

BAB II

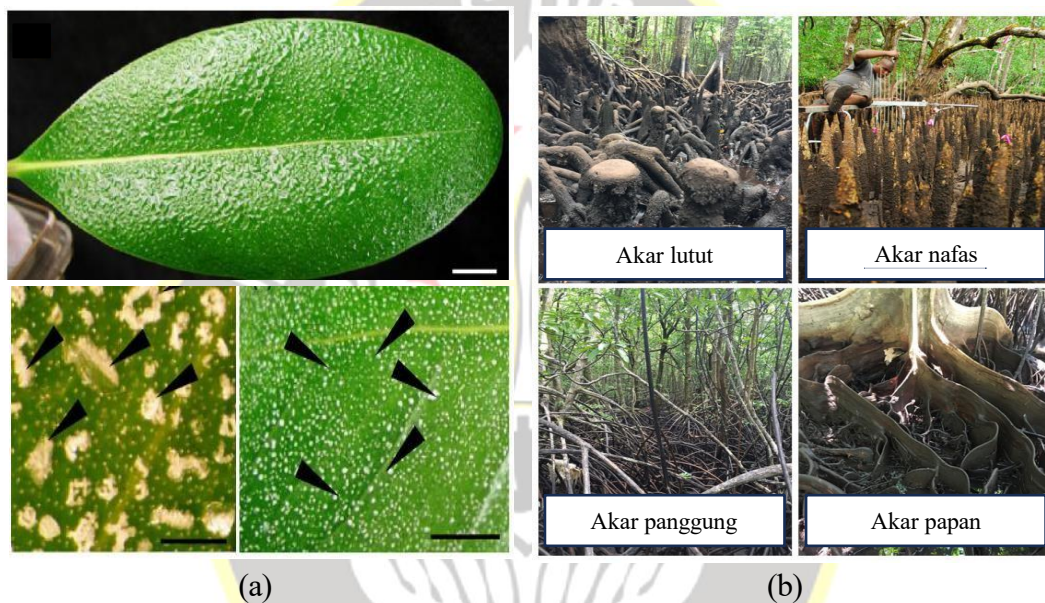
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ekosistem Mangrove

Istilah ‘mangrove’ merujuk pada tumbuhan atau komunitas tumbuhan tingkat tinggi, atau keseluruhan komunitas tumbuhan yang hidup pada zona transisi daratan dan lautan dan dipengaruhi oleh pasang surut (Djamaluddin, 2018). Sementara itu, ekosistem mangrove merupakan suatu sistem alami yang mencerminkan hubungan timbal balik antara makhluk hidup dengan lingkungannya, serta interaksi antar makhluk hidup itu sendiri. Ekosistem ini berada di wilayah pesisir, dipengaruhi oleh kondisi pasang surut air laut, dan didominasi oleh flora dan fauna khas yang mampu beradaptasi di zona transisi antara darat dan laut (Puryono dan Suryanti, 2019). Secara taksonomi mangrove memiliki spesies yang beragam, toleran terhadap perairan dengan salinitas tinggi, sebagian besar tanaman berkayu (Polidoro et al., 2010), dan berasosiasi dengan berbagai fauna darat maupun laut (Nagelkerken et al., 2008; Rog et al., 2017)

Ekosistem mangrove umumnya hidup di sepanjang pesisir daerah tropis dan subtropis dengan temperatur 19 – 40 °C dan fluktuasi suhu tidak lebih dari 10 °C (Murdiyanto, 2003). Menurut Mariano et al., (2019) untuk beradaptasi pada kondisi lingkungan hidup atau habitat yang khas dan tergolong ekstrem, vegetasi mangrove memiliki pola adaptasi yang dapat dilihat mulai dari sistem perakaran, daun sampai dengan bunga dan buah. Kondisi habitat yang khas dan tergolong ekstrem yang dimaksud adalah karena vegetasi mangrove dapat bertahan pada zona peralihan antara zona darat dan laut, di mana tumbuhan lain tidak dapat mentoleransi dan bertahan pada kondisi tersebut. Untuk beradaptasi pada kondisi yang bersalinitas tinggi, beberapa spesies mangrove, seperti *Avicennia* sp memiliki kemampuan untuk menyimpan garam di jaringannya sebelum mengeluarkannya melalui saluran di daunnya (Gambar 4a). Selain itu, sebagai bentuk adaptasi pada lingkungan yang kurang stabil karena kondisi berlumpur, semi-cair, dan miskin

oksigen, vegetasi mangrove memiliki beberapa macam bentuk sistem perakaran, di antaranya seperti akar lutut pada spesies *Bruguiera gymnorrhiza* (Rhizophoraceae), akar *pneumatophores* pada spesies *Sonneratia alba* (Lythraceae), akar penyangga/akar panggung pada spesies *Rhizophora apiculata* (Rhizophoraceae), dan akar papan pada spesies *Xylocarpus granatum* (Meliaceae) (Kargar et al., 2020) (Gambar 4b).

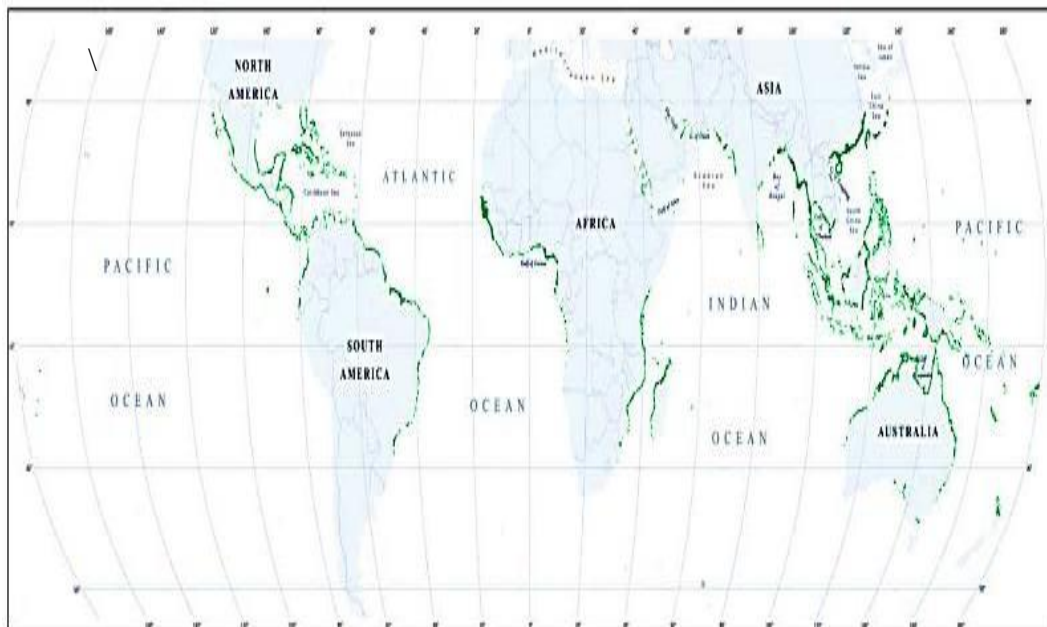


Gambar 4. (a) Kelenjar garam pada daun *Avicennia marina* (Tan et al., 2013); (b) sistem perakaran mangrove (Kargar et al., 2020)

Meskipun dikenal sebagai tumbuhan dengan tingkat adaptasi yang tinggi terhadap lingkungan pesisir yang cenderung dinamis dan ekstrem, vegetasi mangrove juga tetap menunjukkan ketergantungan besar terhadap kondisi kualitas perairan di habitat hidupnya (Schaduw, 2018). Stabilitas parameter lingkungan seperti suhu, tingkat keasaman (pH), dan oksigen terlarut sangat penting untuk mendukung pertumbuhan dan kelangsungan hidup vegetasi mangrove. Ketidakseimbangan dari parameter lingkungan tersebut dapat memicu penurunan vitalitas hingga kematian pada vegetasi mangrove. Di sisi lain, tekanan dari aktivitas manusia seperti penebangan ilegal, perubahan fungsi lahan, deforestasi, alih fungsi lahan dan pemanfaatan sumber daya secara berlebihan juga dapat mempercepat degradasi ekosistem mangrove (Mughofar et al., 2018).

2.2 Distribusi Ekosistem Mangrove

Ekosistem mangrove tersebar pada kawasan pesisir pada wilayah beriklim tropis dan subtropis, yang terletak diantara 32° Lintang Utara dan 38° Lintang Selatan (Murdiyanto, 2003). Distribusi ekosistem mangrove pada belahan bumi utara terbatas hingga kepulauan Bermuda (32° 03' LU) dan Jepang (31°22' LU). Sementara itu, pada belahan bumi selatan, distribusi ekosistem mangrove mencakup hingga Selatan Australia (38°45' LS) dan Selandia Baru (38°03' LS) (Gambar 5).



Gambar 5. Distribusi global ekosistem mangrove
(Giri et al., 2011)

Distribusi global ekosistem mangrove sangat dipengaruhi oleh temperatur udara, di mana temperatur optimal bagi pertumbuhan mangrove adalah tidak kurang dari 20°C saat musim terdingin, dan toleransi fluktuasi temperatur udara musiman tidak dapat lebih dari 10°C (Chapman, 1975). Berkaitan dengan hal tersebut, daerah tempat ekosistem mangrove ditemukan diklasifikasikan ke dalam empat kelompok berdasarkan keterkaitannya dengan faktor iklim berupa curah hujan dan temperatur udara (Blasko, 1984) yang meliputi:

1. Daerah panas, yakni daerah tempat ditemukannya hampir 90% ekosistem mangrove global, daerah tersebut meliputi daerah selatan Meksiko, Kolombia, Karibia, Brazil bagian utara, Asia tenggara sampai dengan bagian utara Queensland, Australia
2. Daerah Sub-humid, yakni daerah di mana ekosistem mangrove ditemukan secara sporadik, daerah tersebut meliputi Afrika Timur, Queensland bagian selatan, Meksiko, dan Venezuela
3. Daerah Semi-arid, yakni daerah yang sangat jarang ditemukan ekosistem mangrove, dalam hal ini mangrove umumnya hanya ditemukan pada kawasan dekat sungai, seperti pada Delta Indus (Pakistan), Gujarat (India), bagian barat Australia dan *Northern Territory*.
4. Daerah Arid, yakni daerah di mana mangrove secara umum tidak ditemukan, kecuali pada kawasan yang memiliki hujan musim dingin (*winter rains*), seperti di Ethiopia, Mesir, Gurun Persia dan Gurun California.

Distribusi ekosistem mangrove dalam hal ini juga terbagi menjadi dua kelompok utama berdasarkan keterkaitannya dengan aspek keanekaragaman, yakni kelompok bagian Barat dan Timur. Menurut Duke (1992) kelompok bagian Barat (*Atlantic East Pacific, AEP*) meliputi wilayah Afrika dan pantai Amerika bagian Atlantik, Karibia, Gurun Meksiko, dan Amerika khususnya Pantai Barat Pasifik, sementara itu kelompok bagian Timur (*Indo-Pacific West, IWP*) meliputi wilayah bagian Indo-Pasifik dan terbatas hingga bagian timur dan barat Ujung Afrika. Dalam konteks ini, ekosistem mangrove di bagian timur cenderung menunjukkan tingkat keanekaragaman spesies dan luas area yang secara signifikan lebih besar dibandingkan bagian barat (Basha, 2018).

Ekosistem mangrove global pada tahun 2000 diperkirakan luasnya mencapai 137.760 km² yang tersebar di 118 negara, di mana total luas mangrove tersebut menyumbang 0,7% dari total hutan tropis dunia. Namun demikian informasi luas mangrove tersebut tidak memberikan informasi terkait kualitas dari ekosistem mangrove. Ekosistem mangrove terbesar ditemukan di Asia (42%) diikuti oleh

Afrika (20%), Amerika Utara dan Tengah (15%), Oseania (12%) dan Amerika Selatan (11%). Sekitar 75% mangrove terkonsentrasi hanya di 15 negara (Tabel 2). Berkaitan dengan hal ini, ekosistem mangrove yang sangat besar di 15 negara tersebut menentukan bahwa keputusan politik dan manajemen terkait terhadap mangrove akan berpengaruh signifikan terhadap status global ekosistem mangrove di masa depan (Spalding *et al.*, 1997).

Tabel 2. Luas dan persentase kumulatif mangrove pada 15 negara yang memiliki ekosistem mangrove terluas

No.	Negara	Luas (km ²)	Persentase global (%)	Region
1.	Indonesia	3.112.989	22,6	Asia
2.	Brazil	977.975	7,1	Oceania
3.	Australia	962.683	7,0	Amerika Selatan
4.	Mexico	741.917	5,4	Amerika Utara dan Tengah
5.	Nigeria	653.669	4,7	Afrika
6.	Malaysia	505.386	3,7	Asia
7.	Myanmar	494.584	3,6	Asia
8.	Papua New Guinea	480.121	3,5	Oceania
9.	Bangladesh	436.570	3,2	Asia
10.	Cuba	421.538	3,1	Amerika Utara dan Tengah
11.	India	368.276	2,7	Asia
12.	Guinea Bissau	338.652	2,5	Afrika
13.	Mozambique	318.851	2,3	Afrika
14.	Madagascar	278.078	2,0	Afrika
15.	Philippines	263.137	1,9	Asia

(Sumber: Giri *et al.*, 2011)

Dengan garis pantai yang membentang sepanjang 81.000 kilometer, Indonesia memiliki ekosistem mangrove yang tersebar luas di hampir seluruh wilayah pesisir, mulai dari barat Sumatera hingga timur Papua. Keberadaan ekosistem mangrove tersebut menjadikan Indonesia sebagai negara dengan keanekaragaman spesies mangrove tertinggi di dunia, mencakup ± 202 spesies mangrove (Pramudji, 2001). Selain itu, Indonesia juga diketahui menyumbang sekitar seperempat dari total luas hutan mangrove global, dan hampir setengah dari total luas hutan mangrove di benua Asia (Onrizal, 2010). Ekosistem mangrove di Indonesia umumnya ditemukan dan membentuk hutan pantai yang luas pada wilayah pantai dengan formasi berbentuk teluk, delta di muara sungai besar, pantai yang landai, dan laguna. Di sisi lain, pada kawasan pesisir pantai lainnya, baik pada

daratan pulau besar maupun pulau-pulau kecil, tumbuhan tersebut ditemukan secara sporadis dengan luasan yang relatif kecil. Peta distribusi mangrove di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Peta mangrove nasional (KLHK, 2021)

Pada tahun 2021, Pemerintah Indonesia menerbitkan Peta Mangrove Nasional yang bertujuan untuk memberikan gambaran kondisi terkini ekosistem mangrove di Indonesia pada skala yang cukup detail. Peta Mangrove Nasional dalam hal ini digunakan untuk berbagai kepentingan, meliputi; sasaran indikatif Rehabilitasi Hutan dan Lahan (RHL) mangrove, rencana zonasi, kajian pengaman bahaya bencana pesisir, penghitungan karbon, potensi jasa lingkungan wisata alam, potensi perikanan, serta penelitian dan pendidikan. Berdasarkan Peta Mangrove Nasional tahun 2021, diketahui bahwa luas eksisting ekosistem mangrove di Indonesia adalah 3.364.080 ha (KLHK, 2021). Luas ekosistem mangrove eksisting secara rinci disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Luas eksisting ekosistem mangrove dan potensi habitatnya

No.	Provinsi	Kelas Kerapatan Tajuk Mangrove			Luas total (Ha)
		Lebat (Ha)	Sedang (Ha)	Jarang (Ha)	
1.	Aceh	25.182	2.169	1.822	29.174
2.	Sumatera Utara	42.500	6.112	8.878	57.490
3.	Sumatera Barat	13.198	3.548	210	16.956
4.	Riau	219.805	2.540	3.764	226.109
5.	Kep. Riau	62.696	1.931	2.789	67.417
6.	Jambi	10.960	484	793	12.236
7.	Bengkulu	2.614	38	162	2.814
8.	Sumatera Selatan	170.873	625	131	171.629
9.	Kep. Bangka Belitung	65.544	1.329	392	67.265
10.	Lampung	8.430	382	543	9.355
11.	Banten	2.829	401	325	3.555
12.	DKI Jakarta	306	204	172	682
13.	Jawa Barat	5.331	2.710	1.899	9.941
14.	Jawa Tengah	10.821	1.269	2.999	15.089
15.	D.I. Yogyakarta	8	3	-	11
16.	Jawa Timur	12.865	12.543	1.814	27.221
17.	Bali	1.955	115	75	2.145
18.	Nusa Tenggara Barat	9.109	763	788	10.660
19.	Nusa Tenggara Timur	19.431	1.751	987	22.169
20.	Kalimantan Barat	160.449	615	903	161.967
21.	Kalimantan Tengah	31.409	13.823	783	46.015
22.	Kalimantan Selatan	54.806	26.249	3.477	84.532
23.	Kalimantan Timur	209.036	6.766	1.548	217.350
24.	Kalimantan Utara	134.388	41.615	2.158	178.161
25.	Sulawesi Utara	8.815	2.203	748	11.766
26.	Gorontalo	4.361	2.622	1.843	8.826
27.	Sulawesi Tengah	32.264	1.488	1.073	34.825
28.	Sulawesi Barat	2.763	124	437	3.324
29.	Sulawesi Selatan	9.883	1.284	1.110	12.278
30.	Sulawesi Tenggara	40.811	21.453	3.901	66.166
31.	Maluku	174.565	2.309	935	177.809
32.	Maluku Utara	44.459	1.489	289	46.237
33.	Papua Barat	444.259	21.945	5.697	471.902
34.	Papua	1.084.514	5.461	1.029	1.091.004
Total		3.121.240	188.366	54.474	3.364.080

(Sumber: Peta Mangrove Nasional, KLHK, 2021)

Berdasarkan data yang disajikan pada Tabel 3 dapat diketahui bahwa Provinsi Papua (1.091.004 ha), Papua Barat (471.902 ha) dan Riau (226.109 ha) merupakan wilayah yang memiliki luas eksisting ekosistem mangrove terluas masih didominasi dengan kerapatan tajuk lebat. Sementara itu provinsi yang memiliki kerapatan tajuk sedang terluas adalah Provinsi Kalimantan Utara (41.615 ha), Kalimantan Selatan (26.249 ha), dan Papua Barat (21.945 ha), sedangkan kerapatan tajuk jarang terluas adalah Provinsi Sumatera Utara (8.878 ha) (KLHK, 2021).

2.3 Spesies dan Zonasi Mangrove

2.3.1 Spesies Mangrove

Spesies mangrove yang telah teridentifikasi di dunia meliputi 24 famili dan kisaran jumlah spesies antara 54 sampai 75 spesies, bergantung pada bagaimana “mangrove sejati” didefinisikan dan apakah mangrove asosiasi dihitung (Murdiyanto, 2003). Tomlinson (2016) mengidentifikasi 51 spesies mangrove sejati dalam 20 genera dan 15 famili, sedangkan Spalding *et al.* (2010) mengidentifikasi 73 spesies mangrove sejati dan mangrove asosiasi dalam 29 genera dan 21 famili (36 spesies di antaranya dianggap sebagai spesies mangrove inti). Menurut Tomlinson (1986) mangrove dapat dibedakan menjadi mangrove sejati (*True Mangrove*) dan mangrove asosiasi (*Mangrove Associates*). Mangrove sejati memiliki morfologis dan mekanisme fisiologis yang khas untuk dapat beradaptasi dengan habitat hidupnya dan secara taksonomi juga berbeda dengan tumbuhan terestrial, sedangkan mangrove asosiasi merupakan tumbuhan yang tumbuh di sekitar habitat mangrove sejati dan dapat ditemukan pula pada komunitas vegetasi terestrial.

Berkaitan dengan hal tersebut, Rhizophoraceae merupakan salah satu famili mangrove terpenting dan beragam yang terdiri dari empat genus, yaitu *Bruguiera* (7 spesies), *Ceriops* (3), *Kandelia* (2), dan *Rhizophora* (10). Combretaceae terdiri dari tiga genus, yaitu *Conocarpus* (1), *Laguncularia* (1), dan *Lumnitzera* (3). Malvaceae, Leguminosae, Bignoniaceae, Lythraceae, dan Meliaceae masing-masing terdiri dari dua genera. Malvaceae diwakili oleh *Camptostemon* (2) dan *Heritiera* (3), Leguminosae oleh *Cynometra* (1) dan *Mora* (1), Bignoniaceae oleh *Dolichandrone* (1), dan *Tabebuia* (1) dan Lythraceae oleh *Pemphis* (1), dan *Sonneratia* (9). Keluarga Meliaceae diwakili oleh *Aglaiia* (1) dan *Xylocarpus* (2). Famili lainnya masing-masing diwakili oleh satu genus, yaitu Acanthaceae oleh *Acanthus* (2), Pteridaceae oleh *Acrostichum* (3), Plumbaginaceae oleh *Aegialitis* (2), Primulaceae oleh *Aegiceras* (2), Avicenniaceae oleh *Avicennia* (8), Ebenaceae oleh *Diospyros* (1), Euphorbiaceae oleh *Excoecaria* (2), Areaceae oleh *Nypa* (1), Myrtaceae oleh *Osbornia* (1), Tetrameristaceae oleh *Pelliciera* (1), dan Rubiaceae oleh *Scyphiphora* (1) (Duke *et al.* 2007).

Dari sekian banyak spesies mangrove tersebut, spesies mangrove yang paling umum ditemukan di Indonesia adalah spesies api-api (*Avicennia* sp.), bakau (*Rhizophora* sp.), tancang (*Bruguiera* sp.) dan pedada (*Sonneratia* sp.). Beberapa spesies mangrove tersebut merupakan kelompok mangrove yang dapat menahan endapan dan menstabilkan tanah habitat tumbuhnya. Spesies mangrove api-api (*black mangrove*) dikenal sebagai spesies terbaik dalam proses menstabilkan tanah, karena penyebarannya yang tergolong mudah, dapat mentoleransi temperatur tinggi, dan memiliki jenis akar pasak yang mampu menahan endapan dengan baik. Spesies lain yang juga mampu menstabilkan tanah habitatnya adalah bakau merah atau *red mangrove* (*Rhizophora* sp.), di mana spesies ini juga mampu untuk mengurangi dampak kerusakan pada tanah akibat hempasan arus, gelombang dan angin (Murdiyanto, 2003).

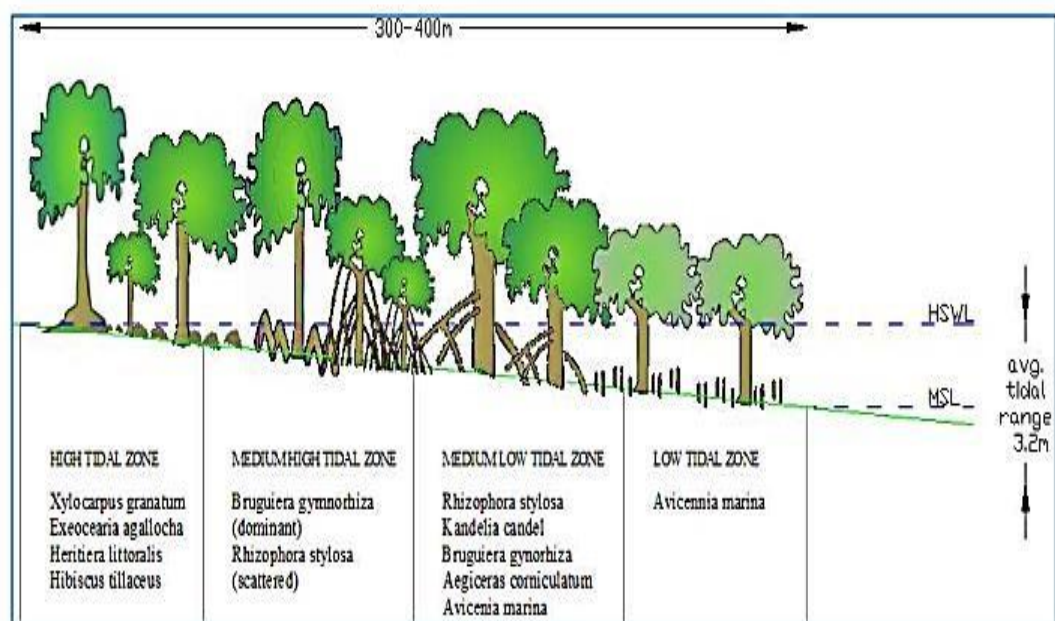
Sebagian besar spesies mangrove memiliki sebaran yang luas, meskipun beberapa memiliki rentang terbatas. Asia selatan dan Asia Tenggara dikenal memiliki keanekaragaman spesies mangrove tertinggi, sedangkan wilayah yang memiliki keanekaragaman spesies yang rendah terletak di bagian selatan Amerika Tengah dan Samudra Hindia Barat (Spalding *et al.*, 2010). Keragaman mangrove dalam hal ini berkurang dengan cepat pada batas geografis pertumbuhan mangrove di wilayah subtropis dan di zona gersang, di mana mereka sering muncul sebagai pohon kecil. Namun demikian, spesies mangrove tersebut tetap memainkan peran penting bagi masyarakat lokal di daerah tersebut.

2.3.2 Zonasi Penyebaran Mangrove

Mangrove secara umum tumbuh di zona transisi antara laut dan daratan, di mana jika ditarik garis maka mangrove dapat tumbuh paling jauh ke arah laut hingga ke tinggi muka laut rata-rata (*Mean Seawater Level*) dan terjauh ke arah darat hingga capaian air pasang tertinggi (*Highest Water Spring*), dalam hal ini mangrove juga masih dapat tumbuh pada tepian sungai yang masih dipengaruhi oleh pasang-surut air laut (Kurniawan *et al.*, 2014). Selanjutnya, Nanlohy *et al.* (2017) menyatakan bahwa salah satu karakteristik utama habitat mangrove adalah adanya genangan air yang terjadi secara berkala. Faktor-faktor seperti frekuensi,

durasi dan kedalaman genangan air, serta tingkat salinitas dan kondisi tanah, berperan penting dalam pembentukan komposisi spesies yang membentuk ekosistem mangrove.

Oleh karena adanya perbedaan kondisi lingkungan pada zona intertidal tersebut, maka terbentuk adanya kondisi-kondisi lingkungan yang hanya cocok bagi spesies tertentu. Sebagai konsekuensi dari kondisi tersebut, komposisi spesies mangrove pada satu tempat dapat berbeda dengan tempat lain pada zona intertidal (Djamaluddin et al., 2018). Adanya perbedaan komposisi spesies pada sepanjang gradien lingkungan pada zona intertidal tersebut secara umum dikenal sebagai pola zonasi mangrove (Gambar 7). Komposisi spesies dalam hal ini merupakan formasi vegetasi dari tiap tingkatan pertumbuhan yang sangat dipengaruhi oleh keadaan habitat seperti situasi iklim dan keadaan tanah, di mana pengetahuan mengenai hal tersebut diperlukan dalam upaya pemanfaatan ekosistem mangrove (Mughofar et al., 2018).



Gambar 7. Zonasi mangrove (Tusinski dan Verhagen, 2014)

Formasi hutan mangrove terdepan, atau di kawasan *low tidal zone* umumnya ditumbuhi dengan spesies *Avicennia* sp., di mana spesies ini dikenal sebagai spesies pionir yang menjadi pagar alami (*natural barrier*) yang melindungi daratan dari gelombang laut dan angin. Akar pasak pada *Avicennia* sp. membuat spesies ini mampu untuk beradaptasi pada wilayah yang cenderung selalu terendam air pada saat pasang. Selanjutnya, pada zona tengah menuju ke daratan, umumnya banyak ditumbuhi oleh spesies *Rhizophora* sp., di mana wilayah tersebut cenderung tidak selalu terendam air. Spesies mangrove yang habitatnya paling mendekati daratan adalah *Bruguiera* sp., spesies ini umumnya tumbuh pada tanah atau sedimen yang agak keras dan hanya sesekali terendam air (Murdiyanto, 2003).

Beberapa spesies mangrove yang umumnya tumbuh diperbatasan daerah laut, atau yang biasa disebut sebagai spesies pionir meliputi *Avicennia marina*, *Sonneratia alba*, dsb. Selanjutnya pada zona tengah, atau dibantaran muara sungai umumnya didominasi oleh *Rhizophora apiculata*, dan *R. mucronata*. Kemudian zona selanjutnya biasanya merupakan zona selanjutnya, antara tepian daratan dan zona tengah yang stabil umumnya didominasi oleh beberapa spesies campuran, seperti *R. stylosa*, *B. gymnorrhiza*, dan *Ceriops tagal*.

Zona paling belakang di sepanjang bantaran muara sungai umumnya banyak dijumpai spesies *Nypa fruticans*, Meskipun beberapa spesies mangrove identik ditemukan pada zona tertentu, namun tidak menutup kemungkinan beberapa spesies dapat ditemukan di luar zona tempatnya tumbuh, misalnya tegakan *S. alba* dan *A. marina* yang dapat ditemukan pula pada zona tengah meskipun biasanya terdapat pada zona terdepan di tepian laut. Hal tersebut bergantung pula dengan kondisi kemiringan lahan zona intertidal yang dapat bervariasi tergantung morfologi pantai setempat. Selain itu, kegiatan rehabilitasi mangrove yang umumnya menggunakan monospesies seperti *Rhizophora* sp. juga dapat menjadi salah satu penyebab dari ketidaksesuaian spesies dengan zona tempat hidupnya (Djamaluddin, 2018). Komposisi spesies merupakan variabel yang diperlukan untuk mengetahui proses suksesi yang terjadi dalam komunitas vegetasi yang telah mengalami kerusakan (Nahrudin, 2017).

2.4 Faktor-Faktor yang Berpengaruh pada Pertumbuhan Mangrove

Djamaluddin (2018) menjelaskan bahwa pertumbuhan mangrove sangat dipengaruhi oleh tiga faktor utama, yakni geofisik, geomorfik, dan biologis sebagai berikut:

a) Faktor geofisik

Faktor geofisik dalam hal ini meliputi energi fisik yang bekerja mulai dari skala global (atmosferik, sirkulasi oseanik, pergeseran tektonik daratan dan muka laut, dsb) hingga ke skala regional (parameter mesoklimatik, geologi basin drainase, rezim pasang surut dan gelombang), di mana interaksi dari berbagai energi tersebut akan menghasilkan karakteristik geomorfik yang khas pada wilayah tertentu. Berkaitan dengan hal ini, faktor geofisik berupa rezim iklim diketahui dapat berpengaruh terhadap variabilitas masukan air tawar melalui sungai (*river run-off*) yang akan berimbas terhadap pasokan sedimen dan rezim salinitas pada habitat tumbuh mangrove. Sementara itu, faktor pasang surut air laut sangat berpengaruh terhadap tingkat perendaman dan pembukaan pada substrat mangrove yang juga akan berpengaruh terhadap kondisi lingkungan tempat mangrove tumbuh.

b) Faktor geomorfik

Menurut Thom (1982) faktor geomorfik dapat mempengaruhi pertumbuhan mangrove melalui berbagai cara, yakni pada tingkat makro dan tingkat lokal. Terdapat dua kategori kelas bentuk lahan berdasarkan proses deposisi yang berlaku pada tingkat makro; (1) kelas pertama meliputi daerah di mana bentuk pada lahan pantau merupakan hasil pengendapan sedimen *terrigenous* yang berasal dari sungai dan laut (delta sungai, laguna, beting gisik); (2) kelas kedua meliputi daerah di mana akumulasi sedimen berasal dari material klasik karbonat yang berasal dari pertumbuhan terumbu karang. Di sisi lain, pada skala lokal, mangrove umumnya berasosiasi dengan salah satu dari beberapa kelas kategori geomorfik (Pernetta, 1993). Kelas geomorfik tersebut dibedakan berdasarkan generalisasi kondisi lingkungan seperti yang dijelaskan oleh Huchings dan Seager (1987). Berikut adalah kelas kategori geomorfik tersebut:

1. Rataan alluvial; dominan dengan input air tawar dan sedimen
2. Rataan pasang-surut; pengaruh pasang surut terbilang lebih besar dibandingkan pada rataaan alluvial
3. Penghalang (*barrier*) dan laguna; kondisi dicirikan dengan hadirnya *betting* di laut (*offshore shoal*)
4. Pantai dasar berbatuan yang umumnya meluas dan terendam air (*transgressed bedrock coast*)
5. Pantai karang; sedimen umumnya dalam bentuk karbonat, humus *autochthonous* atau substrat terkonsolidasi

c) Faktor biologik

Faktor biologik dalam hal ini erat kaitannya dengan atribut biologis dan respon fisiologis dari masing-masing spesies mangrove. Beberapa peneliti seperti Thom (1982) dan Ball (1998) menyatakan bahwa perbedaan adaptasi atau respon fisiologis merupakan faktor utama yang berpengaruh terhadap perkembangan dan persebaran mangrove. Dalam hal ini, profil salinitas dan lama perendaman akan berkontribusi terhadap perbedaan interspesifik yang ditunjukkan pada masing-masing spesies yang berbeda. Umumnya mangrove akan bertumbuh baik pada salinitas yang tidak terlalu tinggi (0,5 – 35 ppt), namun setiap spesies mangrove memiliki batas toleransi salinitas yang berbeda-beda. Pada kondisi salinitas optimal, maka semakin lebar batas toleransi salinitas suatu spesies akan diikuti dengan semakin lambat laju pertumbuhan spesies tersebut (Ball, 1998).

Selain faktor-faktor tersebut, tekstur sedimen, perendaman dan sistem hidrologi, serta ketersediaan unsur hara juga sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan perkembangan mangrove (Hastuti et al., 2012);

a) Tekstur sedimen

Tekstur sedimen merupakan ukuran dan komposisi butiran sedimen yang berpengaruh terhadap laju penyerapan dan penyimpanan air, serta status aerasi, sehingga dapat berdampak pada proses biogeokimia. Dalam hal ini, tekstur sedimen dapat menjadi ciri dari suatu habitat mangrove. Sumber sedimen pada habitat mangrove umumnya berasal dari pengendapan yang dipengaruhi oleh

faktor-faktor oseanografi seperti, gelombang, pasang surut dan arus susur pantai. Selain itu, aliran sungai, aliran permukaan dan air tanah juga berpengaruh terhadap pengendapan sedimen tersebut. Karakteristik fisik sedimen permukaan mangrove berdasarkan ukuran butiran terbagi menjadi komponen pasir, liat dan debu. Namun demikian pada kondisi alami, umumnya jenis tekstur sedimen mangrove berupa lempung berpasir. Tekstur sedimen dalam hal ini dapat mengalami perubahan fisik apabila mengalami gangguan sistem hidrologi akibat penebangan dan aktivitas antropogenik lainnya.

b) Perendaman dan Sistem Hidrologi

Konsep perendaman yang berlaku pada mangrove diartikan sebagai lama waktu lahan mangrove terendam oleh massa air laut. Sementara itu, dinamika hidrologi pada ekosistem mangrove didominasi oleh proses keluar dan masuknya massa air laut yang terjadi secara periodik mengikuti pasang-surut. Proses keluar masuknya massa air laut umumnya akan mengikuti pola tegak lurus garis pantai, di mana air akan menggenangi kawasan dengan ketinggian yang sama dari arah laut, kemudian ke kawasan yang dapat dicapai pasang tertinggi. Berkaitan dengan hal tersebut, terdapat tiga kondisi perendaman pada habitat mangrove yang berbeda berdasarkan *Highest Astronomical Seawater Tide* (HAT) dan *Mean Sea Level* (MSL), yang meliputi (1) perendaman pada lahan yang relatif miring di mana perendaman akan cenderung ke arah darat sehingga zona mangrove daratan menjadi lebih sering kering; (2) pada lahan yang relatif datar, menyebabkan rendaman air pasang akan lebih sering terjadi; (3) pada lahan tepian sungai, rendaman air laut saat pasang yang memasuki muara akan mengarah ke hulu dan kesisi penampang kanan dan kiri sungai,

c) Ketersediaan Hara

Ketersediaan hara sangat berpengaruh terhadap produktivitas dan struktur ekosistem mangrove. Meskipun ekosistem mangrove dikenal sebagai ekosistem yang memiliki produktivitas tinggi, namun sering kali juga mengalami keterbatasan hara. Terdapat dua jenis hara yang sangat menentukan pertumbuhan mangrove, yakni ketersediaan nitrogen dan fosfor (*macro nutrients*). Ketersediaan hara tersebut sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor

abiotik dan biotik seperti tingkat perendaman, tingkat kemiringan, tipe substrat, redoks potensial, spesies mangrove, dekomposisi serasah dan aktivitas mikroba pada substrat. Umumnya ketersediaan hara pada ekosistem mangrove berasal dari input sedimen dari pasang air laut atau dari masukan air tawar dan dekomposisi serasah.

2.5 Fungsi dan Manfaat Ekosistem Mangrove

Ekosistem mangrove menyediakan fungsi dan manfaat yang penting bagi masyarakat dan lingkungan, khususnya di kawasan pesisir, seperti pengendalian dan perlindungan polusi dari bencana. Dalam hal ini, ekosistem mangrove juga memberikan kontribusi penting bagi banyak Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals*, SDGs) yang ditetapkan dalam Agenda 2030 untuk Pembangunan Berkelanjutan. Pentingnya memulihkan dan melindungi ekosistem mangrove tercermin paling jelas dalam SDG 14 (Kehidupan di Bawah Air), yang menyangkut pemanfaatan sumber daya laut secara berkelanjutan (Nurhati dan Murdiyarso, 2023).

Namun demikian, ekosistem mangrove juga berkontribusi terhadap SDG 1 (Pengentasan Kemiskinan) dan SDG 2 (Tanpa Kelaparan) dengan mendukung perikanan dan memproduksi berbagai hasil hutan; SDG 8 (Pekerjaan yang Layak dan Pertumbuhan Ekonomi) dengan memberikan kesempatan kerja dan ekonomi melalui perikanan dan ekowisata; SDG 13 (Penanganan Perubahan Iklim) dengan memitigasi perubahan iklim melalui penyerapan karbon; dan SDG 15 (Ekosistem Daratan) melalui pengelolaan hutan lestari dan konservasi keanekaragaman hayati. Masyarakat lokal, termasuk perempuan, masyarakat adat dan masyarakat terpinggirkan, diharapkan dapat memperoleh berbagai manfaat dari pengelolaan, perlindungan dan restorasi mangrove yang berkelanjutan (Gambar 8) (Eyzaguirre et al., 2023).



Gambar 8. Kontribusi pengelolaan ekosistem mangrove yang berkelanjutan pada SDGs

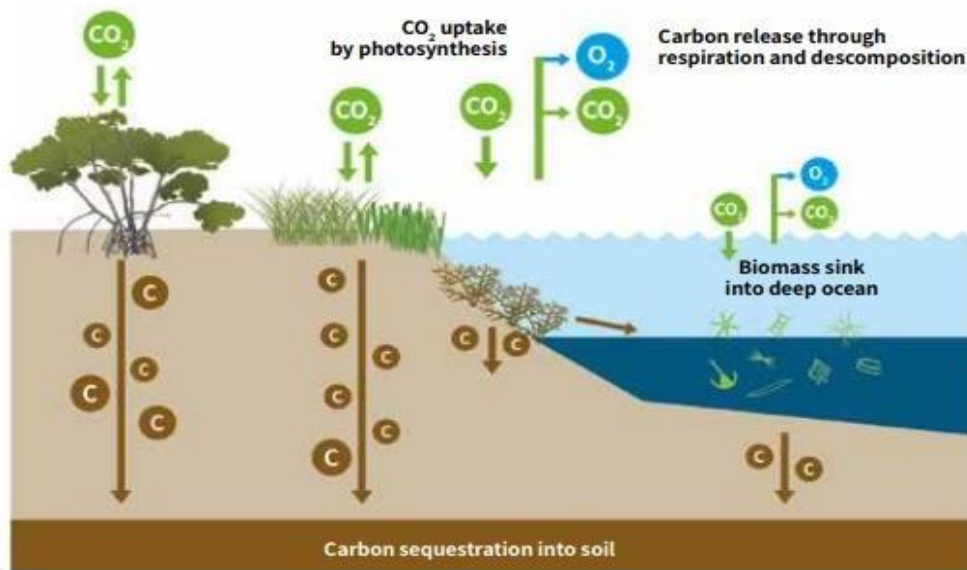
Mangrove menyediakan beragam jasa ekosistem yang sangat diperlukan untuk kesejahteraan manusia, khususnya di daerah pesisir dataran rendah di negara berkembang (Sannigrahi et al., 2020). Secara biologis, ekosistem mangrove berfungsi sebagai tempat berkembang biak bagi fauna air dan tempat akumulasi sedimen dan nutrisi (Harada et al., 2020). Selain itu, ekosistem mangrove juga memainkan peran penting dalam adaptasi perubahan iklim dan pengurangan risiko bencana (Alongi, 2008; Lovelock and Reef, 2020), seperti topan dan gelombang badai (Friess et al., 2019), dan membantu dalam siklus nutrisi dan retensi (Ellison et al., 2020), dan merupakan bagian dari ekosistem *blue carbon* yang dikenal memiliki tingkat penyerapan karbon tertinggi per area habitat yang kira-kira sepuluh kali lipat dari ekosistem darat (Macreadie et al., 2019).

Kemampuan ekosistem mangrove dalam menyerap dan menyimpan karbon dalam jumlah yang besar dan jangka waktu yang lama menjadikan ekosistem mangrove menjadi salah satu *nature based solution* (NbS) untuk mitigasi dan adaptasi perubahan iklim di masa mendatang (Ellison et al., 2020). Berkaitan dengan hal ini, simpanan atau stok karbon rata-rata global di ekosistem mangrove diketahui lebih tinggi daripada jenis hutan lainnya, seperti hutan tropis, hutan sedang, hutan boreal, dan sabana tropis, serta ekosistem *blue carbon* lainnya

(padang lamun dan rawa asin) (Kauffman dan Donato, 2012). Stok karbon pada ekosistem mangrove berasal dari hasil penyerapan karbon dari atmosfer melalui mekanisme sekuestrasi. Dalam mekanisme sekuestrasi, karbon yang diserap oleh vegetasi mangrove akan disimpan ke dalam bentuk biomassa tumbuhan (batang, daun, ranting, hingga serasah) dan di dalam sedimen (Zakaria et al., 2021).

Ekosistem mangrove memiliki kemampuan untuk menyimpan karbon dalam empat kompartemen utama, yakni: biomassa aras (di permukaan tanah), biomassa bawah tanah (akar), material organik, serta karbon yang terakumulasi dalam sedimen (Syukri et al., 2018). Besarnya simpanan karbon pada vegetasi mangrove dipengaruhi oleh diameter batang, total biomassa, kerapatan pohon dan kanopi. Sementara itu, kandungan karbon dalam sedimen memiliki keterkaitan yang lebih kuat dengan komposisi bahan organik dan jenis substrat (Lestariningsih et al., 2018). Menurut Kristensen et al. (2008), karbon organik di dalam sedimen mangrove bersumber dari produksi lokal biomassa (*autochthonous*) dan dari luar sistem (*allochthonous*) seperti partikel yang terbawa oleh proses pasang surut air laut. Berkaitan dengan hal tersebut, kondisi sedimen mangrove yang umumnya bersifat anoksik (minim oksigen) dapat memperlambat proses dekomposisi bahan organik dan memungkinkan sedimen mangrove untuk menyimpan hingga 50 – 90% total karbon ekosistem secara stabil. Proses penyerapan dan penyimpanan karbon ini juga terjadi pada berbagai ekosistem *blue carbon*, dapat dilihat dalam ilustrasi pada Gambar 9.

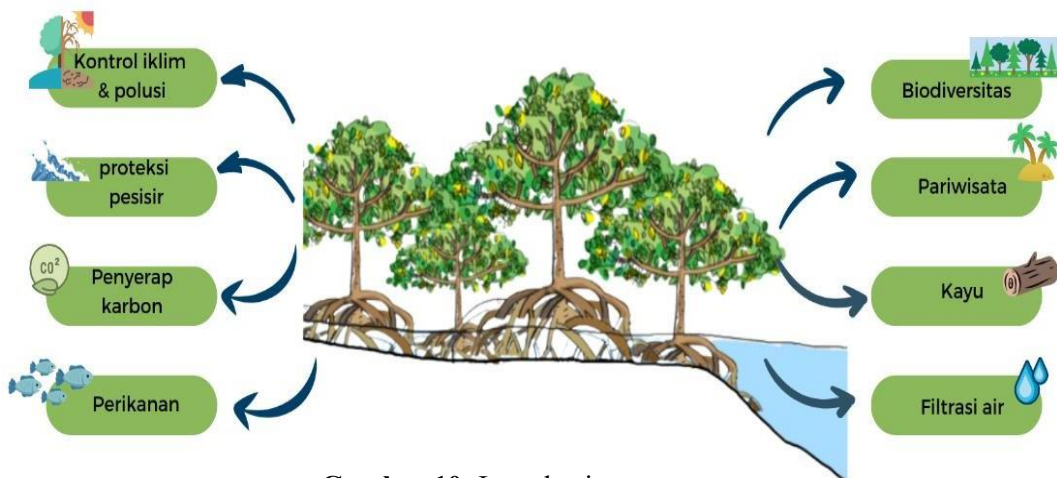
SEKOLAH PASCASARJANA



Gambar 9. Mekanisme sekuestrasi karbon pada ekosistem *blue carbon* (IUCN, 2021)

Di sisi lain, ekosistem mangrove juga menyediakan berbagai manfaat yang dapat mendukung mata pencaharian bagi masyarakat lokal melalui penyediaan sumber daya ikan, madu, daun nipah, kayu, bahan bakar, dan sumber daya medis atau bahan obat-obatan (Schwenke dan Helfer, 2021). Jasa ekosistem mangrove yang meliputi sumber daya perikanan, produk kayu, pariwisata, dan lain sebagainya dapat memberikan manfaat ekonomi secara langsung bagi masyarakat lokal (DasGupta dan Shaw, 2017). Berbagai jasa ekosistem yang disediakan ekosistem mangrove tersaji dalam Gambar 10.

Jasa Ekosistem mangrove



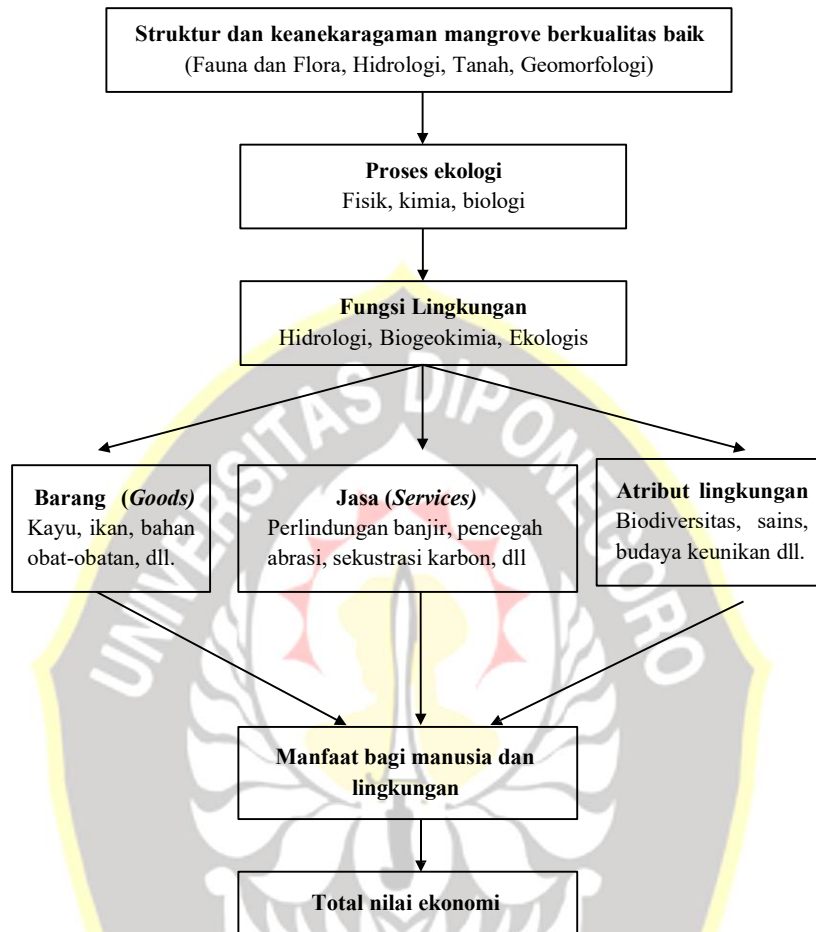
Gambar 10. Jasa ekosistem mangrove (modifikasi, Lai et al., 2022)

2.5 Nilai Ekonomi Mangrove

Seperti disebutkan sebelumnya, ekosistem mangrove menyediakan berbagai jasa ekosistem penting yang bermanfaat tidak hanya bagi lingkungan, namun juga bagi kehidupan masyarakat lokal. Nilai ekonomi total ekosistem terbagi menjadi tiga, yakni nilai guna langsung, nilai guna tidak langsung, dan nilai bukan guna. Nilai guna langsung mengacu pada konsumtif dan pemanfaatan non konsumsi yang memerlukan interaksi fisik langsung dengan mangrove dan jasanya seperti hasil ikan, kayu bakar, rekreasi, dan transportasi.

Nilai guna tidak langsung termasuk peraturan fungsi ekologis, yang mengarah pada manfaat tidak langsung seperti pengendalian banjir, perlindungan badai, retensi nutrisi, tempat pembibitan untuk spesies yang berbeda, dan pengendalian erosi dan sekuestrasi karbon, sedangkan nilai non guna meliputi nilai keberadaan dan nilai warisan mangrove (Salem dan Mercer, 2012). Kualitas (keanekaragaman genetik, spesies dan ekosistem) mangrove akan mendorong proses ekologis yang mengontrol kinerja fungsi lingkungan dan memberikan pasokan barang, jasa dan atribut lingkungan (Ashton dan Macintosh, 2002). Hubungan antara keanekaragaman ekosistem mangrove dan jasa ekosistemnya yang berguna bagi manusia dapat dilihat pada Gambar 11.

SEKOLAH PASCASARJANA



Gambar 11. Representasi diagram hubungan antara keanekaragaman ekosistem mangrove dan jasa ekosistemnya serta manfaatnya bagi manusia (modifikasi, Ashton dan Machintos, 2002)

Saat ini, fungsi ekologis mangrove sebagai ekosistem penyerap karbon sudah sangat diperhitungkan secara ekonomi dalam skala global, terutama karena keterkaitannya dalam mengurangi emisi CO₂ dan mitigasi perubahan iklim. 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). Dalam hal ini, nilai ekonomi dari ekosistem mangrove nilainya diperkirakan berkisar antara USD 2.772 per hektar/tahun hingga USD 80.334 per hektar/tahun, dengan rata-rata USD 28.662 per hektar/tahun (Pendleton *et al.*, 2013).

Berkaitan dengan hal tersebut, Albert et al. (2012) menyatakan bahwa penerapan mekanisme pembayaran jasa ekosistem (PES) pada ekosistem mangrove yang berperan besar sebagai penyerap karbon terbesar melalui skema kredit karbon, berpotensi memberikan manfaat ganda, yakni mendukung upaya pengentasan kemiskinan serta melindungi ekosistem pesisir yang memiliki simpanan karbon tinggi. Penilaian ekonomi terhadap simpanan karbon sebagai bagian dari strategi mitigasi perubahan iklim telah cukup banyak diterapkan, khususnya di negara-negara Uni Eropa dan dalam kerangka kebijakan global (Gren, 2015).

2.6 Kerusakan ekosistem mangrove dan faktor penyebabnya

Beberapa studi terdahulu telah menunjukkan bahwa laju kerusakan dan kehilangan ekosistem mangrove semakin meningkat secara global selama beberapa dekade terakhir, termasuk di Indonesia. Menurut laporan *United Nations Food and Agriculture Organization* (FAO), sekitar 35.600 km² (3.560 ha) mangrove telah dibuka atau sebaliknya musnah antara tahun 1980 dan 2005 (FAO, 2007). Beberapa dekade belakangan ini, kompilasi penelitian global menunjukkan bahwa lebih dari 25% dari tutupan mangrove alami dunia telah hilang (Spalding *et al.*, 2010; Van Bochove *et al.*, 2014). Di sisi lain, menurut laporan FAO (2020) luas ekosistem mangrove di Indonesia diketahui juga 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. Dalam hal ini, deforestasi mangrove terbesar di Indonesia dari tahun 2009–2019 terjadi di Kalimantan, diikuti oleh Sulawesi, Sumatera, Bali dan Nusa Tenggara, Papua, Jawa, dan Kepulauan Maluku (Arifanti *et al.*, 2022a).

Sebagian besar penyebab kerusakan mangrove berasal dari kegiatan antropogenik (*human-caused factor*) Secara umum, ancaman antropogenik primer yang menyebabkan kerusakan ekosistem mangrove meliputi (Van Bochove *et al.*, 2014): (1) Pembangunan pesisir (misalnya, pembangunan jalan, pelabuhan, pertumbuhan perkotaan, dan akomodasi pariwisata); (2) Pertanian dan akuakultur;

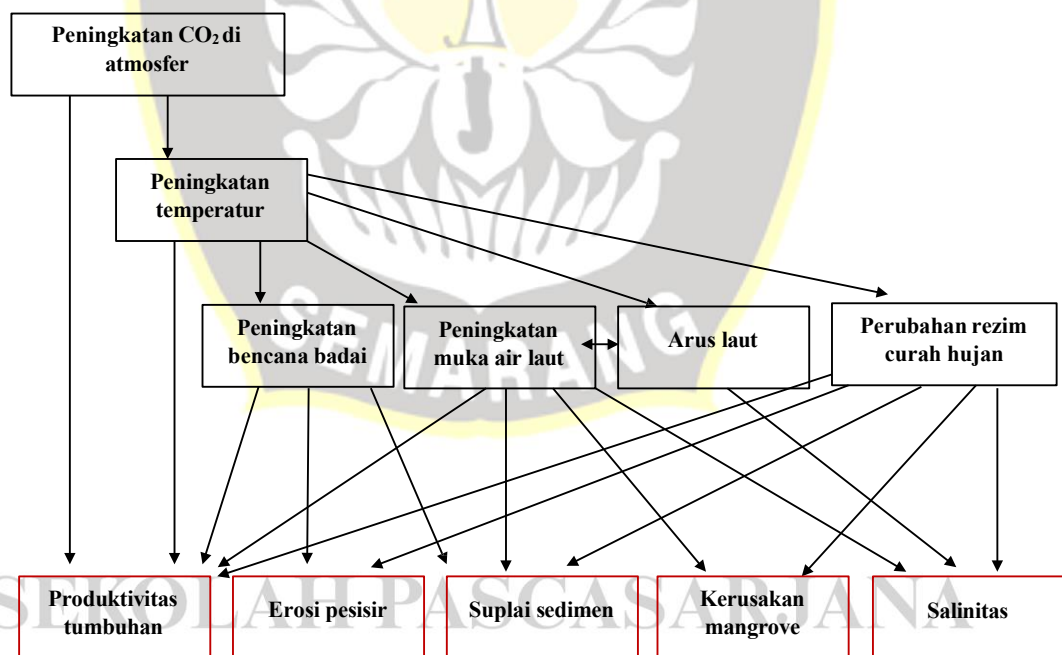
(3) Polusi dan degradasi lingkungan; (4) Eksploitasi lokal (misalnya, kayu untuk memasak atau bangunan).

Kegiatan konversi lahan ekosistem mangrove menjadi tambak budidaya merupakan salah satu faktor utama yang telah berkontribusi besar terhadap laju deforestasi dan degradasi ekosistem mangrove di Indonesia (Ilman *et al.*, 2016). Berdasarkan data, diketahui bahwa luas konversi ekosistem mangrove menjadi tambak budidaya di Indonesia pada periode tahun 1977 – 1993 telah meningkat sebesar 47%, yakni dari 175.606 ha menjadi 268.743 ha (Alikodra, 1998). Kemudian dalam kurun waktu delapan tahun (1997 – 2005) luasan ekosistem mangrove yang dikonversi menjadi tambak telah mencapai 0,65 juta ha (Murdiyarto *et al.*, 2015).

Berkaitan dengan hal ini, kawasan pantai utara (Pantura) Jawa merupakan salah satu wilayah yang mengalami degradasi ekosistem mangrove secara drastis. Pada tahun 1982, luas mangrove di wilayah tersebut diperkirakan mencapai 49.934 ha, namun jumlah tersebut menyusut secara drastis menjadi hanya 19.077 ha pada tahun 1993. Saat ini, sebagian besar ekosistem mangrove yang tersisa di Pantura Jawa hanya berbentuk fragmen-fragmen kecil, sering kali berupa lahan bekas tambak budidaya, sebagian area lainnya juga mengalami kerusakan akibat abrasi dan hantaman gelombang laut (Pramudji, 2015).

Ekspansi tambak secara besar-besaran di kawasan ekosistem mangrove dalam hal ini dipicu oleh kebijakan Pemerintah melalui Program Intensifikasi Tambak (INTAM) pada tahun 1984 di 12 Provinsi yang tersebar di Sumatera, Jawa, Sulawesi, dan Kalimantan (Sualia *et al.*, 2010). Perluasan tambak budidaya pada periode tahun tersebut merupakan salah satu upaya untuk mengimbangi kekurangan pasokan ekspor udang akibat adanya pelarangan penggunaan *trawl* (Keputusan Presiden No.39 Tahun 1980). Akibatnya, dalam kurun waktu 30 tahun, tercatat \pm 800.000 ha mangrove telah hilang di wilayah tersebut, di mana saat ini sebagian besarnya merupakan tambak dengan produktivitas rendah atau tambak yang terbengkalai (Ilman *et al.*, 2016).

Selain faktor antropogenik, kerusakan ekosistem mangrove saat ini juga semakin diperparah dengan adanya dampak dari perubahan iklim. Beberapa penelitian telah menganalisis dan memprediksi tentang apa yang mungkin terjadi pada ekosistem mangrove apabila temperatur bumi terus meningkat, permukaan laut naik, dan komposisi kimia atmosfer dan lautan berubah (Gilman et al., 2008; Di Nitto et al., 2014; Alongi dan Mukhopadhyay, 2015) . Perubahan iklim kemungkinan besar berdampak besar pada ekosistem mangrove (Ellison 2015), melalui proses termasuk kenaikan permukaan laut (SLR), perubahan arus laut, peningkatan badai, peningkatan suhu, perubahan curah hujan, dan peningkatan CO₂ (Gambar 12) (McKee *et al.* 2012). Faktor-faktor tersebut saling terkait dan variabel spasial pada skala antar wilayah (iklim, geomorfologi, keanekaragaman hayati, struktur hutan, rentang pasang surut, dampak perubahan iklim).



Gambar 12. Faktor yang mempengaruhi perubahan iklim dan dampaknya pada mangrove (modifikasi, Ward et al., 2016)

Dalam hal ini, kenaikan muka air laut merupakan ancaman utama dari perubahan iklim yang akan berdampak signifikan pada ekosistem mangrove, karena mangrove sensitif terhadap perubahan durasi dan frekuensi genangan serta tingkat salinitas yang melebihi ambang toleransi fisiologis spesifik spesies (Friess *et al.*

2012). Peningkatan durasi banjir dapat menyebabkan kematian vegetasi mangrove ke arah laut (He *et al.* 2007) serta pergeseran komposisi spesies (Gilman *et al.* 2008), yang pada akhirnya menyebabkan penurunan produktivitas (Castañeda-Moya *et al.*, 2013) dan jasa ekosistem mangrove.

Studi Godoy dan De Lacerda (2015) telah mengungkapkan mengenai respons mangrove terhadap perubahan iklim global, di mana studi ini menunjukkan bahwa kawasan mangrove yang cenderung akan rusak akibat perubahan lingkungan dan perubahan iklim, sebagian besarnya terletak di pulau-pulau samudera dan delta dari sejumlah sungai tropis besar, dan lokasi pesisir yang dikelilingi oleh tebing curam. Wilayah pesisir yang terletak pada kawasan yang cenderung berlereng akan terancam tenggelam oleh air laut yang semakin tinggi dan bergerak ke arah darat, sedangkan beberapa kawasan mangrove juga akan menghadapi penurunan curah hujan dan intrusi garam. Berkaitan dengan hal tersebut, mangrove akan menanggapi perubahan kondisi gelombang dan salinitas dengan bermigrasi ke tempat-tempat yang lebih jauh ke arah pedalaman (darat), sering kali dengan mengekspansi spesies tanaman lain dan kemampuan mereka untuk memanfaatkan kondisi musim dingin yang lebih hangat dengan memperluas batas mereka ke garis lintang yang lebih tinggi.

Dengan demikian, pengawasan pemahaman tentang respons mangrove terhadap perubahan iklim, serta kesadaran akan nilai barang dan jasa ekosistem mangrove, akan berkontribusi pada penurunan risiko hilangnya ekosistem mangrove akibat dampak perubahan iklim. Dalam hal ini, masa depan ekosistem mangrove sangat tergantung pada tingkat intervensi manusia dan interaksinya dengan perubahan terkait iklim.

2.7 Dampak kerusakan mangrove terhadap stok dan potensi emisi karbon

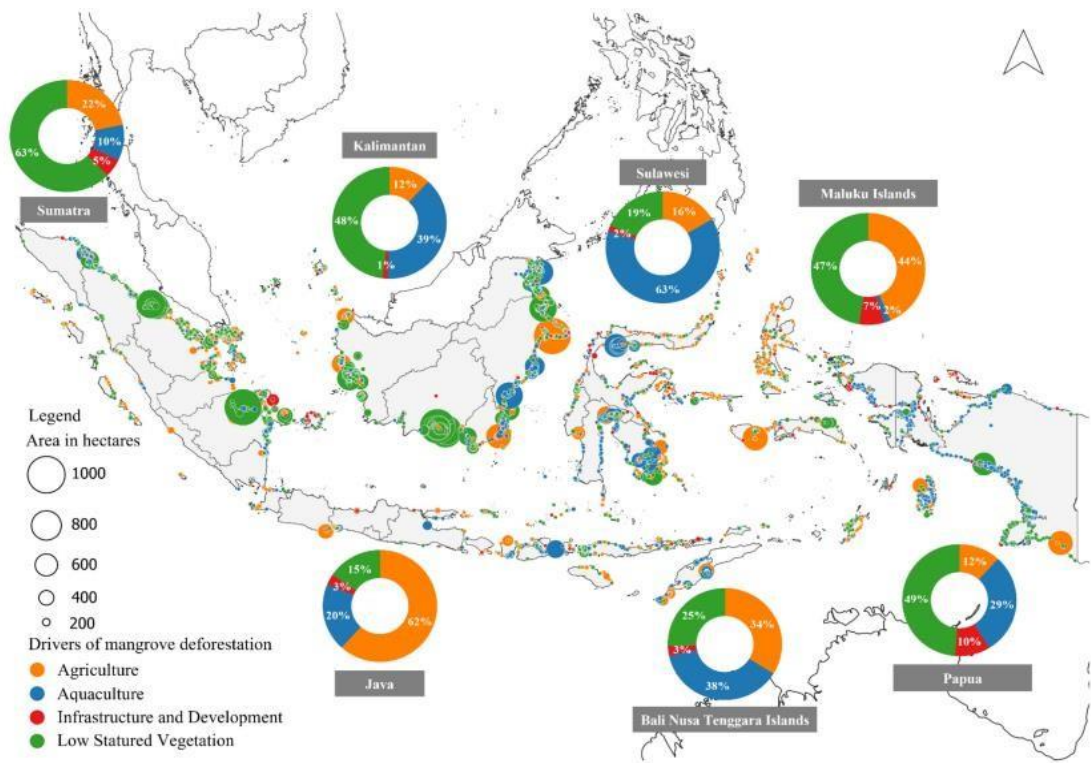
Secara global, ekosistem mangrove telah mengalami deforestasi dan degradasi akibat perubahan penggunaan lahan yang juga diperparah dengan adanya perubahan iklim. Dampak degradasi ekosistem mangrove dalam hal tidak hanya pada hilangnya biodiversitas, perlindungan pesisir dan sumber mata

pencapaian masyarakat, namun juga pada kapasitasnya sebagai ekosistem penyerap karbon (Kusumaningtyas et al., 2019). Penelitian terhadap emisi karbon yang dihasilkan dari degradasi ekosistem mangrove telah banyak diteliti dan dilaporkan dalam skala global, namun data terkait hal tersebut masih sangat terbatas pada skala nasional dan regional karena adanya variabilitas geografis dan keterbatasan data lapangan (Sasmito et al., 2019).

Deforestasi dan konversi lahan ekosistem mangrove dalam hal ini akan menghasilkan emisi CO₂ yang signifikan (Atwood et al., 2017; Hamilton dan Friess, 2019), terhitung cukup besar proporsi emisi GRK untuk beberapa negara (Murdiyarto et al., 2015; Taillardat et al., 2018). Dalam hal ini, pada rentang tahun 1980 – 2005, Indonesia diperkirakan telah kehilangan sekitar 30% hutan mangrove yang setara dengan laju deforestasi tahunan sebesar 1,24% atau perkiraan 0,19 Pg CO₂e tahun⁻¹ (FAO, 2007; Murdiyarto *et al.*, 2015).

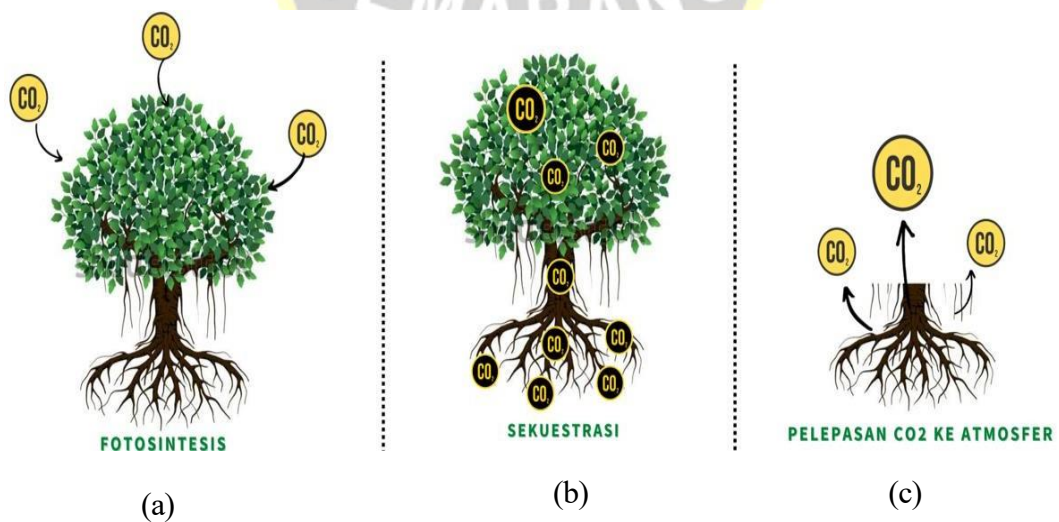
Konversi hutan mangrove menjadi tambak merupakan salah satu penyebab utama dari penurunan mangrove di Indonesia yang diperkirakan mulai terjadi sejak periode tahun 1980 -2003 (Ilman et al., 2016). Selain itu, deforestasi mangrove di Indonesia juga disebabkan oleh konversi menjadi lahan dengan vegetasi rendah (vegetasi transisi), pertanian, dan pembangunan infrastruktur. Dalam skala nasional, tambak budidaya menyumbang 31% dari laju deforestasi, dan pertanian menyumbang 19% (Gambar 13) (Arifanti et al., 2022b).

SEKOLAH PASCASARJANA



Gambar 13. Peta Indonesia menunjukkan proporsi pemicu deforestasi mangrove per wilayah (Arifanti *et al.*, 2022b)

Berkaitan dengan hal ini, deforestasi mangrove tidak memberikan dampak secara signifikan pada stok karbon sedimen, tetapi dapat menghilangkan hampir semua stok karbon yang tersimpan pada biomassa hidup seperti yang ditampilkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Dinamika stok karbon di ekosistem mangrove; (a) Fotosintesis; (b) Sekuestrasi; (c) Pelepasan CO₂ ke atmosfer pada ekosistem mangrove

Di sisi lain, konversi ekosistem mangrove menjadi lahan per tambakan atau akuakultur berpotensi untuk menghilangkan 60% stok karbon sedimen dan 85% stok karbon yang tersimpan pada biomassa hidup. Studi oleh Arifanti *et al.* (2019) mengenai dinamika karbon pada ekosistem mangrove yang dikonversi akuakultur dengan studi kasus di Delta Mahakam, telah menunjukkan bahwa stok karbon pada lahan ekosistem mangrove memiliki nilai yang jauh lebih rendah dibandingkan pada ekosistem mangrove alami, di mana nilai tersebut setara dengan potensi faktor emisi tahunan selama 16 tahun setelah konversi mangrove sebesar $120 \text{ Mg CO}_2\text{e ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$. Konversi mangrove tambak udang di Delta Mahakam dalam hal ini telah mengakibatkan hilangnya karbon setara dengan 226 tahun akumulasi karbon tanah di ekosistem mangrove alami. Sementara itu, pada skala nasional, potensi emisi CO_2 pada ekosistem mangrove di Indonesia yang dikonversi ke penggunaan lahan lain adalah $137 \text{ Mg CO}_2\text{e ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$.

Sebaliknya, restorasi dan rehabilitasi ekosistem mangrove yang terjaga dalam kurun waktu selama lebih dari 25 tahun diperkirakan dapat mencapai tingkat stok karbon biomassa yang sama dibandingkan dengan ekosistem mangrove yang tidak terganggu, dengan tingkat akumulasi biomassa tahunan sebesar $3,6 \pm 1,1 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$. Dalam hal ini, tatanan hidrogeomorfik akan mengendalikan dinamika alami stok karbon pada ekosistem mangrove, sementara perubahan tata guna lahan jangka panjang akan mengakibatkan hilangnya stok karbon yang signifikan pada ekosistem mangrove (Sasmito *et al.*, 2019).

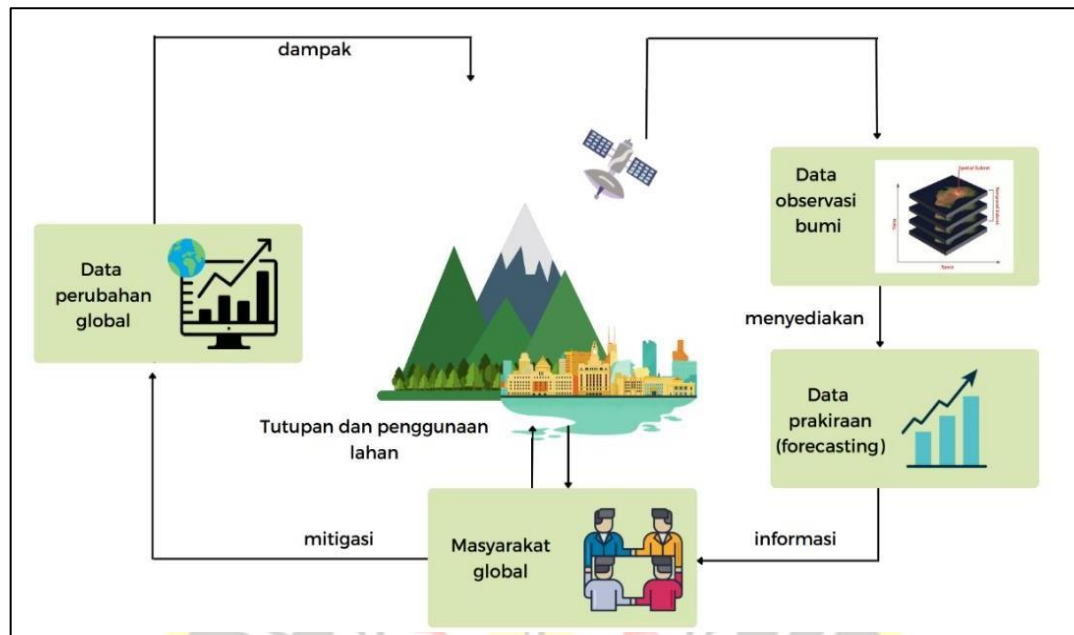
Oleh karena kapasitas ekosistem mangrove dalam menyimpan stok karbon yang signifikan dan ditambah dengan berbagai jasa ekosistem lainnya menjadikan ekosistem mangrove diakui sebagai komponen utama dalam *nature climate solution* yang akan berkontribusi besar dalam tercapainya agenda iklim nasional dan internasional. Dalam kaitannya dengan upaya penanggulangan perubahan iklim, upaya konservasi yang ditambah dengan upaya memulihkan atau merestorasi ekosistem mangrove yang terdegradasi akan menjadi langkah yang efektif dalam mengurangi emisi CO_2 serta memainkan peranan yang besar untuk tercapainya komitmen Indonesia dalam mitigasi perubahan iklim (Arifanti *et al.*, 2022).

2.8 Monitoring perubahan spasial-temporal pada ekosistem mangrove

Analisis spasial-temporal, merupakan analisis yang digunakan untuk menggambarkan suatu fenomena di lokasi dan waktu tertentu dengan menggunakan data yang dikumpulkan melintasi ruang dan waktu (Longley *et al.* 2015). Analisis data spasial dan temporal dalam hal ini sangat dikenal dalam bidang Sistem Informasi Geografis (SIG) dan penginderaan jauh menggunakan data citra satelit. Dalam hal ini, data spasial yang dikorelasikan dengan analisis secara temporal atau *time series* akan memberikan hasil yang signifikan dalam studi deteksi perubahan (Pandey, 2016).

Saat ini, ketersediaan data observasi bumi (*Earth observation data*) untuk mendeteksi perubahan spasial-temporal lingkungan sudah sangat luas dan berkualitas tinggi dan disertai dengan cara distribusi dan analisis data yang baru dan inovatif. Pengamatan kondisi lingkungan menggunakan data observasi bumi ini dimungkinkan untuk memahami proses lingkungan dan memberikan gambaran langkah pengelolaan dan menjadi basis dalam pembuatan data prakiraan (*forecasting data*) yang dapat memberikan informasi terkait kebijakan yang tepat dalam menghadapi tantangan perubahan global dan memitigasi konsekuensinya.

Relevansi data observasi bumi untuk peramalan dinamika permukaan tanah dapat dilihat pada Gambar 15. Perubahan global dalam hal ini akan berdampak pada kondisi permukaan bumi dalam banyak hal. Dinamika ini secara langsung memengaruhi mata pencaharian masyarakat dan dapat dipantau dengan satelit penginderaan jauh yang menghasilkan data set geospasial deret waktu. Hal tersebut dapat memberikan informasi terkait proses di permukaan bumi dan memungkinkan analisis data prakiraan. Data prakiraan dapat menjadi basis informasi dalam pembuat kebijakan, perencanaan, serta masyarakat secara keseluruhan untuk mengambil tindakan guna memitigasi perubahan global itu sendiri dan dampaknya terhadap permukaan tanah dan penggunaan lahan (Koehler dan Kuenzer, 2020)



Gambar 15. Relevansi data observasi bumi untuk memperkirakan perubahan lingkungan (modifikasi, Koehler dan Koenzer, 2020)

Berkaitan dengan hal ini, penggunaan teknik penginderaan jauh dan analisis selanjutnya melalui SIG merupakan metode yang terbilang efektif untuk memantau perubahan lanskap temporal dan spasial. Dalam kaitannya dengan pemantauan kondisi ekosistem mangrove, citra satelit penginderaan jauh multi-temporal dapat digunakan untuk mengeksplorasi bagaimana ekosistem mangrove mengalami perubahan dari waktu ke waktu dan memfasilitasi intervensi kritis untuk keberlanjutan ekologis dan pengelolaan yang efektif (Cayetano et al., 2023). Kondisi ekosistem mangrove saat ini yang cenderung telah mengalami perubahan dari waktu ke waktu akibat adanya aktivitas konversi lahan dan juga dampak dari perubahan iklim menyebabkan adanya kebutuhan yang mendesak untuk menilai pola perubahan spasial-temporal dan penyebab dominannya untuk konservasi yang efisien perencanaan dan pengelolaan ekosistem mangrove (Blasco et al., 1996).

Potensi penggunaan teknologi penginderaan jauh dan SIG telah membantu para ilmuwan dan perencana utama memiliki alternatif pilihan strategi dalam pengelolaan sumber daya alam dan lingkungan (Hu et al., 2018). Akibatnya, penginderaan jauh dan SIG digunakan sebagai alat yang efektif dalam pengelolaan dan pengendalian yang dekat dengan sumber daya hutan saat ini karena dinilai dapat

memberikan data dan informasi dengan cakupan daerah yang luas dan mendeteksi perubahan dari waktu ke waktu (Aslan et al., 2016; Zhang et al., 2017; Faruque et al., 2022; Maung et al., 2024)

Dalam dua dekade terakhir, perkembangan teknologi penginderaan jauh dan SIG telah memungkinkan pemantauan tutupan mangrove secara lebih efisien, akurat, dan berkelanjutan (Chen, 2023; Navin & Agilandeewari, 2020; Wang et al., 2023). Salah satu platform yang banyak digunakan dalam studi dinamika mangrove adalah *Google Earth Engine* (GEE), sebuah platform komputasi yang menyediakan akses terhadap arsip data satelit global seperti Landsat dan Sentinel secara gratis dan mudah. Melalui GEE, pengguna dapat mengakses, memvisualisasikan, dan memproses data citra multi-temporal secara langsung tanpa perlu mengunduh data mentah, sehingga mempercepat proses analisis spasial dan temporal (Xie et al., 2022). Platform ini juga menyediakan berbagai algoritma klasifikasi dan deteksi perubahan tutupan lahan yang dapat digunakan untuk memantau degradasi maupun restorasi ekosistem mangrove secara sistematis dan berskala luas (De Alban et al., 2020; Chowdhury & Hafsa, 2022; Rondon et al., 2023).

Citra Landsat telah digunakan secara luas dalam pemetaan mangrove selama lebih dari empat dekade (Alongi, 2008). Data ini memiliki resolusi spasial 30 meter dan mencakup spektrum elektromagnetik seperti merah (red) dan inframerah-dekat (NIR) yang sangat efektif dalam membedakan vegetasi dengan non-vegetasi berdasarkan kandungan klorofil-a (Utami et al., 2016; Riyono, 2007). Sensor-sensor yang digunakan antara lain MSS (*Multi Spectral Scanner*) pada Landsat 1–5, TM (*Thematic Mapper*) dan ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) pada Landsat 4–7, serta OLI (*Operational Land Imager*) dan TIRS (*Thermal Infra-red Sensor*) pada Landsat 8, yang secara keseluruhan menyediakan spektrum dari pantulan tampak, inframerah, hingga termal. Sementara itu, Sentinel-2 menawarkan resolusi spasial yang lebih tinggi (10–20 meter) dan cakupan spektral yang lebih kaya, memungkinkan pemantauan struktur kanopi dan deteksi perubahan vegetasi yang lebih rinci.

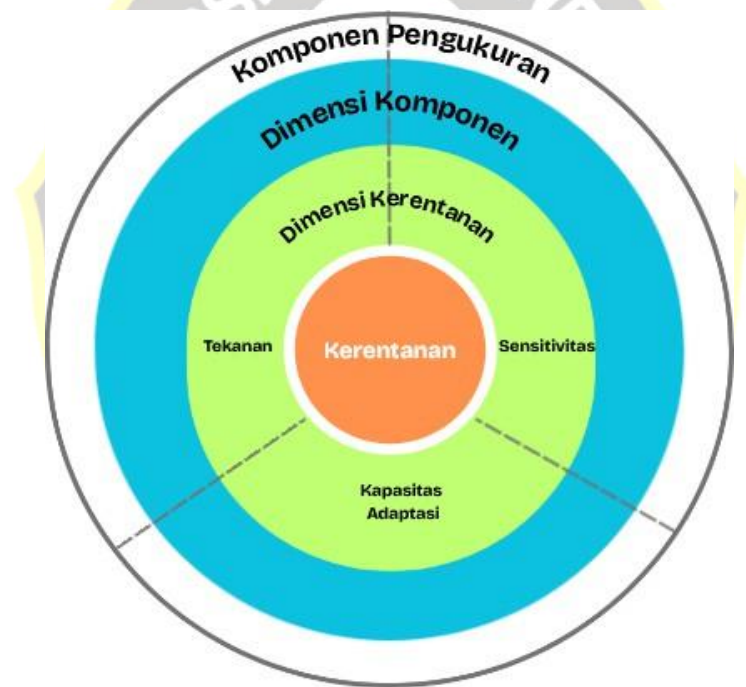
Pengindraan jauh untuk vegetasi mangrove mengandalkan dua sifat penting yaitu keberadaan klorofil-a dan lokasi tumbuh di wilayah pesisir (Utami et al., 2016). Klorofil-a memiliki karakteristik optik khas dengan serapan tinggi pada spektrum biru ($\sim 0,43 \mu\text{m}$) dan merah ($\sim 0,66 \mu\text{m}$) serta pantulan tinggi pada inframerah dekat, yang dimanfaatkan oleh sensor satelit dalam membedakan tutupan vegetasi (Riyono, 2007). Band 3 dan 4 pada Landsat 8, misalnya, dirancang untuk mendeteksi spektrum hijau dan merah yang relevan dalam memisahkan vegetasi dari lahan terbuka atau badan air.

Di samping analisis historis, model prediktif berbasis spasial semakin banyak digunakan untuk meramalkan skenario perubahan tutupan lahan di masa depan. Salah satu alat yang banyak digunakan adalah plugin MOLUSCE (*Modules for Land Use Change Simulation*) dalam perangkat lunak QGIS. MOLUSCE memungkinkan simulasi perubahan tutupan lahan melalui integrasi antara model probabilistik *Markov Chain* dan pendekatan spasial *Cellular Automata (CA)* (Muhammad et al., 2022; Lukas et al., 2023; Sabri & Khayyun, 2024). Model *Markov Chain* digunakan untuk menghitung probabilitas transisi antar kelas lahan berdasarkan data historis, sedangkan CA memodelkan dinamika spasial dengan mempertimbangkan kondisi lingkungan sekitar (*neighborhood effects*). Pendekatan ini memberikan hasil simulasi yang lebih realistis karena memperhitungkan faktor spasial seperti kedekatan dengan infrastruktur, permukiman, badan air, dan tekanan antropogenik lainnya.

Penggunaan MOLUSCE dengan algoritma CA menjadi penting dalam konteks perencanaan restorasi dan konservasi mangrove, karena memungkinkan identifikasi area yang rentan terhadap konversi lahan atau berpotensi untuk direstorasi. Di Indonesia, penerapan model ini masih relatif terbatas dan belum banyak diterapkan secara komparatif di berbagai wilayah pesisir dengan karakteristik hidrogeomorfologi dan tekanan manusia yang beragam.

2.9 Analisis kerentanan ekosistem mangrove

Analisis kerentanan ekosistem mangrove merupakan pendekatan strategis dalam memahami bagaimana ekosistem ini merespons berbagai tekanan, baik dari perubahan iklim global maupun aktivitas manusia yang bersifat lokal. Konsep kerentanan ekologis mengacu pada derajat di mana suatu sistem ekologis terpapar, sensitif, dan memiliki kemampuan terbatas untuk beradaptasi terhadap tekanan eksternal, seperti kenaikan muka air laut, peningkatan frekuensi badai, perubahan pola salinitas, serta deforestasi akibat konversi lahan (Ellison, 2015)



Gambar 16. Kerentanan sebagai fungsi gabungan dari eksposur, sensitivitas, dan kapasitas adaptif (diadaptasi dari Polsky et al., 2007; Ellison et al., 2015)

Tiga komponen utama dalam analisis kerentanan mencakup eksposur (*exposure*), sensitivitas (*sensitivity*), dan kapasitas adaptif (*adaptive capacity*), yang secara bersama-sama menentukan tingkat risiko yang dihadapi suatu ekosistem (Gambar 16). Pendekatan ini telah digunakan secara luas untuk mengevaluasi risiko terhadap berbagai sistem pesisir, termasuk hutan mangrove, yang dikenal memiliki kepekaan tinggi terhadap perubahan lingkungan.

Komponen **eksposur** menggambarkan sejauh mana suatu ekosistem mengalami tekanan atau gangguan lingkungan, seperti kenaikan muka air laut

relatif (*relative sea-level rise*), abrasi pantai, dan perubahan pola pasang surut. Studi Gornitz (1991) dan Abuodha & Woodroffe (2010) menekankan bahwa wilayah pesisir dengan morfologi datar, elevasi rendah, dan tingkat akresi sedimen yang lambat memiliki eksposur tinggi terhadap kenaikan muka air laut. Dalam konteks ekosistem mangrove, kawasan yang telah mengalami degradasi akibat eksploitasi sumber daya, pembangunan infrastruktur pesisir, atau konversi menjadi tambak memiliki eksposur yang semakin meningkat. Selain itu, perubahan iklim juga meningkatkan frekuensi dan intensitas badai serta curah hujan ekstrem, yang berdampak pada kestabilan substrat dan keseimbangan hidrologi di zona mangrove (Alongi, 2015).

Sementara itu, **sensitivitas** mencerminkan tingkat kerentanan biologis dan ekologis dari ekosistem terhadap gangguan. Parameter sensitivitas dapat mencakup struktur komunitas vegetasi, tingkat keragaman spesies, kapasitas regenerasi alami, serta keterkaitan dengan ekosistem lain seperti lamun dan terumbu karang. Ekosistem mangrove yang memiliki dominasi satu spesies, umur pohon seragam, atau tingkat kerusakan tinggi umumnya menunjukkan sensitivitas yang lebih besar terhadap perubahan lingkungan. Selain itu, sensitivitas juga dipengaruhi oleh karakteristik lokal seperti jenis tanah, salinitas, dan dinamika sedimen. Dalam penelitian McLeod & Salm (2006), sensitivitas ekosistem dikaitkan pula dengan tingkat keterkaitan antara fungsi ekologis dan jasa ekosistem yang disediakan. Dengan kata lain, ekosistem yang menyediakan berbagai fungsi penting, seperti perlindungan pantai dan penyimpanan karbon, tetapi berada dalam kondisi terdegradasi, menunjukkan tingkat sensitivitas yang tinggi karena fungsinya dapat terganggu secara signifikan jika terjadi tekanan tambahan.

Komponen ketiga, yaitu **kapasitas adaptif**, merujuk pada kemampuan suatu ekosistem dan masyarakat yang bergantung padanya untuk menyesuaikan diri terhadap tekanan, mempertahankan struktur dan fungsi dasarnya, serta pulih setelah mengalami gangguan. Kapasitas adaptif ekosistem mangrove dapat dilihat dari kemampuan pohon untuk tumbuh mengikuti kenaikan permukaan laut melalui proses akresi vertikal, serta dari ketahanan genetik spesies terhadap perubahan salinitas dan suhu. Selain faktor ekologis, kapasitas adaptif juga mencakup dimensi

sosial dan kelembagaan, seperti dukungan kebijakan konservasi, partisipasi masyarakat lokal dalam pengelolaan, dan efektivitas program rehabilitasi (Ellison, 2015; Gilman et al., 2008). Sebuah ekosistem yang memiliki komunitas sosial yang aktif, kebijakan pengelolaan berbasis ekosistem, serta jaringan monitoring lingkungan yang baik akan memiliki kapasitas adaptif yang lebih tinggi dibandingkan ekosistem yang mengalami marginalisasi sosial dan lemahnya institusi lingkungan.

Berbagai studi terdahulu telah mengembangkan indeks dan kerangka penilaian kerentanan yang mengintegrasikan ketiga komponen tersebut, baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Sebagai contoh, *Coastal Vulnerability Index (CVI)* yang dikembangkan oleh Gornitz (1991) menggabungkan data elevasi, erosi pantai, dan perubahan garis pantai untuk mengidentifikasi zona dengan kerentanan tinggi. Cooper & McLaughlin (2010) menekankan pentingnya mengintegrasikan variabel fisik, ekologis, dan sosial dalam penilaian kerentanan berbasis spasial. Di tingkat global, Ellison (2015) mengembangkan kerangka kerja berbasis ekosistem untuk menilai kerentanan hutan mangrove terhadap tekanan iklim dan non-iklim, termasuk fragmentasi habitat dan eksploitasi berlebih. Sementara itu, dalam konteks nasional, Analuddin et al. (2024) menerapkan pendekatan penilaian kerentanan berbasis geospasial di wilayah pesisir Sulawesi dengan mengintegrasikan data elevasi, tutupan lahan, jarak dari garis pantai, serta indikator sosial seperti kepadatan penduduk dan ketergantungan ekonomi terhadap sumber daya pesisir. Studi tersebut menunjukkan bahwa daerah dengan eksposur tinggi dan kapasitas adaptasi rendah cenderung memiliki tingkat kerentanan yang lebih besar, sehingga memerlukan prioritas intervensi pengelolaan.

Penilaian kerentanan ekosistem mangrove tidak hanya bersifat diagnostik, tetapi juga strategis dalam mendukung pengambilan keputusan dan perencanaan adaptasi jangka panjang. Hasil analisis kerentanan dapat digunakan untuk mengidentifikasi wilayah prioritas konservasi, merancang strategi rehabilitasi, dan memperkuat ketahanan sosial-ekologis masyarakat pesisir. Dengan demikian, integrasi penilaian kerentanan ke dalam kerangka perencanaan dan kebijakan pesisir akan memperkuat upaya konservasi mangrove yang berkelanjutan, sekaligus

meningkatkan kapasitas adaptif komunitas lokal dalam menghadapi tantangan perubahan lingkungan di masa depan.

2.10 Pengelolaan ekosistem mangrove yang berkelanjutan

Ekosistem mangrove di Indonesia mempunyai potensi besar untuk berkontribusi dalam mitigasi perubahan iklim. Ekosistem mangrove juga menawarkan potensi besar untuk mitigasi dan adaptasi perubahan iklim berbasis reboisasi, yang mungkin berkontribusi pada upaya restorasi mangrove dan mencegah degradasi ekosistem tersebut (Hai et al., 2020). Tujuan dari pengelolaan ekosistem mangrove dalam hal ini adalah untuk mencapai manfaat yang besar dari ekosistem mangrove secara berguna dan dengan menerapkan kaidah kelestarian (Datta et al., 2012). Secara umum, pengelolaan ekosistem mangrove merupakan upaya pengimplementasian tata cara pengurusan dan pengusahaan ekosistem mangrove serta teknis dalam upaya pemanfaatan sumber daya alam yang ada di dalamnya.

Namun demikian, hal tersebut tidak dapat menjadi satu-satunya jaminan efektivitas pencegahan dan penanganan degradasi mangrove karena peraturan tersebut sering kali sulit untuk diterapkan di lapangan. Pendekatan yang tepat dalam pengelolaan mangrove berkelanjutan yang meliputi perencanaan, pelaksanaan pengelolaan, pemantauan, dan evaluasi program juga diperlukan untuk mencegah dan mengatasi degradasi ekosistem mangrove (Ritabulan et al., 2019). Sehubungan dengan hal ini, upaya pengelolaan mangrove secara berkelanjutan diarahkan untuk mendorong partisipasi aktif para pemangku kepentingan lokal dalam proses tata kelola. Keterlibatan ini tidak hanya memperkuat aspek kolaboratif pengelolaan, tetapi juga berperan penting dalam menekan laju kehilangan mangrove dan mencegah terjadinya degradasi ekosistem mangrove secara berkelanjutan (Chamberland-Fontaine *et al.*, 2022).

Pengelolaan mangrove berkelanjutan di Indonesia, saat ini masih menghadapi berbagai tantangan besar yang mencakup permasalahan sosial, ekologi, dan ekonomi serta tumpang tindih kewenangan (Arifanti *et al.*, 2022). Tumpang tindih kepentingan dan kewenangan antara sektor kehutanan dan

perikanan – kelautan mempengaruhi keberhasilan penegakan hukum. Terkait dengan hal tersebut, tumpang tindih klaim kewenangan dari lembaga pemerintah terjadi karena adanya perbedaan konsep dan prioritas dalam pembangunan dan pengelolaan ekosistem mangrove berkelanjutan sehingga menyebabkan peraturan yang saling bertentangan dan mengganggu sinergi antar lembaga yang berdampak pada pengelolaan ekosistem mangrove (Mursyid *et al.*, 2021).

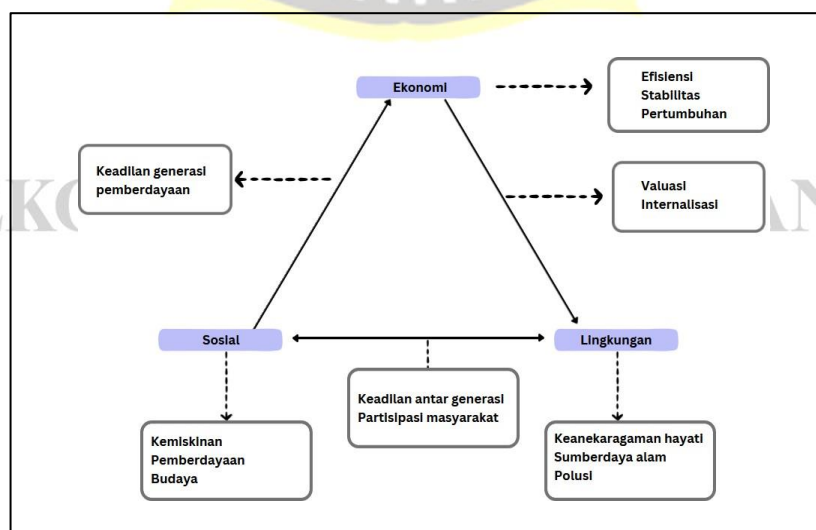
Tumpang tindih peraturan dan kewenangan, juga terjadi di negara lain, seperti Vietnam dan Filipina, di mana pengelolaan mangrove juga dipengaruhi oleh konflik yurisdiksi hukum antara kedua kementerian sehingga menyebabkan kebingungan bagi pemangku kepentingan dan ambiguitas dalam pengelolaan mangrove (Rotich dan Mwangi, 2016). Selain itu, kinerja pengelolaan mangrove sering kali terhambat karena tidak adanya kolaborasi berbagai pihak dan keterlibatan masyarakat lokal (Chamberland-Fontaine *et al.*, 2022).

Di sisi lain, kebijakan pengelolaan ekosistem mangrove di Indonesia pada masa lampau yang lebih mementingkan pada peningkatan eksploitasi sumber daya telah menyebabkan tekanan dan dampak kerusakan yang besar pada ekosistem mangrove. Dampak dari kebijakan tersebut masih dapat dirasakan hingga saat ini, di mana permasalahan ekonomi dan ekologi telah terakumulasi dan tercermin pada kondisi penurunan kualitas ekosistem di kawasan pesisir. Kondisi tersebut semakin diperparah dengan persepsi masyarakat pesisir mengenai konsep kepemilikan bersama pada ekosistem mangrove (*common property*) dan seperti menjadi bukan milik siapa pun (*nobody property*). Untuk mengatasi permasalahan tersebut dan meningkatkan efektivitas penerapan peraturan pengelolaan mangrove berkelanjutan, diperlukan partisipasi masyarakat dan berbagai *stakeholder* terkait dalam proses regulasi, komunikasi, informasi, interpretasi, dan jaringan kekuasaan.

Berkaitan dengan hal ini, Presiden Republik Indonesia telah mengeluarkan Peraturan Presiden Nomor 73 Tahun 2012 untuk mengaktifkan birokrasi yang mengatur pengelolaan dan pemanfaatan mangrove. Bersamaan dengan itu, Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional juga menerbitkan Keputusan Menteri Nomor 89 Tahun 2020 tentang Pembentukan Tim Koordinasi Strategis Pengelolaan Lahan Basah untuk Pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan

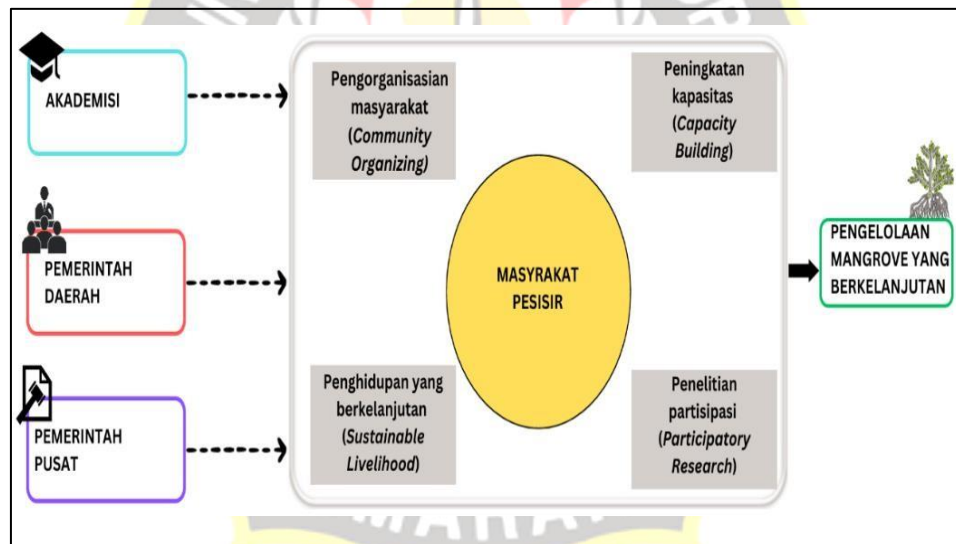
dan Pembangunan Rendah Karbon. Peraturan baru ini dapat memperbarui optimisme dalam melindungi ekosistem mangrove di Indonesia dan mencapai NDC (*National Determined Contribution*) (Mursyid *et al.*, 2021). Terkait hal tersebut, pemerintah Indonesia juga memperbarui target percepatan rehabilitasi dan restorasi ekosistem mangrove seluas 600.000 hektar pada tahun 2024, yang dituangkan dalam Peraturan Presiden Nomor 120 Tahun 2020 dan Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (2020-2024).

Menindaklanjuti hal tersebut, maka dalam rangka untuk mengelola ekosistem mangrove secara berkelanjutan yang seiring dengan meningkatkan kesejahteraan masyarakat lokal, maka implementasi dari kebijakan yang efektif harus didukung dengan rencana strategi yang berbasis isu-isu strategis dan konsep pembangunan berkelanjutan (Miswadi *et al.*, 2015). Adapun tujuan dari pengelolaan ekosistem mangrove yang telah disesuaikan dengan prinsip pengelolaan hutan yang berkelanjutan adalah untuk memperoleh kelestarian hutan secara optimal, di mana manfaat dari segi sosial-ekonomi dan ekologi dari ekosistem mangrove harus dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan saat ini dan generasi mendatang (Kusmana *et al.*, 2015). Prinsip pengelolaan hutan secara berkelanjutan dalam hal ini sejalan dengan pembangunan berkelanjutan yang terdiri dari tiga pilar utama yang saling berkaitan satu sama lainnya, yang meliputi pilar ekonomi, sosial dan lingkungan (Gambar 17) (Munasinghe, 1993).



Gambar 17. Pilar pembangunan berkelanjutan (modifikasi. Askary, 2003)

Berkaitan dengan hal tersebut, menurut penelitian (Faustino et al., 2020) untuk memastikan pelaksanaan upaya pengelolaan ekosistem mangrove yang efektif dan berkelanjutan, maka kerangka pengelolaan partisipatif harus dirancang sebagai dasar panduan dalam perumusan rencana pengelolaan yang berkelanjutan dan konservasi ekosistem mangrove. Dalam hal ini, terdapat tiga aktor atau *stakeholder* utama dalam kerangka pengelolaan partisipatif, di antaranya adalah (1) akademisi, (2) pemerintah daerah, dan (3) pemerintah pusat. Para *stakeholder* utama tersebut harus melakukan kolaborasi untuk dapat melaksanakan pembangunan yang diperlukan oleh masyarakat pesisir, utamanya guna menjaga kelestarian ekosistem mangrove (Gambar 18).



Gambar 18. Kerangka pengelolaan partisipatif pada ekosistem mangrove (modifikasi, Faustino et al., 2020)

Institusi akademisi dalam hal ini dapat menawarkan layanan penelitian dan pengembangan ilmu pengetahuan serta teknologi yang dapat memperkaya wawasan terkait strategi konservasi dan pengelolaan berkelanjutan. Selain itu, akademisi juga memiliki kapasitas sebagai pendidik yang dapat membekali dan mengubah pola pikir masyarakat mengenai program konservasi mangrove yang dapat meningkatkan taraf hidup mereka. Di sisi lain, pemerintah daerah dapat berperan sebagai pemberi modal kepada masyarakat pesisir untuk penghidupan yang berkelanjutan, sehingga dapat mengurangi penggunaan sumber daya mangrove

secara berlebihan, sedangkan pemerintah pusat dapat memberikan bantuan teknis kepada masyarakat melalui penegakan hukum dan peraturan. Pemantauan ketat oleh lembaga-lembaga ini sangat penting untuk keberhasilan pelaksanaan program dan proyek terkait konservasi dan pengelolaan mangrove.

Pengorganisasian masyarakat, peningkatan kapasitas, penelitian partisipatif, dan mata pencaharian berkelanjutan adalah strategi utama yang dapat digunakan untuk meningkatkan pengetahuan, keterampilan dan sikap masyarakat pesisir. Pengorganisasian masyarakat dalam hal ini merupakan suatu proses pemberdayaan pada sektor-sektor yang terpinggirkan agar lebih sadar akan permasalahan dan kekhawatiran pada sektor mereka. dengan pengorganisasian masyarakat, masyarakat pesisir dapat memiliki kebebasan untuk mengevaluasi, mendiskusikan dan menemukan solusi terhadap permasalahan dan kekhawatiran yang ada dalam lingkup kehidupan mereka



SEKOLAH PASCASARJANA