

HUTAN DAN MASA DEPAN IKLIM GLOBAL

Dari Penyerap Karbon hingga Penyelamat Kehidupan

By ; Muhamad Imam Ngasim



Perubahan iklim merupakan salah satu tantangan terbesar abad ke-21 yang mengancam keseimbangan sistem kehidupan di bumi. Peningkatan konsentrasi gas rumah kaca, terutama karbon dioksida (CO_2), telah menyebabkan kenaikan suhu global, perubahan pola cuaca ekstrem, dan degradasi ekosistem secara luas. Dalam konteks ini, hutan memiliki peran vital sebagai salah satu komponen utama dalam sistem penyeimbang iklim global. Melalui kemampuan biologisnya untuk menyerap dan menyimpan karbon, hutan berfungsi sebagai penyangga alami yang menahan laju akumulasi CO_2 di atmosfer.

Namun, tekanan terhadap ekosistem hutan terus meningkat akibat deforestasi, degradasi lahan, serta perubahan penggunaan lahan yang masif. Kondisi ini tidak hanya mengancam keanekaragaman hayati, tetapi juga mengurangi kapasitas hutan dalam menjalankan fungsi ekologisnya se-

bagai penyerap karbon bersih. Di sisi lain, negara-negara tropis seperti Indonesia memiliki tanggung jawab sekaligus peluang besar dalam upaya mitigasi perubahan iklim global melalui pengelolaan hutan yang berkelanjutan.



Fakta Ilmiah tentang Peran

Hutan

dalam Penyerapan Karbon Dioksida (CO₂) Global

Hutan memiliki fungsi ekologis yang sangat penting sebagai pengatur termal alami (natural thermostat) bagi sistem iklim global. Melalui proses fotosintesis, pepohonan dan vegetasi hutan menyerap karbon dioksida (CO₂) dari atmosfer, kemudian mengubahnya menjadi biomassa yang tersimpan dalam berbagai komponen vegetatif seperti batang, daun, dan akar. Selain itu, sebagian besar karbon juga disimpan secara jangka panjang di dalam tanah melalui akumulasi bahan organik dan aktivitas mikroorganisme. Dengan demikian, hutan berperan ganda, yaitu sebagai penyerap karbon (carbon sink) sekaligus penyimpan karbon (carbon storage) yang berfungsi menyeimbangkan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer (Yusna, 2022).

PERAN HUTAN SEBAGAI PENYERAP KARBON GLOBAL

Secara global, ekosistem hutan berperan sebagai penyerap karbon bersih (net carbon sink), yang berarti total jumlah karbon yang diserap melebihi jumlah karbon yang dilepaskan kembali ke atmosfer. Berdasarkan estimasi terkini, hutan di seluruh dunia mampu menyerap rata-rata sekitar 16 miliar metrik ton CO₂ per tahun. Angka ini hampir dua kali lipat lebih besar dibandingkan dengan total emisi karbon yang dihasilkan akibat proses deforestasi, degradasi hutan, dan gangguan antropogenik lainnya, yang mencapai sekitar 8,1 miliar metrik ton CO₂ per tahun (Santhyami & Roziaty, 2022). Dengan demikian, secara keseluruhan, hutan masih memberikan kontribusi positif yang signifikan terhadap mitigasi perubahan iklim global.

KONTRIBUSI TERHADAP SIKLUS KARBON GLOBAL

Dalam kondisi iklim dan aktivitas manusia yang relatif stabil, hutan dan vegetasi terestrial lainnya secara kolektif mampu menyerap sekitar 30% dari total emisi karbon antropogenik yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil setiap tahunnya (Harris & Rose, 2025). Di antara berbagai tipe hutan, hutan hujan tropis memiliki peran paling dominan dalam dinamika siklus karbon global karena tingkat produktivitas primernya yang tinggi dan luasnya wilayah penyebaran.



Namun demikian, ekosistem ini juga menunjukkan variabilitas besar dalam hal penyerapan dan pelepasan karbon akibat fluktuasi iklim, peristiwa El Niño, serta tekanan antropogenik seperti konversi lahan dan pembalakan liar.

RISIKO PERGESERAN FUNGSI EKOLOGIS HUTAN

Perubahan penggunaan lahan yang masif, deforestasi yang berkelanjutan, degradasi ekosistem, serta meningkatnya kejadian kebakaran ekstrem telah menimbulkan ancaman serius terhadap kemampuan hutan untuk berfungsi sebagai penyerap karbon bersih. Bukti ilmiah terbaru menunjukkan bahwa margin antara jumlah karbon yang diserap dan yang dilepaskan oleh hutan semakin menyempit (Harris & Rose, 2025). Jika tren ini berlanjut, maka dalam beberapa dekade mendatang, hutan dunia berpotensi mengalami pergeseran fungsi ekologis dari penyerap karbon menjadi sumber emisi karbon (carbon source), yang akan memperburuk laju peningkatan konsentrasi CO₂ atmosfer dan mempercepat proses pemanasan global.

KONTRIBUSI HUTAN TROPIS INDONESIA DALAM UPAYA MITIGASI PERUBAHAN IKLIM GLOBAL

Indonesia merupakan salah satu negara megadiversitas yang memiliki tutupan hutan tropis terluas ketiga di dunia, setelah Brasil dan Republik Demokratik Kongo. Luas total kawasan hutan Indonesia diperkirakan mencapai sekitar 120 juta hektar, yang mencakup kurang lebih 64% dari total luas daratan nasional (Setiawan, 2022). Keberadaan hutan tropis ini menjadikan Indonesia sebagai aktor kunci dalam mitigasi perubahan iklim global, karena ekosistem hutannya berfungsi penting dalam menyerap dan menyimpan karbon dioksida (CO₂), menjaga keseimbangan iklim regional, serta melestarikan keanekaragaman hayati yang memiliki nilai ekologis dan ekonomi tinggi.

KOMITMEN NASIONAL TERHADAP PENGURANGAN EMISI MELALUI NDC

Dalam kerangka kerja Perjanjian Paris (Paris Agreement), Indonesia telah menetapkan komitmen iklimnya melalui Dokumen Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional atau Nationally Determined Contribution (NDC). Pemerintah Indonesia secara progresif meningkatkan ambisi iklimnya dari waktu ke waktu. Berdasarkan pembaruan NDC

tahun 2022, Indonesia menargetkan pengurangan emisi gas rumah kaca (GRK) hingga 43% pada tahun 2030 dibandingkan dengan skenario Business as Usual (BAU) (Dewi et al., 2024). Target ini bersifat bersyarat, yang berarti pencapaiannya bergantung pada dukungan internasional berupa pendanaan, transfer teknologi, dan penguatan kapasitas kelembagaan. Komitmen tersebut menegaskan posisi Indonesia sebagai negara berkembang yang tetap berperan aktif dalam mitigasi perubahan iklim global, sekaligus menyeimbangkan kepentingan pembangunan berkelanjutan di tingkat nasional.

KEPELOPORAN INDONESIA DALAM IMPLEMENTASI PROGRAM REDD+

Selain melalui NDC, Indonesia juga dikenal sebagai pelopor dalam implementasi inisiatif internasional Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD+), yang berada di bawah naungan Kerangka Kerja Konvensi PBB tentang Perubahan Iklim (UNFCCC) (Sari & Multazam, 2021). Program REDD+ dirancang untuk memberikan insentif finansial berbasis kinerja kepada negara-negara berkembang yang berhasil mengurangi tingkat deforestasi dan degradasi hutan. Indonesia telah menjadi contoh penting bagi negara tropis lain

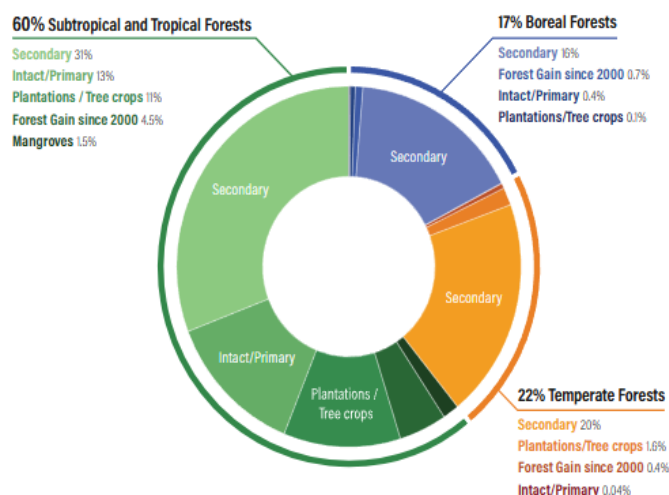
dalam mengembangkan kebijakan dan sistem pemantauan karbon hutan, melalui penguatan tata kelola kehutanan, partisipasi masyarakat lokal, serta pengintegrasian mekanisme REDD+ ke dalam kebijakan pembangunan rendah karbon nasional. Keberhasilan implementasi program ini menunjukkan komitmen nyata Indonesia dalam menjaga keseimbangan antara pembangunan ekonomi dan konservasi lingkungan.

INTEGRASI POTENSI KARBON BIRU KE DALAM STRATEGI IKLIM NASIONAL

Selain potensi karbon dari ekosistem daratan, Indonesia juga memiliki keunggulan dalam ekosistem pesisir dan laut yang berperan sebagai penyerap karbon biru (blue carbon), seperti hutan mangrove, padang lamun, dan rawa pesisir. Pemerintah Indonesia saat ini sedang mengupayakan pengintegrasian potensi karbon biru ke dalam dokumen NDC nasional, sebagai bentuk pengakuan terhadap kontribusi signifikan ekosistem laut dalam mitigasi perubahan iklim (Jompa & Murdiyarso, 2023). Secara ilmiah, ekosistem karbon biru memiliki kapasitas peny-

impanan karbon 3–5 kali lebih tinggi dibandingkan dengan vegetasi daratan, karena kemampuannya menyimpan karbon tidak hanya dalam biomassa vegetatif, tetapi juga dalam lapisan sedimen pesisir yang stabil dalam jangka waktu panjang. Menurut estimasi global, ekosistem mangrove dan padang lamun Indonesia menyimpan sekitar 17% dari total cadangan karbon biru dunia (Putri et al., 2023), menjadikannya salah satu kontributor utama dalam upaya mitigasi berbasis ekosistem di tingkat internasional.

Global forest carbon removals by forest type



Source: WRI, Gibbs et al. 2025 (updated with 2024 tree cover loss).

WORLD
RESOURCES
INSTITUTE



TANTANGAN DEFORESTASI & DEGRADASI HUTAN DI INDONESIA



Meskipun data terbaru menunjukkan adanya penurunan tingkat kehilangan hutan primer sebesar 11% antara tahun 2023 dan 2024, fenomena deforestasi dan degradasi hutan di Indonesia masih menjadi tantangan lingkungan yang sangat serius dan kompleks (Putri et al., 2024). Penurunan tersebut memang menandakan adanya kemajuan dalam upaya pengelolaan sumber

daya hutan secara berkelanjutan, namun tidak serta merta menunjukkan bahwa tekanan terhadap ekosistem hutan telah berakhir. Sebaliknya, berbagai faktor sosial, ekonomi, dan kelembagaan masih terus memicu hilangnya tutupan hutan, terutama di kawasan hutan tropis dataran rendah yang memiliki nilai keanekaragaman hayati dan cadangan karbon tinggi.

FAKTOR PENDORONG UTAMA DEFORESTASI DAN DEGRADASI HUTAN

Berbagai studi menunjukkan bahwa deforestasi di Indonesia bersifat multidimensional, melibatkan kombinasi antara faktor ekonomi, kebijakan, dan perilaku sosial masyarakat. Beberapa faktor utama yang berkontribusi terhadap laju deforestasi dan degradasi hutan antara lain:

- Ekspansi lahan perkebunan skala besar, terutama untuk komoditas kelapa sawit, karet, dan tebu. Proses konversi hutan alam menjadi area perkebunan monokultur sering kali dilakukan melalui pembukaan lahan secara masif, yang menyebabkan hilangnya habitat alami dan menurunkan fungsi ekosistem.
- Aktivitas pertambangan dan eksploitasi sumber daya alam, termasuk penambangan batu bara, nikel, dan minyak bumi, yang menyebabkan fragmentasi habitat dan polusi lingkungan. Kegiatan ini kerap melibatkan alih fungsi hutan lindung menjadi kawasan industri ekstraktif.
- Kebakaran hutan dan lahan (karhutla) yang sering terjadi akibat praktik pembakaran untuk pembukaan lahan pertanian, diperburuk oleh kondisi iklim kering dan lemahnya pengawasan. Kebakaran tersebut tidak hanya merusak ekosistem, tetapi juga melepaskan emisi karbon dalam jumlah besar ke atmosfer.
- Perambahan hutan oleh masyarakat, yang dipicu oleh tekanan ekonomi, keterbatasan akses terhadap lahan produktif, rendahnya kesadaran lingkungan, serta lemahnya sistem penegakan hukum terhadap pelanggaran kehutanan. Dalam banyak kasus, perambahan dilakukan di kawasan konservasi yang secara hukum dilindungi, sehingga memperburuk degradasi ekosistem hutan.

KRITIK TERHADAP KEBIJAKAN PEMBANGUNAN DAN RISIKO TERHADAP KOMITMEN IKLIM

Kebijakan pembangunan nasional, khususnya yang berkaitan dengan program intensifikasi pertanian dan ekspansi lahan pangan, kerap menjadi sorotan karena berpotensi menimbulkan dampak ekologis negatif. Salah satu contoh yang banyak menuai kritik adalah program food estate (lumbung pangan) berskala besar yang dilaksanakan di berbagai wilayah, termasuk Papua dan Kalimantan. Program ini, meskipun bertujuan meningkatkan ketahanan pangan nasional, dinilai berisiko tinggi terhadap keberlanjutan ekosistem hutan, karena sebagian besar areanya mencakup hutan primer dan lahan gambut yang memiliki cadangan karbon besar.

Sebagai contoh, rencana pembangunan 2 juta hektar perkebunan tebu di Papua diperkirakan dapat melepaskan sekitar 782,5 juta ton CO₂ ke atmosfer (Fenitiruma et al., 2022). Jumlah ini merupakan angka yang signifikan dan berpotensi mengancam kredibilitas komitmen iklim Indonesia, khususnya dalam konteks pencapaian target pengurangan emisi sebagaimana tercantum dalam NDC. Para pakar lingkungan menegaskan bahwa reforestasi atau pemulihan ekosistem sekunder tidak akan mampu sepenuhnya menggantikan nilai ekologis dan fungsi karbon dari hutan alam yang hilang.



Oleh karena itu, strategi pencegahan deforestasi (deforestation prevention) harus ditempatkan sebagai prioritas utama dalam kebijakan iklim nasional, dengan memperkuat pendekatan tata kelola hutan berkelanjutan, penegakan hukum yang konsisten, serta pelibatan masyarakat lokal dalam pengelolaan sumber daya hutan.

PERAN KEBIJAKAN DAN MASYARAKAT DALAM MENJAGA KELESTARIAN HUTAN

Upaya mencapai pengelolaan hutan yang berkelanjutan (sustainable forest management) tidak dapat dilepaskan dari sinergi antara kebijakan publik yang efektif dan partisipasi aktif masyarakat lokal. Keberhasilan menjaga kelestarian hutan tidak hanya ditentukan oleh kekuatan regulasi atau kebijakan formal, tetapi juga oleh sejauh mana masyarakat—terutama komunitas adat dan lokal—dilibatkan sebagai subjek utama dalam tata kelola sumber daya hutan.



PERAN KEBIJAKAN DAN KELEMBAGAAN DALAM TATA KELOLA HUTAN

Dari sisi kelembagaan, pemerintah Indonesia telah menerapkan berbagai instrumen kebijakan yang bertujuan memperkuat kerangka pengelolaan hutan secara berkelanjutan dan adaptif terhadap tantangan perubahan iklim. Salah satu langkah strategis adalah mendorong partisipasi sektor swasta dalam mekanisme kredit karbon, yang diintegrasikan dengan target Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional (Nationally Determined Contribution/NDC). Melalui kebijakan ini, entitas bisnis diharapkan tidak hanya berorientasi pada keuntungan ekonomi, tetapi juga mengambil bagian dalam mitigasi emisi karbon melalui investasi pada proyek-proyek konservasi hutan dan restorasi ekosistem.

Selain itu, Indonesia telah mengembangkan kerangka kebijakan nasional REDD+ (Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation) sebagai bagian dari komitmen

global terhadap mitigasi perubahan iklim. Kerangka tersebut meliputi pembentukan kelembagaan nasional yang terkoordinasi, sistem MRV (Measurement, Reporting, and Verification) untuk pemantauan karbon hutan, serta penerapan mekanisme pengaman sosial dan lingkungan (safeguards) yang memastikan bahwa pelaksanaan proyek REDD+ tidak menimbulkan dampak negatif terhadap masyarakat lokal dan ekosistem (Wong et al., 2022). Melalui pendekatan ini, kebijakan nasional diarahkan untuk menjamin transparansi, akuntabilitas, dan keberlanjutan dalam implementasi program mitigasi berbasis hutan.

Di samping itu, program Perhutanan Sosial menjadi instrumen penting dalam mendukung pengelolaan hutan lestari. Program ini memberikan hak kelola kepada Masyarakat Hukum Adat (MHA) dan komunitas lokal atas kawasan hutan tertentu agar mereka dapat memanfaatkan sumber daya hutan secara legal dan berkelanjutan. Tujuan utamanya adalah meningkatkan kesejahteraan masyarakat, mengurangi ketimpangan akses terhadap sumber daya alam, sekaligus menjaga fungsi ekologis hutan. Dengan menempatkan masyarakat sebagai pelaku utama, kebijakan ini berupaya mengubah paradigma pengelolaan hutan dari berbasis kontrol negara menuju pengelolaan kolaboratif berbasis masyarakat (community-based forest management).

KETERLIBATAN MASYARAKAT ADAT DAN LOKAL SEBAGAI PENJAGA HUTAN

Secara sosial-ekologis, masyarakat adat dan komunitas lokal memainkan peran yang sangat penting dalam menjaga keberlanjutan ekosistem hutan. Banyak penelitian menunjukkan bahwa wilayah yang dikelola oleh masyarakat adat cenderung memiliki tingkat deforestasi lebih rendah dan keanekaragaman hayati lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah yang dikelola secara komersial. Oleh karena itu, masyarakat adat sering disebut sebagai “The Best Guardians of the Forest”, atau penjaga terbaik kelestarian hutan.

Pengakuan hak-hak masyarakat adat atas wilayah kelola tradisional (customary territories) merupakan langkah strategis untuk mendukung pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (Sustainable Development Goals/SDGs), khususnya pada aspek pengentasan kemiskinan, kesetaraan sosial, dan pelestarian lingkungan. Dalam konteks kelembagaan adat, berbagai lembaga adat memiliki peran aktif dalam menjaga kelestarian hutan, misalnya melalui kegiatan patroli hutan, pengawasan berbasis komunitas, reboisasi, dan restorasi ekosistem lokal. Namun, pelaksanaan program semacam ini masih menghadapi sejumlah tantangan, antara lain rendahnya tingkat pemahaman masyarakat terhadap konsep perhutanan sosial, minimnya dukungan teknis dan finansial, serta konflik lahan antara masyarakat dan perusahaan konsesi.



Selain pengakuan hak, mekanisme pembagian manfaat (Benefit Sharing Plan) dalam proyek-proyek perlindungan hutan menjadi aspek penting yang perlu diperhatikan. Pembagian manfaat yang adil, transparan, dan partisipatif memastikan bahwa hasil dari pembayaran reduksi emisi (emission reduction payments) dapat diakses secara proporsional oleh semua pihak yang terlibat, baik pemerintah maupun komunitas lokal. Mekanisme ini tidak hanya meningkatkan keadilan sosial, tetapi juga memperkuat insentif bagi masyarakat untuk terus menjaga dan mengelola hutan secara berkelanjutan.

REFORESTASI, AGROFORESTRI, DAN MEKANISME KREDIT KARBON

Upaya mitigasi perubahan iklim dan pelestarian hutan tropis di Indonesia memerlukan penerapan strategi multidimensi yang tidak hanya berfokus pada aspek ekologis, tetapi juga memper-
timbangkan dimensi sosial dan ekonomi masyarakat. Tiga pendekatan utama yang dinilai efektif untuk mencapai tujuan tersebut meliputi reforestasi/ restorasi ekosistem, pengembangan sistem agroforestri berkelanjutan, serta penerapan mekanisme kredit karbon (carbon credit) sebagai instrumen pasar berbasis lingkungan.



AGROFORESTRI

Agroforestri didefinisikan sebagai sistem pengelolaan lahan terpadu yang menggabungkan praktik kehutanan dengan kegiatan pertanian dan peternakan secara harmonis (Triwanto, 2019). Pendekatan ini tidak hanya bertujuan untuk meningkatkan produktivitas ekonomi masyarakat pedesaan, tetapi juga berperan dalam penyerapan karbon atmosfer, konservasi tanah dan air, serta pemeliharaan keanekaragaman hayati.



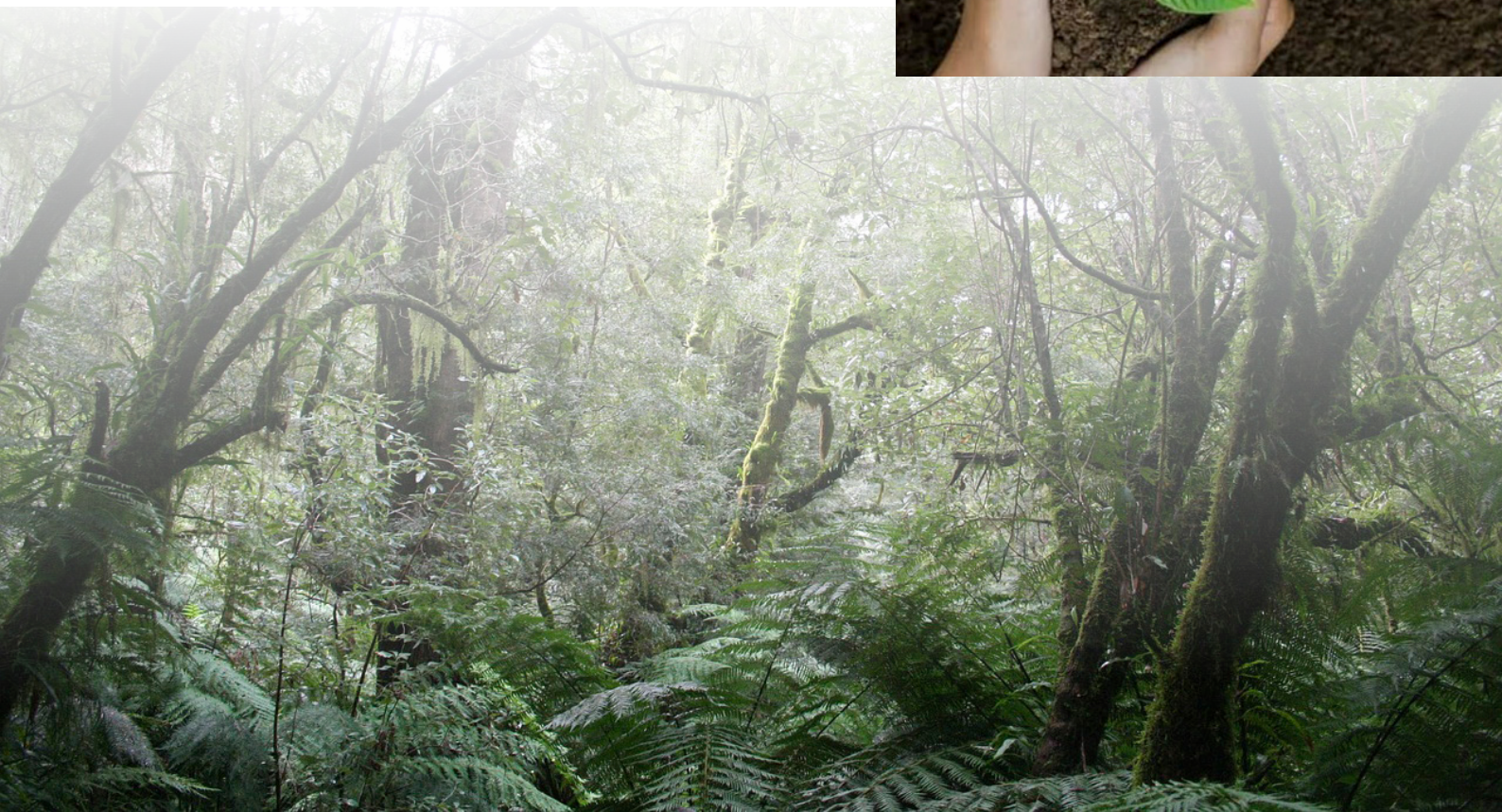
Secara historis, petani tradisional Indonesia telah menerapkan bentuk-bentuk agroforestri sederhana, seperti sistem tumpangsari dan kebun campuran, yang terbukti mampu menjaga keberlanjutan ekologis sekaligus memenuhi kebutuhan subsistensi. Praktik-praktik ini mencerminkan kearifan lokal yang telah berkembang secara turun-temurun dalam mengelola sumber daya alam secara adaptif terhadap kondisi lingkungan.

Namun, penerapan sistem agroforestri modern masih menghadapi sejumlah tantangan struktural dan kelembagaan. Salah satu hambatan utama adalah ketidakpastian hukum terkait kepemilikan dan status lahan, karena sebagian besar lahan yang digunakan petani berada di dalam kawasan hutan negara. Kondisi ini menimbulkan keraguan bagi petani untuk berinvestasi jangka panjang dalam sistem agroforestri. Selain itu, akses terhadap penyuluhan kehutanan dan teknologi ramah lingkungan masih sangat terbatas, terutama di wilayah terpencil, sehingga menghambat penyebaran praktik pengelolaan berkelanjutan. Oleh karena itu, diperlukan intervensi kebijakan yang memperkuat hak kelola masyarakat, meningkatkan kapasitas teknis petani, dan memastikan adanya dukungan insentif ekonomi yang berkelanjutan bagi pelaku agroforestri.

Reforestasi dan Restorasi Ekosistem

Reforestasi dan restorasi hutan merupakan strategi fundamental dalam mengembalikan fungsi ekologis hutan yang telah terdegradasi. Program ini mencakup kegiatan rehabilitasi lahan kritis, pemulihan ekosistem gambut dan mangrove, serta penanaman kembali di kawasan hutan yang kehilangan tutupan vegetasinya akibat deforestasi atau kebakaran (Putri et al., 2025). Pendekatan ini bertujuan meningkatkan kembali kapasitas penyerapan karbon (carbon sequestration) hutan sekaligus memperbaiki struktur tanah, menjaga keseimbangan hidrologis, dan memulihkan habitat bagi keanekaragaman hayati.

Namun demikian, efektivitas reforestasi dalam mengimbangi hilangnya hutan alam primer masih menjadi perdebatan di kalangan ilmuwan. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan kemampuan ekosistem yang direstorasi untuk meniru fungsi ekologis hutan asli, terutama pada ekosistem gambut dan mangrove yang memiliki karakteristik biogeokimia kompleks dan tingkat pemulihan alami yang sangat lambat. Selain itu, keberhasilan restorasi juga sangat bergantung pada pemilihan spesies lokal, pengawasan pasca-penanaman, serta keterlibatan masyarakat setempat dalam pengelolaan jangka panjang.



Mekanisme Kredit Karbon

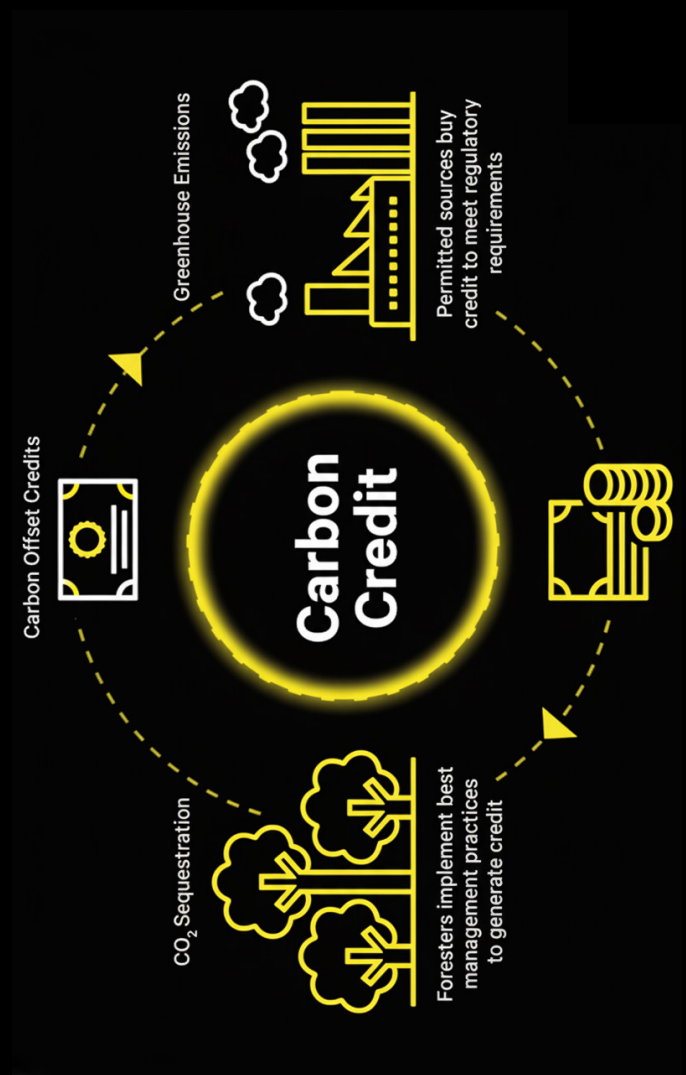
(*Carbon Credit*)

Kredit karbon (carbon credit) merupakan instrumen berbasis pasar yang dirancang untuk memberikan nilai ekonomi pada tindakan pengurangan emisi gas rumah kaca (GRK) (Farhan et al., 2025). Melalui mekanisme ini, setiap pihak—baik pemerintah, perusahaan, maupun komunitas lokal—yang berhasil mengurangi emisi atau meningkatkan penyerapan karbon berhak memperoleh sertifikat karbon yang dapat diperjualbelikan. Dengan demikian, kredit karbon berfungsi sebagai insentif finansial yang mendorong inovasi hijau, meningkatkan investasi dalam proyek-proyek konservasi, serta menciptakan peluang ekonomi baru berbasis keberlanjutan.

Menurut Tektona et al (2024) dalam konteks implementasi, terdapat dua skema utama dalam mekanisme pasar karbon:

- Perdagangan Emisi (Emission Trading System/ ETS), di mana entitas dengan emisi di bawah batas yang telah ditetapkan (cap) dapat menjual kelebihan kuotanya kepada pihak lain yang belum memenuhi target emisi.
- Opsi Imbal Jasa Emisi (Emission Offsets), yaitu transaksi kredit karbon yang berasal dari kegiatan pengurangan emisi atau peningkatan penyerapan karbon di luar target NDC, sehingga menghasilkan surplus karbon yang dapat diperdagangkan.

Meskipun mekanisme ini menjanjikan potensi ekonomi dan lingkungan yang besar, penerapannya di Indonesia masih menghadapi sejumlah tantangan teknis dan sosial. Diperlukan sistem pengukuran, pelaporan, dan verifikasi (MRV) yang transparan, akurat, dan kredibel untuk menjamin validitas kredit karbon yang diterbitkan. Selain itu, isu keadilan sosial dan distribusi manfaat (benefit sharing) menjadi



perhatian penting, terutama dalam konteks proyek-proyek yang dilaksanakan di wilayah masyarakat adat dan lokal. Prinsip transparansi, partisipasi, dan keadilan harus diintegrasikan agar manfaat dari pasar karbon tidak hanya dinikmati oleh pelaku industri besar, tetapi juga oleh komunitas penjaga hutan yang berperan langsung dalam penyerapan karbon.



DAFTAR PUSTAKA

Dewi, A. W., Adam, M. K., Pipit, A., & Yusuf, L. A. (2024). Kajian potensi pengembangan teknologi hidrogen sebagai sumber EBT melalui skema CDM dalam mendukung pencapaian NDC Indonesia. *Spatial Review for Sustainable Development*, 1(2), 106–123.

Farhan, M., Purnama, M. D., Haris, M. F. I., & Fatahillah, I. A. (2025). EFEKTIVITAS REGULASI NASIONAL DALAM MENDUKUNG TARGET NATIONALLY DETERMINED CONTRIBUTIONS (NDCS) INDONESIA SESUAI PERJANJIAN PARIS: Analisa PERPRES No. 98/2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon. *Journal of Indonesian Comparative of Syari'ah Law*, 8(1), 119–136.

Fenetiruma, O. A., Hutabarat, M., Palinggi, Y., Sumule, A., Waromi, J., Holle, Y., Tjolli, I., Yuminarti, U., Matualage, A., & Sagrim, M. (2022). Pembangunan Pertanian Berkelanjutan di Papua. Penerbit Andi.

Harris, N., & Rose, M. (2025). World's Forest Carbon Sink Shrank to its Lowest Point in at Least 2 Decades, Due to Fires and Persistent

Deforestation. Word Resources Institute. <https://www.wri.org/insights/forest-carbon-sink-shrinking-fires-deforestation>

Jompa, J., & Murdiyarso, D. (2023). Rehabilitasi Kawasan Pesisir untuk Adaptasi Perubahan Iklim: Peran kunci mangrove dalam Nationally Determined Contributions. CIFOR.

Putri, A. A., Akbar, A. A., Romiyanto, R., Jati, D. R., & Saziati, O. (2023). Potensi Karbon Biru Pesisir Kalimantan Barat. *Buletin Oseanografi Marina*, 12(3), 313–324.

Putri, E. F. S., Murdjoko, A., & Raharjo, S. (2024). Dinamika deforestasi dan degradasi hutan di Provinsi Papua. *Cassowary*, 7(2), 30–41.

Putri, F. F., Saepudin, E. A., Nurfitriani, W., & Karmila, D. (2025). Kebijakan Pengendalian Deforestasi dan Restorasi Ekosistem. *Journal of Multidisciplinary Inquiry in Science, Technology and Educational Research*, 2(3), 3873–3880.

Santhyami, M. S., & Roziaty, E. (2022). AGROFORESTRI: Potensi & Implementasi Dalam Pasar Karbon. Muhammadiyah University Press.

Sari, C. A., & Multazam, M. T. (2021). The Government of Indonesia's Accountability Against Forest Degradation Due to Deforestation Based on the Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change. *Rechtsidee*, 8, 10–21070.

Setiawan, A. (2022). Keanekaragaman hayati Indonesia: Masalah dan upaya konservasinya. *Indonesian Journal of Conservation*, 11(1), 13–21.

Tektona, R. I., Harefa, J. M. A., & Yasa, I. W. (2024). Legal Certainty in Carbon Trading in Indonesia. *Simbur Cahaya*, 208–231.

Triwanto, J. (2019). Agroforestry (Vol. 1). UMMPress.

Wong, G., Pham, T. T., Valencia, I., Luttrell, C., Larson, A. M., Yang, A., Hassan, A., Kovacevic, M., Moeliono, M., & Dwisatrio, B. (2022). Desain mekanisme pembagian manfaat REDD+: Dari kebijakan ke praktik. CIFOR.

Yusna, Y. (2022). POTENSI BIOMASSA DAN KARBON TERSIMPAN PADA HUTAN MANGROVE REWATAA KABUPATEN MAJENE. Universitas Sulawesi Barat.