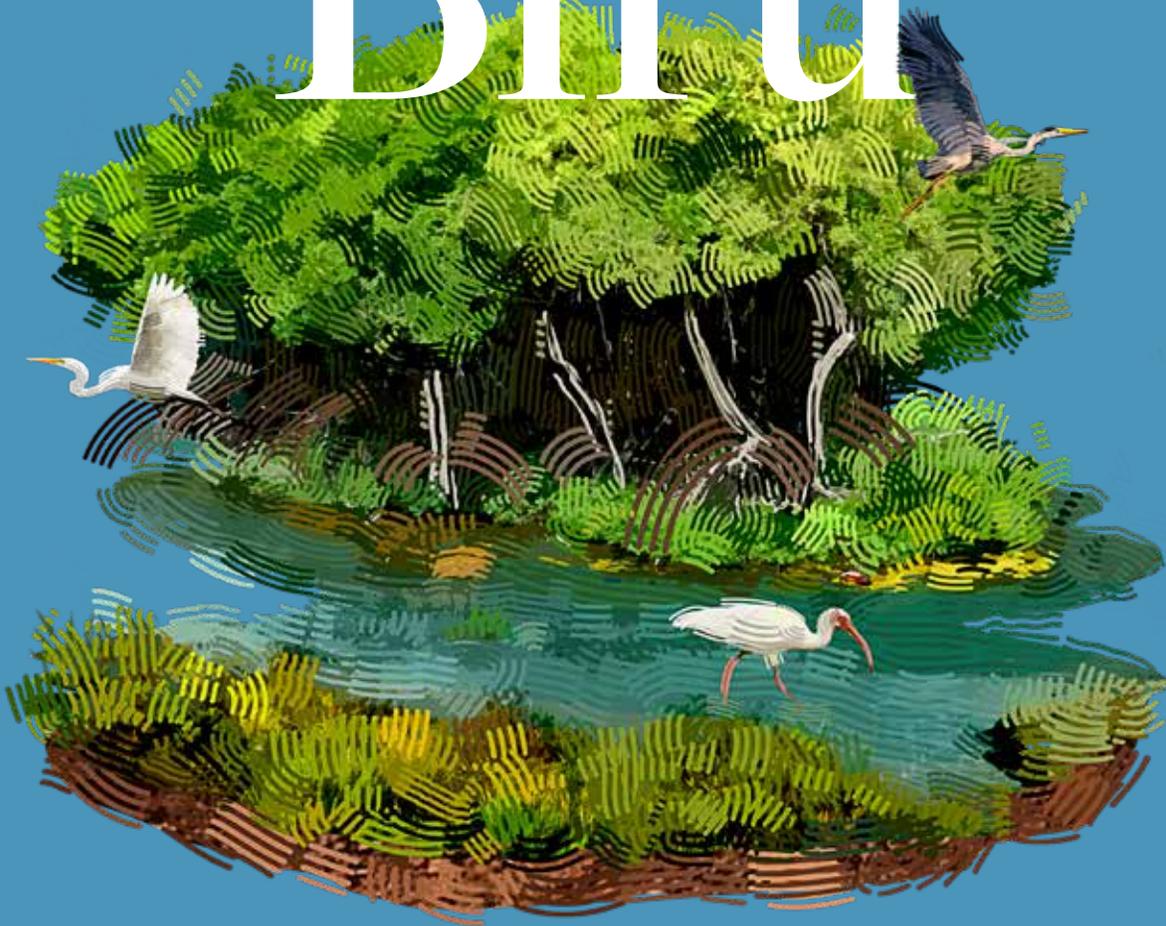


PANDUAN PRAKTIK ILMIAH TERBAIK UNTUK
PROYEK KARBON BERBASIS LAHAN

Karbon Biru



Agustus 2024

Stefanie Simpson dan Lindsey Smart

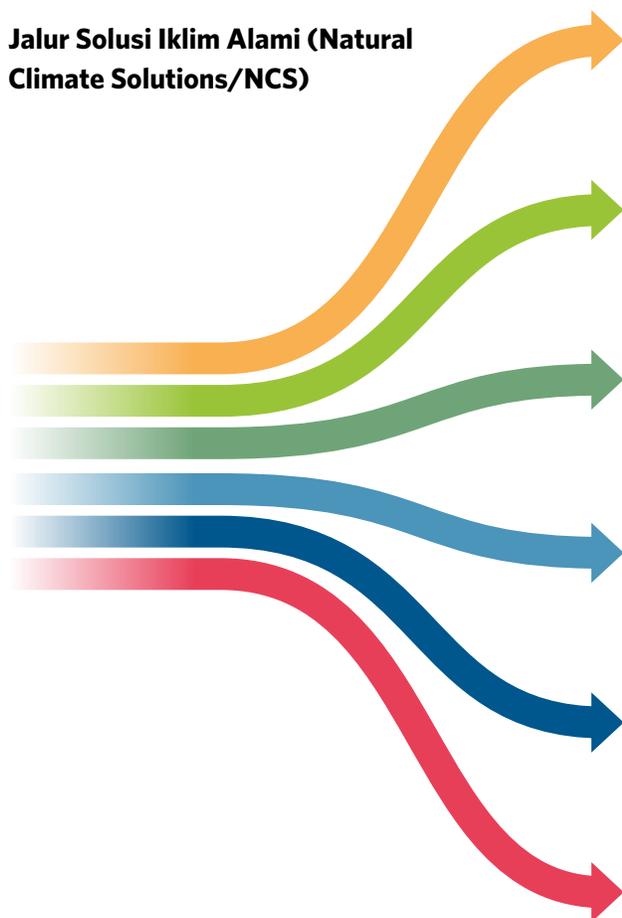
The Nature
Conservancy 

Metode penghitungan karbon yang berfokus pada praktik terbaik ilmiah merupakan tulang punggung semua pendekatan yang teliti terhadap penghitungan karbon. Namun, meskipun ilmu pengetahuan selama beberapa dekade telah meningkatkan kualitas kredit karbon hingga saat ini, penelitian terus berkembang dan meningkatkan akuntansi proyek.

Panduan Praktik Terbaik Ilmiah merupakan serangkaian penjelasan mengenai praktik terbaik ilmiah terkini dan kesenjangan untuk proyek karbon yang dikembangkan dalam enam jalur Solusi Iklim Alami (Natural Climate Solutions/NCS) yang sedang berkembang :

Panduan ini memberikan gambaran umum tentang bagaimana proyek **Karbon Biru** berkualitas tinggi menerapkan kemajuan dan perangkat ilmiah terbaru untuk menciptakan proyek dengan integritas tinggi dalam definisi skenario dasar, pengukuran dan kuantifikasi pengurangan emisi dan penyerapan, estimasi ketidakpastian, serta pemantauan aktivitas dan permanensi proyek. Dengan ringkasan ini, pembeli kredit karbon berkualitas tinggi dapat mengevaluasi dengan lebih baik apakah proyek secara efektif menerapkan perangkat dan pendekatan ilmiah yang teliti. Untuk panduan yang lebih mendetail tentang proyek karbon biru berkualitas tinggi, lihat laporan [Prinsip dan Panduan Karbon Biru Berkualitas Tinggi: Investasi tiga manfaat untuk manusia, alam, dan iklim.](#)

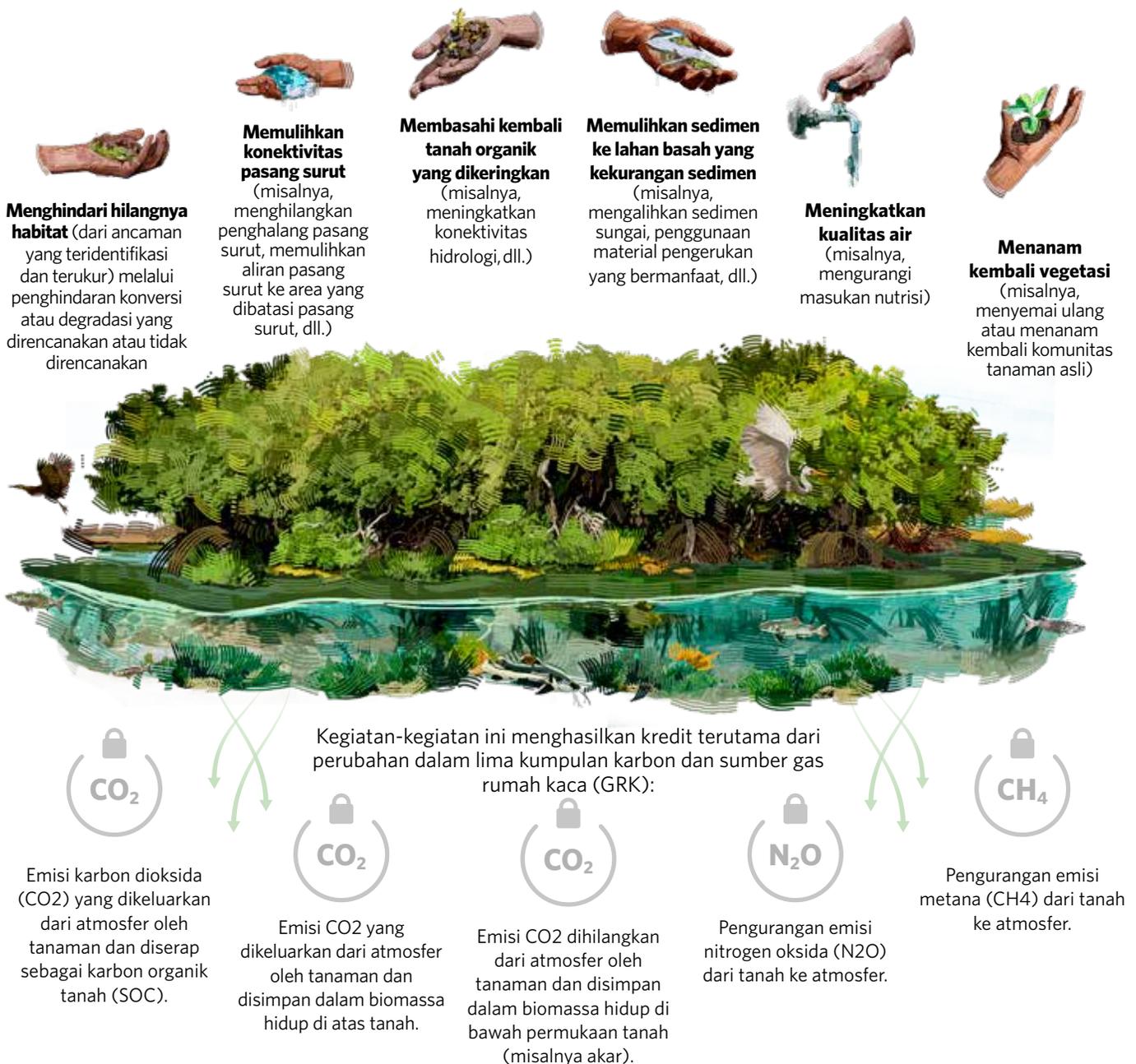
Jalur Solusi Iklim Alami (Natural Climate Solutions/NCS)



1. Pencegahan Konversi Lahan Padang Rumput dan Semak Belukar (Avoided Conversion of Grasslands and Shrublands/ACoGS)
2. Penghijauan, Reboisasi, dan Revegetasi (Afforestation, Reforestation, and Revegetation/ARR)
3. Pengelolaan Lahan Pertanian (Agricultural Land Management/ALM)
4. Restorasi dan Konservasi Lahan Basah (Wetlands Restoration and Conservation/WRC): **Karbon Biru**
5. Pengelolaan Hutan yang Ditingkatkan (Improved Forest Management/IFM)
6. Pengurangan Emisi dari Deforestasi dan Degradasi (Reduced Emissions from Deforestation and Degradation/REDD)

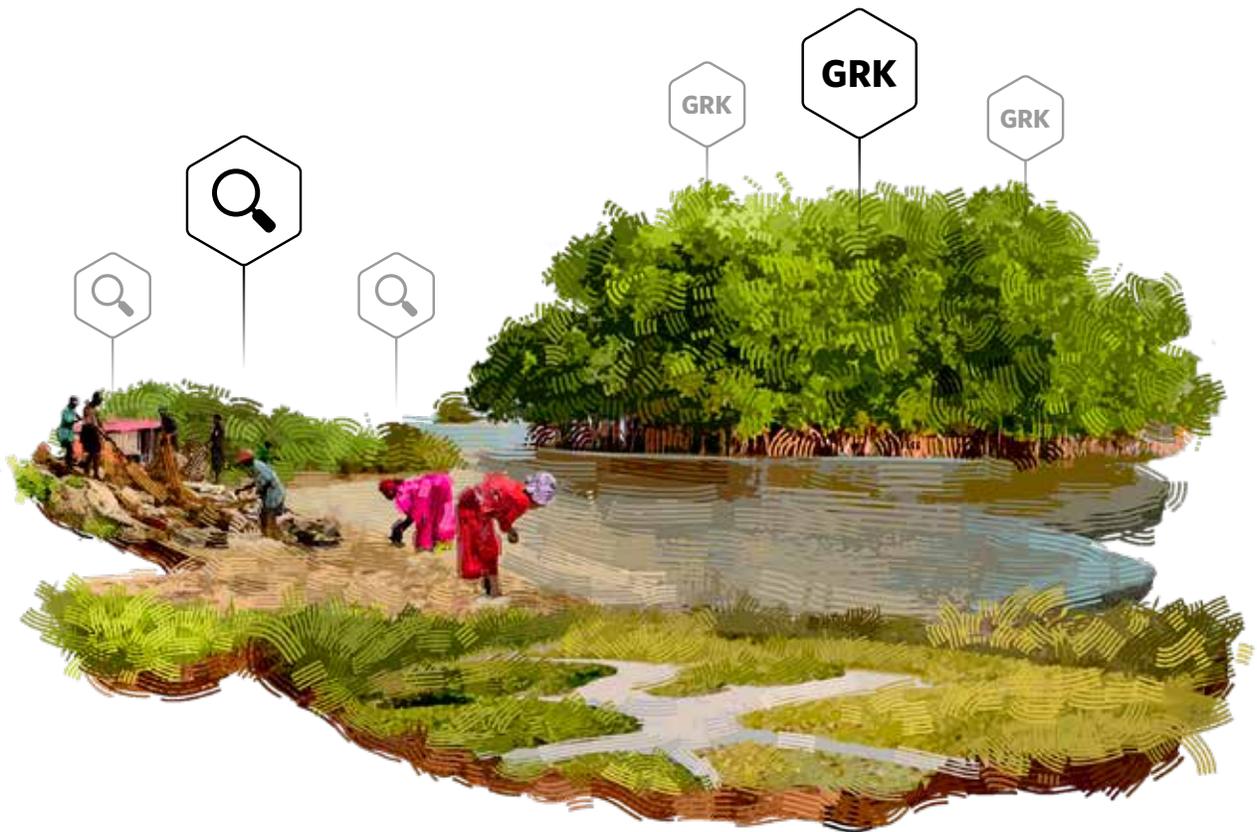
Apa itu Proyek Karbon Biru?

Kegiatan proyek bergantung pada konteks proyek tertentu dan metodologi yang digunakan, namun harus mengatasi penyebab utama hilangnya atau degradasi habitat. Penyebab degradasi lahan basah yang dapat dikurangi dengan dukungan dari pendanaan karbon meliputi pembangunan pesisir, akuakultur dan pertanian, infrastruktur pesisir (yang mengakibatkan pembatasan pasang surut), dan penurunan kualitas air. Lahan basah yang terdegradasi akibat hal tersebut dapat menghadapi risiko lebih lanjut akibat kenaikan permukaan laut dan erosi. Kegiatan proyek Karbon Biru dapat meliputi:



Proyek Karbon Biru menghasilkan kredit karbon dengan menerapkan kegiatan restorasi dan/atau konservasi (menghindari kehilangan) di habitat lahan basah pesisir, termasuk **hutan bakau, rawa asin, dan sistem padang lamun**. Meskipun habitat lain sedang dieksplorasi (misalnya rumput laut), ilmu pengetahuan saat ini dan metodologi yang disetujui membatasi karbon biru pada tiga habitat pesisir bervegetasi ini (Howard et al. 2023). Yang membedakan karbon biru dari jalur lain adalah fokus pada kumpulan karbon tanah (meskipun kumpulan lain dapat dimasukkan dalam penghitungan proyek). Karbon tanah merupakan kumpulan karbon yang lebih permanen (selama habitatnya tetap utuh dan sehat) jika dibandingkan dengan kumpulan karbon biomassa.

Bentang alam pesisir bersifat sangat dinamis, sehingga proyek pasar karbon biru menjadi sangat menantang untuk diimplementasikan. Karena itu, keadaan ilmu karbon biru terus berkembang dan harus dievaluasi ulang secara berkala. Proyek karbon biru yang berhasil dan berkualitas tinggi menyeimbangkan dampak lingkungan, kesejahteraan masyarakat, dan kepatuhan hukum. Proyek tidak hanya mengidentifikasi dan mengukur emisi dari semua sumber dan sumber yang mungkin terpengaruh oleh aktivitas proyek dalam batas wilayah proyek, tetapi juga mempertimbangkan manfaat dan kebutuhan masyarakat. Proyek berkualitas tinggi harus memanfaatkan ilmu pengetahuan dan praktik terbaik yang tersedia untuk mencapai empat tugas inti:



1.

Pemantauan pelaksanaan kegiatan restorasi atau konservasi sebelum dan setelah tanggal dimulainya proyek.

2.

Pengukuran pengurangan dan penyerapan emisi GRK berdasarkan skenario dasar dan skenario proyek.

3.

Terlibat langsung dengan masyarakat setempat selama proses perancangan dan pelaksanaan proyek.

4.

Mengukur layanan ekosistem lainnya seperti peningkatan keanekaragaman hayati, kualitas air, ketahanan pesisir, dan lain-lain.¹

Pemantauan Aktivitas Proyek



Proyek karbon menghasilkan perubahan perilaku positif terhadap iklim yang didorong atau didukung oleh insentif pasar. Oleh karena itu, penting untuk memantau kondisi proyek karbon biru sebelum dan setelah pelaksanaan proyek karbon guna memastikan bahwa perubahan praktik telah dilakukan dan manfaat iklim yang dihasilkan disebabkan oleh perubahan praktik tersebut. Dokumentasi ini merupakan komponen penting dari demonstrasi tambahan suatu proyek yang relatif terhadap skenario dasar bisnis seperti biasa.

Pemantauan Pra-Proyek

MENUNJUKKAN TAMBAHANITAS

Berdasarkan Standar Karbon Terverifikasi Verra (Verified Carbon Standard), tingkat pelaksanaan proyek restorasi dan perlindungan karbon biru yang terjadi secara global sangat rendah, sehingga

sebagian besar proyek akan memenuhi persyaratan tambahanitas, asalkan juga lulus uji kelebihan regulasi (yaitu aktivitas proyek tidak diwajibkan oleh hukum, undang-undang, atau kerangka regulasi yang berlaku). Namun, disarankan juga agar proyek menunjukkan tambahanitas finansial (yaitu bagaimana pendanaan karbon membantu menutupi kekurangan anggaran proyek).

PERTIMBANGAN HUKUM

Bentang alam pesisir dapat dipengaruhi oleh kepemilikan lahan yang berbeda-beda, sehingga mempengaruhi luas area pemberian kredit. Misalnya, area pasang surut dapat dimiliki atau dikelola oleh beberapa entitas, dan seiring naiknya permukaan laut, batas-batas ini dapat berubah karena tanah terendam. Bahkan dalam kasus di mana kepemilikan tanah jelas, pemerintah dapat mengklaim hak karbon sebagai sumber daya nasional. **Para pendukung proyek perlu menunjukkan hak yang jelas untuk mengembangkan proyek dan siapa yang akan memiliki kredit yang dihasilkan.**

MENETAPKAN SKENARIO DASAR

Kredit dalam proyek berkualitas tinggi dihitung sebagai dampak bersih dari aktivitas proyek terhadap emisi gas rumah kaca (GRK) relatif dibandingkan dengan skenario dasar kontrafaktual di mana proyek tidak dilaksanakan.

Untuk proyek karbon biru, skenario dasar yang paling kredibel biasanya adalah kelanjutan dari penggunaan lahan historis dalam 10 tahun sebelum tanggal dimulainya proyek. Sebagai contoh, jika sebuah proyek bertujuan untuk mendorong pemulihan aliran pasang surut ke lahan basah yang terkurung, skenario dasar harus menggambarkan kelanjutan pengurangan lahan basah tersebut dan emisi GRK yang terkait tanpa pemulihan aliran pasang surut. Oleh karena itu, data rinci tentang aktivitas proyek diperlukan untuk tahun-tahun sebelum proyek dimulai maupun selama masa pelaksanaan proyek.

Bentang alam pesisir bersifat dinamis dan mungkin berisiko terkena dampak iklim tambahan yang harus dipertimbangkan saat merencanakan sebuah proyek. **Proyek harus memperhitungkan potensi risiko terhadap integritas kegiatan konservasi atau restorasi yang diakibatkan oleh perubahan iklim dan peristiwa cuaca ekstrem (misalnya kenaikan permukaan laut dan badai).**

Informasi yang diperlukan untuk memenuhi semua persyaratan pemantauan dan hukum ini meliputi::

- **Penetapan batas wilayah proyek:** Koordinat GPS, data penginderaan jarak jauh, dan/atau catatan kepemilikan lahan untuk wilayah tempat aktivitas proyek direncanakan.
- **Faktor emisi dan laju penyerapan:** Data akurat mengenai faktor emisi (laju pelepasan GRK) dan laju penyerapan (laju penghilangan GRK dari atmosfer).
- **Faktor pengelolaan lahan:** Informasi terperinci mengenai penggunaan lahan dan aktivitas

pengelolaan sebelum dan setelah pelaksanaan proyek.

- **Respon terhadap kenaikan muka air laut:** Proyeksi dampak kenaikan muka air laut di lokasi proyek, termasuk bagaimana proyek akan memantau perubahan distribusi dan elevasi lahan basah dari waktu ke waktu.
- **Keberlanjutan:** Manfaat penyerapan karbon harus dilindungi setidaknya selama 40 tahun (dengan catatan beberapa standar, misalnya Verra, mengharuskan 100 tahun) atau memperhitungkan kemungkinan reversi. Proyek berkualitas tinggi mencakup strategi untuk mengatasi risiko (misalnya, kenaikan permukaan laut dan bencana alam).
- **Kebocoran:** Proyek harus memperhitungkan emisi yang disebabkan di luar area proyek akibat aktivitas proyek. Untuk proyek yang menggunakan metodologi VCS VM0033, penerapan metodologi terpenuhi.
- **Kepemilikan yang jelas:** Entitas yang mendaftarkan proyek karbon harus memiliki hak kepemilikan yang jelas atas kredit karbon.
 - Dalam proyek yang dipimpin pemerintah, lembaga pengelolaan lahan pemerintah harus dapat menunjukkan kewenangan hukum untuk berpartisipasi dalam proyek karbon biru. Umumnya, kewenangan ini memungkinkan kolaborasi dengan pemberi dana restorasi, penyedia layanan, dan pemangku kepentingan lainnya.
 - Di beberapa wilayah geografis, mungkin ada beberapa kelompok pemangku kepentingan dengan hak akses dan penggunaan lahan yang berbeda. Data pemetaan pemangku kepentingan penting untuk menentukan siapa yang akan terpengaruh oleh aktivitas proyek, baik secara positif maupun negatif.
 - Jika lahan dimiliki secara pribadi, penggagas proyek harus menilai kebijakan lokal dan nasional untuk menentukan apakah mungkin ada klaim pemerintah atas hak karbon atau mineral.

Proyek karbon berkualitas tinggi harus menggunakan metode yang sama untuk mengukur emisi dan penyerapan di bawah skenario dasar dan proyek selama periode kredit proyek. Skenario dasar harus dievaluasi setiap 6 tahun (sebagaimana disyaratkan oleh Verra) dan mencerminkan emisi dan penyerapan yang akan terjadi selama tahun-tahun proyek jika proyek tidak dilaksanakan. Menggunakan alat dan metode yang sama untuk mengukur emisi dan penyerapan di bawah setiap skenario memastikan penghitungan karbon yang konsisten yang menjaga integritas skenario dasar sekaligus mengurangi ketidakpastian dalam kredit yang dihasilkan oleh proyek (Zhou et al. 2023).

PENERAPAN TEKNIK PENGINDERAAN JARAK JAUH

Untuk menggambarkan batas wilayah proyek yang tepat, pemahaman tentang tutupan lahan dan dinamika penggunaan lahan setempat merupakan hal yang penting. Data yang diindra dari jarak jauh dan sistem informasi geografis (SIG) berfungsi sebagai alat yang hemat biaya untuk (1) memetakan luas dan perubahan habitat (misalnya, memperkirakan tingkat kehilangan), (2) mengidentifikasi risiko atau ancaman, dan (3) mengukur stok karbon. Dengan menggunakan kombinasi pita spektral, indeks vegetasi yang berasal dari citra satelit, dan model elevasi digital, ekosistem pesisir dapat diklasifikasikan pada berbagai titik waktu yang menyediakan peta luas dasar dan perubahan seiring waktu.

Selain pita spektral dan indeks vegetasi, metrik tekstur yang diperoleh dari data radar dan metrik struktural tiga dimensi lainnya yang diperoleh dari data Deteksi Cahaya dan Pengukuran Jarak (Light Detection and Ranging - LiDAR) juga dapat digunakan

untuk menginformasikan klasifikasi tetapi juga untuk memprediksi biomassa di atas permukaan tanah (dan selanjutnya karbon di atas permukaan tanah) dalam beberapa kasus, mengingat hubungan yang kuat antara struktur tajuk dan biomassa untuk sistem dengan hutan bakau. Selain itu, pengukuran berulang terhadap atribut tekstur dan struktural ini, bersama dengan indeks vegetasi dapat digunakan untuk melacak kesehatan dan kondisi ekosistem (misalnya, degradasi) dari waktu ke waktu dan menyoroti area yang perlu direstorasi.

Beberapa ekosistem karbon biru lebih mudah dipetakan dan dipantau dengan pendekatan penginderaan jarak jauh dibandingkan yang lain. Misalnya, hutan bakau memiliki karakteristik spektral unik yang cocok untuk diidentifikasi melalui data observasi bumi. Hutan bakau juga menyerap dan menyimpan sejumlah besar karbon di atas permukaan tanah dalam bentuk biomassa hidup, yang dapat dipetakan dan dipantau dengan penginderaan jarak jauh. Lamun, karena sering kali berada di daerah pasang surut, lebih sulit dipantau melalui data penginderaan jarak jauh yang tersedia untuk umum karena keterbatasan kemampuan citra satelit untuk menembus kolom air. Oleh karena itu, penting untuk memahami batasan penerapan penginderaan jarak jauh dalam sistem yang berbeda ini. Alat penginderaan jarak jauh juga memiliki ketidakpastian yang melekat, yang terkadang menyebabkan kesalahan klasifikasi tutupan habitat atau perubahan tutupan.

Semua proyek karbon berkualitas tinggi yang memanfaatkan analisis penginderaan jarak jauh untuk mengisi kesenjangan data harus mengikuti protokol yang tepat untuk mengidentifikasi dan melaporkan ketidakpastian melalui metode QA/QC seperti penilaian akurasi dan metrik kinerja lainnya. Dengan bekerja sama dengan pengelola lahan, ketidakpastian ini dapat diatasi secara sistematis, meningkatkan akurasi analisis melalui upaya kebenaran lapangan dan konsultasi/validasi ahli.



TIPS UNTUK PEMBELI

- Tanyakan siapa pemilik lahan, siapa yang memiliki kredit, dan bagaimana hal ini ditentukan.
- Tanyakan bagaimana area proyek digambarkan dan metode apa yang digunakan untuk memastikan bahwa hanya lahan yang melaksanakan aktivitas proyek yang termasuk dalam area proyek.
- Meminta untuk melihat citra historis untuk memverifikasi penggunaan lahan proyek sebelum proyek dilaksanakan.
- Tanyakan bagaimana degradasi dan konversi habitat diukur dan minta untuk melihat laporan yang mendokumentasikan keakuratan dan ketidakpastian dalam metode (jika data penginderaan jauh digunakan, ini umumnya dalam bentuk laporan penilaian akurasi).
- Tanyakan bagaimana penyebab mendasar degradasi diidentifikasi dan bagaimana aktivitas proyek akan langsung mengatasi hal ini.
- Tanyakan apakah/bagaimana kenaikan muka air laut akan memengaruhi area proyek, aktivitas proyek, dan emisi GRK di masa mendatang. Tanyakan apakah dampak-dampak ini sudah dipertimbangkan dalam data dasar proyek.
- Tanyakan metode apa yang digunakan untuk mengukur emisi dan penyerapan berdasarkan scenario dasar dan skenario proyek. .
- Tanyakan bagaimana aktivitas proyek akan dipantau dari waktu ke waktu (misalnya, pra-proyek, pelaksanaan proyek, dan pasca-proyek).
 - Jika metode penginderaan jarak jauh atau pemodelan digunakan, minta dokumentasi tentang metode tersebut, dan keakuratannya (tingkat positif palsu dan negatif palsu)
 - Tanyakan apakah ada rencana validasi lapangan untuk menguatkan metode yang diterapkan dan tanyakan apakah pemangku kepentingan akan dilibatkan untuk memberikan umpan balik yang menginformasikan keluaran.

Perhitungan Pengurangan dan Penghapusan Emisi



Perhitungan Sumber Karbon dan Sumber GRK

Elemen inti dari semua proyek karbon adalah perhitungan akurat dari pengurangan dan pembuangan emisi GRK bersih yang dicapai oleh suatu proyek, sambil memperhitungkan ketidakpastian dalam jumlah tersebut secara konservatif. Angka di seluruh proyek ini adalah jumlah dampak proyek terhadap semua sumber karbon dan sumber GRK yang diidentifikasi dalam Batasan GRK Proyek. Berbagai sumber karbon dan sumber GRK sering kali memerlukan metode kuantifikasi yang berbeda untuk memperkirakan dampak proyek secara akurat. Berbagai metode kuantifikasi mencakup berbagai jenis ketidakpastian.

Proyek karbon berkualitas tinggi secara transparan menguraikan metode perhitungan dan jenis ketidakpastian yang diperhitungkan dalam semua sumber karbon dan sumber GRK yang dikreditkan.

Ketersediaan data emisi karbon biru dan penyerapan karbon yang sudah ada bisa terbatas di banyak wilayah, dan pengumpulan data ini bisa sulit serta mahal untuk diproduksi. Untuk meringankan beban ini, metodologi restorasi lahan basah pesisir Verra yang saat ini sedang diperbarui (VM0033) memungkinkan pengembang proyek menggunakan beberapa nilai default², tergantung pada sistem dan kolam/sumber GRK (Tabel 1). Ketika nilai lokal tidak tersedia, nilai default ini mewakili data terbaik yang tersedia untuk proyek Karbon Biru. Namun, proyek yang berinvestasi dalam data lapangan lokal lebih meningkatkan akurasi dan mengurangi ketidakpastian dalam estimasi volume kredit.

Tabel 1: Pendekatan kuantifikasi untuk cadangan dan sumber GRK karbon biru menggunakan metodologi VM0033.

Cadangan/Sumber GRK	Default	Proxy	Diterbitkan/ Dimodelkan	Pengukuran Langsung
Tingkat penyerapan karbon biomassa herba	3 ton/ha, diskalakan ke 100% tutupan, satu kali	Tidak	Tidak	Metode biologi lapangan
Cadangan karbon biomassa kayu	Tidak	Tidak	Tidak	Metode inventarisasi hutan
Tingkat penyerapan C tanah	1,46 ton/ha/thn jika tutupan minimal 50%* Pengurangan untuk allocht ³ C jika tanah non-org	Sistem yang sama atau serupa	Sistem yang sama atau serupa	Inti tanah dengan bidang referensi
Tingkat emisi CH ₄ tanah	>18ppt** = 0,011 ton/ha/thn >20ppt** = 0,005 ton/ha/thn			Ruang tertutup atau kovarians eddy
Tingkat emisi N ₂ O tanah	Bervariasi berdasarkan salinitas dan sistem			

*Nilai C tanah default (Chmura et al. 2003) hanya dapat digunakan jika tidak ada nilai yang dipublikasikan.

**Nilai CH₄ tanah default (Poffenbarger et al. 2011) hanya dapat digunakan jika tidak ada nilai yang dipublikasikan

Pertimbangan utama seputar penggunaan pendekatan kuantifikasi karbon biru meliputi:

- Faktor emisi default dapat digunakan jika secara ilmiah kredibel dan jika tidak ada data terbitan yang relevan secara lokal.** Nilai default yang diizinkan mencakup data terbitan oleh Panel Internasional tentang Perubahan Iklim (International Panel on Climate Change/IPCC) untuk digunakan dalam inventarisasi GRK nasional (tingkat 1), data khusus negara untuk faktor-faktor utama (tingkat 2) atau data stok karbon dan tingkat emisi dari inventarisasi terperinci yang dihasilkan dari pengukuran berulang melalui waktu atau pemodelan (tingkat 3). Data tingkat 1 atau 2 dapat disertai dengan rentang kesalahan yang besar, misalnya +/-50% untuk kumpulan karbon di atas tanah dan +/-90% untuk kumpulan karbon tanah variabel; namun, nilai default ini dianggap konservatif dan dengan demikian diizinkan kecuali jika tersedia lebih banyak data yang berasal dari daerah setempat.
- Proxy kadang-kadang digunakan untuk memperkirakan emisi GRK; namun, sistem ini belum dikembangkan dengan baik untuk sistem karbon biru. Proxy yang umum digunakan adalah salinitas untuk memperkirakan metana, berdasarkan Poffenbarger et al. 2011, yang menunjukkan bahwa untuk lahan basah dengan salinitas lebih dari 18ppt, emisi metana dapat diabaikan. Namun, penelitian baru (saat ini sedang dipublikasikan, diharapkan rilis pada tahun 2024) menunjukkan bahwa kisaran ini lebih bervariasi. **Proxy harus digunakan dengan hati-hati.**
- Nilai yang dipublikasikan** dapat digunakan untuk tingkat rata-rata emisi GRK dan dapat menjadi pendekatan yang valid, asalkan nilai tersebut berasal dari data yang dipublikasikan melalui tinjauan sejawat dan data tersebut berasal **dari sistem yang "sama atau serupa" dengan data di area proyek.**
- Model merupakan pilihan lain untuk memperkirakan emisi GRK; namun, banyak model saat ini yang belum dikembangkan dan diuji secara memadai untuk karbon biru. Agar dapat digunakan, model tersebut harus divalidasi dengan pengukuran langsung dari sistem dengan kedalaman muka air tanah, salinitas, hidrologi pasang surut, pasokan sedimen, dan komunitas tumbuhan yang sama atau serupa dengan sistem proyek. **Semua sumber ketidakpastian model yang mungkin terjadi harus dinilai dengan menggunakan pendekatan statistik yang diakui seperti yang dijelaskan dalam Pedoman IPCC tahun 2006.**
- Data yang dikumpulkan di lapangan mencakup pengukuran langsung laju emisi GRK atau perubahan stok karbon melalui pengambilan sampel di lapangan. **Untuk mencapai penghitungan karbon biru yang kuat melalui pengambilan sampel di lapangan, stratifikasi harus digunakan untuk membagi area proyek menjadi strata yang serupa**

secara spasial. Misalnya, strata dapat dipilih berdasarkan jenis dan kedalaman tanah, kedalaman muka air tanah, tutupan vegetasi, salinitas, jenis lahan atau perubahan karakteristik yang diharapkan selama masa proyek. Saat melakukan pengukuran, menambah jumlah strata akan meningkatkan akurasi perhitungan dengan mengurangi area sampel.

Karena fluks GRK karbon biru dapat bervariasi, data yang dikumpulkan di lapangan adalah yang paling dapat diandalkan dan akurat serta harus diprioritaskan jika memungkinkan.

Pengumpulan Data tentang Karbon Tanah dan Fluks GRK

KARBON TANAH

Stok SOC (kepadatan karbon organik dalam tanah) harus selalu diukur baik pada awal proyek maupun secara berkala (setidaknya setiap 5 tahun) selama masa proyek. Pengukuran awal mewakili titik awal bersama untuk skenario baseline dan skenario proyek, yang akan menyimpang dari stok karbon organik tanah (SOC) awal setelah proyek dimulai. Dalam penentuan SOC, sampel tanah diambil dan dianalisis berdasarkan: 1) kedalaman tanah, 2) densitas bulk kering (Bulk density kering), dan 3) kandungan karbon organik tanah (%Corg). Bulk density kering yang dikalikan dengan kandungan karbon

organik tanah menghasilkan stok karbon dalam satuan massa per volume.

Seperti disebutkan di atas, stok karbon organik tanah (SOC) harus diukur menggunakan desain sampling acak berstrata. Pendekatan ini membagi area proyek menjadi unit-unit kecil yang homogen untuk mengurangi variasi stok SOC yang terukur di setiap strata. Sampel tanah harus dikumpulkan dan dianalisis untuk memungkinkan perhitungan stok SOC dan perubahan stok SOC. Kepadatan sampling (jumlah sampel per unit area) di setiap strata harus dipilih dengan mempertimbangkan keseimbangan antara biaya sampling dan pengurangan kredit akibat kesalahan sampel. Kepadatan sampling optimal akan bergantung pada geografi spesifik dan variabilitas atribut lingkungan terkait dalam geografi tersebut, serta kegiatan proyek yang mendapatkan kredit.

Praktik terbaik saat ini untuk memperoleh data SOC adalah dengan mengumpulkan sampel tanah fisik dan mengirimkannya ke laboratorium tanah terakreditasi untuk dianalisis. Proses ini memakan waktu dan mahal, sehingga dapat menjadi hambatan biaya bagi banyak proyek. Namun, data tersebut sangat penting untuk menjaga integritas proyek karbon berkualitas tinggi. Karena nilai default dan nasional cenderung konservatif, data yang dikumpulkan secara lokal tidak hanya lebih akurat, tetapi juga dapat menghasilkan jumlah kredit yang lebih tinggi. Pembeli kredit karbon berkualitas tinggi dapat mempertimbangkan untuk berinvestasi dalam upaya penelitian guna menurunkan biaya pengukuran SOC dan meningkatkan potensi kredit yang dihasilkan.

Tabel 2: Perbandingan teknik laboratorium untuk menentukan persentase karbon organik dari Panduan Karbon Biru (Howard et al. 2014).

	Metode Pembakaran Kering		Wet Combustion Method
	Penganalisis Elemen	Kehilangan Saat Pembakaran (Loss on Ignition/LOI)	Penggunaan H ₂ O ₂ dan Pencernaan Dikromat (Metode Walkley-Black)
Kelebihan	Pengukuran kuantitatif kandungan karbon	Pengukuran semi-kuantitatif kandungan karbon organik; biaya rendah dan teknologi sederhana	Pengukuran semi-kuantitatif kandungan karbon organik; biaya rendah dan prosedur kimia sederhana
Kekurangan	Memerlukan instrumentasi khusus; bisa mahal	Persen C organik ditentukan dari hubungan yang diperoleh secara empiris antara karbon dan bahan organik	H ₂ O ₂ tidak selalu mencerna karbon secara merata; menghasilkan limbah berbahaya.

Unsur penting lain dalam mengukur penyerapan karbon adalah memahami titik di mana akumulasi karbon dimulai akibat kegiatan proyek. Beberapa metodologi memiliki persyaratan teliti untuk pemasangan marker horizons sebagai metode utama untuk mengukur akumulasi karbon tanah setelah proyek dimulai. Pengambilan sampel tanah (coring) saja tidak dapat menunjukkan berapa banyak material yang terakumulasi akibat proyek tersebut. Diperlukan elemen waktu dalam pengukuran, dan marker horizons merupakan metode paling efektif dari segi biaya.

BIOMASSA DI ATAS DAN DI BAWAH TANAH

Biomassa hidup di atas permukaan tanah (Aboveground Living Biomass, AGB) dapat berupa tumbuhan herba (terutama di lahan rawa dan lamun) atau kayu (terutama di mangrove), sedangkan biomassa hidup di bawah permukaan tanah (Belowground Living Biomass, BGB) terdiri dari akar dan rizoma. Protokol untuk mengukur karbon biomassa dapat berbeda tergantung pada jenis dan kepadatan habitat. Dalam banyak kasus, persamaan alometrik dapat digunakan untuk menggambarkan hubungan antara parameter yang dapat diukur (misalnya, tinggi, diameter pada ketinggian dada, kepadatan, tutupan, dll.) dan total biomassa, dan sering digunakan untuk menghindari praktik pengukuran yang merusak. **Persamaan yang digunakan harus dari sistem yang sama atau serupa, dan/atau spesies jika memungkinkan, dan sudah mapan dalam literatur (yaitu, yang telah melalui tinjauan sejawat).** Biomassa setiap jenis bahan tanaman kemudian dikalikan dengan faktor konversi karbon yang sesuai untuk menghasilkan stok untuk sumber karbon di atas permukaan tanah. Tantangan dalam mengukur sumber karbon di habitat karbon biru adalah aksesibilitas. Hutan bakau bisa menjadi tantangan tersendiri untuk diambil sampelnya, karena hutan bakau sering kali memiliki banyak akar tunjang atau pneumatofor yang melimpah, dikelilingi oleh saluran terpecah-pecah, dan mengalami siklus pasang surut.

Hutan bakau terkadang diperlakukan sama dengan hutan dataran tinggi dalam hal mengukur biomassa; namun, ada beberapa perbedaan utama yang perlu dipertimbangkan dalam cara menilai biomassa hutan

bakau. Sebagai contoh, saat melakukan pengambilan sampel pohon mangrove di dalam petak sampel, disarankan agar semua pohon hidup diukur (berbeda dengan hutan darat, di mana hanya pohon dengan diameter 10 cm atau lebih yang diukur), atau menggunakan sub-petak di area sampel yang didominasi oleh pohon-pohon kecil. Di banyak wilayah, spesies mangrove dominan memiliki struktur atas yang lebih pendek, sering disebut sebagai mangrove kerdil atau scrub mangrove. Ketersediaan persamaan alometrik yang tepat untuk digunakan di sistem mangrove kerdil masih sangat terbatas. Beberapa persamaan yang ada untuk sistem ini sebagian besar berasal dari Florida, AS. Namun, pendekatan paling akurat adalah mengembangkan persamaan untuk tanaman di wilayah yang relevan. Karena terdapat variabilitas tinggi antara spesies dan wilayah geografis, pengembangan persamaan alometrik lokal yang relevan merupakan bidang penelitian yang sangat diperlukan. Demikian pula, untuk biomassa di bawah permukaan tanah (Belowground Biomass, BGB), persamaan alometrik yang tersedia untuk mangrove masih terbatas, padahal kolam karbon BGB bisa menjadi komponen penting. Beberapa persamaan alometrik telah dilaporkan dalam literatur, dan meskipun beberapa bersifat konservatif, studi tambahan untuk mengembangkan persamaan yang lebih spesifik secara regional akan menjadi kontribusi yang sangat berharga. Untuk memperkirakan biomassa di bawah permukaan secara umum, rasio biomassa bawah ke atas permukaan sering digunakan. Rasio default biomassa bawah ke atas permukaan untuk mangrove berkisar antara 0,29 hingga 0,96 (Howard et al., 2014).

Untuk rawa pasang surut, penting untuk membedakan antara habitat rawa tinggi, tengah, dan rendah saat merancang rencana pengambilan sampel. Sebagian besar karbon yang tersimpan di rawa pasang surut terdapat pada biomassa bawah tanah (BGB) dan tanah, sedangkan biomassa atas permukaan lebih signifikan di habitat rawa tinggi. Untuk BGB, sumber karbon dapat diperkirakan menggunakan persamaan alometrik yang telah dikembangkan atau melalui pengukuran langsung. Pengembangan persamaan alometrik khusus untuk spesies dan lokasi tertentu merupakan pendekatan paling akurat.

AGB lamun dapat berubah secara musiman dan di beberapa lokasi mungkin hilang seluruhnya selama musim dingin. Padang rumput sub-pasang surut akan memerlukan peralatan snorkel atau selam untuk mengambil sampel, yang dapat menghabiskan banyak sumber daya.

Waktu pengambilan sampel di habitat karbon biru penting, karena kumpulan karbon dapat bervariasi tergantung pada musim, kadar air tanah, dan salinitas. **Penting untuk memiliki rencana pengambilan sampel yang dipikirkan dengan matang, yang mempertimbangkan jadwal pasang surut, potensi kejadian banjir, aksesibilitas ke lokasi pengambilan sampel, apakah plot pengambilan sampel akan bersifat sementara atau permanen, dan seberapa besar area pengambilan sampel yang mungkin diperlukan untuk menangkap sampel tanaman yang representatif.** Pengambilan sampel direkomendasikan pada puncak musim tanam secara konsisten dari tahun ke tahun, biasanya pertengahan akhir musim panas.

Buku Panduan Karbon Biru (Howard et al. 2014) memberikan panduan tambahan dan rincian untuk mengumpulkan data AGB dan BGB di habitat karbon biru, termasuk menentukan kandungan karbon dari pohon palem dan vegetasi non-pohon lainnya, pneumatofora, dan serasah.

FLUKS GRK

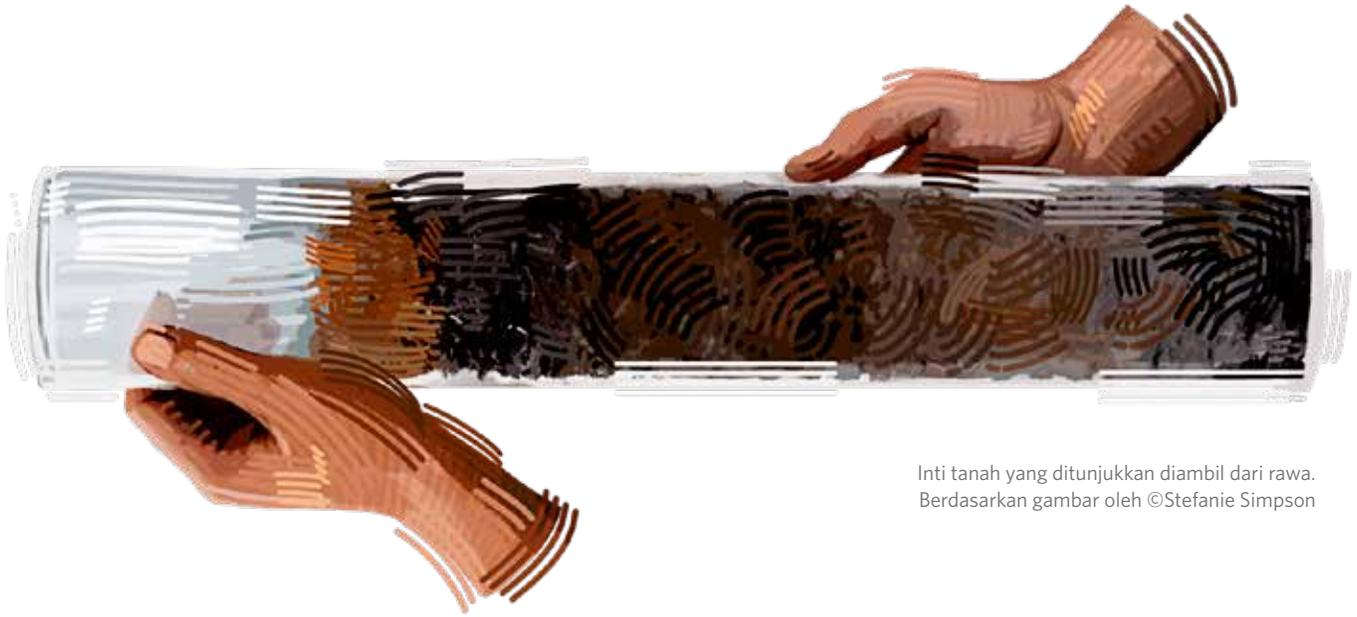
Fluks GRK adalah emisi bersih yang diserap dan dipancarkan secara alami oleh area proyek, yang pada akhirnya diperhitungkan dalam jumlah kredit yang dihasilkan. Emisi yang digunakan untuk mengukur fluks dapat ditentukan menggunakan pengukuran langsung atau dengan proxy. Saat menggunakan pengukuran langsung, fluks GRK diperkirakan antara tanah dan vegetasi serta atmosfer/kolom air melalui pengukuran atau pemodelan yang tepat. Fluks GRK dapat diukur secara tepat menggunakan menara eddy covariance atau ruang statis. Ada manfaat dari kedua pendekatan tersebut. Sementara menara eddy covariance menawarkan tenaga kerja pemantauan yang minimal, biayanya dapat menjadi mahal karena memerlukan

pekerjaan pembelian menara fluks dan sensor yang mahal serta membayar personel untuk melakukan pemrosesan data yang rumit. Metode ruang statis dapat lebih murah untuk dipasang tetapi memerlukan lebih banyak waktu dan upaya untuk membangun dan memantau (dan masih memerlukan pembelian sensor). Ruangannya memerlukan konstruksi atau pembelian trotoar untuk menghindari gangguan pada lokasi tempat fluks akan diukur.

Jika menggunakan proxy untuk fluks GRK, perubahan stok karbon dapat ditentukan dengan salah satu dari dua cara: 1) metode perbedaan stok, yang memperkirakan perbedaan stok karbon yang diukur pada dua titik waktu (perkiraan tingkat 3), atau 2) metode untung-rugi, yang memperkirakan perbedaan stok karbon berdasarkan faktor emisi aktivitas spesifik dan diperoleh dari literatur dan data aktivitas negara (perkiraan tingkat 1 dan 2) (Howard et al. 2014).

Sedangkan proxy dapat digunakan untuk emisi CO₂, dan untuk emisi CH₄ dalam kasus salinitas di atas 18 ppt, pengukuran fluks langsung diperlukan untuk mengukur emisi N₂O dan CH₄ pada salinitas yang lebih rendah. Emisi N₂O sebagian besar terkait dengan masukan akuakultur/pertanian dan biasanya dapat diabaikan kecuali sistem memiliki sumber muatan nitrat (misalnya limpasan pupuk), sedangkan produksi CH₄ secara langsung terkait dengan salinitas (Poffenbarger et al. 2011).

Panduan Karbon Biru (Howard et al. 2014) merupakan sumber daya standar untuk metode pengumpulan dan penghitungan kuantifikasi karbon biru. Kami telah menyertakan beberapa informasi ringkasan di sini, khususnya tentang karbon organik tanah dan fluks GRK yang sangat penting dalam penghitungan karbon biru. Untuk informasi tambahan tentang langkah-langkah pengumpulan, analisis, dan penghitungan karbon organik tanah, fluks GRK, dan pengukuran karbon biomassa di atas dan di bawah tanah dalam ekosistem karbon biru, silakan merujuk pada buku panduan: Panduan Karbon Biru - [Karbon Biru Pesisir: metode untuk menilai stok karbon dan faktor emisi di hutan bakau, rawa garam pasang surut, dan padang lamun.](#)



Inti tanah yang ditunjukkan diambil dari rawa.
Berdasarkan gambar oleh ©Stefanie Simpson



Contoh pemantauan GRK menggunakan ruang statis dan trotoar yang sudah ada. Berdasarkan gambar oleh ©NOAA

Pemodelan GRK

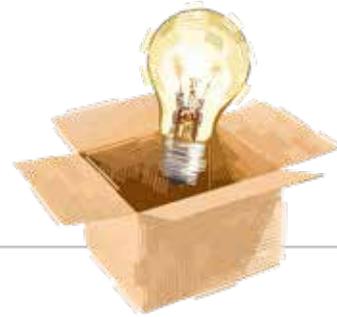
Sistem pesisir sangat dinamis; oleh karena itu, model biogeokimia pesisir harus sangat canggih dan mencakup sejumlah besar parameter. Model pesisir diketahui memiliki variabilitas tinggi dan rentan terhadap kesalahan atau penyederhanaan yang berlebihan. Jika pengembang memilih untuk menggunakan pendekatan ini, **model yang digunakan untuk mensimulasikan dampak kegiatan proyek terhadap pengurangan dan penghapusan GRK harus selalu dikalibrasi dan divalidasi terhadap kumpulan data terukur dari GRK yang sama.** Validasi model harus secara transparan melaporkan kesalahan prediksi model dan menyebarkan kesalahan tersebut ke simulasi model berikutnya. Proyek karbon berkualitas tinggi akan memiliki laporan validasi model yang tersedia untuk umum yang mencakup semua data yang digunakan untuk kalibrasi dan validasi dan secara intuitif menampilkannya di seberang prediksi model sebagai scatterplots sederhana. **Model yang digunakan dalam proyek untuk mengukur penghapusan SOC harus divalidasi berdasarkan kemampuannya untuk memprediksi perubahan stok SOC dan bukan hanya stok SOC.**

Data dasar yang sangat spesifik diperlukan untuk memvalidasi model yang digunakan dalam proyek karbon biru berkualitas tinggi. Data terbaik berasal dari studi jangka panjang (>5 tahun) di mana pengukuran berulang terhadap sumber atau kumpulan GRK target dilakukan dari waktu ke waktu dalam plot berpasangan di mana aktivitas proyek yang ditingkatkan dan aktivitas dasar bisnis seperti biasa diterapkan. Untuk karbon biru, model dasar seperti itu masih dikembangkan dan memerlukan validasi lapangan lebih lanjut agar dapat diterapkan secara

luas. Studi yang tidak memenuhi kriteria ini sering kali hanya mengukur sumber dan kumpulan GRK pada satu titik waktu, sehingga membatasi kegunaannya untuk validasi model. Pembeli kredit karbon berkualitas tinggi dapat mempertimbangkan untuk berinvestasi dalam studi penelitian guna menghasilkan data yang dibutuhkan untuk memvalidasi model GRK berbasis proses dengan teliti.

Perhitungan untuk Ketidakpastian

Proyek berkualitas tinggi yang mengukur berbagai sumber ketidakpastian harus secara konservatif memperhitungkan dampak ketidakpastian tersebut pada jumlah kredit yang diterbitkan untuk proyek tersebut. Akuntansi yang tepat untuk ketidakpastian menciptakan distribusi probabilitas di sekitar estimasi titik dampak iklim suatu proyek. Volume kredit akhir yang diterbitkan untuk suatu proyek kemudian dapat dipilih dari distribusi ini untuk mewakili penyerbitan konservatif berdasarkan ketidakpastian yang dilaporkan. **Standar kualitas tinggi mengharuskan proyek untuk melakukan pengurangan ketidakpastian dalam akuntansi proyek ketika ada kesalahan lebih dari 20% dengan interval kepercayaan 90% atau kesalahan 30% dengan interval kepercayaan 95%.** Karena distribusi ketidakpastian dibuat dari ketidakpastian dalam metode kuantifikasi proyek, pendekatan kredit ini memberikan insentif bagi proyek yang mengurangi ketidakpastian melalui langkah-langkah seperti mengurangi kesalahan prediksi model (meningkatkan validasi model), berinvestasi dalam data yang berasal dari lokal, dan mengurangi kesalahan sampel (mengumpulkan lebih banyak sampel).



TIPS UNTUK PEMBELI

- Mintalah laporan yang merangkum seluruh kumpulan dan sumber GRK yang dikreditkan oleh proyek, metode penghitungan yang terkait, dan jenis ketidakpastian yang diperhitungkan.
 - Pastikan metode kuantifikasi yang sama digunakan untuk skenario dasar dan skenario proyek untuk setiap sumber atau kumpulan GRK.
- Tanyakan data apa yang dikumpulkan secara lokal dari lokasi proyek, dan metode apa yang digunakan. Apakah pengukuran lapangan mengikuti protokol yang ditetapkan dalam Panduan Karbon Biru (Howard et al 2014)?
- Pastikan bahwa penerbitan kredit akhir secara konservatif memperhitungkan ketidakpastian dan risiko dengan menerbitkan volume kredit yang kurang dari rata-rata yang diharapkan dari proyek (yaitu berkontribusi pada kumpulan penyangga, rata-rata 20%+ untuk proyek Karbon Biru, karena risiko kenaikan permukaan laut saja dapat menghasilkan pengurangan risiko 20 poin.). Penyempurnaan dan meminimalkan skor risiko memerlukan banyak data khusus lokasi - area yang memerlukan investasi lebih lanjut.
- Untuk proyek yang mengukur stok SOC dan perubahan stok:
 - Tanyakan apakah area proyek telah distratifikasi sebelum mengumpulkan sampel tanah.
 - Tanyakan apakah metode massa tanah ekuivalen digunakan saat menghitung perubahan stok SOC.
 - Tanyakan tentang kepadatan pengambilan sampel dan apakah kesalahan sampel diperhitungkan dalam volume kredit akhir.
 - Jika metode pengukuran alternatif digunakan, tanyakan apa kesalahan dalam metode tersebut dan apakah diperhitungkan dalam penerbitan kredit akhir.
- Untuk proyek yang mengukur biomassa di atas dan di bawah tanah:
 - Tanyakan apakah proyek menggunakan persamaan alometrik yang relevan secara lokal/spesies, dan apakah persamaan tersebut telah ditinjau sejawat.
- Untuk proyek yang memodelkan emisi GRK:
 - Mintalah untuk melihat laporan validasi model proyek dan pastikan laporan tersebut menunjukkan diagram sebaran (scatterplot) sederhana dari kinerja model untuk data dari studi sebelumnya tentang aktivitas proyek.
- Tanyakan bagaimana kenaikan permukaan laut telah dipertimbangkan.

Melibatkan Masyarakat Lokal



Proyek karbon biru pesisir sering kali melibatkan berbagai pemangku kepentingan dan lahan dengan kepemilikan yang tidak jelas. Proyek karbon biru dapat berlangsung di tempat masyarakat ini tinggal dan bekerja serta berdampak signifikan terhadap ekonomi lokal. Proyek berkualitas tinggi menerapkan perlindungan sosial untuk melindungi hak-hak masyarakat, mengintegrasikan pengetahuan ekologi lokal dan kepemimpinan dalam semua elemen desain dan implementasi proyek, serta memastikan akses yang adil terhadap lahan dan pendapatan karbon. Praktik terbaik meliputi:

- Menetapkan proses persetujuan awal tanpa paksaan dan berdasarkan informasi (free, prior and informed consent/FPIC)
- Memastikan partisipasi inklusif dengan Masyarakat Adat dan masyarakat lokal, perempuan, pemuda, dan kelompok terpinggirkan lainnya dalam perencanaan, desain, dan tata kelola proyek
- Menetapkan mekanisme umpan balik dan pengaduan yang dapat diakses
- Menghormati penggunaan lahan dan budaya setempat

- Memberdayakan masyarakat lokal untuk menentukan pembagian pendapatan yang adil (sebaiknya memungkinkan masyarakat memperoleh persentase manfaat yang lebih tinggi saat harga meningkat dan memberi kompensasi kepada pengembang proyek dengan tarif tetap)
- Beroperasi secara lokal dan kontekstual
- Merancang perjanjian dan kontrak yang transparan dan adil

Untuk panduan tambahan guna menginformasikan keputusan dan tindakan saat bekerja dengan pemangku kepentingan karbon biru, lihat sumber daya berikut:

- [Prinsip dan Panduan Karbon Biru Berkualitas Tinggi: Investasi tiga manfaat bagi manusia, alam, dan iklim](#)
- [Menyertakan Pengetahuan Ekologi Lokal \(LEK\) dalam Konservasi & Restorasi Mangrove: Panduan Praktik Terbaik bagi Praktisi dan Peneliti](#)
- [Panduan Hak Asasi Manusia untuk Bekerja dengan Masyarakat Adat dan Komunitas Lokal](#)



TIPS UNTUK PEMBELI

- Tanyakan apakah pemetaan pemangku kepentingan telah dilakukan dan bagaimana masyarakat setempat telah/terlibat dalam perencanaan dan pelaksanaan proyek.
- Mintalah untuk melihat catatan proses FPIC.
- Tanyakan bagaimana gender telah dipertimbangkan dalam penjangkauan dan keterlibatan pemangku kepentingan.
- Tanyakan bagaimana kendala bahasa telah diatasi.
- Tanyakan siapa yang memiliki kepemilikan atas area proyek dan apakah entitas yang sama akan mempertahankan hak karbon.
 - Jika kepemilikan kredit telah dialihkan, apa manfaat yang diperoleh masyarakat dari pendapatan karbon? Apakah pemilik kredit merupakan penduduk lokal masyarakat atau sebagian besar pendapatan diberikan kepada entitas eksternal?
- Apakah pendekatan pembagian manfaat pendapatan karbon menggunakan persentase atau tarif tetap?

Karbon Biru

Tinjauan Metodologi



Beberapa standar karbon menawarkan metodologi untuk mengkreditkan proyek karbon biru, dan terdapat variasi substansial dalam persyaratan minimum untuk penggunaan perangkat ilmiah di berbagai metodologi. Tabel di bawah ini merangkum metodologi yang ada yang diterbitkan oleh standar karbon sukarela terkemuka.

Tabel 3: Ringkasan metodologi lahan basah pesisir yang tersedia.

Standar	Metodologi	Tahun Terbit	Status Pengembangan	Jenis Pasar	Sedang dalam proses Pembaruan
VCS	VCS VM0033 Metodologi untuk Pemulihan Lahan Basah Pasang Surut dan Padang Lamun, v2.0 (saat ini sedang diperbarui ke v2.1)	2023	Lengkap	Sukarela	x
VCS	VCS VM0007 Kerangka Metodologi REDD+ (REDD+MF), v1.6 (saat ini sedang diperbarui ke v1.7)	2020	Lengkap	Sukarela	x
ACR	Restorasi ACR di Lahan Basah Delta dan Pesisir California	2017	Lengkap	Sukarela	
Program Pengurangan Emisi Bersertifikat China (CCER)	Metodologi Proyek Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca Sukarela: Penciptaan Vegetasi Hutan Bakau (CCER-14-002-V01)	2023	Lengkap	Diatur	
Skema Kredit Karbon Australia (ACCS)	Inisiatif Pertanian Karbon—Pemulihan Ekosistem Karbon Biru Akibat Pasang Surut, menggunakan Model Akuntansi Karbon Biru (Blue Carbon Accounting Model/BlueCAM)	2021	Lengkap	Diatur	
Plan Vivo (PV Climate V5)	PM001: Metodologi Penilaian Manfaat Karbon Pertanian dan Kehutanan	2023	Lengkap	Sukarela	x
Standar Emas	Metodologi Pengelolaan Mangrove Berkelanjutan v1.0	2024	<i>Dalam tahap pengembangan</i>	Sukarela	Dalam draft

Catatan: Daftar ini dimaksudkan untuk bersifat inklusif pada saat penulisan (Mei 2024) namun tidak menyeluruh dan tidak menunjukkan dukungan metodologi oleh The Nature Conservancy.



TIPS FOR BUYERS

- Metodologi VCS VM0033 mengharuskan proyek untuk memenuhi praktik ilmiah terbaik terkini. Lakukan uji tuntas ekstra pada proyek yang diverifikasi berdasarkan metodologi lain untuk memastikan bahwa proyek tersebut memenuhi tingkat ketelitian yang sama.
- Perlu diketahui bahwa metodologi VM0007 dan VM0033 keduanya masih menunggu pembaruan. Modul karbon biru di VM0007 diharapkan akan dipindahkan ke VM0033.

CATATAN AKHIR

- 1 Perlu diperhatikan bahwa laporan ini tidak menjelaskan cara mengevaluasi penilaian proyek karbon terhadap jasa ekosistem. Untuk opsi tentang cara mengevaluasi manfaat ini, lihat metodologi yang tersedia sebagai bagian dari Standar Dampak Terverifikasi Pembangunan Berkelanjutan (SDVISTA) Verra atau Standar Iklim, Komunitas, Keanekaragaman Hayati (CCB).
- 2 Nilai default adalah faktor emisi 'global' yang tidak spesifik lokasi dan dapat lebih-lebihkan atau meremehkan emisi/penyerapan di lokasi tertentu. Ini biasanya dikembangkan oleh IPCC dan disetujui untuk digunakan berdasarkan metodologi tertentu. Namun, faktor emisi berkualitas tinggi dapat (harus) diukur secara spesifik lokasi di lapangan (tingkat 3).
- 3 Singkatan dari 'allochthonous.' Karbon allochthonous adalah karbon yang terserap di satu lokasi, diangkut, dan disimpan di lokasi lain.

REFERENCES

- Chmura, Gail & Anisfeld, Shimon & Cahoon, Donald & Lynch, James. (2003). Penyerapan karbon global di lahan basah tidal yang asin. **Global Biogeochem Cycles*, 17*.
- Emmer, I., von Unger, M., Needelman, B., Crooks, S., & Emmett-Mattox, S. (2015). *Karbon Biru Pesisir dalam Praktik: Panduan untuk menggunakan Metodologi VCS untuk Restorasi Lahan Basah Tidal dan Seagrass VM0033*. Restore America's Estuaries dan Silvestrum. Arlington, VA. Diakses dari <https://estuaries.org/wp-content/uploads/2018/08/rae-coastal-blue-carbon-methodology-web.pdf>
- Coastal Blue Carbon in Practice: A manual for using the VCS Methodology for Tidal Wetland and Seagrass Restoration VM0033. Restore America's Estuaries and Silvestrum. Arlington, VA. <https://estuaries.org/wp-content/uploads/2018/08/rae-coastal-blue-carbon-methodology-web.pdf>
- Grimm, S., Spalding, M., & Leal, J. (2024). Memasukkan Pengetahuan Ekologis Lokal (LEK) dalam Konservasi & Restorasi Mangrove: Panduan praktik terbaik untuk praktisi dan peneliti. **Global Mangrove Alliance**. Diakses dari <https://doi.org/10.5479/10088/118227>
- Howard, J., Sutton-Grier, A.E., Smart, L.S., Lopes, C.C., Hamilton, J., Kleypas, J., Simpson, S., McGowan, J., Pessarrodona, A., Alleway, H.K., & Landis, E. (2023). Jalur karbon biru untuk mitigasi iklim: yang diketahui, yang muncul, dan yang tidak mungkin. **Marine Policy, Volume 56**. Diakses dari <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105788>
- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., & Pidgeon, E. (2014). *Karbon biru pesisir: metode untuk menilai stok karbon dan faktor emisi di mangrove, lahan basah tidal, dan padang lamun ("Panduan Karbon Biru")*. Diakses dari [https://www.cifor.org/publications/pdf_files/Books/BMurdiyarso1401.pdf](https://www.cifor.org/publications/pdf_files/Books/BMurdiyarso1401.pdf)
- Poffenbarger, H.J., Needelman, B.A., & Megonigal, J.P. (2011). Pengaruh salinitas terhadap emisi metana dari lahan basah tidal. **Wetlands*, 31*(5), 831-842.
- Zhou et al. 2023. How does uncertainty of soil organic carbon stock affect the calculation of carbon budgets and soil carbon credits for croplands in the U.S. Midwest? *Geoderma*, 429, 116254.

UCAPAN TERIMA KASIH DAN PENAFIAN

Para penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada para ahli dan pengulas yang memungkinkan karya ini terwujud: Diana Rodriguez-Paredes, Kathleen Onorevole, Kim Myers, Ryan Moyer, dan Sophia Bennani-Smires.

Karya ini didanai sebagian oleh Shell plc dengan nilai sebesar \$26.000. Laporan ini ditulis oleh The Nature Conservancy di bawah kontrol editorial penuh The Nature Conservancy. Pandangan, data, dan analisis dalam laporan ini bersifat independen dari pandangan Shell plc dan anak perusahaannya.

