtrey, J. E., & Walthall, C. L. (1994). The use of high spectral resolution bands for estimating absorbed photosynthetically active radiation (Apar). *Proceedings of 6th International Symposium on Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing*, 299–306. <https://doi.org/19950010604>
- Kitheka, J. U. (1998). Groundwater Outflow and its Linkage to Coastal Circulation in a Mangrove-fringed Creek in Kenya. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 47, 63–75. <https://doi.org/10.1006/ecss.1998.0325>
- Kitheka, J. U., Ongwenyi, G. S., & Mavuti, K. M. (2003). Fluxes and exchange of suspended sediment in tidal inlets draining a degraded mangrove forest in Kenya. *Estuarine, Coastal and Shelf*

*Science*, 56(3–4), 655–667. [https://doi.org/10.1016/S0272-7714\(02\)00217-2](https://doi.org/10.1016/S0272-7714(02)00217-2)

Klinkhamer, P. G. L. (1995). Plant allometry: The scaling of form and process. *Trends in Ecology & Evolution*, 10(3), 134. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(00\)89015-1](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(00)89015-1)

Köhl, M., Magnussen, S., & Marchetti, M. (2006). Sampling Methods, Remote Sensing and GIS Multiresource Forest Inventory. In *Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York* (Vol. 3, Issues 2–3). [https://doi.org/10.1300/J091v03n02\\_06](https://doi.org/10.1300/J091v03n02_06)

Komiyama, A., Jintana, V., Sangtjean, T., & Kato, S. (2002). A common allometric equation for predicting stem weight of mangroves growing in secondary forests. *Ecological Research*, 17(3), 415–418. <https://doi.org/10.1046/j.1440-1703.2002.00500.x>

Komiyama, A., Ong, J. E., & Pongparn, S. (2008). Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany*, 89(2), 128–137. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.12.006>

Komiyama, A., Pongparn, S., & Kato, S. (2005). Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. *Journal of Tropical Ecology*, 21(04), 471–477. <https://doi.org/10.1017/S0266467405002476>

Krause, P., & Boyle, D. P. (2005). Advances in Geosciences Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances In Geosciences*, 5(89), 89–97. <https://doi.org/10.5194/adgeo-5-89-2005>

Kuenzer, C., Bluemel, A., Gebhardt, S., Quoc, T. V., & Dech, S. (2011). Remote sensing of mangrove ecosystems: A review. *Remote Sensing*, 3(5), 878–928. <https://doi.org/10.3390/rs3050878>

Kulawardhana, R. W., Popescu, S. C., & Feagin, R. A. (2014). Fusion of lidar and multispectral data to quantify salt marsh carbon stocks. *Remote Sensing of Environment*, 154, 345–357. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.10.036>



- Lange, M., Eisenhauer, N., Sierra, C. a, Bessler, H., Engels, C., Griffiths, R. I., Mellado-Vázquez, P. G., Malik, A. a, Roy, J., Scheu, S., Steinbeiss, S., Thomson, B. C., Trumbore, S. E., & Gleixner, G. (2015). Plant diversity increases soil microbial activity and soil carbon storage. *Nature Communications*, 6, 6707. <https://doi.org/10.1038/ncomms7707>
- Lavender, S., & Lavender, A. (2015). *Practical Handbook of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1201/b19044>
- Lewis, R. R. (2005). Ecological engineering for successful management and restoration of mangrove forests. *Ecological Engineering*, 24, 403–418. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2004.10.003>
- Li, X., Gar-On Yeh, a., Wang, S., Liu, K., Liu, X., Qian, J., & Chen, X. (2007). Regression and analytical models for estimating mangrove wetland biomass in South China using Radarsat images. *International Journal of Remote Sensing*, 28(24), 5567–5582. <https://doi.org/10.1080/01431160701227638>
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W. (2004). Remote Sensing and Image Interpretation. In R. Flahive (Ed.), *Journal of Chemical Information and Modeling* (5th ed., Vol. 53). John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Lin, D., Xia, J., & Wan, S. (2010). Climate warming and biomass accumulation of terrestrial plants: A meta-analysis. *New Phytologist*, 188(1), 187–198. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03347.x>
- Lugina, M., Ginoga, K. L., Wibowo, A., Bainnaura, A., & Partiani, T. (2011). *Prosedur Operasi Standar ( SOP ) untuk Pengukuran Stok Karbon di Kawasan Konservasi*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perubahan Iklim dan Kebijakan. Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan. <http://ceserfitto.puslitsosekhut.web.id>
- Lugo, A. E., & Snedaker, S. C. (1974). The Ecology of Mangroves. In *Annual Review of Ecology and Systematics* (Vol. 5, Issue 1, pp.

- 39–64). Brigham Young University.  
<https://doi.org/10.1146/annurev.es.05.110174.000351>
- Lunstrum, A., & Chen, L. (2014). Soil carbon stocks and accumulation in young mangrove forests. *Soil Biology and Biochemistry*, 75(2014), 223–232. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.04.008>
- Macnae, W. (1969). A General Account of the Fauna and Flora of Mangrove Swamps and Forests in the Indo-West-Pacific Region. In *Advances in Marine Biology* (Vol. 6, pp. 73–270). University of the Witwatersrand. [https://doi.org/10.1016/S0065-2881\(08\)60438-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2881(08)60438-1)
- Mandanici, E., & Bitelli, G. (2016). Preliminary Comparison of Sentinel-2 and Landsat 8 Imagery for a Combined Use. *Remote Sensing*, 8(12), 1014. <https://doi.org/10.3390/rs8121014>
- Manuri, S., Kumara, I., Kusharyono, D., & Somala, E. (2013). *Pengembangan Persamaan Alometrik Lokal di Kabupaten Kapuas Hulu*. Dinas Perkebunan dan Kehutanan Kab. Kapuas Hulu. <https://doi.org/10.13140/2.1.2748.6721>
- Mazda, Y., Kanazawa, N., & Wolanski, E. (1995). Tidal asymmetry in mangrove creeks. *Hydrobiologia*, 295(1–3), 51–58. <https://doi.org/10.1007/BF00029110>
- Mazda, Y., Kobashi, D., & Okada, S. (2005). Tidal-scale hydrodynamics within mangrove swamps. *Wetlands Ecology and Management*, 13(6), 647–655. <https://doi.org/10.1007/s11273-005-0613-4>
- McKendry, P. (2002). Energy production from biomass (part 1): Overview of biomass. *Bioresource Technology*, 83(1), 37–46. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00118-3](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00118-3)
- Mensah, J. C. (2013). Remote Sensing Application for Mangrove Mapping in the Ellebelle District in Ghana. In *USAID Integrated Coastal and Fisheries Governance Program for the Western Region of Ghana*. Coastal Resources Center, Graduate School of Oceanography, University of Rhode Island. <http://www.crc.uri.edu>

- Menteri Negara Lingkungan Hidup RI. (2004). *Kepmen Lingkungan Hidup No. 201 Tahun 2004*.
- Merzlyak, M. N., Gitelson, A. a, Chivkunova, O. B., & Rakitin, V. Y. U. (1999). Non-destructive optical detection of pigment changes during leaf senescence and fruit ripening. *Physiologia Plantarum*, 106(1), 135–141. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1999.106119.x>
- Metternicht, G. (2003). Vegetation indices derived from high-resolution airborne videography for precision crop management. *International Journal of Remote Sensing*, 24(14), 2855–2877. <https://doi.org/10.1080/01431160210163074>
- Murdiyarso, D., Donato, D., Kauffman, J. B., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. (2009). *Carbon storage in mangrove and peatland ecosystems*. Center for International Forestry Research. [www.cifor.cgiar.org](http://www.cifor.cgiar.org)
- Ng, W.-T., Rima, P., Einzmann, K., Immitzer, M., Atzberger, C., & Eckert, S. (2017). Assessing the Potential of Sentinel-2 and Pléiades Data for the Detection of Prosopis and Vachellia spp. in Kenya. *Remote Sensing*, 9(1), 74. <https://doi.org/10.3390/rs9010074>
- Noor, Y. R., Khazali, M., & Suryadiputra, I. N. N. (1999). *Panduan Pengenalan Mangrove di Indonesia*. Wetlands International – Indonesia Programme.
- Ong, J. E., Gong, W. K., & Wong, C. H. (2004). Allometry and partitioning of the mangrove, *Rhizophora apiculata*. *Forest Ecology and Management*, 188(1–3), 395–408. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.08.002>
- Ostle, N. J., Smith, P., Fisher, R., Ian Woodward, F., Fisher, J. B., Smith, J. U., Galbraith, D., Levy, P., Meir, P., McNamara, N. P., & Bardgett, R. D. (2009). Integrating plant-soil interactions into global carbon cycle models. *Journal of Ecology*, 97(5), 851–863. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01547.x>
- Otsu, N. (1979). A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and*

- Cybernetics*, 9(1), 62–66.  
<https://doi.org/10.1109/TSMC.1979.4310076>
- Ovalle, A. R. C., Rezende, C. E., Lacerda, L. D., & Silva, C. A. R. (1990). Factors affecting the hydrochemistry of a mangrove tidal creek, sepetiba bay, Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 31(5), 639–650. [https://doi.org/10.1016/0272-7714\(90\)90017-L](https://doi.org/10.1016/0272-7714(90)90017-L)
- Page, S. E., Rieley, J. O., & Banks, C. J. (2011). Global and regional importance of the tropical peatland carbon pool. *Global Change Biology*, 17(2), 798–818. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02279.x>
- Parida, A. K., & Jha, B. (2010). Salt tolerance mechanisms in mangroves: A review. *Trees - Structure and Function*, 24(2), 199–217. <https://doi.org/10.1007/s00468-010-0417-x>
- Paul, M. J., & Foyer, C. H. (2001). Sink regulation of photosynthesis. *Journal of Experimental Botany*, 52(360), 1383–1400. <https://doi.org/10.1093/jexbot/52.360.1383>
- Penuelas, J., Filella, I., Lloret, P., Munoz, F., & Vilajeliu, M. (1995). Reflectance assessment of mite effects on apple trees. *International Journal of Remote Sensing*, 16(14), 2727–2733. <https://doi.org/10.1080/01431169508954588>
- Peñuelas, J., Gamon, J. A., Fredeen, A. L., Merino, J., & Field, C. B. (1994). Reflectance indices associated with physiological changes in nitrogen- and water-limited sunflower leaves. *Remote Sensing of Environment*, 48(2), 135–146. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)90136-8](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)90136-8)
- Penuelas, J., Pinol, J., Ogaya, R., & Filella, I. (1997). Estimation of plant water concentration by the reflectance Water Index WI (R900/R970). *International Journal of Remote Sensing*, 18(13), 2869–2875. <https://doi.org/10.1080/014311697217396>
- Pettorelli, N., Ryan, S., Mueller, T., Bunnefeld, N., Jedrzejewska, B., Lima, M., & Kausrud, K. (2011). The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): Unforeseen successes in animal ecology. *Climate Research*, 46(1), 15–27. <https://doi.org/10.3354/cr00936>

- Polidoro, B. A., Carpenter, K. E., Collins, L., Duke, N. C., Ellison, A. M., Ellison, J. C., Farnsworth, E. J., Fernando, E. S., Kathiresan, K., Koedam, N. E., Livingstone, S. R., Miyagi, T., Moore, G. E., Nam, V. N., Ong, J. E., Primavera, J. H., Salmo, S. G., Sanciangco, J. C., Sukardjo, S., ... Yong, J. W. H. (2010). The loss of species: Mangrove extinction risk and geographic areas of global concern. *Plos One*, 5(4), 1–10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010095>
- Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A. R., Kerr, Y. H., & Sorooshian, S. (1994). A modified soil adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, 48(2), 119–126. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)90134-1](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)90134-1)
- Rachmawati, D., Setyobudiandi, I., & Hilmi, E. (2007). Potensi Estimasi Karbon Tersimpan Pada Vegetasi Mangrove Di Wilayah Pesisir Muara Gembong Kabupaten Bekasi. *Omni-Akuatika*, XIII(19), 85–91.
- Ramoelo, A., Dzikiti, S., Van Deventer, H., Maherry, A., Cho, M. A., & Gush, M. (2015). Potential to monitor plant stress using remote sensing tools. *Journal of Arid Environments*, 113, 134–144. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.09.003>
- Richardson, J. F., & Wiegand, C. L. (1977). Distinguishing vegetation from soil background information (by gray mapping of Landsat MSS data). *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43, 1541–1552. <http://www.google.com.tr>
- Richter, R., Wang, X., Bachmann, M., & Schläpfer, D. (2011). Correction of cirrus effects in Sentinel-2 type of imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 32(10), 2931–2941. <https://doi.org/10.1080/01431161.2010.520346>
- Ridd, P. V., Stieglitz, T., & Larcombe, P. (1998). Density-driven Secondary Circulation in a Tropical Mangrove Estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 47, 621–632. <https://doi.org/10.1006/ecss.1998.0383>
- Riebeek, H. (2011). The carbon cycle. *Earth Observatory*. <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/CarbonCycle/>

- Roberts, D. a, Roth, K. L., & Perroy, R. L. (2012). Hyperspectral Vegetation Indices. In Prasad S. Thenkabail, J. G. Lyon, & A. Huete (Eds.), *Hyperspectral remote sensing of vegetation* (pp. 309–327). CRC Press Taylor & Francis Group. <https://doi.org/doi:10.1201/b11222-20>
- Robertson, A. I., & Along, D. M. (1992). Tropical Mangrove Ecosystems. In *Coastal and Estuarine Studies* (Vol. 41, pp. 225–250). Library of Congress Cataloging-in-Publication Data.
- Rochmayanto, Y., Lugina, M., Wibowo, A., Mulyadin, R. M., Butarbutar, T., & Wicaksono, D. (2014). Cadangan Karbon Pada Berbagai Tipe Hutan Dan Jenis Tanaman Di Indonesia. In T. Rusulono (Ed.), *Penerbit PT Kanisius* (2nd ed., Vol. 2). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Rock, B. N., Vogelmann, J. E., Williams, D. L., Vogelmann, A. F., & Hoshizaki, T. (1986). Remote detection of forest damage. *BioScience*, 36(7), 439–445. <https://doi.org/10.2307/1310339>
- Rondeaux, G., Steven, M., & Baret, F. (1996). Optimization of soil-adjusted vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 55(2), 95–107. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(95\)00186-7](https://doi.org/10.1016/0034-4257(95)00186-7)
- Ross, M. S., Ruiz, P. L., Telesnicki, G. J., & Meeder, J. F. (2009). Aboveground Biomass and Production in Mangrove Communities of Biscayne National Park , Florida ( USA ), Following Hurricane Andrew. *Environmental Research*, 9, 1–12.
- Roujean, J. L., & Breon, F. M. (1995). Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements. *Remote Sensing of Environment*, 51(3), 375–384. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)00114-3](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)00114-3)
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1973). Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. *Progress Report RSC 1978-1*, 112. <https://doi.org/19740008955>

- Saenger, P., & Snedaker, S. C. (1993). Pantropical trends in mangrove above-ground biomass and annual litterfall. *Oecologia*, 96(3), 293–299. <https://doi.org/10.1007/BF00317496>
- Sánchez, L. E., & Rodríguez, J. P. (2008). Creation of Mangrove “Productive Oases”: Community Participation for the Sustainable Utilization of Halophytes. In *Mangrove and Halophytes: Restoration and Utilisation* (Lieth, Hel, pp. 85–96). Springer Science + Business Media B.V. [www.springer.com](http://www.springer.com)
- Schott, J. R. (2007). *Remote Sensing: The Image Chain Approach* (2nd ed.). Oxford University Press, Inc. <https://doi.org/10.5860/CHOICE.35-4512>
- Schowengerdt, R. A. (2012). *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing* (Vol. 95, Issue 1). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.10.007>
- Serrano, L., Penuelas, J., & Ustin, S. L. (2002). Remote sensing of nitrogen and lignin in Mediterranean vegetation from AVIRIS data: Decomposing biochemical from structural signals. *Remote Sensing of Environment*, 81(2–3), 355–364. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00011-1](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00011-1)
- Setyawan, A. D., Winarno, K., & Purnama, P. C. (2003). Mangrove ecosystem in Java: 1. Recent Status. *Biodiversitas*, 4(2), 133–145. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d050212>
- Shih, S. S., Hsieh, H. L., Chen, P. H., Chen, C. P., & Lin, H. J. (2015). Tradeoffs between reducing flood risks and storing carbon stocks in mangroves. *Ocean and Coastal Management*, 105, 116–126. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.01.001>
- Silva, T. S. F., Costa, M. P. F., Melack, J. M., & Novo, E. M. L. M. (2008). Remote sensing of aquatic vegetation: Theory and applications. *Environ Monit Assess*, 140, 131–145. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9855-3>
- Sims, D. A., & Gamon, J. A. (2002). Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. *Remote Sensing of*

*Environment*, 81(2–3), 337–354. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00010-X](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00010-X)

- Sitch, S., Cox, P. M., Collins, W. J., & Huntingford, C. (2007). Indirect radiative forcing of climate change through ozone effects on the land-carbon sink. *Nature*, 448, 791–794. <https://doi.org/10.1038/nature06059>
- Smith, T. J., & Whelan, K. R. T. (2006). Development of allometric relations for three mangrove species in South Florida for use in the Greater Everglades Ecosystem restoration. *Wetlands Ecology and Management*, 14(5), 409–419. <https://doi.org/10.1007/s11273-005-6243-z>
- Sreeshan, A., Meera, S. P., & Augustine, A. (2014). A review on transporters in salt tolerant mangroves. *Trees*, 28(4), 957–960. <https://doi.org/10.1007/s00468-014-1034-x>
- Sripada, R. P., Heiniger, R. W., White, J. G., & Weisz, R. (2005). Aerial Color Infrared Photography for Determining Late-Season Nitrogen Requirements in Corn. *Agronomy Journal*, 97, 1443–1451. <https://doi.org/10.2134/agronj2004.0314>
- Storey, J., Roy, D. P., Masek, J., Gascon, F., Dwyer, J., & Choate, M. (2016). A note on the temporary misregistration of Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) and Sentinel-2 Multi Spectral Instrument (MSI) imagery. *Remote Sensing of Environment*, 186, 121–122. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.08.025>
- Stringer, C. E., Trettin, C. C., Zarnoch, S. J., & Tang, W. (2015). Carbon stocks of mangroves within the Zambezi River Delta, Mozambique. *Forest Ecology and Management*, 354, 139–148. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.06.027>
- Suárez, L., Zarco-Tejada, P. J., Berni, J. A. J., González-Dugo, V., & Fereres, E. (2009). Modelling PRI for water stress detection using radiative transfer models. *Remote Sensing of Environment*, 113(4), 730–744. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.12.001>
- Susilo, A., Ridd, P. V., & Thomas, S. (2005). Comparison between tidally driven groundwater flow and flushing of animal burrows in tropical



- mangrove swamps. *Wetlands Ecology and Management*, 13(4), 377–388. <https://doi.org/10.1007/s11273-004-0164-0>
- Sutaryo, D. (2009). *Penghitungan Biomassa: Sebuah pengantar untuk studi karbon dan perdagangan karbon*. Wetlands International Indonesia Programme.
- Thenkabail, P. S. (2015). *Remotely Sensed Data Characterization, Classification, and Accuracies* (Prasad S. Thenkabail (ed.)). CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business No. <http://www.taylorandfrancis.com>
- Thenkabail, P. S. (2016). *Remotely Sensed Data Characterization, Classification, and Accuracies*. Taylor & Francis Group, LLC. <http://www.taylorandfrancis.com>
- Thenkabail, Prasad S. (2016). *Land Resources Monitoring , Modeling , and Mapping With Remote Sensing: Vol. II*. CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group. <http://www.taylorandfrancis.com>
- Tomlinson, P. B. (1986). *The Botany of Mangrove*. Combrige University Press.
- Tomlinson, Philip Barry. (1986). The Botany of Mangroves. In *Brittonia* (Vol. 39, Issue 1). <https://doi.org/10.2307/2806964>
- Toth, C., & Józków, G. (2016). Remote sensing platforms and sensors: A survey. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 115, 22–36. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.10.004>
- Turner, W., Spector, S., Gardiner, N., Fladeland, M., Sterling, E., & Steininger, M. (2003). Remote sensing for biodiversity science and conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, 18(6), 306–314. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(03\)00070-3](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(03)00070-3)
- USGS. (2011). Landsat 7 Science Data Users Handbook. In *National Aeronautics and Space Administration*.
- USGS. (2016). Landsat 8 (L8) Data Users Handbook. In *U.S. Geological Survey* (Vol. 2). <https://doi.org/http://www.webcitation.org/6mu9r7riR>

- Valiela, I., Bowen, J. L., & York, J. K. (2001). Mangrove Forests: One of the World's Threatened Major Tropical Environments. *BioScience*, 51(10), 807. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0807:MFOOTW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0807:MFOOTW]2.0.CO;2)
- Van Den Berg, A. K., & Perkins, T. D. (2005). Nondestructive estimation of anthocyanin content in autumn sugar maple leaves. *Hort Science*, 40(3), 685–686.
- Vicharnakorn, P., Shrestha, R. P., Nagai, M., Salam, A. P., & Kiratiprayoon, S. (2014). Carbon stock assessment using remote sensing and forest inventory data in Savannakhet, Lao PDR. *Remote Sensing*, 6(6), 5452–5479. <https://doi.org/10.3390/rs6065452>
- Vogelmann, J. E., Rock, B. N., & Moss, D. M. (1993). Red edge spectral measurements from sugar maple leaves. *International Journal of Remote Sensing*, 14(8), 1563–1575. <https://doi.org/10.1080/01431169308953986>
- Wahyuni, N. I. (2014). Pemanfaatan Citra Alos Palsar Dalam Menduga Biomasa Hutan Alam : Studi Kasus Di Taman Nasional Bogani Nani Wartabone the Utilization of Alos Palsar Image To Estimate Natural Forest Biomass : Case Study At Bogani Nani Wartabone National Park. *Jurnal Wasian*, 1(1), 15–22.
- Wang, L, Silván-Cárdenas, J. L., & Sousa, W. P. (2008). Neural network classification of mangrove species from multi-seasonal Ikonos imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 74(7), 921–927. <https://doi.org/10.14358/PERS.74.7.921>
- Wang, Le, & Sousa, W. P. (2009). Distinguishing mangrove species with laboratory measurements of hyperspectral leaf reflectance. *International Journal of Remote Sensing*, 30(5), 1267–1281. <https://doi.org/10.1080/01431160802474014>
- Waser, L. T., Küchler, M., Jütte, K., & Stampfer, T. (2014). Evaluating the potential of worldview-2 data to classify tree species and different levels of ash mortality. *Remote Sensing*, 6(5), 4515–4545. <https://doi.org/10.3390/rs6054515>

- Wayan, I., Dharmawan, E., & Pramudji, &. (2014). *Status Ekosistem Status Ekosistem Panduan Monitoring* (Issue 1). <http://www.coremap.or.id>
- Weng, Q. (2010). *Remote Sensing and GIS Integration Theories, Methods, and Applications*. Mc Graw Hill. <https://doi.org/10.1191/0309133304pp413pr>
- Wibowo, A. (2010). Measurable, Reportable dan Verifyable (MRV) Untuk Emisi Gas Rumah Kaca dari Kegiatan Kehutanan. In N. Masripatin & C. Wulandari (Eds.), *REDD and Forest Governance* (pp. 3–22). Pusat Penelitian Sosial Ekonomi dan Kebijakan Kehutanan.
- Wicaksono, P., Danoedoro, P., Hartono, & Nehren, U. (2016). Mangrove biomass carbon stock mapping of the Karimunjawa Islands using multispectral remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 37(1), 26–52. <https://doi.org/10.1080/01431161.2015.1117679>
- Williams, D., Rybicki, N., Lombana, A., O'Brien, T., & Gomez, R. (2003). Preliminary investigation of submerged aquatic vegetation mapping using hyperspectral remote sensing. *Environmental Monitoring and Assessment*, 81, 383–392.
- Wolanski, E. (1995). Transport of sediment in mangrove swamps. *Hydrobiologia*, 295(1–3), 31–42. <https://doi.org/10.1007/BF00029108>
- Wolanski, E., Mazda, Y., & Ridd, P. (1992). Mangrove Hydrodynamics. In A. I. Robertson & D. M. Along (Eds.), *Coastal and Estuarine Studies* (pp. 43–62). Library of Congress Cataloging-in-Publication Data.
- Wolf, A. F. (2012). Using WorldView-2 Vis-NIR multispectral imagery to support land mapping and feature extraction using normalized difference index ratios. In S. S. Shen & P. E. Lewis (Eds.), *Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery XVIII* (Vol. 8390, pp. 83900N–83900N–8). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.917717>

- Xie, Y., Sha, Z., & Yu, M. (2008). Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. *Journal of Plant Ecology*, 1(1), 9–23. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtm005>
- Yan, M., Tian, X., Li, Z., Chen, E., Wang, X., Han, Z., & Sun, H. (2016). Simulation of Forest Carbon Fluxes Using Model Incorporation and Data Assimilation. *Remote Sensing*, 8(7), 567. <https://doi.org/10.3390/rs8070567>
- Yu, Q., Wang, S., Mickler, R. A., Huang, K., Zhou, L., Yan, H., Chen, D., & Han, S. (2014). Narrowband bio-indicator monitoring of temperate forest carbon fluxes in northeastern China. *Remote Sensing*, 6(9), 8986–9013. <https://doi.org/10.3390/rs6098986>
- Zarco-Tejada, P. J., Berjón, A., López-Lozano, R., Miller, J. R., Martín, P., Cachorro, V., González, M. R., & De Frutos, A. (2005). Assessing vineyard condition with hyperspectral indices: Leaf and canopy reflectance simulation in a row-structured discontinuous canopy. *Remote Sensing of Environment*, 99(3), 271–287. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.09.002>
- Zarco-Tejada, Pablo J., Miller, J. R., Mohammed, G. H., & Noland, T. L. (2000). Chlorophyll fluorescence effects on vegetation apparent reflectance: I. Leaf-level measurements and model simulation. *Remote Sensing of Environment*, 74(3), 582–595. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00148-6](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00148-6)
- Zarco-Tejada, Pablo J., Miller, J. R., Noland, T. L., Mohammed, G. H., & Sampson, P. H. (2001). Scaling-up and model inversion methods with narrowband optical indices for chlorophyll content estimation in closed forest canopies with hyperspectral data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39(7), 1491–1507. <https://doi.org/10.1109/36.934080>
- Zheng, G., Chen, J. M., Tian, Q. J., Ju, W. M., & Xia, X. Q. (2007). Combining remote sensing imagery and forest age inventory for biomass mapping. *Journal of Environmental Management*, 85(3), 616–623. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.07.015>



## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Foto Jenis Mangrove Sejati Lokasi Penelitian

#### Mangrove Sejati

---

No	Jenis mangrove
----	----------------

---

1 Mangrove *Acanthus ilicifolius*



2 Mangrove *Aegiceras corniculatum*



3 Mangrove *Aegiceras floridum*



4 Mangrove *Avicennia lanata/Officinalis*



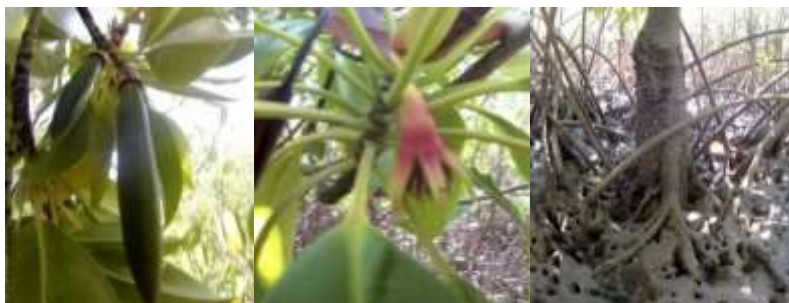
5 Mangrove *Avicennia marina*



6 Mangrove *Brugeliera cylindrica*



7 Mangrove *Bruguiera gymnorhiza*



8 mangrove *Ceriops decandra*



9 Mangrove *Ceriops tagal*



10 Mangrove *Excoecaria agallocha*





11 Mangrove *Lumnitzera racenasa*



12 Mangrove *Rhizophora apiculata*



13 Mangrove *Rhizophora stylosa*



14 Mangrove *Rhizophora mucronata*



15 Mangrove *Sonneratia alba*



16 Mangrove *Sonneratia caseolaris*

17 Mangrove *Xylocarpus moluccensis*



## RIWAYAT HIDUP



Firman Farid Muhsoni, lahir di Malang (Jawa Timur) 26 Juni 1977, anak kelima dari lima bersaudara, dari pasangan suami-istri Slamet Hasan Boesri dengan Dju-maati. Menamatkan Sekolah Dasar pada tahun 1989 di SDN Lowokwaru 2 Kecamatan Lowokwaru Kabupaten Malang, pada tahun 1992 tamat dari SMPN 3 Malang, dan pada tahun 1995 tamat dari SMAN 2 Malang. Kemudian pada tahun 1997, melanjutkan pendidikan di Fakultas Perikanan Universitas Brawijaya pada Program Studi Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan dan

tamat pada tahun 2002. Pada tahun 2006 melanjutkan pendidikan magister di Program Studi Penginderaan Jauh di Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada, dan tamat pada tahun 2008. Pada tahun 2015-2018 melanjutkan program doktor (S3) di Pascasarjana Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya Malang dengan Program Studi Ilmu Perikanan dan Kelautan dengan minat Pengelolaan Pesisir dan Laut.

Sejak tahun 2003 sampai sekarang, bekerja sebagai staf pengajar di Universitas Trunojoyo Madura Fakultas Pertanian, Program Studi Ilmu Kelautan dan pada tahun 2016 di pindahkan ke Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan. Pernah menjabat sebagai Pembantu Dekan III di Fakultas Pertanian pada tahun 2009-2013, Kepala Pusat Penelitian Pesisir dan Lingkungan di LPPM UTM tahun 2013-2015. Koordinator Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan Tahun 2019-2021.

**UTM Press**  
UNIVERSITAS TRUNOJOYO MADURA

