

PERANAN KAWASAN MANGROVE DALAM PENURUNAN EMISI GAS RUMAH KACA DI INDONESIA

THE ROLE OF MANGROVE AREA IN REDUCING GREEN HOUSE GAS EMISSIONS IN INDONESIA

David Gina Kimars Ketaren¹

¹Sekolah Arsitektur, Perencanaan, dan Pengembangan Kebijakan Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesha 10, Bandung

E-mail: davidketaren@yahoo.com

(Diterima: 16 Desember 2022; Diterima setelah perbaikan: 31 Januari 2023; Disetujui: 31 Januari 2023)

ABSTRAK

Gas rumah kaca berperan dalam menentukan suhu atmosfer melalui penyerapan radiasi dan sinar infra merah. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui peran mangrove dalam menurunkan emisi gas rumah kaca. Peningkatan gas rumah kaca di atmosfer akan berpotensi menyebabkan pemanasan global. Gas rumah kaca dihasilkan oleh berbagai aktivitas atau aktivitas manusia, terutama pembakaran bahan bakar fosil baik pada kendaraan bermotor maupun industri. Efek pemanasan global akibat kenaikan konsentrasi gas-gas di atmosfer seperti CO₂ mempengaruhi kenaikan suhu bumi. Ekosistem mangrove sangat penting dalam proses pengurangan emisi gas rumah kaca. Tumbuhan mangrove dapat menyerap karbon dioksida dan mengubahnya menjadi karbon organik, yang disimpan didalam biomassa tubuhnya yaitu seperti pada akar, batang, daun dan bagian lainnya. Memperkirakan potensi penyerapan karbon di vegetasi mangrove untuk mengurangi pemanasan global merupakan indikator penting untuk konservasi ekosistem mangrove.

KATA KUNCI: Gas Rumah kaca, Mangrove, Pemanasan Global

ABSTRACT

Greenhouse gases play a role in determining the temperature of the atmosphere through the absorption of radiation and infrared rays. An increase in greenhouse gases in the atmosphere will potentially cause global warming. Greenhouse gases are produced by various activities or human activities, especially the burning of fossil fuels in both motor vehicles and industry. The effect of global warming due to the increase in the concentration of gases in the atmosphere such as CO₂ affects the increase in the earth's temperature. Mangrove ecosystems are very important in the process of reducing greenhouse gas emissions. Mangrove plants can absorb carbon dioxide and convert it into organic carbon, which is stored in their body biomass, such as roots, stems, leaves, and other parts. Estimating the potential for carbon sequestration in mangrove vegetation to reduce global warming is an important indicator for the conservation of mangrove ecosystems.

KEYWORDS: *Greenhouse Gases, Mangroves, Global Warming*

PENDAHULUAN

Total luas Kawasan hutan mangrove di Indonesia sebesar 3,3 juta ha dengan persentasi sebesar 80,74% (2.673.548 Ha) dalam kondisi baik dan 19,26% (637.624 ha) dalam kondisi kritis, dimana 460.210 ha (72,1%) berada dalam kawasan hutan dan 177.415 ha (27,82%)

diluar kawasan hutan. Pemetaan Kawasan mangrove kritis yang menjadi tanggungjawab KKP dibagi ke dalam 3 (tiga) kategori, yaitu mangrove kritis telah pulih/mangrove kritis pulih seluas 25.777 ha (39.81%), mangrove kritis tidak dapat dilakukan rehabilitasi/non-rehab seluas 47.895 ha (73.97%) dan mangrove kritis yang perlu dilakukan rehabilitasi/tanam seluas 6.315 ha (9.8%). (KKP, 2021).

Ekosistem Mangrove merupakan ekosistem yang

#Korespondensi: Sekolah Arsitektur, Perencanaan, dan Pengembangan Kebijakan Institut Teknologi Bandung
E-mail: davidketaren@yahoo.com

banyak mengandung karbon dan juga mempunyai peranan dalam hal regulasi iklim yang memiliki kesangupan untuk menyimpan karbon yang banyak untuk mengimbangi emisi antropogenik CO₂ (McLeod *et al.*, 2011). Karbon yang tersimpan di mangrove dikenal sebagai “blue carbon” atau karbon biru, istilah karbon biru mengacu pada konservasi karbon dalam ekosistem perairan, terutama tanah dan sedimen, dan sekarang sering digunakan dalam proyek untuk menambah perluasan penyimpanan karbon tutupan mangrove (Alongi, 2014).

Mengetahui pentingnya mangrove sebagai ekosistem yang mampu menyimpan karbon dalam jumlah besar, maka laju deforestasi di ekosistem ini tentu perlu diperhatikan. Deforestasi dan degradasi yang cepat berdampak buruk pada iklim dan komposisi atmosfer. (Giri *et al.*, 2011). Berkaitan dengan hal tersebut, penelitian ini melakukan kajian literatur tentang peran kawasan mangrove dalam mengurangi emisi gas rumah kaca. Gas rumah kaca (GRK) adalah istilah umum untuk gas rumah kaca seperti klorofluorokarbon (CFC), karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), nitrogen oksida (NO_x), ozon (O₃), dan uap air (H₂O). Sebagian memiliki efek rumah kaca yang lebih kuat daripada yang lain. Misalnya, metana diperkirakan 20 hingga 30 kali lebih kuat daripada karbon dioksida, dan CFC diduga 1000 kali lebih kuat sebagai gas rumah kaca daripada karbon dioksida (Porteous, 1992). Gas rumah kaca juga menyerap cahaya inframerah dan mengukur suhu atmosfer. Emisi gas rumah kaca terus meningkat akibat kegiatan manusia sejak sebelum Revolusi Industri (IPCC, 2001). Peningkatan gas rumah kaca di atmosfer disebabkan adanya pemanasan global (KLH, 2012).

Pemanasan global tidak hanya sangat ditakuti di Indonesia, tetapi juga salah satu peristiwa penting yang menjadi pembicaraan semua golongan internasional (Riani, 2012). Berbagai aktivitas yang dilakukan oleh manusia, terutama pembakaran bahan bakar fosil baik di kendaraan bermotor maupun industri, sehingga menyebabkan akumulasi gas rumah kaca (IPCC, 2001). Menurut DeFries *et al.* (2002) Penebangan berpotensi meningkatkan gas rumah kaca karena merupakan faktor utama dalam menambah karbon ke atmosfer. Sementara itu, baik di perkotaan maupun pesisir, berbagai upaya terus dilakukan untuk mengubah fungsi hijau menjadi kawasan pemukiman, yang pada akhirnya mengurangi simpanan karbon dan penyerapan karbon mangrove.

Perairan pesisir dan juga termasuk mangrove memiliki peran penting dalam keseimbangan karbon secara keseluruhan (Nasprianto *et al.*, 2016). Pohon Mangrove menyerap karbondioksida dari atmosfer

selama fotosintesis dan mengubahnya menjadi karbon organik dalam bentuk biomassa (Sutaryo, 2009). Konservasi hutan mangrove sangat penting untuk mengurangi gas rumah kaca (Kordi, 2012). Karbon dioksida yang tersimpan dalam pohon mangrove dapat diubah menjadi karbon organik dan menyimpannya (Hairiah & Rahayu, 2007).

Ekosistem mangrove bertanggung jawab menyediakan jasa lingkungan penyerapan karbon yang berakibat positif untuk manusia dan lingkungannya. Efek pemanasan global akibat kenaikan jumlah gas di atmosfer seperti CO₂ membuat kenaikan suhu global. Hal ini telah menyebabkan perubahan iklim bumi antara lain perubahan curah hujan dan peningkatan frekuensi badai, pasang surut dan aliran karena ekspansi air laut pada suhu tinggi. Dampak lain dari pemanasan global, mencairnya es kutub bumi, menurunkan kadar garam juga meningkatkan sedimentasi di wilayah pesisir dan lautan, serta mengganggu kelestarian sumberdaya alam pesisir dan laut yang mendukung kehidupan manusia. (Latuconsina, 2010).

Pentingnya peranan mangrove dalam penurunan emisi gas rumah kaca, Memberikan sinyal untuk melindungi ekosistem mangrove. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengulas pentingnya ekosistem mangrove dalam penurunan emisi gas rumah kaca guna mitigasi bencana khususnya bencana pemanasan global. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui peran kawasan mangrove untuk menurunkan emisi gas rumah kaca.

BAHAN DAN METODE

Data yang digunakan berdasarkan data sekunder dari bahan artikel dan buku baik nasional maupun internasional. Literatur tersebut digunakan sebagai referensi untuk memberikan informasi dan mitigasi peran hutan mangrove dalam upaya pengurangan emisi gas rumah kaca.

Tahapan penelitian ini antara lain melakukan penelusuran kepustakaan, termasuk pengumpulan data, informasi, dan penelusuran terkait yang dilakukan melalui penelusuran artikel, laporan, dan jurnal akademik nasional dan internasional; melakukan studi dan menjelaskan cadangan karbon ekosistem mangrove; melakukan studi dan menjelaskan peran ekosistem mangrove dalam upaya mitigasi penurunan emisi gas rumah kaca; melakukan studi dan membuat deskripsi mengenai tantangan dan peluang ekosistem mangrove dalam mendukung mitigasi dalam Upaya penurunan gas rumah kaca.

HASIL DAN BAHASAN

Peran Ekosistem Mangrove Pada Mitigasi Upaya Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca.

Gas rumah kaca mengalami peningkatan, salah satunya yaitu peningkatan konsentrasi karbon dioksida (CO₂), yang menyebabkan efek gas rumah kaca, dikenal dengan pemanasan global. Pemanasan global ini selanjutnya menyebabkan fenomena perubahan iklim. Tumbuhan berperan untuk mengurangi jumlah karbon di atmosfer selama fotosintesis. Dalam proses fotosintesis, tanaman membutuhkan CO₂ dan H₂O untuk menyerap unsur-unsur ini dari lingkungan, dibantu sinar matahari, mengubahnya menjadi glukosa sebagai sumber energi bagi tanaman, menghasilkan H₂O dan O₂ yang dapat memberikan manfaat bagi organisme lain (Purnobasuki, 2012).

Di sisi lain, proses penyerapan karbon pada (*carbon sequestration*) pada tumbuhan dapat diartikan sebagai proses menangkap dan menyimpan karbon dioksida dari atmosfer (Nyanga, 2020). Oleh karena itu, untuk estimasi terhadap jumlah karbon yang tersimpan didalam tanaman hidup (*biomassa*) dapat mencerminkan CO₂ yang diserap oleh tanaman dari atmosfer (Purnobasuki, 2012). Mangrove dapat menyimpan karbon dalam jumlah banyak, yang dijelaskan pada sub-bab sebelumnya. Nyanga (2020) menyatakan bahwa hutan mangrove dapat menyimpan karbon tiga sampai empat kali lipat dibandingkan hutan terestrial. Akibatnya, mangrove akan memainkan peran yang sangat penting sebagai ekosistem dalam upaya mitigasi pengurangan emisi gas rumah kaca.

Dalam proses fotosintesis yang menghasilkan karbon organik pada sebagian besar ekosistem selain ekosistem mangrove bisa rusak dan melepaskan karbon ke atmosfer dalam bentuk CO₂. namun, bahan organik yang terkandung pada ekosistem mangrove dalam jumlah yang besar tidak akan membusuk (Purnobasuki, 2012). Emisi yang dilepaskan kembali oleh hutan mangrove akan lebih kecil dibandingkan dengan hutan *terrestrial*. Hal ini disebabkan pembusukan yang terjadi pada serasah tanaman akuatik tidak akan melepaskan karbon.

Worthington & Spalding (2018) menjelaskan dalam laporannya bahwa restorasi mangrove secara global memiliki potensi untuk menyimpan 69 juta ton karbon pada biomassa di atas permukaan tanah. Jumlah ini setara dengan emisi tahunan 25 juta rumah tangga Amerika. Selain itu, restorasi mangrove dapat menyimpan 296 juta ton karbon di dalam tanah. Ini setara dengan emisi tahunan 117 juta. Di Indonesia, hutan mangrove dengan total cadangan karbon sekitar

3,14 PgC berpotensi untuk memitigasi perubahan iklim jika upaya tersebut dapat berakibat menurunnya emisi gas rumah kaca. (Murdiyarso *et al.*, 2015). Upaya pencegahan deforestasi hutan mangrove dapat mengurangi perkiraan emisi tahunan dari sektor tata guna lahan sekitar 10-31%.

Ekosistem mangrove juga dikenal sebagai ekosistem karbon biru yang tersimpan dalam ekosistem perairan, terutama tanah juga sedimen. Istilah karbon biru sering digunakan dalam kegiatan yang bertujuan untuk meningkatkan simpanan karbon dengan meningkatkan tutupan mangrove. Karbon biru telah dipresentasikan oleh banyak organisasi sebagai inisiatif penting untuk melindungi, memulihkan, dan menciptakan hutan bakau. Tantangannya adalah untuk meningkatkan kesadaran akan perlunya menyeimbangkan kerangka waktu yang realistis untuk pengembangan mangrove dengan pendanaan jangka pendek dan kerangka waktu proyek. Pemahaman yang lebih baik tentang persyaratan lingkungan dari penyerapan karbon jangka panjang adalah prioritas utama untuk keberhasilan Program Karbon Biru. (Alongi, 2014). Harapannya adalah bahwa dengan restorasi mangrove maka akan turut membantu mengatasi perubahan iklim.

Taillardat *et al.* (2018) bahwa kajian tentang estimasi sekuestrasi mangrove di berbagai negara menunjukkan bahwa mangrove berpotensi mengurangi emisi karbon jika deforestasi mangrove rendah. Beberapa negara, seperti Malaysia dan Myanmar, telah menunjukkan bahwa potensi simpanan karbon dari hutan mangrove yang tersisa lebih kecil daripada emisi karbon dari penebangan mangrove. Beberapa dari negara-negara ini saat ini tidak dapat berkontribusi pada pengurangan emisi, tetapi ada potensi besar untuk berkontribusi jika konservasi dapat diterapkan untuk meningkatkan penyerapan karbon di masa depan dari pemulihan dan mencegah emisi lebih lanjut dari deforestasi.

Tantangan Dan Peluang Ekosistem Mangrove Dalam Mendukung Mitigasi Dalam Upaya Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca

Padahal, ancaman terhadap keberadaan hutan mangrove adalah karena berkurangnya tutupan mangrove. Hal ini disebabkan adanya perubahan penggunaan lahan. Di Asia Tenggara, banyak terjadi konversi dari mangrove menjadi tambak budidaya dan juga konversi menjadi lahan pertanian seperti sawah dan juga padang rumput, disertai juga peningkatan permintaan kelapa sawit yang menyebabkan terjadinya pembukaan lahan (Worthington & Spalding, 2018). Selain itu, populasi di wilayah pesisir meningkat, dan pembangunan infrastruktur seperti pembangunan jalan dan pelabuhan

mengalami kemajuan karena pembukaan hutan mangrove.

Pemetaan Kawasan mangrove kritis yang menjadi tanggungjawab KKP dibagi kedalam 3 (tiga) kategori, yaitu mangrove kritis telah pulih (mangrove kritis pulih) seluas 25.777 ha (39.81%), mangrove kritis tidak dapat dilakukan rehabilitasi (Non Rehab) seluas 47.895 ha (73.97%) dan mangrove kritis yang perlu dilakukan rehabilitasi (Tanam) seluas 6.315 ha (9.8%). Dari Hasil Analisa, KKP berupaya melakukan rehabilitas pada Mangrove Kritis (6.315 ha) dan mangrove yang sudah terdegradasi diupayakan penanaman pada lahan terbuka (25.716 ha).

Hutan mangrove perlu dilestarikan dan direstorasi untuk mengurangi laju deforestasi. Pelestarian hutan mangrove tidak hanya menghemat simpanan karbon untuk perlindungan iklim, tetapi juga memfasilitasi adaptasi terhadap perubahan iklim seperti kenaikan permukaan laut (Donato *et al.*, 2011).

Perubahan iklim mempengaruhi kemajuan pembangunan dan meningkatkan ketimpangan global. Oleh karena itu, semua penghasil emisi baik di negara maju maupun negara berkembang harus menerapkan perlindungan dan adaptasi iklim terhadap perubahan iklim. Indonesia telah menandatangani Perjanj dokumen NDC-nya, Indonesia telah berjanji untuk mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 29% menggunakan sumber daya domestik (tanpa syarat) dan 41% (bersyarat) dari naskah *business as usual* (BAU) pada tahun 2030. Perjanjian ini ini memungkinkan Indonesia memperoleh manfaat dari berbagai jenis dukungan, termasuk peluang ICF yang diberikan oleh ADB melalui sistem keuangan non-UNFCCC dan Global Green Growth Institute melalui skema pendanaan UNFCCC. ICF di Indonesia ini terus berkembang, dengan banyak pembatasan. Beberapa saluran ICF dapat digunakan lebih banyak secara optimal seperti, instrumen pinjaman dan hibah. Indonesia tidak dapat

hanya mengandalkan dukungan internasional untuk memenuhi kebutuhan pendanaan iklimnya yang sangat besar. Contoh kebutuhan untuk mengembangkan pembiayaan yang inovatif melalui berbagai cara seperti sukuk hijau. ICF juga berperan dalam memfasilitasi transisi energi dari sumber energi berbasis batubara menjadi sumber energi yang terbaru (Santoso Abi Suroso *et al.*, 2022).

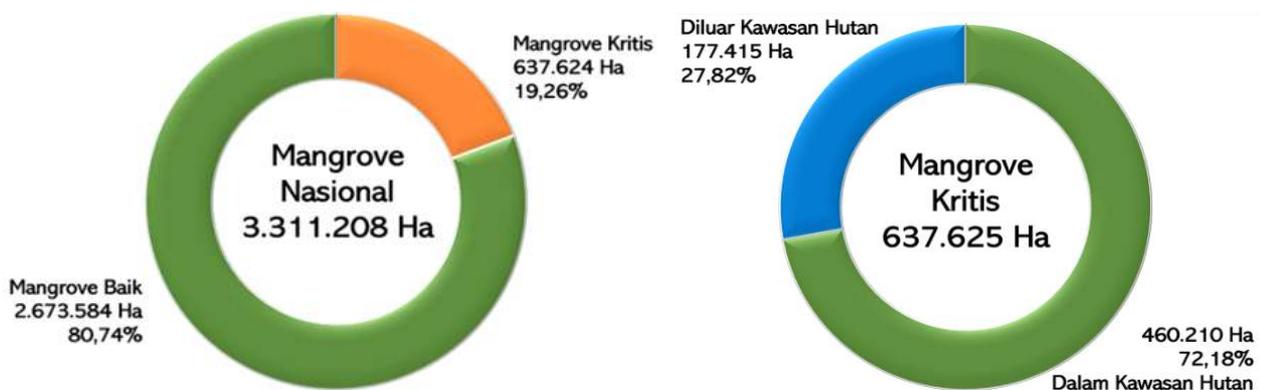
Hutan Mangrove di Indonesia

Indonesia memiliki 17.508 pulau yang mempunyai potensi sumber daya pesisir dan laut . Indonesia, sebuah negara kepulauan, adalah rumah bagi banyak hutan bakau terbesar di dunia. Menurut Latuconsina (2010), Ekosistem mangrove terluas di dunia terdapat di indonesia , yaitu mencapai 19%

Banyak tantangan yang dihadapi Indonesia dalam pengelolaan Ekosistem Mangrove, terutama pada Ekosistem mangrove pulau-pulau kecil yang kadangkala menghadapi banyak tantangan, seperti akibat kegiatan manusia yang memanfaatkan ekosistem mangrove di sekitarnya dan dampak eksternal seperti pemanasan global.

Kerusakan mangrove bisa terjadi secara alami maupun karena adanya tekanan dari masyarakat sekitar. Tentu saja, kerusakan ekosistem mangrove lebih kecil daripada kerusakan karena aktivitas manusia. Kerusakan alam biasanya disebabkan oleh siklus alam yang konstan, dan alam dapat memperbaiki dirinya sendiri, sehingga kerusakan dapat diperbaiki. Angin topan dan badai, serta iklim kering terus-menerus merupakan bencana alam yang mengakibatkan penumpukan garam pada tanaman (Ario *et al.*, 2015).

Kerusakan mangrove dapat disebabkan karna banyaknya aktivitas mahluk hidup di lingkungan kawasan hutan mangrove sehingga menyebabkan perubahan sifat fisik dan kimia di habitat mangrove. yang menjadikan hutan magrove tidak sesuai untuk



Gambar 1. Kondisi Mangrove serta Status Kawasan Mangrove Kritis Indonesia (Sumber : KKP, 2021)
 Figure 1. Mangrove Conditions and Status of Indonesia's Critical Mangrove Areas (Source: MMAF, 2021)

kehidupan dan perkembangan flora dan fauna mangrove (Ario *et al.*, 2015).

Ada dua jenis penyebab penting yang mengakibatkan kerusakan hutan mangrove, yaitu faktor eksternal dan faktor dari dalam. Faktor eksternal adalah faktor yang ditimbulkan dari luar ekosistem mangrove itu sendiri, seperti konversi hutan mangrove menjadi pemukiman, industri atau rekreasi. Faktor internal karena adanya pemanfaatan hutan mangrove oleh masyarakat sekitarnya (Arizona *et al.*, 2009).

Peralihan tata guna lahan, kayu mangrove yang dimanfaatkan untuk bermacam keperluan, pembuatan tambak, tempat tinggal, dan lain-lain merupakan kerusakan yang diakibatkan oleh aktivitas makhluk hidup (Ario *et al.*, 2015). Akibat pencemaran, penimbunan juga sedimentasi menyebabkan cepatnya kerusakan ekosistem mangrove (Setyawan *et al.*, 2006).

Konservasi Hutan Mangrove Sebagai Salah Satu Upaya Untuk Mengurangi Emisi Gas Rumah Kaca

Peranan hutan mangrove dalam penyerapan karbon berdampak besar pada pemanasan global. Meningkatnya kerusakan hutan mangrove akan berdampak besar pada percepatan perubahan di dunia. Upaya mitigasi pemanasan global dilakukan terutama melalui pendekatan masyarakat, penghijauan melalui penanaman pohon, pembangunan pertahanan pesisir dan perkiraan ekonomi.

Ekosistem mangrove dapat dicegah kerusakannya dengan melibatkan masyarakat. Upaya perbaikan berakibat langsung kepada masyarakat sekitar pohon mangrove. Hal ini dapat diketahui dengan cara melaksanakan penelitian melalui dialog yang efektif dengan masyarakat (Umayah *et al.*, 2016).

Melibatkan masyarakat dalam perbaikan kawasan bisa meningkatkan pemahaman masyarakat pentingnya fungsi hutan mangrove juga salah satu upaya mencegah kerusakan pada hutan mangrove. Penanaman mangrove secara bertahap dan terus menerus bertujuan untuk memperbaiki hutan mangrove

Dukungan internasional untuk pendanaan iklim dalam mencapai target *Nationally Determined Contribution* (NDC) di Indonesia untuk mengurangi Emisi Gas Rumah Kaca pada tahun 2030

Indonesia memperoleh dukungan pendanaan internasional melalui bilateral dan kerjasama multilateral dalam bentuk skema pinjaman dan hibah. *Inter-*

national climate finance (ICF) memiliki berkontribusi pada pengembangan pembiayaan inovatif melalui *Sustainable and the Inclusive Energy program* (SIEP) dan *Sustainable Green Growth, Climate, and Environment program* (SGGP), yang menghasilkan keluaran kebijakan dan rekomendasi kebijakan untuk mempromosikan keterlibatan sektor swasta melalui insentif, subsidi, dan fasilitas perizinan. ICF di Indonesia terus berkembang, namun juga memiliki banyak keterbatasan. Beberapa peluang ICF, seperti *Green Climate Fund* (GCF), *Adaptation Fund* (AF), dan *Global Environmental Fund* (GEF), dapat menjadi diakses secara lebih optimal dengan menyebarluaskan informasi tentang standar diperlukan untuk setiap jenis sumber ICF.

Selain mengoptimalkan pembiayaan yang ada untuk perubahan iklim, Indonesia perlu mengembangkan berbagai alat pembiayaan, termasuk: optimalisasi peran sektor swasta/non-publik melalui instrumen perbankan, pasar modal, dan instrumen surat berharga. Selanjutnya, meskipun ICF disediakan terutama melalui pinjaman instrumen, penyediaannya melalui instrumen hibah berupa bantuan teknis perlu dimanfaatkan secara optimal untuk memperkuat upaya untuk mencapai target NDC.

Di bawah *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC), negara-negara maju harus memenuhi komitmen untuk menyediakan US\$100 miliar per tahun pada tahun 2020 untuk mendukung pembangunan negara dalam mengurangi emisi gas rumah kaca dan memfasilitasi adaptasi iklim di negara-negara yang paling rentan. Oleh karena itu, definisi yang jelas, aturan baru, dan standar akuntansi untuk pendanaan iklim di bawah UNFCCC diperlukan untuk memastikan negara-negara maju memenuhi komitmen mereka dan negara berkembang menerima dukungan yang diperlukan untuk menanggapi dampak perubahan iklim. (Suroso *et al.*, 2022).

KESIMPULAN

Mangrove memiliki potensi cadangan karbon yang besar, dengan nilai cadangan karbon tiga sampai dengan empat kali lebih besar dari cadangan karbon pada hutan terrestrial, kemampuan mangrove dalam hal menyimpan cadangan karbon yang besar membawa manfaat dalam usaha mengurangi emisi gas rumah kaca, keberadaan mangrove sangat efektif dalam menunjang mitigasi emisi gas rumah kaca ketika laju deforestasi dari mangrove rendah, deforestasi terutama disebabkan oleh konversi mangrove menjadi kolam budidaya, dan juga konversi menjadi lahan pertanian, dan disertai juga dengan adanya pembukaan lahan akibat peningkatan permintaan kelapa sawit dan pembangunan infrastruktur, konservasi dan restorasi

mangrove untuk mengurangi laju deforestasi tidak hanya menjaga penyimpanan karbon untuk perlindungan iklim dan mengurangi emisi gas rumah kaca, tetapi juga mempromosikan adaptasi terhadap perubahan iklim kenaikan permukaan air laut.

DAFTAR PUSTAKA

- Alongi, D. M. (2014)b. Carbon cycling and storage in mangrove forests. *Annual review of marine science*, 6, 195-219.
- Ario, R., Subardjo, P., & Handoyo, G. (2015). Analisis kerusakan mangrove di pusat restorasi dan pembelajaran mangrove (Prpm), Kota Pekalongan. *Jurnal Kelautan Tropis*, 18(2), 64–69.
- Arizona, M. & Sunarto. (2009). Kerusakan ekosistem mangrove akibat konversi lahan di Kampung Tobati dan Kampung Nafri, Jayapura. *Jurnal Kerusakan Ekosistem Mangrove*, 23(3), 18-39.
- DeFries, R.S, Richard, A.H, Mattew, C.H., Christopher, B.F., David, S., & John T. (2002). Carbon emissions from tropical deforestation and regrowth based on satellite observation for the 1980s. *PNAS*. 99(22): 14256-14261.
- Donato, D. C., Kauffman, J. B., Murdiyarso, D.S., Kurnianto D., Stidham, M., & Kanninen, M. (2011). Mangroves among the most carbon- rich forests in the tropics. *Nature geoscience*, 4(5), 293-297.
- Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L. L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, J. Masek, dan N. Duke. 2011. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, 20(1), 154-159.
- Hairiah, K. & Rahayu, S. (2007). Petunjuk Praktis Pengukuran Karbon Tersimpan di Bagian Macam Penggunaan Lahan. World Agroforestry Centre ICRAF Southeast Asia. Bogor.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge (GB): Cambridge University Press.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP). (2021). Penyampaian data lokasi mangrove kritis yang perlu direhabilitasi oleh Kementerian Kelautan dan Perikanan.
- Kementerian Lingkungan Hidup (KLH). (2012). *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional [Buku I Pedoman Umum]*. Jakarta (ID): KLH.
- Kementerian Lingkungan Hidup (KLH). (2021). *Peta Mangrove Nasional*.
- Kordi, M.G.H.K. (2012). *Ekosistem Mangrove: Potensi, Fungsi, dan Pengelolaan*. Rineka Cipta. Jakarta.
- Latuconsina, H. (2010). Dampak pemanasan global terhadap ekosistem pesisir dan lautan. *Jurnal Ilmiah Agribisnis dan Perikanan* (Agrikan Ummu-Ternate), 3(1), 30-37.
- McLeod, E., Chmura, G.L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C. M., Lovelock, C.E., Schlesinger, W.H. & Silliman, B.R.. (2011). A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(10), 552-560.
- Murdiyarso, D., Purbopuspito, J., Kauffman, J. B., Warren, M. W., Sasmito, S. D., Donato, D. C., Manuri, S. ..., dan Kurnianto. 2015. The potential of Indonesian mangrove forests for global climate change mitigation. *Nature Climate Change*, 5(12), 1089-1092.
- Nasprianto., Desy, M.H.M., Terry L.K., Restu, N.A.A., & Andreas, H. (2016). Distribusi Karbon di Beberapa Perairan Sulawesi Utara. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 23(1):34-41.
- Nyanga, C. (2020). The Role of Mangroves Forests in Decarbonizing the Atmosphere. In *Carbon-Based Material for Environmental Protection and Remediation*. IntechOpen.
- Porteous, A. (1992). *Dictionary of Environmental Science and Technology*, 2nd ed. John Wiley and Sons, New York.
- Purnobasuki, H. (2012). Pemanfaatan hutan mangrove sebagai penyimpan karbon. *Buletin PSL Universitas Surabaya*, 28(3-5), 1-6.
- Riani E. (2012). *Perubahan Iklim dan Kehidupan Biota Akuatik: Dampak pada bioakumulasi bahan berbahaya dan beracun dan reproduksi*. Bogor (ID): IPB Pr.
- Suroso, D.S.A., Setiawan B., Pradono, P., Iskandar, Z.S., & Hastari, M.A. (2022). Revisiting the role of international climate finance (ICF) towards achieving the nationally determined contribution (NDC) target: A case study of the Indonesian energy sector. *Environmental Science and Policy*, 131, 188-195.
- Setyawan, A.D. & Winarno, K. (2006). Permasalahan konservasi ekosistem mangrove Di Pesisir Kabupaten Rembang, Jawa Tengah. *Jurnal Biodiversitas*, 7(2), 159- 163.
- Sutaryo, D. (2009). *Penghitungan Biomassa, Sebuah Pengantar untuk Studi Karbon dan Perdagangan Karbon*. Wetlands International Indonesian Program. Bogor.
- Taillardat, P., Friess, D.A., & Lupascu, M. (2018). Mangrove blue carbon strategies for climate change mitigation are most effective at the national scale. *Biology Letters*, 14(10), 20180251.
- Umayah, S., Gunawan, H., & Isda, M.N. (2016). Tingkat kerusakan ekosistem mangrove di Desa Teluk

Belitung Kecamatan Merbau Kabupaten Kepulauan Meranti. *Jurnal Riau Biologia*, 1(4), 24-30.

Worthington, T., & Spalding, M. 2018. Mangrove Restoration Potential: A global map highlighting a critical opportunity. <https://doi.org/10.17863/CAM.39153>.