

I. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengelolaan Ekosistem Mangrove yang Berkelanjutan

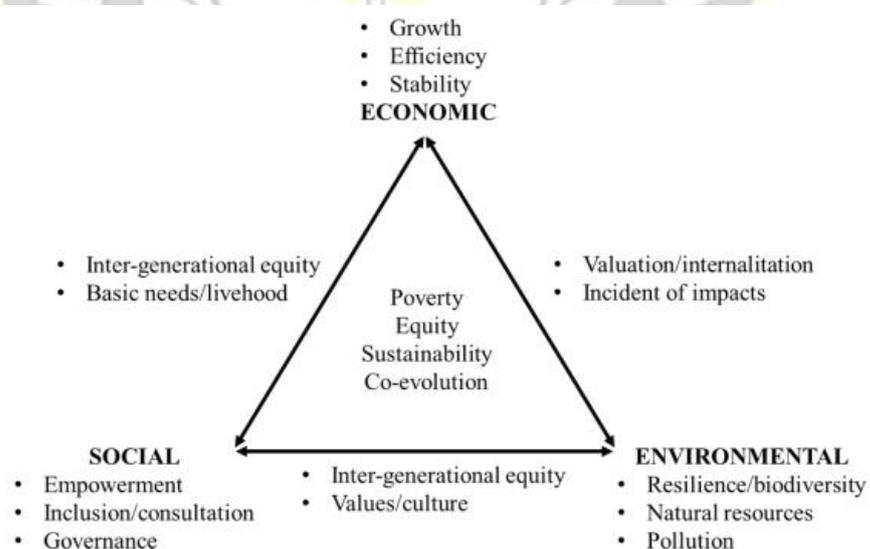
Negara Indonesia telah menempatkan pengelolaan ekosistem yang berkelanjutan dalam agenda prioritas nasionalnya dalam upaya penting untuk mencapai komitmen iklim nasional (Arifanti *et al.*, 2022). Namun, pengelolaan mangrove dihadapkan pada tantangan kompleks yang mencakup masalah sosial, ekologi, dan ekonomi. Untuk mencapai komitmen dan target pemerintah terkait restorasi dan konservasi mangrove, maka perlu untuk dilakukan kajian mendalam terhadap pengelolaan mangrove di Indonesia.

Menanggapi degradasi mangrove yang sangat besar, beberapa peraturan tentang konservasi dan pengelolaan mangrove diberlakukan di Indonesia. Undang-Undang No. 5 Tahun 1990 tentang Konservasi Sumber Daya Alam Hayati dan Ekosistemnya telah menjadi dasar konsep konservasi mangrove di Indonesia. Menurut UU No. 27/2007, yang diubah menjadi UU No. 1 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil, Indonesia membolehkan praktik penebangan di kawasan mangrove yang menganut prinsip kelestarian fungsi ekologis pesisir. Kebijakan ini ditindaklanjuti dengan Keputusan Presiden No. 73 Tahun 2012 tentang Strategi Nasional Pengelolaan Ekosistem Mangrove, yang mengatur tentang norma, standar, prinsip, kriteria, dan indikator mangrove pengelolaan hutan. Pemerintah juga mengeluarkan Keputusan Presiden No. 73 Tahun 2015 tentang Pelaksanaan Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil di Tingkat Nasional Bertingkat dengan tujuan pengelolaan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil nasional secara serasi, sinergis, terintegrasi, dan berkelanjutan.

Kondisi sosial dan ekonomi yang kompleks di kawasan mangrove, disertai dengan ketidakjelasan batas antar otoritas, telah menciptakan tumpang tindih dalam pelaksanaan hukum dan tanggung jawab antara lembaga pemerintahan di Indonesia. Untuk mengelola ekosistem mangrove secara berkelanjutan dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat pesisir, implementasi kebijakan yang

efektif harus didukung oleh berbagai rencana aksi atau strategi yang disusun berdasarkan isu-isu strategis dalam konsep pembangunan berkelanjutan (Kusmana *et al.*, 2015). Dalam hal ini, upaya pengelolaan mangrove berkelanjutan juga harus dilakukan dengan melibatkan berbagai lapisan pemangku kepentingan untuk mengambil bagian dalam proses tata kelola mengurangi dan mencegah degradasi mangrove (Chamberland-Fontaine *et al.*, 2022).

Berkenaan dengan prinsip pengelolaan yang berkelanjutan, tujuan dari pengelolaan hutan adalah untuk memperoleh optimalisasi kelestarian antara manfaat ekonomi, sosial, dan ekologi dari ekosistem hutan untuk memenuhi kebutuhan generasi sekarang tanpa pengurangan pilihan penggunaan serta kebutuhan dari generasi masa depan (Kusmana *et al.*, 2015). Munasinghe (1993) menyatakan bahwa pembangunan berkelanjutan terdiri dari tiga pilar yang saling berhubungan dan kemungkinan umpan balik menjadi satu cerita, yaitu pilar ekonomi, sosial, dan ekologi (Gambar 4).



Gambar 1. Tiga Pilar pembangunan yang berkelanjutan
 Sumber: Munasinghe, (1993)

Dalam konteks pengelolaan hutan mangrove, ketiga pilar tersebut meliputi: (a) Pilar ekologis untuk menjaga eksistensi, keanekaragaman hayati, fungsi dan produktivitas serta daya dukung ekosistem mangrove melalui upaya rehabilitasi/restorasi kawasan mangrove yang rusak dan perlindungan/pelestarian mangrove; (b) Pilar sosial berkaitan dengan persepsi, pemahaman, sikap, dan perilaku masyarakat terhadap masyarakat keberadaan, status, nilai dan fungsi mangrove yang juga menyangkut pemberdayaan masyarakat lokal dalam pengelolaan mangrove.; (c) Pilar ekonomi berkaitan dengan pemanfaatan yang beragam ekosistem mangrove untuk berbagai produk berharga (kayu dan hasil hutan bukan kayu), pariwisata dan jasa lingkungan lainnya (Kusmana, 2015).

Perumusan strategi pengelolaan ekosistem mangrove yang berkelanjutan dapat dilakukan melalui metode analisis kualitatif SWOT (*Strength, Weakness, Opportunities, Threats*) yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan, kelemahan, peluang, dan ancaman terkait pengelolaan ekosistem mangrove (Arifanti *et al.*, 2022). Metode SWOT dapat digunakan mengidentifikasi faktor internal dan faktor eksternal dengan sistematis melalui model analisis matrik EFAS (*External Strategic Factor Analysis Summary*) dan IFAS (*Internal Strategic Factor Analysis Summary*) dengan menekankan kekuatan dan peluang yang ada dan secara bersamaan mengurangi kelemahan dan ancaman (Miswadi *et al.*, 2015). Perumusan strategi pengelolaan ekosistem mangrove yang berkelanjutan dengan analisis SWOT dalam hal ini dapat dilakukan berdasarkan data kondisi terkini pada aspek biotik, abiotik dan sosial-ekonomi masyarakat lokal (Arifanti *et al.*, 2022).

2.2 Perubahan Penggunaan Lahan

Perubahan penggunaan lahan didefinisikan sebagai berubahnya penggunaan dan fungsi lahan dari suatu lahan ke penggunaan lainnya, dalam kurun waktu yang berbeda (Nurhamidah *at al.* 2018). Menurut Soeprbowati *et al.*, (2021) perubahan penggunaan lahan berkaitan erat dengan adanya perubahan yang terjadi dalam skala global, pertumbuhan penduduk dan degradasi lahan. Chang *et al.*, (2018) dalam hal ini menyatakan bahwa perubahan tata guna lahan dapat menggambarkan interaksi pola penggunaan lahan oleh manusia di suatu wilayah. Dalam konteks

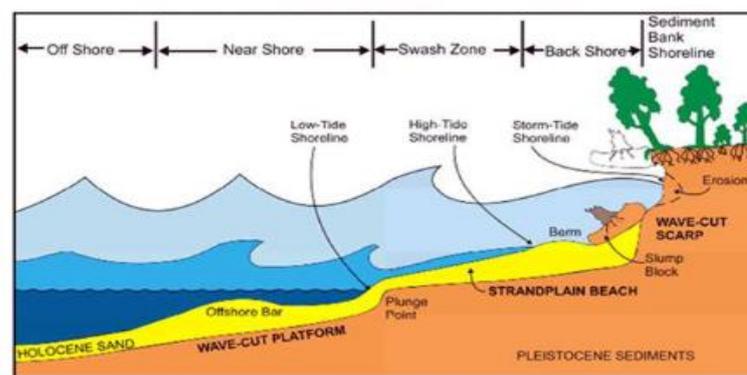
pembangunan, kebutuhan penduduk yang terus meningkat dan tuntutan akan standar hidup yang lebih tinggi mengakibatkan perubahan penggunaan lahan menjadi sesuatu yang tidak dapat dihindari (Widayanti, 2010).

Menurut Msofe *et al.*, (2019) perubahan penggunaan lahan (*land use change*) terjadi karena didorong oleh aktivitas manusia dan faktor alam, yang umumnya dikaitkan dengan ekspansi lahan pertanian, urbanisasi, deforestasi, dan lain sebagainya. Hu *et al.*, (2019) menyatakan bahwa perubahan penggunaan lahan, saat ini telah menjadi topik penelitian yang penting untuk perubahan lingkungan global dan pembangunan berkelanjutan diseluruh dunia. Dinamika penggunaan lahan umumnya selalu disebabkan oleh berbagai faktor pemicu atau *driving force*, yang merupakan campuran dari faktor antropogenik (sosial, ekonomi, demografi, teknologi dan budaya) dan faktor biofisik dengan dampak langsung dan tidak langsung (Kleemann *et al.*, 2017). Berkaitan dengan hal tersebut, perubahan penggunaan lahan diperkirakan telah menyebabkan terjadinya kerusakan ekosistem, berkurangnya kelimpahan spesies flora dan fauna, serta dampak lain yang berkaitan dengan aspek sosial dan ekonomi (Newbold, 2018).

Menurut Thampanya *et al.*, (2006) pada wilayah pesisir, perubahan penggunaan lahan yang terjadi tidak hanya disebabkan oleh faktor manusia, namun juga tidak terlepas dari proses- proses fisik yang terjadi di lautan. Gelombang, ombak dan arus laut dalam hal ini sangat berpengaruh pada kedudukan garis pantai, terutama apabila daratan yang berbatasan dengan laut tersebut merupakan pantai dengan berbatuan dasar lembut seperti lumpur atau lumpur berpasir yang mudah berpindah. Pantai dengan dasar tersebut biasanya ditumbuhi vegetasi mangrove yang membantu menjaga kestabilan sedimen. Berkaitan dengan hal tersebut, kerusakan vegetasi mangrove pada pantai dengan dasar berlumpur dapat menyebabkan wilayah daratan di sekitar pesisir akan menjadi lebih rentan terhadap dinamika alam yang berasal dari arah laut, yang selanjutnya dapat menyebabkan terjadinya erosi dan perubahan tata guna lahan pesisir.

2.3 Perubahan Garis Pantai

Garis pantai (*Shoreline*) adalah garis imajiner pertemuan antara wilayah daratan dan lautan yang dipengaruhi oleh beberapa indikator seperti aspek geomorfologi, tingkat pasang surut, konfigurasi vegetasi dan lain sebagainya (Toure *et al.*, 2019). Sedangkan menurut *International Hydrographic Organization*, (2018) garis pantai merupakan daerah perpotongan dari muka air laut dan daratan. dimana pada daerah yang dipengaruhi oleh pasang surut, garis pantai juga dapat dikatakan sebagai garis rata-rata muka air laut tertinggi atau disebut juga dengan *Mean High Water Line* (MHWL), sedangkan pada daerah yang tidak dipengaruhi pasang surut, garis pantai merupakan representasi garis muka air laut rata-rata atau *Mean Water Level Line* (MWL).



Gambar 2. Representasi skema garis pantai
(Sumber: Yadav *et al.*, 2017)

Pantai terletak pada lokasi yang dinamis dan rentan terhadap perubahan cepat baik akibat proses alam maupun aktivitas manusia (Triwahyuni dan Asai, 2014). Pasang surut merupakan salah satu faktor yang dapat menyebabkan perubahan yang hanya bersifat sementara, sedangkan penambahan daratan (akresi) dan pengikisan daratan (abrasi) dapat menyebabkan perubahan yang bersifat permanen dalam jangka waktu yang lama (Weitzner 2015). Beberapa faktor yang mempengaruhi sifat dinamis pantai adalah hidro-oseanografi (gelombang, arus dan pasang surut), transport sedimen (sungai dan erosi pantai), aktivitas manusia (reklamasi, penambangan pasir dan penggunaan lahan) dan kenaikan muka air laut (perubahan iklim) (Darmiati *et al.*, 2020). Hal ini juga diperkuat oleh Halim *et al.*, (2016) yang menyatakan bahwa perubahan garis pantai ditunjukkan dengan pergeseran

posisinya, yang tidak ditentukan oleh satu variabel saja melainkan oleh sejumlah faktor dan interaksinya sebagai hasil perpaduan antara proses alam dan manusia.

Menurut Hariyanto *et al.* (2018) Wilayah pesisir merupakan wilayah yang sangat dinamis dengan berbagai ekosistem yang saling bergantung dan dapat menimbulkan dampak yang bersifat menguntungkan maupun merugikan. Perubahan garis pantai merupakan bentuk dinamisasi yang terjadi secara terus menerus melalui berbagai proses, baik berupa pengikisan badan pantai (abrasi) maupun penambahan badan pantai (akresi) yang disebabkan oleh pergerakan sedimen, arus, gelombang, dan penggunaan lahan. Perubahan garis pantai dapat dibagi menjadi dua kategori: abrasi dan akresi. Abrasi adalah hilangnya badan pantai, sedangkan akresi adalah penambahan badan pantai (Hidayati *et al.* 2017). Perubahan garis pantai juga adalah salah satu indikasi penting yang digunakan untuk mengetahui dampak dari kenaikan muka air laut akibat perubahan iklim (Utami *et al.*, 2017).

Pesisir merupakan kawasan yang rentan terhadap kenaikan muka air laut, yang dalam hal ini salah satunya adalah pesisir di Pantai Utara Jawa. Kenaikan muka air laut yang terjadi di wilayah Pantai Utara Jawa tercatat sebesar 6 – 10 mm per tahun dimana hal tersebut merupakan dampak dari perubahan iklim global (Handiani *et al.*, 2019). Kabupaten Demak merupakan salah satu daerah di Pantai Utara Jawa yang rentan terhadap perubahan garis pantai sebagai akibat kenaikan muka air laut. Sasmito (2020) menyatakan bahwa saat ini, kawasan pesisir di Kabupaten Demak telah mengalami berbagai ancaman bencana yang disebabkan oleh dampak perubahan iklim, diantaranya seperti kenaikan muka air laut, banjir rob dan perubahan garis pantai. Abrasi pantai diketahui terjadi di sebagian besar wilayah pesisir Kabupaten Demak. Hal ini berdampak langsung pada kehidupan masyarakat karena lambat laun menyebabkan hilangnya lahan pemukiman serta rusaknya tambak, lahan pertanian, dan ekosistem mangrove (Sanjoto *et al.*, 2016).

2.4 Peran Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis dalam Mendeteksi Perubahan Penggunaan Lahan dan Garis Pantai

Penginderaan jauh (*remote sensing*) adalah ilmu untuk mendapatkan informasi tentang suatu tempat, benda, atau peristiwa dengan menganalisis data yang dikumpulkan oleh suatu alat yang tidak harus bersentuhan langsung dengan benda, tempat, atau peristiwa yang sedang dipelajari (Rahayu *et al.*, 2015). Laju perkembangan teknologi penginderaan jauh saat ini terbilang cukup pesat, begitu pula dengan kebutuhan dan permasalahan terkait pembangunan. Dalam hal ini, citra yang diperoleh melalui penginderaan jauh dapat memberikan gambaran yang komprehensif tentang kenampakan, wilayah, atau kejadian di permukaan bumi, dengan kontur dan posisi yang relatif akurat dibandingkan kenampakan aslinya (Has dan Sulistiaway, 2018). Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah sistem informasi yang berbasis komputer dan berguna untuk menyimpan, mengelola, dan menganalisis data yang terhubung secara geografis yang dapat memudahkan pengambil keputusan untuk merumuskan kebijakan, khususnya kebijakan yang berkaitan dengan keruangan (spasial) (Wibowo *et al.*, 2015).

Aplikasi penginderaan jauh dan SIG merupakan salah satu metode yang dapat mempermudah dalam memperoleh basis data yang memadai untuk memantau perubahan yang terjadi di wilayah pesisir. Basis data yang memadai tersebut dapat menjadi salah satu landasan dalam merencanakan dan mengambil keputusan terkait pengelolaan wilayah pesisir yang berkelanjutan. Seiring dengan perkembangannya, kombinasi SIG dan teknik penginderaan jauh semakin membantu dalam penyediaan basis data spasial melalui berbagai aplikasi (Fathurrohman *et al.*, 2013). Karena data penginderaan jauh dapat dikumpulkan dengan cepat dan mencakup area yang luas, maka lebih terbilang cukup efektif baik dari segi waktu maupun biaya. Dalam hal ini, perubahan garis pantai, perubahan tutupan vegetasi, dan perubahan lainnya dapat dianalisis dengan menggunakan data penginderaan jauh menggunakan citra satelit. (Rahayu *et al.*, 2015)

Pengaplikasian SIG dalam pengelolaan data spasial sangat berguna untuk mendeteksi dan menganalisis perubahan penggunaan lahan dan perubahan garis pantai serta dinamika pola spasialnya. Perubahan penggunaan lahan dan perubahan

garis pantai lahan umumnya dapat diketahui melalui metode observasi secara *multi temporal* atau dimensi waktu yang berbeda dengan menggunakan data spasial dan data hasil proses penginderaan jauh (Suniada, 2015). Analisis *multi temporal* menggunakan data penginderaan jauh dalam hal ini dapat membantu dalam proses pemantauan atau monitoring secara terus menerus dari perkembangan suatu wilayah, sehingga dapat digunakan untuk memprediksi perkembangan suatu lahan (Dalilah *et al.*, 2021).

Teknik pengestrasian informasi mengenai laju dan jarak perubahan garis pantai secara cepat dan praktis dapat dilakukan dengan menggunakan data citra satelit melalui analisis *End Point Rate* (EPR) dan *Net Shoreline Movement* (NSM) pada *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) yang merupakan aplikasi perhitungan statistik berbasis geospasial yang terdapat pada perangkat lunak ArcGIS (Hazazi *et al.*, 2019). Sedangkan pada pengolahan citra satelit untuk mengetahui perubahan penggunaan lahan dalam hal ini dilakukan dengan melalui metode *visual digitation*, klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) dan klasifikasi tidak terbimbing (*unsupervised classification*) (Kusumo *et al.*, 2016)

2.5 Citra Satelit Landsat

Perkembangan teknologi yang pesat hingga saat ini telah menghadirkan banyak pilihan jenis satelit penginderaan jauh yang dapat dengan baik mengidentifikasi objek-objek di permukaan bumi dengan resolusi spasial dan temporal yang beragam. Dalam hal ini, Satelit Landsat merupakan salah satu satelit yang menghasilkan data citra multispektral yang umum digunakan dalam penelitian mengenai perubahan garis pantai dan perubahan tata guna lahan. Landsat merupakan satelit resolusi menengah yang dapat diunduh secara bebas (*open sources*).

Satelit Landsat merupakan satelit tertua di bumi yang diluncurkan oleh Amerika Serikat dan dikelola oleh *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) dan *United States Geological Survey* (USGS), dimana generasi pertamanya, yakni Landsat 1 diluncurkan pada 23 Juli 1972, sedangkan Landsat 8 yang merupakan generasi terbarunya diluncurkan pada 11 Februari 2013 (Sitanggang, 2010).

Ada beberapa jenis sensor yang ada pada satelit Landsat yaitu RBV (Return Beam Vidicon) pada Landsat 1 dan 2, MSS (Multi Spectral Scanner) pada Landsat 1 sampai 5 dengan resolusi spasial 82 x 82 m, TM (Thematic Mapper) pada Landsat 4 dan 5 dengan resolusi spasial 30m x 30m, ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) pada Landsat 7, OLI (Operational Land Imager) dan TIRS (Thermal Infrared Sensor) pada Landsat 8, dimana Kedua sensor tersebut menyediakan resolusi spasial 30 meter (visible, NIR, SWIR), 100 meter (thermal), dan 15 meter (pankromatik) (Muhsoni, 2015).

Menurut Winarso et al., (2001) komposit band 543 pada Landsat 7 adalah yang terbaik untuk metode interpretasi garis pantai, hal tersebut dikarenakan komposit tersebut dapat menampilkan batas yang jelas dan tegas antara laut dan daratan. Pada Landsat 8 komposit band yang dapat digunakan untuk intepretasi visual garis pantai adalah komposit band 654, dimana komposit tersebut memiliki kemiripan karakter dangan komposit 543 pada Landsat 7 (Moore, 2000). Sedangkan menurut komposit terbaik untuk mendeteksi klasifikasi penutupan lahan pada Landsat 8 adalah komposit band 754 (Sampurno dan Thoriq, 2016).

Tabel 1. Karakteristik Sensor Landsat MSS, TM, ETM+ dan OLI-TI

No	OLI-TIRS		ETM+		TM		MSS	
	Panjang Gelombang (μm)	Band	Panjang Gelombang (μm)	Band	Panjang Gelombang (μm)	Band	Panjang Gelombang (μm)	Band
1	0,43-0,45	Aerosol	0,45-0,52	Blue	0,45-0,52	Blue	0,50-0,60	Green
2	0,45-0,51	Blue	0,52-0,60	Green	0,52-0,60	Green	0,60-0,70	Red
3	0,53-0,59	Green	0,63-0,69	Red	0,63-0,69	Red	0,70-0,80	PIR
4	0,64-0,67	Red	0,75-0,90	NIR	0,75-0,90	NIR	0,80-1,10	MIR
5	0,85-0,88	NIR	1,55-1,75	SWIR	1,55-1,75	SWIR		
6	1,57-1,65	SWIR 1	10,4-12,5	TIR	10,4-12,5	TIR		
7	2,11-2,29	SWIR 2	2,09-2,35	SWIR	2,09-2,35	SWIR		
8	0,50-0,68	PAN	0,50-0,90	PAN				
9	1,36-1,38	Cirrus						
10	10,6-11,19	TIRS 1						
11	11,5-12,51	TIRS 2						

Tabel 2. Lanjutan

No	OLI-TIRS		ETM+		TM		MSS	
	Panjang Gelombang (μm)	Band	Panjang Gelombang (μm)	Band	Panjang Gelombang (μm)	Band	Panjang Gelombang (μm)	Band
Ukuran piksel PAN		15	15		-		-	
Ukuran piksel <i>reflective</i>		30	30		30		82	
Ukuran piksel <i>thermal</i>		100	100		120		-	
Satelit		Landsat 8	Landsat 7		Landsat 4 dan 5		Landsat 1	

Sumber: Ndiaye et al., (2017)

2.6 Ekosistem Mangrove

Ekosistem mangrove adalah suatu sistem di alam tempat berlangsungnya kehidupan yang mencerminkan hubungan timbal balik antara makhluk hidup dengan lingkungannya diantara makhluk hidup itu sendiri, terdapat pada wilayah pesisir, terpengaruh pasang surut air laut, dan didominasi oleh spesies pohon atau semak yang khas dan mampu tumbuh dalam perairan asin atau payau (Puryono dan Suryanti, 2019). Menurut Hilmi *et al.*, (2015) untuk dapat bertahan hidup pada kondisi lingkungan hidup atau habitat yang khas, vegetasi mangrove memiliki pola adaptasi yang dapat dilihat mulai dari sistem perakaran, daun sampai dengan bunga dan buah.

Schaduw (2018) menyatakan bahwa kondisi vegetasi mangrove sangat dipengaruhi oleh baik atau tidaknya kualitas perairan ekosistem mangrove, meskipun dalam hal ini vegetasi mangrove dikenal sebagai tumbuhan dengan tingkat adaptasi yang tinggi terhadap perubahan salinitas, namun disisi lain tumbuhan ini juga sensitif terhadap perubahan kualitas air, diantaranya seperti suhu, pH, dan *Dissolved Oxygen* (DO), dimana ketidakstabilan tersebut menyebabkan terjadinya penurunan kualitas hingga kematian pada vegetasi mangrove. Selain perubahan dan ketidakstabilan parameter kualitas perairan, penurunan kondisi vegetasi mangrove juga erat kaitannya dengan kegiatan antropogenik seperti eksploitasi berlebihan (Mughofar *et al.*, 2018).

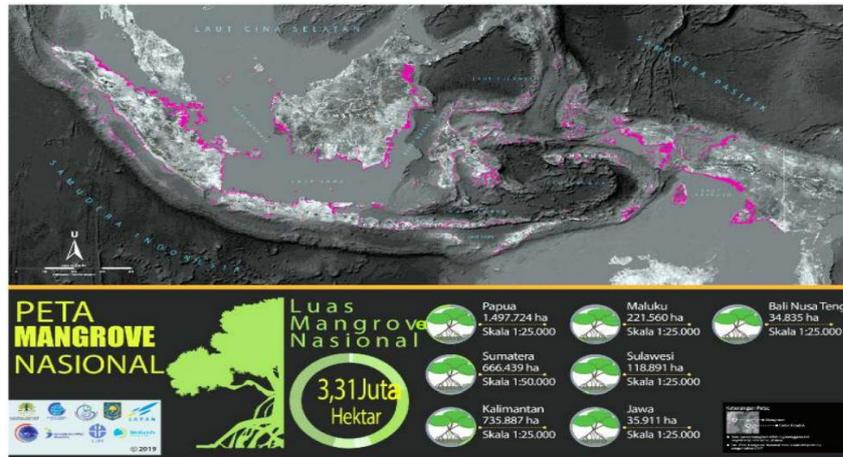
2.7 Distribusi Mangrove

Distribusi ekosistem mangrove global dibedakan menjadi dua, yakni zona barat dan zona timur, dimana zona barat mencakup ekosistem mangrove di wilayah pesisir Afrika, Atlantik, hingga pesisir Amerika Utara dan Selatan yang juga meliputi Kepulauan Galapagos, sedangkan zona timur mencakup pesisir di negara-negara Asia Selatan, seperti India dan Pakistan, pesisir di negara-negara Asia Tenggara, seperti Indonesia hingga pesisir Australia dan New Zealand seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5. Ekosistem mangrove di zona timur dalam hal ini memiliki kelimpahan spesies serta luas yang jauh lebih tinggi dibandingkan zona barat (Basha, 2018). Luas ekosistem mangrove global mencapai 16.530.000 ha yang tersebar di Asia 7.441.000 ha, Afrika 3.258.000 ha dan Amerika 5.831.000 ha (Khairunnisa *et al.*, 2020), dimana pada rentang tahun 1980-2010 luasan tersebut tercatat telah mengalami penurunan yang signifikan (Donato *et al.*, 2012).



Gambar 3. Distribusi Mangrove Secara Global yang dibatasi warna Hijau (Sumber: *National Geographic Magazine* 2007 dalam Omo-Irabor *et al.*, 2011)

Sebagai negara kepulauan yang memiliki garis pantai sepanjang 81.000 km, negara Indonesia memiliki ekosistem mangrove yang tersebar hampir diseluruh nusantara, mulai dari Sumatera sampai dengan Irian Jaya, dan tercatat memiliki tingkat keanekaragaman mangrove tertinggi di dunia yakni dengan jumlah 202 jenis mangrove yang meliputi 89 jenis pohon, 5 jenis palma 19 jenis pemanjat, 44 jenis herba, 44 jenis epifit dan 1 jenis paku (Pramudji, 2001). Luas ekosistem mangrove di Indonesia juga tercatat sebagai yang terbesar di dunia yakni mencakup 25% dari luas hutan mangrove dunia (Onrizal, 2010). Meski demikian, ekosistem mangrove di Indonesia juga tercatat telah mengalami penurunan yang signifikan baik dari segi kualitas maupun kuantitas akibat eksploitasi berlebih (Mughofar *et al.*, 2018).



Gambar 4. Satu Peta Mangrove Nasional 2013 – 2019
(Sumber: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2020)

Berdasarkan laporan FAO (2020), luas ekosistem mangrove di Indonesia diketahui telah menurun dalam rentang waktu tiga dekade terakhir, dan tercatat telah mengalami pengurangan luas sebesar 6.800 ha pada tahun 1990-2000, kemudian menjadi 21.000 ha pada tahun 2010-2020 dan termasuk sebagai penyebab utama dari meningkatnya laju penurunan luas hutan mangrove di Asia. Berdasarkan Peta Mangrove Nasional dan Status Ekosistem Mangrove di Indonesia yang dikeluarkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan pada tahun 2020, Luas ekosistem mangrove di Indonesia adalah 3.311.207,45 ha, dimana 2.673.583 ha (80,74 %) berada dalam kondisi tidak kritis dan 637.624,31 ha berada dalam kondisi kritis.

Berkaitan dengan hal ini, Pantai Utara Jawa merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang mengalami penurunan luas ekosistem mangrove secara signifikan, dimana pada tahun 1982 diperkirakan luas mangrovenya sekitar 49.934 ha, dan kemudian terus menurun hingga menjadi 19.077 ha pada tahun 1993 dan saat ini diperkirakan bahwa secara keseluruhan, sebagian besar ekosistem mangrove di pantai utara Jawa hanya tertinggal sebagai petak-petak bekas tambak perikanan seperti udang atau bandeng, dan sebagian lainnya rusak akibat terjangan ombak (Pramudji, 2015).

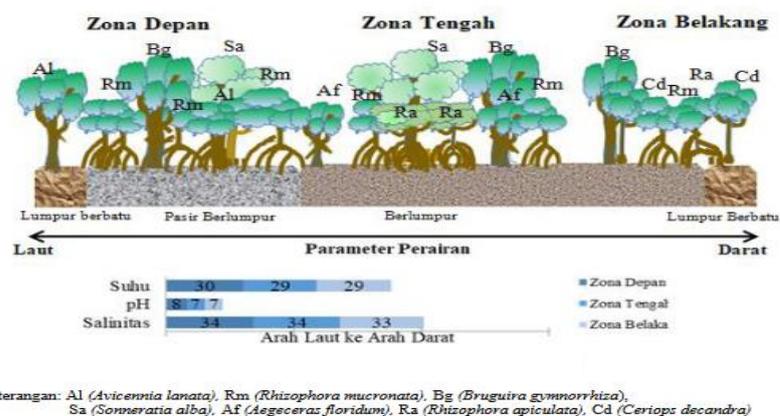
Penurunan luas kosistem mangrove di Pantai Utara Jawa secara signifikan terlihat pada kawasan pesisir Kabupaten Demak, dimana berdasarkan data Dinas Kelautan dan Perikanan Kabupaten Demak, pada tahun 2011, sekitar 8 % dari luas ekosistem mangrovenya telah berada dalam kondisi rusak, dan kemudian meningkat menjadi 13,9 % pada tahun 2012 dan pada rentang tahun 2010 - 2015 telah mengalami penurunan dari 2.089,45 ha menjadi 2.021,28 ha (Faturrohmah dan Marjuki 2017) yang utamanya disebabkan oleh perubahan tata guna lahan (Irsadi *et al.* 2019) serta meningkatnya durasi genangan air laut dan abrasi pantai (Nurrohmah *et al.*, 2016). Berkaitan dengan hal tersebut, hasil penelitian Faturrohmah dan Marjuki (2017) menunjukkan bahwa luas ekosistem mangrove di Desa Tambakbulusan adalah sebesar 167,36 ha dan di Desa Morodemak adalah sebesar 87,20 ha.

2.8 Komposisi Jenis dan Zonasi Ekosistem Magrove

Mangrove merupakan vegetasi yang pertumbuhannya sangat dipengaruhi oleh pasang surut air laut (Kurniawan *et al.*, 2014). Menurut Nanlohy *et al.*, (2017) salah satu ciri dari tempat tumbuh ekosistem mangrove adalah adanya genangan air yang terjadi secara periodik. Periodisitas, frekuensi lama dan tingginya genangan air serta salinitas dan kondisi tanah merupakan faktor penentu komposisi jenis ekosistem mangrove. Komposisi jenis adalah formasi vegetasi dari tiap tingkatan pertumbuhan yang sangat dipengaruhi oleh keadaan habitat seperti situasi iklim dan keadaan tanah, dimana pengetahuan mengenai hal tersebut diperlukan dalam upaya pemanfaatan ekosistem mangrove (Darmadi dan Ardhana 2010).

Komposisi jenis merupakan variabel yang diperlukan untuk mengetahui proses suksesi yang terjadi dalam komunitas vegetasi yang telah mengalami kerusakan (Nahrudin, 2017). Susunan atau komposisi jenis mangrove dapat diketahui melalui analisis perhitungan indeks nilai penting (INP) yang diperoleh dari penjumlahan nilai kerapatan relatif jenis, frekuensi relatif jenis dan penutupan relatif jenis, dalam hal ini kondisi sempurna ditunjukkan dengan nilai 100% pada masing-masing unsur yang umumnya tercapai pada kawasan hutan hasil reboisasi (Harahab, 2010).

Ekosistem mangrove diketahui memiliki pola penyebaran yang membentuk zonasi khas yang dicirikan dengan adanya suatu jenis spesies mangrove tertentu yang menempati lokasi-lokasi tertentu pula (Tihurua *et al.*, 2020). Umumnya zonasi mangrove yang terbentuk memiliki komposisi dan struktur jenis yang berbeda yang disebabkan oleh perbedaan proses adaptasi terhadap habitatnya. Zonasi ekosistem mangrove terbagi menjadi tiga bagian, yakni zonasi dekat dengan laut (zona depan), zonasi peralihan antara laut (zona tengah) dan darat atau dan zonasi dekat dengan darat atau disepanjang sungai berair payau hingga tawar (zona belakang). Vegetasi mangrove yang dominan dekat dengan laut dan berada pada pantai terbuka adalah komunitas pioner seperti *Avicennia* dan *Sonneratia*, kemudian diikuti berurutan dari laut ke darat oleh jenis *Rhizophora* dan *Bruguiera* (Gambar 7) (Mughofar *et al.*, 2018).



Gambar 5. Zonasi ekosistem mangrove
(Sumber: Koroy *et al.*, 2020)

2.9 Fungsi Ekosistem Mangrove

Ekosistem mangrove memiliki fungsi penting terutama untuk menjaga keberlanjutan dan keseimbangan kawasan pesisir. Dalam hal ini, fungsi ekosistem mangrove dapat digolongkan menjadi tiga, yakni fungsi fisik, fungsi ekologis dan fungsi ekonomis. Menurut Nur dan Hilmi (2021) fungsi fisik mangrove adalah sebagai pencegah serta mengurangi abrasi pantai, penahan gelombang, pencegah intrusi air laut, serta melindungi kawasan pesisir dari angin kencang dan bahaya

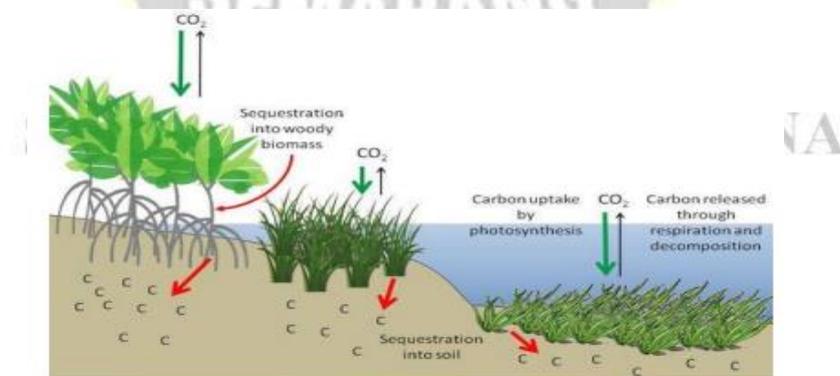
tsunami. Selanjutnya, fungsi ekologis mangrove diantaranya adalah mempertahankan keberadaan spesies hewan laut dan vegetasi, siklus nutrien, penyangga sedimentasi, sebagai tempat memijah, pembesaran dan penyedia makanan berbagai jenis organisme pesisir dan utamanya sebagai penyerap dan penyimpan carbon (Marhawati *et al.*, 2021). Sedangkan secara ekonomis, ekosistem mangrove berfungsi sebagai penyedia berbagai jenis bahan baku untuk keperluan manusia dalam kegiatan produksi, diantaranya seperti kayu, arang, bahan pangan, bahan kosmetik, bahan pewarna, sumber pakan ternak dan lebah (Ritohardoyo dan Ardi 2014).

Menurut Hilmi *et al.*, (2021) ekosistem mangrove merupakan bagian dari ekosistem '*blue carbon*' yang memiliki peranan dan fungsi penting dalam mitigasi perubahan iklim dan dinilai sebagai penyimpan dan penyerap karbon terbesar di wilayah pesisir. Adanya peningkatan kadar CO₂ di atmosfer yang menyebabkan terjadinya pengasaman air laut, dalam hal ini diketahui dapat merangsang proses fotosintesis pada ekosistem mangrove yang dapat membantu mengurangi kadar karbon pada air laut (Wada *et al.*, 2021). Menurut Su *et al.*, (2020) upaya pelestarian habitat ekosistem *blue carbon* dapat memberi manfaat untuk mengurangi terjadinya pengasaman air laut secara lokal. Meski menyimpan manfaat dan fungsi yang sangat besar bagi mitigasi perubahan iklim, ekosistem mangrove hingga saat ini telah mengalami kerusakan yang signifikan dalam skala global, dalam hal ini, tercatat sekitar 62% mangrove di seluruh dunia termasuk dalam kategori rusak pada rentang tahun 2000- 2016 (Goldberg *et al.*, 2020b). Kerusakan tersebut umumnya terjadi karena adanya peningkatan kepadatan penduduk, urbanisasi wilayah pesisir, budidaya perikanan, polusi dan sedimentasi (Gullström *et al.*, 2021). Menurut Venderklift *et al.*, (2019) terjadinya kerusakan ekosistem *blue carbon* dapat mengubah fungsi awalnya, yakni sebagai penyerap dan penyimpan karbon menjadi sumber penyumbang karbon ke atmosfer dan berkontribusi dalam peningkatan gas rumah kaca.

2.10 Penyimpanan Karbon Mangrove

Ekosistem mangrove memiliki fungsi ekologis yang sangat penting terutama bagi wilayah pesisir. Salah satu fungsi ekologis mangrove adalah sebagai penyimpan karbon. Ekosistem mangrove dalam hal ini memiliki kemampuan untuk menyimpan karbon tiga sampai sepuluh kali lebih besar dibandingkan dengan ekosistem lainnya (Suwardi *et al.*, 2017). Hal tersebut terjadi karena pelepasan emisi karbon ke atmosfer pada ekosistem mangrove jauh lebih sedikit dibandingkan dengan ekosistem darat lainnya, karena pembusukan serasah pada mangrove tidak melepaskan karbon ke atmosfer (Purnobasuki, 2012).

Menurut Hairiah dan Rahayu (2007) ekosistem mangrove mampu menyimpan sejumlah besar karbon dari atmosfer melalui mekanisme sekuestrasi (penyerapan karbon dari atmosfer kemudian disimpan dalam bentuk biomassa dan tersebar ke bagian daun, batang, kayu hingga serasah. Ekosistem mangrove menyimpan karbon pada empat kantong karbon, yaitu biomassa atas permukaan, biomassa bawah permukaan, bahan organik mati, dan karbon organik sedimen (Syukri *et al.*, 2018). Alongi (2012) menyatakan bahwa sebagian besar simpanan karbon pada ekosistem mangrove dialokasikan didalam sedimen. Cadangan karbon pada biomassa tegakan mangrove dipengaruhi oleh diameter, biomassa, kerapatan, dan tutupan kanopi, sedangkan cadangan karbon pada substrat diduga lebih dipengaruhi oleh bahan organik, jenis substrat (Lestariningsih *et al.*, 2018). Mekanisme sekuestrasi karbon pada mangrove dan ekosistem *blue carbon* lainnya dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 6. Mekanisme sekuestrasi karbon pada ekosistem *blue carbon* (Sumber: Ahalya dan Park, 2018)

Kapasitas mangrove yang tinggi dalam menyimpan karbon disebabkan oleh akumulasi karbon organik kedalam sedimen melalui berbagai mekanisme. Menurut Kristensen (2008) pada umumnya, karbon organik sedimen mangrove berasal dari input asli (produksi biomassa) dan input *allochthonous* (deposisi partikel sedimen yang terjadi selama proses penggenangan pasang surut air laut) yang dalam hal ini terjaga dengan baik karena sebagian besar kondisi sedimen pada ekosistem mangrove bersifat anoksik atau tanpa oksigen. Berkaitan dengan hal tersebut, hasil penelitian Suello *et al.*, (2021) menunjukkan indikasi bahwa stok karbon organik mangrove akan meningkat pada lokasi yang dekat dengan laut dibandingkan dengan lokasi dekat sungai, sehingga upaya konservasi ekosistem mangrove di wilayah muara sungai dianggap efektif untuk menjaga simpanan karbon pada sedimen mangrove. Ekosistem mangrove pada muara sungai diketahui memiliki karbon organik yang lebih tinggi karena menerima input *allochthonous* yang besar dari debit sungai (Kusumaningtyas *et al.*, 2019).

Hasil penelitian tersebut Donato *et al.*, (2012) menyatakan bahwa ekosistem mangrove merupakan salah satu hutan dengan simpanan karbon yang paling tinggi di kawasan tropis, dimana simpanan karbonnya didominasi oleh simpanan karbon di bawah permukaan baik pada mangrove muara maupun mangrove laut, yakni masing-masing sebesar 71-98% dan 49-90% dari total simpanan karbon mangrove. Namun demikian, ekosistem mangrove hingga saat ini telah banyak mengalami degradasi, baik karena faktor alam maupun faktor antropogenik, yang dalam hal ini akan mengakibatkan terjadinya penurunan kemampuan mangrove dalam menyerap karbon dari atmosfer dan terurainya simpanan karbon dalam sedimen mangrove melalui proses dekomposisi (Purnobasuki, 2012).

Menurut Taylor dan Stephenson (2017) perubahan penggunaan lahan merupakan penyebab utama pada penurunan luas dan kerusakan ekosistem mangrove dan berdampak signifikan pada proses hidrologi, perpindahan nutrien, dan sedimen, yang mengendalikan struktur, komposisi dan biomassa mangrove yang selanjutnya juga dapat menyebabkan terjadinya penurunan jumlah stok karbon sedimen mangrove (Kepel *et al.*, 2017; Agustin *et al.*, 2019).

2.11 Valuasi Ekonomi Simpanan Karbon Sedimen Mangrove

Ekosistem mangrove diketahui sebagai ekosistem yang memiliki jasa lingkungan, sebagai penyerap dan penyimpan karbon (Rachmawati *et al.*, 2014). Menurut Purnobasuki (2012) ekosistem mangrove memiliki potensi yang besar sebagai penyimpan karbon, terutama dalam sedimen, sehingga estimasi stok karbon pada sedimen dalam hal ini dapat dijadikan sebagai acuan dalam menilai manfaat ekonomis mangrove sebagai bentuk komoditas jasa lingkungan *C-sequestration*.

Nilai simpanan karbon mangrove baik yang terdapat dalam biomassa maupun sedimen merupakan salah satu jasa ekosistem mangrove yang saat ini mulai diperhitungkan dalam skema pembayaran jasa ekosistem atau *Payment for Ecosystem Services* (PES) (Pendleton *et al.*, 2012). Menurut Albert *et al.*, (2012) mekanisme pembayaran jasa ekosistem mangrove sebagai penyerap karbon terbesar melalui sistem kredit karbon akan memberikan dua peluang sekaligus, yakni untuk mengentaskan kemiskinan dan perlindungan terhadap ekosistem pesisir penyerap karbon. Perhitungan nilai ekonomi pada simpanan karbon untuk mengatasi perubahan iklim telah banyak dilakukan terutama di beberapa negara Uni Eropa dan dalam skala global (Gren, 2015). Berkaitan dengan hal tersebut, Negara Indonesia telah mengesahkan Perpres No. 98 Tahun 2021 tentang Nilai Ekonomi Karbon (NEK) atau *carbon pricing* yang mengatur tentang mekanisme pasar karbon dan diharapkan dapat menjadi landasan dalam menilai potensi nilai ekonomi karbon.

Secara global, estimasi nilai ekonomi simpanan karbon yang digunakan cukup beragam, karena bergantung pada mekanisme pasar yang diterapkan (Kepel *et al.*, 2017). Adapun mekanisme perdagangan karbon yang hingga saat ini diterapkan di Indonesia adalah mekanisme pasar wajib atau *Clean Development Market* (CDM) dibawah Protokol Kyoto yang melibatkan negara-negara maju (Annex 1) dan negara-negara berkembang (non-Annex 1) (Husen, 2018). Adapun satuan penurunan emisi karbon yang digunakan dalam mekanisme CDM disebut *Certified Emissions Reduction* (CERs) yang setara dengan 1 ton CO₂ (Irama, 2020). Harga karbon CER pada tahun 2020 diketahui senilai 2,4 USD/ton (World Bank, 2020). Selanjutnya, pasar karbon sukarela yang salah satunya adalah *Verified*

Carbon Standard (VCS) yang diketahui juga berkembang di Indonesia meskipun dari segi jumlah tidak sebanyak CDM, akan tetapi tetap dapat menjadi alternatif dari pembiayaan pengurangan emisi yang cukup berhasil, dalam hal ini proyek VCS di Indonesia sangat diminati oleh pihak swasta pengembang proyek REDD+ dan aforestasi (Hindarto *et al.*, 2018). Satuan penurunan emisi karbon yang digunakan dalam mekanisme VCS adalah *Verified Carbon Units* (VCUs) yang setara dengan 1 ton CO₂. Harga karbon VCUs pada tahun 2018 diketahui senilai 3 USD/ton (World Bank, 2020).



SEKOLAH PASCASARJANA