

## BAB.II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Teluk Kendari

Teluk Kendari merupakan perairan estuary yang semi tertutup yang terletak di tengah Kota Kendari. Letak geografis Teluk Kendari berada pada posisi  $3^{\circ}58'3''$ – $4^{\circ}3'11''$  LS membentang ke sebelah timur  $122^{\circ}32''$ – $122^{\circ}36''$  BT dengan batasan wilayah di sebelah utara berbatasan dengan Kecamatan Kendari dan Kendari Barat, Sebelah timur berbatasan dengan Bungkutoko, Sebelah selatan berbatasan dengan Kecamatan Poasia dan Kecamatan Abeli, Sebelah barat berbatasan dengan Kecamatan Mandonga dan Kecamatan Kambu. Teluk Kendari dengan luas  $10,84 \text{ km}^2$  merupakan bagian wilayah yang sangat strategis sehingga perairan di teluk ini banyak dipengaruhi oleh aktivitas yang terjadi di daratan seperti permukiman penduduk, pertambangan, pelabuhan, industri, penambangan pasir di sekitar daerah aliran sungai, dan pertanian di sepanjang beberapa sungai besar dan kecil yang bermuara ke Teluk Kendari (Bappeda, 2012). Hal ini mengakibatkan pencemaran di perairan Teluk Kendari dan terus mengalami pendangkalan oleh sedimentasi (Afu and Subhan, 2016).

Teluk Kendari merupakan muara dari 13 sungai yang berada di Kota Kendari dan sekitarnya, sehingga menimbulkan permasalahan yaitu semakin menurunnya kualitas lingkungan di perairan tersebut. Beberapa permasalahan tersebut antara lain pendangkalan akibat sedimentasi, berkurangnya ekosistem mangrove oleh adanya pembangunan infrastruktur serta menurunnya kualitas air (Putra, Husrin and Mutmainah, 2015). Beberapa aktivitas ekonomi yang secara langsung memanfaatkan Teluk Kendari ini adalah pelabuhan, yang terdiri dari pelabuhan bongkar muat barang, pelabuhan penumpang, pelabuhan nelayan, dan pelabuhan rakyat, serta pemanfaatan lain seperti adanya pasar tradisional, hotel, wisata dayung dan sebagainya (Apriyanto, 2007).

Secara astronomis Kota Kendari terletak di  $3^{\circ}54'40''$  dan  $4^{\circ}5'05''$  Lintang Selatan (LS) dan dari arah Barat ke Timur terletak di  $122^{\circ}26'33''$  dan  $122^{\circ}39'14''$  Bujur Timur (BT). Sedangkan dari letak geografisnya, berada di bagian Tenggara

Pulau Sulawesi yang berbatasan dengan Kabupaten Konawe pada bagian utara, laut kendari pada bagian timur, Kabupaten Konawe Selatan pada bagian barat dan selatan dan terbagi atas 11 kecamatan dan 65 kelurahan, dengan luas wilayah daratan sebesar 271,76 km<sup>2</sup> (BPS, 2018).

## 2.2. Karbon Mangrove

Ekosistem mangrove merupakan wilayah yang berfungsi sebagai jembatan antara daratan dan lautan sehingga hal ini dapat memelihara keseimbangan antara ekosistem darat dan perairan. Mangrove mempunyai nilai ekologis yang tinggi untuk menunjang keberlangsungan ekosistem akuatik karena mendukung konservasi keanekaragaman hayati, dengan menyediakan tempat tinggal, tempat berkembang biak, tempat pengasuhan anak dan tempat mencari makan berbagai jenis hewan, serta dapat juga melindungi ekosistem terumbu karang (*coral reefs*), dan padang lamun (*sea grass*) (Sulistiana, 2018). Ekosistem pesisir dan laut seperti terumbu karang, mangrove dan lamun mempunyai keterikatan kuat dan saling mendukung satu sama lainnya. Terumbu karang, lamun dan mangrove saling berinteraksi dan saling menyediakan dukungan fisik dan biologis kepada masing-masing ekosistem (Wahyudin *et al.*, 2016).

Hutan mangrove di Indonesia merupakan yang terluas di dunia yaitu sekitar 3,2 juta hektar, atau sebesar 22,4% dari seluruh luas hutan mangrove di dunia. Hal ini menunjukkan bahwa Indonesia sangat berpotensi dalam menyerap dan menyimpan karbon (Wahyudi *et al.*, 2018). Hutan mangrove merupakan salah satu hutan yang mempunyai simpanan karbon tertinggi di kawasan tropis. Jumlah stok karbon ini ditentukan oleh biomassa yang dapat diamati dari ukuran pohon. Secara umum, biomassa pohon terbesar diperoleh pada pohon yang berdiameter paling besar pula. Hal ini disebabkan biomassa berkaitan erat dengan proses fotosintesis, dimana biomassa akan bertambah apabila tumbuhan menyerap CO<sub>2</sub> dari udara dan mengubahnya menjadi senyawa organik dari proses fotosintesis, hasil fotosintesis ini kemudian akan digunakan oleh tumbuhan untuk melakukan pertumbuhan ke

arah horizontal dan vertikal. Besarnya biomassa ditentukan oleh diameter, tinggi tanaman, berat jenis kayu, dan kesuburan tanah (Maro, *et al.*, 2016). Biomassa merupakan total jumlah materi hidup di atas permukaan pada suatu pohon dan dinyatakan dengan satuan ton berat kering persatuan luas (Puspaningrum, 2017).

Hutan mangrove dapat menyerap dan menyimpan karbon yang diperoleh dari atmosfer untuk mengurangi emisi di alam. Karbon yang diserap tersimpan dalam biomassa mangrove yang terdapat pada bagian batang, daun, dan akar (Bachmid, *et al.*, 2018). Mangrove menggunakan CO<sub>2</sub> dari atmosfer untuk proses fotosintesis kemudian disimpan dalam bentuk biomassa. Potensi karbon yang tersimpan sangat dipengaruhi oleh biomassa tegakan pohon. Semakin besar biomassa yang ada, maka semakin besar stok karbon yang terkandung di dalamnya (Lembang, *et al.*, 2019). Hutan mangrove di kawasan tropis memiliki cadangan karbon lebih tinggi dibandingkan cadangan karbon tipe hutan lainnya di dunia. Hal ini menunjukkan tingginya produktivitas dan laju penyerapan karbon di ekosistem mangrove, sehingga dapat menyimpan karbon lebih banyak, khususnya di bawah permukaan (sedimen) (Donato *et al.*, 2011). Daun dan ranting pohon mangrove yang gugur didekomposisi oleh mikroorganisme, dan menjadi salah satu sumber bahan organik pada sedimen mangrove (Suryono *et al.*, 2018, Simarmata, *et al.*, 2019).

Penyerapan karbon sesuai dengan siklus karbon terdiri dari peningkatan jumlah karbon terserap pada materi organik (vegetasi) dan penimbunan karbon (*carbon burial*) pada sedimen dan tanah. Proses penyerapan ini terkait dengan proses alamiah seperti fotosintesis, jaring makanan, *carbon sink* oleh perairan dan penyimpanan karbon dalam sedimen. (Wahyudi *et al.*, 2018). Hutan mangrove dapat menyerap karbon dengan tingkat intensitas yang lebih besar daripada tumbuhan daratan. Simpanan karbon hutan mangrove lebih besar dibandingkan dengan hutan lainnya yaitu sebesar 51,86 ton/ha, hutan sekunder sebesar 37,29 ton/ha, hutan rawa 38,77 ton/ha, agroforestri sebesar 36,84 ton/ha, dan perkebunan kelapa sawit 0,1 ton/ha. Pelepasan emisi ke udara pada hutan mangrove lebih kecil daripada hutan di daratan, karena pembusukan serasah tanaman akuatik tidak melepaskan karbon ke udara (Al Hazmi, *et al.*, 2017). Nilai karbon mangrove dapat diperoleh dengan pengukuran langsung dan juga dapat menggunakan nilai karbon

global di Pulau Sulawesi (Donato *et al.*, 2011) berdasarkan *output processor* pada perangkat lunak pemodelan *InVEST* (Nelson, *et al.*, 2018; Donato *et al.*, 2011) seperti yang ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Karbon Global pada Biomass Vegetasi dan Karbon di Tanah

No	Tipe Penggunaan Lahan	Biomass vegetasi (tCO <sub>2</sub> /ha)	Karbon di Tanah (tCO <sub>2</sub> /ha)
1	Alang-alang	0	0
2	Hutan	0	0
3	Hutan Bakau	509.5	7552.8
4	Kebun Campuran	0	0
5	Laut	0	0
6	Pemukiman	0	0
7	Sawah	0	0
8	Sungai	0	0
9	Tambak	0	0
10	Tegalan	0	0

Total stok karbon yang berada di dalam sedimen mangrove bernilai sekitar 50 % hingga 90 % dan sisanya adalah biomassa (Murray *et al.*, 2011). Karbon mangrove dapat tersimpan di dalam biomassa selama bertahun-tahun hingga beberapa dekade, namun di dalam sedimennya dapat tersimpan selama berabad-abad hingga ribuan tahun, sehingga menjadi potensi cadangan karbon yang sangat besar. Karbon yang berada dalam sedimen ekosistem mangrove akan terakumulasi karena tanah yang jenuh dengan air akan menjaga kondisi tetap aerob yaitu suatu kondisi yang rendah atau tidak ada oksigen, sehingga terjadi penumpukan karbon secara terus menerus dari waktu ke waktu (Fourqurean *et al.*, 2014).

Menurut Jaya (2013) berdasarkan data citra satelit Ikonos Kota Kendari yang direkam tahun 2003, pesisir Teluk Kendari didominasi oleh tambak dan mangrove, dimana luas hutan mangrove sebesar 182 ha. Namun dalam kurun waktu 6 tahun (2003-2009) terjadi perubahan penggunaan lahan menjadi kawasan perdagangan dan pusat bisnis baru sehingga berkurang sebesar 56,57 hektar, sehingga luasannya menjadi 125,43 ha. Hutan mangrove di perairan teluk Kendari hanya memiliki empat jenis tumbuhan, yaitu *Rhizophora sp.*, *Sonneratia alba*, *Bruguiera sp.*, dan *Avicenia sp.* dengan kerapatan yang jarang (Nugroho, *et al.*, 2018).

Kerapatan mangrove pada wilayah pesisir Teluk Kendari relatif tipis yaitu 20 hingga 100 meter dan bahkan pada lokasi tertentu ada yang sudah hilang sama sekali sebagai akibat konversi menjadi tambak. Kerapatan mangrove yang cukup tinggi banyak terdapat di lokasi yang dilewati oleh aliran sungai yaitu di sekitar muara Sungai Wanggu, Kambu dan Kadia (Bappeda, 2012). Perubahan kerapatan hutan mangrove di kawasan Teluk Kendari terjadi sangat signifikan, dimana pada tahun 1990 hutan mangrove di pesisir Teluk Kendari memiliki kerapatan 0,00 – 0,79 dan di tahun 2017 menurun menjadi berkisar 0,00 – 0,73 (Ido, *et al*, 2019).

### **2.3. Pemodelan Stok Karbon Total Mangrove**

Penginderaan jauh untuk ekosistem mangrove dapat digunakan untuk memperoleh informasi perubahan dan monitoringnya, terutama akibat dinamika perubahan penggunaan lahan, evaluasi ekosistem, serta untuk estimasi biomassa (produktivitas) (Fawzi, 2016). Teknologi penginderaan jauh dapat membantu mengatasi kelemahan-kelemahan yang terdapat pada pengukuran langsung berbasis lapangan (Zulkarnain, *et al.* 2016). Kelebihan dari teknologi penginderaan jauh ini adalah dapat memberikan informasi yang dibutuhkan secara cepat dan lengkap dengan biaya yang relative lebih murah, termasuk informasi mengenai estimasi potensi biomassa mangrove sebagai penyerap CO<sub>2</sub> (Yusandi and Jaya, 2015).

Pemodelan spasial dapat dilakukan untuk mengetahui kondisi stok karbon total mangrove akibat pengembangan wilayah pesisir. Pada penelitian ini menggunakan pemodelan *InVEST* (*Integrated Valuation of Ecosystem Services And Tradeoffs*). *InVEST* berusaha untuk memprediksi jumlah karbon yang disimpan dan diserap di kawasan pesisir pada periode waktu tertentu karena adanya perubahan tutupan lahan. (Nelson *et al.*, 2018). *InVEST* dapat digunakan dalam proses pengambilan keputusan yang dimulai dengan identifikasi berbagai rencana pengembangan yang akan dilaksanakan, pengumpulan data, kemudian menjalankan perangkat lunak tersebut untuk menghasilkan peta spasial dan temporal sesuai rencana yang diinginkan sehingga pemangku kepentingan dapat mengambil kebijakan berdasarkan informasi dari pemodelan tersebut. Menurut

Guerry, *et al.*, (2012) *InVEST* mampu mengukur jasa ekosistem dengan skala luas dengan memanfaatkan data-data publik yang tersedia. *InVEST* menggunakan data peta penggunaan lahan dan data mengenai nilai stok karbon yang terdapat di biomassa permukaan tanah atas dan bawah, sedimen serta serasah, untuk memperkirakan stok karbon saat ini yang tersimpan (Butsic *et al.*, 2017; Pendleton *et al.*, 2012)

*InVEST* adalah model sederhana, dimana memperkirakan penyimpanan karbon berdasarkan nilai karbon yang dihubungkan dengan data penggunaan dan penutupan lahan. Penyerapan karbon kemudian diperkirakan berdasarkan perubahan yang terjadi rentang waktu antara skenario *baseline* atau dasar perhitungan dan perkiraan di masa depan (Bagstad *et al.*, 2012). *InVEST* sangat direkomendasikan bagi pengguna dengan waktu yang terbatas, karena tersedia secara bebas (*open acces*) dengan dokumentasi terperinci serta contoh data (Sharps *et al.*, 2017)

Menurut (Nelson, *et al.*, 2018), *InVEST* menggunakan pendekatan perhitungan yang paling sederhana dan mengacu pada estimasi karbon dari publikasi data karbon global terkini mengenai penyimpanan dan akumulasi karbon dengan menggunakan asumsi bahwa:

1. Semua penyimpanan dan akumulasi karbon terjadi pada biomassa dan sedimen
2. Peningkatan stok karbon dan akumulasi karbon tidak dikaitkan dengan pertumbuhan dan penuaan habitat.
3. Karbon akan tersimpan dan terakumulasi secara linear dengan waktu antara skenario saat ini dan masa depan.
4. Setelah peristiwa gangguan pada karbon terjadi, karbon akan dilepaskan (emisi) dari waktu ke waktu secara eksponensial.
5. Beberapa aktivitas manusia yang dapat mendegradasi ekosistem mangrove tidak mengganggu karbon yang berada di sedimen.

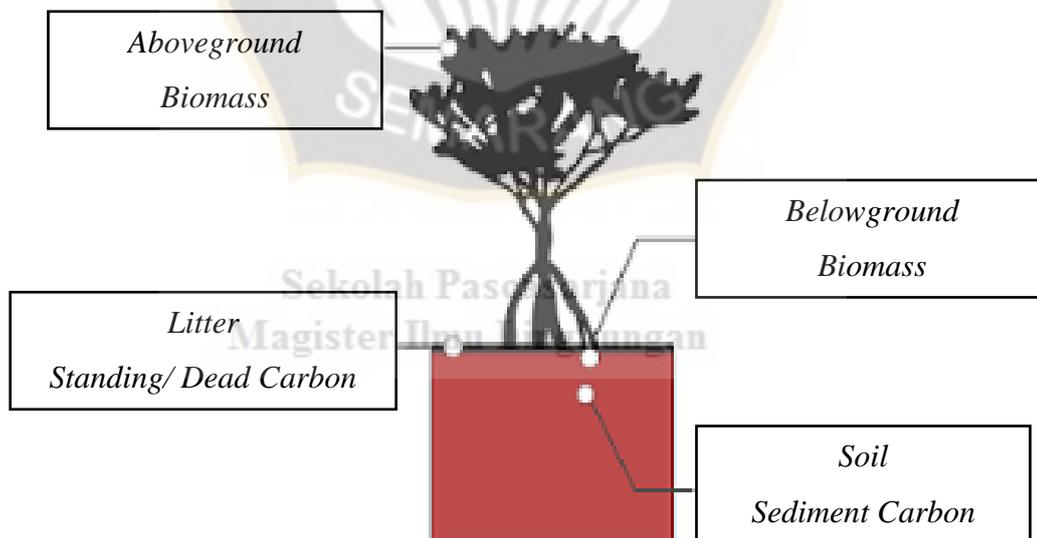
Secara umum model *InVEST* digunakan untuk mengevaluasi pengaruh aktivitas manusia dan perubahan iklim, kepedulian dan kebutuhan manusia

terhadap lingkungan hidup. Garis besar struktur berjenjang pada model *InVEST* ditampilkan pada Tabel 2

Pemetaan dan pemodelan perubahan stok karbon merupakan tantangan tersendiri karena jenis data spasial dan informasi yang tersedia tentang siklus karbon bervariasi berdasarkan lokasi. Beberapa daerah memiliki data berkualitas tinggi untuk menganalisis secara rinci, sementara lokasi lain tidak memiliki data dan informasi yang diperlukan untuk input pemodelan (Sudirman, 2019).

Menurut Nelson *et al.*, (2018) *carbon pool* pada vegetasi mangrove yang ditunjukkan pada Gambar 1, terdapat pada 4 (empat) bagian yaitu

1. *Above ground* (bagian atas) yaitu pada bagian daun, ranting, cabang dan dahan vegetasi mangrove
2. *Belowground* (bagian bawah) yaitu pada bagian akar mangrove yang masuk ke dalam substrat
3. *Litter* (serasah) yaitu pada bagian karbon mati (daun, ranting, dahan) serta pohon yang mati namun masih berdiri (*standing dead carbon*)
4. *Soil* (Sedimen) yaitu karbon pada substrat/sedimen dimana mangrove hidup



Gambar 1. Tempat Penyimpanan Karbon Pada Ekosistem Mangrove

Tabel 2. Garis Besar Struktur Berjenjang Dari Model *InVEST*

Tingkat	Beberapa karakteristik	Persyaratan data	Berguna untuk	Tersedia pada <i>InVEST</i> ?
Tingkat 0	Model paling sederhana. Alat pemetaan; tidak ada fungsi produksi dan penilaian	Minimal. Dapat diterapkan di daerah kekurangan data, menggunakan data global dalam bentuk model (tetapi dapat diganti dengan data lokal)	Memetakan tingkat relatif dari layanan ekosistem yang memperhatikan kawasan dengan permintaan layanan ekosistem yang tinggi; pemetaan keberlanjutan dan kerentanan	Ya
Tingkat 1	Model yang sedikit lebih kompleks; umumnya menggunakan fungsi produksi; pilihan untuk penilaian	Relatif minim. Beberapa data dikemas dengan model. Panduan diberikan untuk mencari lokasi, mengumpulkan, dan/atau memperkirakan parameter yang diperlukan	Mengidentifikasi area produksi ekosistem yang tinggi dan rendah, kehilangan layanan ekosistem dan sinergi antar layanan saat ini dan kondisi masa depan	Ya
Tingkat 2	Model-model kompleks; fungsi produksi; pilihan untuk penilaian	Penting	Perkiraan lebih tepat untuk layanan dan nilai ekosistem; menilai perubahan pada skala temporal dengan baik; menilai perubahan kuantifikasi eksplisit biofisik yang kompleks atau proses sosioekonomi yang sangat penting untuk pengambilan keputusan	Tidak
Tingkat 3	Ada, model yang lebih rumit selain <i>InVEST</i> mis: Atlantis, Fulton, Parslow, dkk. 2004; Fulton, Smith, et al., 2004), pilihan untuk penilaian	Sangat penting	Menghindari duplikasi upaya, ketika model yang ada sudah ada parameter untuk area yang diminati; berkomunikasi dengan komunitas menggunakan model asli	Tidak ada perencanaan; <i>InVEST</i> mengkomunikasikan mode yang ada

Pada Tabel 3 ini ditampilkan 9 (sembilan) kategori model yang disediakan oleh *InVEST*, pengguna memiliki pilihan untuk melakukan pemodelan sesuai kategori yang disediakan.

Tabel 3. Sembilan Kategori Model Dalam *InVEST*

No	Kategori Model	Menyediakan	Layanan	Nilai
1.	Energi terbarukan	Kerapatan daya, energi potensial	Kekuatan yang ditangkap	NPV gelombang atau energi angin
2.	Makanan dari perikanan	Ikan dan biomassa kerang	Biomassa yang didaratkan	Pendapatan bersih, NPV
3.	Makanan dari akuakultur	Biomassa ikan dan kerang	Panen biomassa	Pendapatan bersih, NPV
4.	Perlindungan pantai	Pelemahan gelombang, Menghindari kerugian tanah, akumulasi sedimen, banjir	Menghindari kehilangan properti atau infrastruktur akibat banjir, jumlah orang yang terkena banjir	Menghindari kerusakan, biaya perawatan pantai
5.	Kualitas estetika	Pemandangan tidak terhalang	Pemandangan yang baik, jumlah orang yang menikmati	Perubahan nilai properti
6.	Rekreasi	Ikan paus, ikan berlimpah; pantai, kondisi terumbu karang	Jumlah penampakan, tingkat tangkapan, tingkat kunjungan, jumlah penumpang	Pendapatan bersih, surplus konsumen
7.	Karbon laut	Biomassa/ha C disimpan atau dilepaskan oleh habitat	Biomassa/ha C disimpan atau dilepaskan oleh habitat	Menghindari kerusakan lingkungan, harga pasar
8.	Kualitas air	Konsentrasi zat khusus, zat tetap/zat bergerak	Tidak diperlakukan sebagai layanan	Tidak langsung dihargai;
9.	Risiko habitat	Perkiraan risiko terhadap habitat yang ditimbulkan oleh stressor, kemampuan	Tidak diperlakukan sebagai layanan	Tidak secara langsung dinilai; penilaian layanan akhir

## 2.4. Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai mangrove telah banyak dilakukan di kawasan Teluk Kendari, namun penelitian mengenai degradasi dan prediksi stok karbon total mangrove belum pernah dilakukan, sehingga hasil penelitian ini diharapkan dapat menunjang kegiatan pengelolaan kawasan secara berkelanjutan dalam kaitannya dengan kegiatan mitigasi perubahan iklim. Beberapa penelitian yang pernah dilakukan di Teluk Kendari ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Penelitian-Penelitian Terdahulu di Teluk Kendari

No	Judul Penelitian	Ringkasan
1.	Sistem Informasi Sumberdaya Perairan di Perairan Teluk Kendari (Nugroho, Tadjuddah and Mustafa, 2018)	Sistem informasi perikanan Teluk Kendari berisi : Sumber Daya Ikan, Sumber Daya Mengrove, Sumber Daya Lamun, Sumber Daya Kerang dan Parameter Oseanografi.
2.	Kebijakan Pengelolaan Teluk Berbasis Daerah Aliran Sungai (Studi Kasus Teluk Kendari) (Apriyanto, 2007)	Pengelolaan Teluk Kendari akan berhasil dan optimal jika didukung oleh pengelolaan DAS Wanggu. Hal ini karena adanya keterkaitan ekologis hulu - hilir dan ekosistem darat - teluk.
3.	Pola Sebaran Kualitas Air Berdasarkan Kesesuaian Baku Mutu Untuk Biota Laut di Teluk Kendari Provinsi Sulawesi Tenggara (Putra, Husrin and Mutmainah, 2015)	Nilai pH berkisar antara 8,64 – 8,96 (tidak sesuai untuk biota laut), nilai DO berkisar antara 6,57 – 7,29 mg/l (sesuai untuk biota laut), nilai salinitas berkisar antara 11,2-33,5 % (kondisi sesuai untuk biota laut) dan nilai kekeruhan berkisar 1,8 – 64,4 ntu (kondisi sesuai untuk biota laut)
4.	Analisis Perubahan Tutupan Lahan di Wilayah Pesisir Teluk Kendari Menggunakan Citra Satelit Resolusi Tinggi (Kurun Waktu 2003-2009) (Jaya, 2013)	Terjadi perubahan penggunaan lahan dipesisir teluk kendari dalam kurun waktu tahun 2003-2009. Komponen tata guna lahan yang mengalami pengurangan adalah hutan primer, hutan sekunder, mangrove, tambak, ladang dan kebun.
5.	Analisis Pemanfaatan Ruang Pesisir Terhadap Kondisi Luas Dan Kerapatan Vegetasi Hutan Mangrove Di Teluk Kendari (Ido, <i>et al</i> , 2019)	Hasil analisis NDVI menunjukkan terjadi perubahan kerapatan hutan mangrove yang sangat signifikan dengan rentang waktu tiap 13 tahunnya.