



Kementerian
Lingkungan Hidup dan Kehutanan
Republik Indonesia

SERI-B MANUAL SERIAL FOLU

Nomor: B-13/KSDAE/05/2023

Manual Penilaian Jasa Lingkungan Berbasis Karbon di Kawasan Konservasi



Diterbitkan oleh:

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

© 2023 Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan



Kementerian
Lingkungan Hidup dan Kehutanan
Republik Indonesia

SERI-B MANUAL SERIAL FOLU

Nomor: B-13/KSDAE/05/2023

Manual Penilaian Jasa Lingkungan Berbasis Karbon di Kawasan Konservasi







Kata Pengantar

Kawasan hutan di Indonesia menurut Hasil Pemantauan Hutan Indonesia Tahun 2022 seluas 88,3 juta ha dengan fungsi kawasan hutan lindung, hutan konservasi dan hutan produksi. Hutan dan ekosistemnya menyediakan berbagai jenis jasa lingkungan yang esensial bagi manusia, di antaranya adalah jasa lingkungan tangible seperti tanaman obat, sumber makanan, dan air, maupun jasa lingkungan yang bersifat intangible seperti penyerapan karbon dan keindahan bentang alam (Wulandari dan Rahayu, 2023).

Kawasan konservasi dikenal memiliki kemampuan dalam menjaga kelestarian kawasan dan tutupan lahan yang juga berarti memelihara dan/atau meningkatkan stok karbon sehingga menjamin keberlangsungan jasa lingkungan biodiversitas flora dan fauna, ketersediaan jasa lingkungan air termasuk perlindungan daerah aliran sungai, keindahan dan fenomena alam (wisata alam) di dalamnya. Biodiversity pada kawasan konservasi memiliki nilai penting sebagai penyangga sistem kehidupan termasuk menjaga nilai karbon.

Pemanfaatan jasa lingkungan baik berupa jasa biodiversity, jasa wisata alam maupun jasa air dan energi air diyakini dapat menjadi salah satu alternatif dalam upaya mitigasi perubahan iklim di kawasan konservasi. Di samping itu, pemanfaatan jasa lingkungan dapat membantu peningkatan perekonomian masyarakat sekitar tanpa merusak ekosistem dan kawasan sehingga dapat menjadi alternatif dalam upaya mengurangi tekanan dan ancaman terhadap kelestarian ekosistem kawasan.

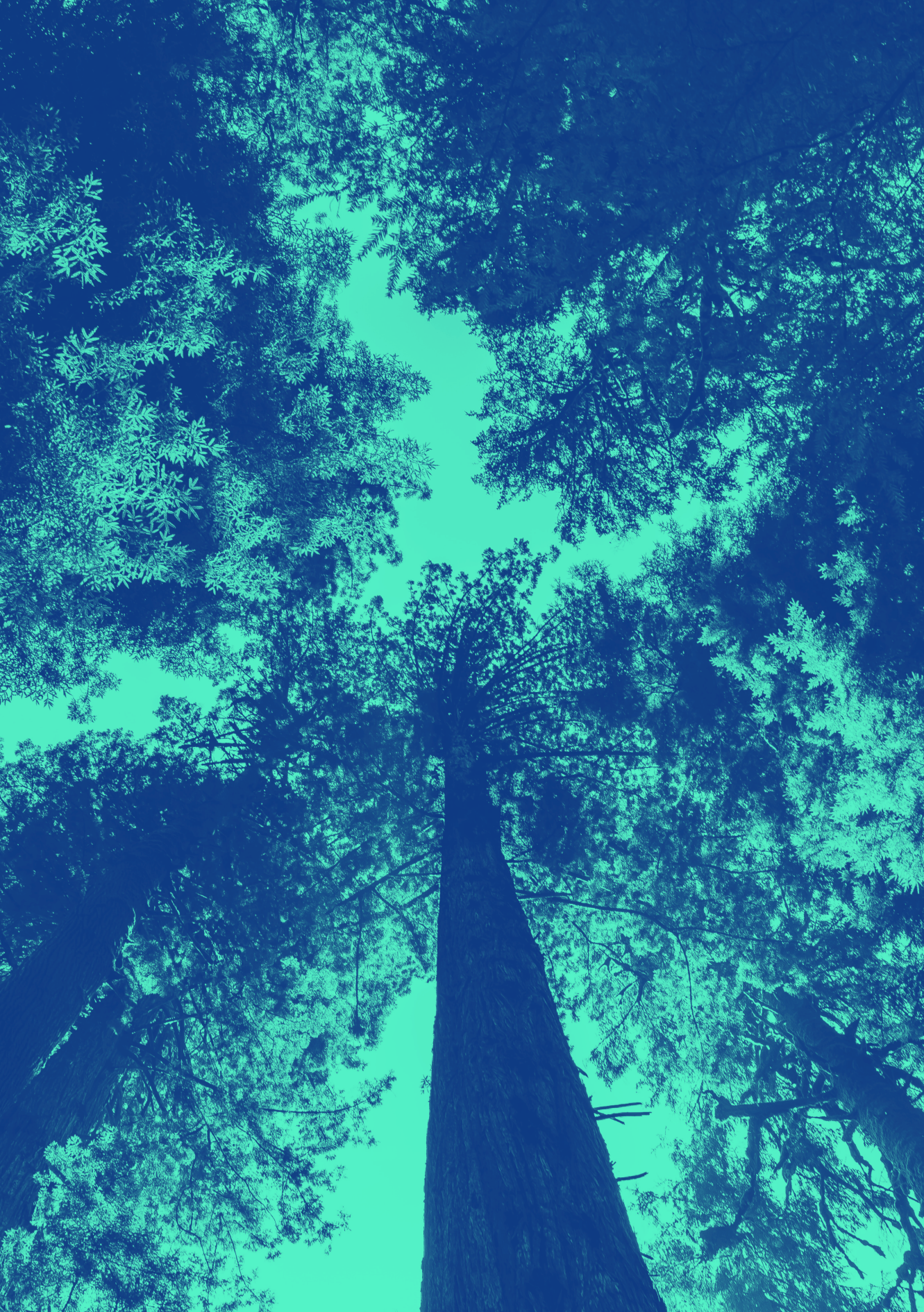
Manual ini dimaksudkan sebagai prinsip kerja yang berbasis ilmu pengetahuan dan teknologi serta pengalaman lapangan (empirik) dalam melaksanakan kegiatan penilaian jasa lingkungan berbasis karbon di kawasan konservasi. Tujuan dari manual ini adalah untuk memudahkan pelaksanaan kegiatan penilaian jasa lingkungan berbasis karbon di kawasan konservasi secara efektif dan efisien. Manual ini juga dapat menjadi rujukan bagi akademisi dalam pengembangan ilmu pengetahuan.

Diucapkan terima kasih kepada tim penyusun, dan semua pihak yang terlibat dalam proses penyusunan, pembahasan dan review manual ini. Semoga memberi manfaat yang luas bagi semua pihak.

Jakarta, Juli 2023

Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Siti Nurbaya



Daftar Isi

1. Pendahuluan	1
2. Tujuan	3
3. Ruang Lingkup	4
4. Istilah dan Pengertian	4
5. Landasan Teori dan Empirik	6
6. Penanggung Jawab	7
7. Uraian dan Petunjuk Pelaksanaan Pekerjaan	
7.1 Pembentukan Tim Kerja	7
7.2 Penentuan Lokasi Berbasis Ekosistem	10
7.3 Pengukuran Dan Penghitungan Stok Karbon	12
7.4 Penilaian Jasa Lingkungan	25
7.5 Pendugaan Nilai Karbon Hutan	30
8. Formulir Isian	30
9. Skenario Pemecahan Masalah	36
10. Peringatan Kesehatan dan Keselamatan	36





DAFTAR TABEL

Tabel 1. Jumlah kebutuhan dan kualifikasi personil dalam Kegiatan Penilaian Jasa Lingkungan Berbasis Karbon	8
Tabel 2. Alat-alat yang dibutuhkan dalam kegiatan pengukuran dan penghitungan stok karbon	15
Tabel 3. Nilai nisbah akar pucuk yang direkomendasikan IPCC	18

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Pembagian Tipe Eksosistem pada Kawasan Konservasi	11
Gambar 2. Desain plot lingkaran untuk pengukuran stok karbon	14
Gambar 3. Cara Pengukuran Diameter pada Beberapa Kondisi Tegakan	17
Gambar 4. Penentuan Pohon Masuk dan Pohon Keluar Plot	17
Gambar 5. Nisbah Akar Pucuk	18
Gambar 6. Lay out pengukuran kayu mati dengan metode planar intersect	19



1. Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu kontributor yang signifikan terhadap emisi gas rumah kaca (GRK). Secara geografis Indonesia merupakan negara kepulauan sehingga sangat rentan terhadap dampak perubahan iklim. Isu perubahan iklim merupakan salah satu isu lingkungan yang menjadi tantangan global, dan Indonesia tidak mungkin mengatasi permasalahan tersebut sendiri. Oleh karena itu, Indonesia telah menunjukkan keterlibatan secara aktif dalam berbagai perundingan internasional dibawah Kerangka Kerja Konvensi Perubahan Iklim Perserikatan Bangsa-Bangsa (United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC) (KLHK, 2018).

Dengan telah diratifikasinya Paris Agreement dan rintisan yang telah cukup panjang dalam usaha penurunan GRK, Pemerintah Indonesia telah berhasil menyusun dokumen Nationally Determined Contributions (NDCs), termasuk kesepakatan antar sektor tentang target kuantitatif masing-masing dalam usaha penurunan GRK. Dokumen NDCs merupakan gambaran garis besar transisi Indonesia menuju pembangunan masa depan yang rendah emisi dan berketahanan iklim, untuk mengimplementasikannya diperlukan dukungan serta komitmen seluruh pihak. Dukungan dan komitmen tersebut secara konsisten dan kontinyu memerlukan tindak lanjut untuk menjaga sumber daya alam dan lingkungan Indonesia menjadi lebih baik dan berkontribusi dalam mencegah kenaikan suhu bumi tidak lebih dari 2oC dan menuju 1,5oC dibandingkan dengan era pra-industrialisasi (*Republic of Indonesia, 2022*)¹.

Dalam konteks perubahan iklim, kawasan konservasi Indonesia seluas ±16,26 Juta Ha (60%) memiliki potensi yang sangat besar untuk berkontribusi dalam upaya capaian target NDC Indonesia. Kawasan konservasi dikenal sebagai kawasan high forest low deforestation memiliki kemampuan dalam menjaga kelestarian kawasan dan tutupan lahan yang juga berarti memelihara dan/atau meningkatkan stok karbon sehingga menjamin keberlangsungan jasa lingkungan biodiversitas flora dan fauna, ketersediaan jasa lingkungan air termasuk perlindungan daerah aliran sungai, keindahan dan fenomena alam (wisata alam) di dalamnya (KLHK, 2018)². Dengan demikian, kawasan konservasi merupakan salah satu aktor penting pencapaian target penurunan emisi GRK nasional yang tertuang di dalam NDC di sektor kehutanan, terutama melalui kegiatan-kegiatan pemeliharaan stok karbon dan peningkatan stok karbon.

Peran konservasi merupakan komponen dari skema *reducing emissions from deforestation and forest degradation, and the role of conservation, sustainable management of forests and enhancement of forest carbon stocks* (REDD+) yang telah diratifikasi oleh Pemerintah Indonesia melalui Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2016.

Kawasan konservasi diharapkan ikut berkontribusi dalam pencapaian target penurunan emisi GRK nasional yang tertuang di dalam NDC di sektor kehutanan. Bahkan peran secara khusus kawasan konservasi memiliki peluang mendapatkan insentif atas upaya konservasi stok karbon hutan dan/atau peningkatan stok karbon hutan. Hal ini dapat menjadi fokus mitigasi perubahan iklim di kawasan konservasi (PermenLHK No 70 tahun 2017).

1 Republic of Indonesia. 2022. Enhanced Nationally Determined Contributions. Government of Republic of Indonesia, Jakarta.

2 KLHK. 2018. Status Hutan & Kehutanan Indonesia 2018. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Jakarta.

Aksi mitigasi perubahan iklim di kawasan konservasi dapat diarahkan pada pengimplementasian skema REDD+ secara menyeluruh, terutama dalam hal mengaktualisasikan “the role of conservation”. REDD+ adalah skema mitigasi perubahan iklim yang juga diatur dalam peraturan terkait Nilai Ekonomi Karbon dengan kegiatan utama pencegahan deforestasi dan degradasi lahan serta komponen lainnya melalui pengelolaan hutan berkelanjutan, konservasi karbon hutan dan peningkatan cadangan karbon (Perpres No. 98/2021)³.

Jika mencermati komponen REDD+ lebih lanjut, maka sebenarnya kawasan konservasi sangat berperan dalam upaya mitigasi perubahan iklim. Kegiatan REDD+ pada dasarnya adalah semua upaya pengelolaan hutan dalam rangka pencegahan dan atau pengurangan penurunan kualitas dan kuantitas tutupan hutan dan stok karbon. Kawasan konservasi mampu mempresentasikan peran hutan konservasi dalam upaya konservasi/memelihara stok karbon hutan dan/atau peningkatan stok karbon hutan maupun *non carbon benefit* (NCB). Pemanfaatan jasa lingkungan baik berupa jasa biodiversity, jasa wisata alam maupun jasa air dan energi air diyakini dapat menjadi salah satu alternatif dalam upaya mitigasi perubahan iklim di kawasan konservasi. Di samping itu, pemanfaatan jasa lingkungan dapat membantu peningkatan ekonomi masyarakat sekitar tanpa merusak ekosistem dan kawasan sehingga dapat menjadi alternatif dalam upaya mengurangi tekanan dan ancaman terhadap kelestarian ekosistem kawasan.

Ekosistem hutan dan sumberdaya di dalamnya memiliki peran penting dalam menyangga kehidupan manusia. Hutan dan ekosistemnya menyediakan berbagai jenis jasa lingkungan yang esensial bagi manusia, diantaranya adalah jasa lingkungan tangible seperti tanaman obat, sumber makanan, dan air; maupun jasa lingkungan yang bersifat intangible seperti penyerapan karbon dan keindahan bentang alam (Wulandari dan Rahayu, 2023)⁴. Hal ini menunjukkan bahwa manusia memiliki keterkaitan untuk berinteraksi dengan ekosistem alam dalam memenuhi kebutuhan hidupnya.

Jasa lingkungan adalah manfaat berupa barang dan jasa yang dihasilkan dari sebuah ekosistem yang bermanfaat bagi keberlangsungan kehidupan manusia. Empat jenis jasa lingkungan yang dikenal oleh masyarakat global adalah: jasa lingkungan tata air, jasa lingkungan keanekaragaman hayati, jasa lingkungan penyerapan karbon, dan jasa lingkungan keindahan lanskap (Leimona et al., 2015). Pemanfaatan jasa lingkungan adalah pemanfaatan kondisi lingkungan berupa pemanfaatan potensi ekosistem, keadaan iklim, fenomena alam, kekhasan jenis, dan peninggalan budaya yang berada dalam Kawasan Suaka Alam (KSA) dan Kawasan Pelestarian Alam (KPA), yang diwujudkan dalam bentuk kegiatan wisata alam, pemanfaatan air, energi air, penyimpanan dan/atau penyerapan karbon, pemanfaatan panas matahari, tenaga angin, dan pemanfaatan panas bumi untuk memenuhi kebutuhan listrik (PermenLHK 108 tahun 2015). Oleh karena itu, segala bentuk kegiatan pemanfaatan jasa lingkungan di kawasan konservasi termasuk penyimpanan dan/atau penyerapan karbon diatur dan dimandatkan pengelolannya melalui peraturan perundangan.

³ Perpres No. 98/2021. Peraturan Presiden No. 98 tahun 2021 tentang Nilai Ekonomi Karbon.

⁴ Wulandari, G., dan Rahayu, D. 2023. Sejahtera Melalui Jasa Lingkungan, <https://jasling.menlhk.go.id/berita-dan-artikel/artikel/sejahtera-melalui-jasa-lingkungan>.

Disatu sisi, meskipun umumnya memiliki sejarah laju deforestasi dan degradasi hutan yang relatif rendah, kawasan konservasi adalah salah satu “aktor” penting dalam upaya mitigasi perubahan iklim di Indonesia. Aksi mitigasi perubahan iklim di kawasan konservasi perlu diarahkan pada upaya pemanfaatan jasa lingkungan yang mempresentasikan peran kawasan konservasi, yaitu memelihara dan/atau meningkatkan stok karbon di kawasan konservasi yang berarti menjamin keberlangsungan jasa lingkungan biodiversitas flora dan fauna, ketersediaan jasa lingkungan air termasuk perlindungan daerah aliran sungai, keindahan dan fenomena alam (wisata alam) di dalamnya (Direktorat PJLKK, 2017)⁵.

Selain itu, desain insentif berbasis kinerja dari implementasi skema tersebut masih terbatas dengan pendekatan “**additionality**” yang hanya memperhitungkan penurunan emisi dari skenario *business as usual* (Angelsen *et al.*, 2013)⁶. Pendekatan tersebut belum cukup merepresentasikan peran konservasi, dimana memelihara dan/atau meningkatkan stok karbon di kawasan konservasi berarti menjamin keberlangsungan jasa lingkungan, biodiversitas flora dan fauna, ketersediaan jasa lingkungan air termasuk perlindungan daerah aliran sungai, keindahan dan fenomena alam (wisata alam) di dalamnya.

Dengan demikian, nilai stok karbon di hutan konservasi tidak cukup hanya didekati dengan mengukur kuantitas stok karbon yang mengindikasikan besarnya karbon yang tersimpan atau dapat diserap yang jika tidak dijaga berpotensi sebagai sumber emisi ke atmosfer, namun juga perlu mempromosikan pendekatan “kualitas” stok karbon yang dapat merepresentasikan kinerja pemanfaatan jasa lingkungan secara terintegrasi (Muttaqin *et al.*, 2018). “Kualitas” stok karbon adalah metodologi inovatif yang mengintegrasikan jasa lingkungan (keanekaragaman hayati, air, keindahan alam) ke dalam stok karbon (Muttaqin *et al.*, 2018).

Penilaian jasa lingkungan berbasis karbon ini dikembangkan sebagai pendekatan untuk mengaktualisasikan peran konservasi (*role of conservation*) dalam kerangka *Indonesia’s FOLU Net Sink* 2030. Konsep dasar dari penilain tersebut adalah pengintegrasian jasa lingkungan (keanekaragaman hayati, air dan keindahan alam) ke dalam stok karbon berbasis ekosistem. Dengan demikian, kualitas stok karbon tersebut, baik dalam unit satuan Rp per ton C maupun Rp per ton CO₂-e; dapat menunjukkan kualitas dari kegiatan penurunan emisi yang telah dilakukan.

2. Tujuan

Manual ini dimaksudkan sebagai prinsip kerja yang berbasis ilmu pengetahuan dan teknologi serta pengalaman lapangan (empirik) dalam melaksanakan kegiatan penilaian jasa lingkungan berbasis karbon di kawasan konservasi.

Tujuan dari manual ini adalah untuk memudahkan pelaksanaan kegiatan penilaian jasa lingkungan berbasis karbon di kawasan konservasi secara efektif dan efisien.

⁵ Direktorat PJLKK. 2017. Karbon Hutan dan Jasa Lingkungan. Direktorat Pemanfaatan Jasa Lingkungan Kawasan Konservasi. <https://jasling.menlhk.go.id/berita-dan-artikel/berita/karbon-hutan-dari-kawasan-konservasi>.

⁶ Angelsen, A., Brockhaus, M., Sunderlin, W.D. dan Verchot, L.V. (ed.). 2013. Menganalisis REDD+: Sejumlah tantangan dan pilihan. CIFOR, Bogor, Indonesia.

3. Ruang Lingkup

Aspek yang dibahas dalam pelaksanaan penilaian jasa lingkungan berbasis karbon di kawasan konservasi merupakan rangkaian kegiatan yang meliputi beberapa kegiatan berikut ini:

- 1) Pembentukan tim kerja,
- 2) Penentuan lokasi berbasis ekosistem,
- 3) Pengukuran dan penghitungan stok karbon,
- 4) Penilaian jasa lingkungan
- 5) Pendugaan nilai karbon hutan

4. Istilah dan Pengertian

Kawasan konservasi	Kawasan yang mempunyai ciri khas tertentu sebagai satu kesatuan ekosistem yang dilindungi, dilestarikan, dan dimanfaatkan secara berkelanjutan. Kawasan konservasi terdiri dari kawasan konservasi daratan dan perairan. Secara umum kawasan konservasi dikategorikan menjadi Kawasan Suaka Alam (KSA), Kawasan Pelestarian Alam (KPA) dan Taman Buru.
Kawasan Suaka Alam (KSA)	Kawasan dengan ciri khas tertentu, baik di darat maupun di perairan yang mempunyai fungsi pokok sebagai kawasan pengawetan keanekaragaman tumbuhan dan satwa serta ekosistem yang juga berfungsi sebagai wilayah sistem penyangga kehidupan
Kawasan Pelestarian Alam (KPA)	Kawasan ciri khas tertentu, baik di darat maupun di perairan yang mempunyai fungsi perlindungan sistem penyangga kehidupan, pengawetan keanekaragaman jenis tumbuhan dan satwa, serta pemanfaatan secara lestari sumber daya alam hayati dan ekosistem
Taman Nasional	KPA yang mempunyai ekosistem asli, dikelola dengan sistem zona yang dimanfaatkan untuk tujuan penelitian, ilmu pengetahuan, pendidikan, menunjang budidaya, pariwisata, dan rekreasi.
Taman Hutan Raya	KPA untuk tujuan koleksi tumbuhan dan/atau satwa yang alami atau bukan alami, jenis asli dan/atau bukan jenis asli, yang tidak invasif dan dimanfaatkan untuk kepentingan penelitian, ilmu pengetahuan, pendidikan, menunjang budidaya, budaya, pariwisata, dan rekreasi.
Taman Wisata Alam	KPA yang dimanfaatkan terutama untuk kepentingan pariwisata alam dan rekreasi

Suaka Margatsatwa	KSA yang mempunyai kekhasan/keunikan jenis satwa liar dan/atau keanekaragaman satwa liar yang untuk kelangsungan hidupnya memerlukan upaya perlindungan dan pembinaan terhadap populasi dan habitatnya.
Cagar Alam	KSA yang karena keadaan alamnya mempunyai kekhasan/keunikan jenis tumbuhan dan/atau keanekaragaman tumbuhan beserta gejala alam dan ekosistem yang memerlukan upaya perlindungan dan pelestarian agar keberadaan dan perkembangannya dapat berlangsung secara alami.
Plot Sample Permanen (PUP)	Areal sampel yang digunakan untuk menggambarkan suatu areal populasi. Populasi merupakan total keseluruhan dari suatu unit yang akan diteliti, seperti populasi manusia, populasi hutan. Satuan sampling yang berupa bagian dari luasan sebuah areal untuk dilakukan pengukuran. Ukuran petak ukur tergantung pada tujuan dari kegiatan.
Ekosistem	Sistem hubungan timbal balik antara unsur dalam alam, baik hayati (tumbuhan dan satwa liar serta jasad renik) maupun nonhayati (tanah dan bebatuan, air, udara, iklim) yang saling tergantung dan pengaruh-mempengaruhi dalam suatu persekutuan hidup.
Stok Karbon	Jumlah unsur C (karbon) yang disimpan dalam komponen biomasa dan nekromasa baik di atas permukaan tanah dan di dalam tanah (Bahan organik tanah, akar tanaman dan mikroorganisme) per satuan luasan lahan
REDD+	Upaya pengurangan emisi dari deforestasi dan degradasi hutan, peran konservasi, pengelolaan hutan lestari dan peningkatan stok karbon hutan
Keanekaragaman hayati	Keragaman makhluk hidup dari semua sumber termasuk ekosistem terestrial, laut, dan perairan lainnya serta kompleks ekologi yang menjadi bagiannya; ini termasuk keanekaragaman dalam spesies, antar spesies dan ekosistem.

Jasa Lingkungan	Kondisi lingkungan berupa pemanfaatan potensi ekosistem, keadaan iklim, fenomena alam, kekhasan jenis, dan peninggalan budaya yang berada dalam KSA dan KPA, yang diwujudkan dalam bentuk kegiatan wisata alam, pemanfaatan air, energi air, penyimpanan dan/atau penyerapan karbon, pemanfaatan panas matahari, angin, dan pemanfaatan panas bumi untuk memenuhi kebutuhan listrik.
Objek wisata alam	Suatu tempat yang menjadi kunjungan pengunjung karena mempunyai sumberdaya, baik alami maupun buatan manusia, seperti keindahan alam atau pegunungan, pantai, flora dan fauna, kebun binatang, bangunan kuno bersejarah, monumen-monumen, candi-candi, tari-tarian, atraksi dan kebudayaan khas lainnya
Jasa lingkungan air	Salah satu produk jasa lingkungan berupa massa air dan energi air yang dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan air dan energi bagi masyarakat

5. Landasan Teori dan Empirik

Pencegahan emisi GRK di sektor kehutanan khususnya pada kawasan konservasi dapat dilakukan dengan mencegah deforestasi dan degradasi hutan melalui mencegah pembukaan lahan dan konversi lahan. Sedangkan pengurangan GRK di atmosfer dapat dilakukan melalui penyerapan dan penyimpanan karbon oleh vegetasi dan tanaman hutan. Penyerapan karbon dari atmosfer melalui vegetasi hutan dalam bentuk kandungan karbon yang tersimpan dalam (pool) tanah, serasah, tumbuhan bawah, kayu mati, kayu mati yang masih tegak, batang hidup, cabang dan dedaunan hidup (Malmshemer *at al.*, 2008).

Selanjutnya Malmshemer *at al.*, (2008) juga menyatakan bahwa hutan dengan semua kelas umur dari berbagai tipe hutan mempunyai kapasitas penyerapan karbon yang besar dan kemampuan menyimpan karbon yang juga besar. Hutan campuran baik dari segi jenis dan umur umumnya mempunyai kapasitas penyerapan dan penyimpanan karbon yang lebih besar karena *leaf area* (luas permukaan daun) yang lebih besar. Peningkatan kapasitas penyimpanan tergantung pada terjaminnya *full stocking*, pemeliharaan kesehatan pohon, kebakaran, meminimalkan gangguan tanah, mengurangi kehilangan biomasa karena kematian pohon, kebakaran, hama dan penyakit. Dengan demikian, kawasan konservasi dengan kondisi tegakan hutan yang beragam (meskipun dengan ragam umur yang tidak terlalu berbeda) tetap mempunyai potensi penyerapan dan penyimpanan karbon yang tinggi.

Selain manfaat langsung yang dapat diperoleh dari hutan berupa hasil hutan (kayu, rotan, dan sumberdaya hutan lainnya), manfaat lain yang dapat diperoleh adalah hutan sebagai penyedia jasa ekosistem. Jasa ekosistem merupakan sesuatu yang ada pada ekosistem yang bermanfaat untuk manusia. Dalam hubungannya dengan manfaat yang diperoleh manusia dari ekosistem,

jasa ekosistem dibagi kedalam empat komponen, yaitu jasa pendukung (*supporting services*), jasa penyedia (*provisioning services*) jasa pengaturan (*regulating services*), dan jasa budaya (*cultural services*) (Kusumaningrum, 2021)⁷.

Kawasan konservasi adalah supermarket jasa lingkungan, semua jenis jasa lingkungan dengan mudah ditemukan di semua kawasan konservasi di Indonesia. Menurut Wunder (2005), ada 4 jenis jasa lingkungan yang dikenal oleh masyarakat global, yaitu tata air, keanekaragaman hayati, penyerapan akrbon, dan keindahan lanskap. Jasa lingkungan dengan potensi pasar terbesar adalah air, ekowisata, dan cadangan karbon (Van Beukering *et al.*, 2009). Pemanfaatan jasa lingkungan di kawasan konservasi dilakukan dalam bentuk pemanfaatan keindahan alam untuk tujuan wisata, pemanfaatan massa air dan energi air, serta pemanfaatan kawasan untuk penyimpanan dan penyerapan karbon. Secara global terdapat hubungan positif antara keanekaragaman hayati dan stok karbon (Midgley *et al.*, 2010), termasuk di dalam hutan hujan tropis yang kaya akan keduanya (Hicks *et al.*, 2014) walaupun hubungan tersebut dinyatakan sangat lemah (Asheshwar *et al.*, 2013).

Lebih lanjut, stok karbon juga memiliki keterkaitan dengan fungsi-fungsi jasa lingkungan keanekaragaman hayati, air dan keindahan alam (Muttaqin *et al.*, 2018). Sehingga, apabila stok karbon berkurang, maka fungsi jasa lingkungan akan terdegradasi (Muttaqin *et al.*, 2018). Dengan kata lain, perubahan stok karbon akan berpengaruh terhadap penyediaan jasa lingkungan, dan perubahan jasa lingkungan akan berpengaruh terhadap stok karbon. Oleh karena itu, valuasi jasa lingkungan (selain karbon) dan estimasi jumlah stok karbon untuk menghasilkan nilai stok karbon yang dihasilkan dari total nilai ekonomi jasa lingkungan dapat menjadi *key performance indikator* (KPI) terukur dari sebuah ekosistem.

6. Pihak Pelaksana yang Bertanggung Jawab

Pihak pelaksana yang bertanggung jawab dalam kegiatan ini adalah Direktorat Jenderal Konservasi Sumber Daya Alam dan Ekosistem melalui Direktorat Pemanfaatan Jasa Lingkungan Hutan Konservasi, pemangku kawasan taman nasional, taman wisata alam, cagar alam, suaka margasatwa, taman hutan raya, dan kawasan ekosistem esensial serta kawasan konservasi lainnya.

7. Uraian dan Petunjuk Pelaksanaan Pekerjaan

Dalam pelaksanaan penghitungan stok karbon dan penilaian jasa lingkungan di kawasan konservasi dilakukan melalui rangkaian kegiatan sebagai berikut:

7.1 Pembentukan Tim Kerja

Kegiatan ini akan dilaksanakan oleh tim yang terdiri dari pegawai teknis (fungsional) Balai Taman Nasional/Balai Konservasi Sumber Daya Alam (KSDA), dibantu/didampingi oleh staf teknis Direktorat Pemanfaatan Jasa Lingkungan dan disupervisi oleh tenaga ahli. Pembentukan tim kerja dan penunjukan tenaga ahli dilakukan dengan persetujuan kepala balai TN/BKSDA yang ditetapkan dengan Surat Keputusan Kepala Balai.

⁷ Kusumaningrum, L. 2021. Penentuan Daya Dukung Pada Muatan Jasa Ekosistem. https://spada.uns.ac.id/pluginfile.php/643391/mod_resource/content/3/Kuliah%209%20Penentuan%20DDDT%20pada%20Jasa%20Ekosistem.pdf.

Pembentukan tim kerja dilakukan dengan beberapa tahapan. Pertama, menentukan personil-personil yang akan menjadi anggota tim pelaksana termasuk tim teknis dari Dit. PJKK, Kedua, menentukan tenaga ahli. Ketiga, menerbitkan Surat Keputusan Kepala Balai tentang Pembentukan Tim Kerja Pelaksanaan Penilaian Jasa Lingkungan Berbasis Karbon di Kawasan Konservasi.

Kualifikasi personil/anggota tim dan uraian pekerjaan yang disarankan untuk pelaksanaan penilaian jasa lingkungan berbasis ekosistem di kawasan konservasi disajikan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1 | Jumlah kebutuhan dan kualifikasi personil dalam Kegiatan Penilaian Jasa Lingkungan Berbasis Karbon

No.	Klasifikasi/ Jabatan	Kualifikasi	Uraian Pekerjaan
1.	Ahli Pengenal Jenis Flora	Memiliki keahlian pengenalan jenis terutama di lokasi/ kawasan konservasi tempat dilakukan kajian baik nama lokal/nama daerah, nama Indonesia dan nama ilmiah	<ul style="list-style-type: none"> • Mengenali jenis flora yang ditemukan • Mencatat nama flora yang ditemukan berupa nama lokal/nama daerah, nama Indonesia dan nama ilmiah dan data lain yang diperlukan dalam tally sheet • Mengentri hasil pengambilan data lapangan ke komputer
2.	Ahli Pengenal Jenis Fauna	Memiliki keahlian pengenalan jenis fauna terutama di lokasi/ kawasan konservasi tempat dilakukan kajian baik nama lokal/nama daerah, nama Indonesia dan nama ilmiah	<ul style="list-style-type: none"> • Mengenali jenis fauna yang ditemukan • Mencatat nama flora yang ditemukan berupa nama lokal/nama daerah, nama Indonesia dan nama ilmiah, data diameter dan data-data lain yang diperlukan dalam tally sheet • Mengentri hasil pengambilan data lapangan ke komputer
3.	Ahli Pemetaan dan Analisis Spasial	Memiliki pengalaman dalam melakukan pemetaan dan analisis spasial.	<ul style="list-style-type: none"> • Mempersiapkan peta tipe ekosistem di lokasi kajian • Menyiapkan peta lokasi pembuatan PUP • Membuat PUP di lokasi kajian

No.	Klasifikasi/ Jabatan	Kualifikasi	Uraian Pekerjaan
4.	Enumerator Sosial Ekonomi	Memiliki pengalaman dan pengetahuan dalam melakukan survey sosial ekonomi	<ul style="list-style-type: none"> Bersama dengan tenaga ahli mempersiapkan kuisioner yang akan digunakan dalam penilaian jasa lingkungan Melaksanakan survey sosial ekonomi yang diperlukan dalam penilaian jasa lingkungan Mengentri data hasil survey
5.	Ahli Penghitungan Stok Karbon	<ul style="list-style-type: none"> Memiliki pengetahuan dan pengalaman mengenai penghitungan stok karbon Sudah pernah melaksanakan kegiatan penghitungan stok karbon 	<ul style="list-style-type: none"> Mengkoordinir dan melaksanakan pembuatan PUP dan pengambilan data lapangan untuk penghitungan stok karbon Mengawasi pelaksanaan analisis sampel di laboratorium Melakukan analisis penghitungan stok karbon Transfer pengetahuan analisis data penghitungan karbon
6.	Ahli Valuasi Ekonomi Jasa Lingkungan	<ul style="list-style-type: none"> Memiliki pengetahuan dan pengalaman dalam penilaian jasa lingkungan Menguasai metode-metode yang diperlukan dalam penilaian jasa lingkungan Sudah pernah melaksanakan kegiatan penilaian jasa lingkungan 	<ul style="list-style-type: none"> Mengkoordinir dan melaksanakan pengambilan data penilaian jasa lingkungan Melaksanakan survey sosial ekonomi yang diperlukan dalam penilaian jasa lingkungan Melakukan analisis penilaian jasa lingkungan Transfer pengetahuan analisis dan penilaian jasa lingkungan
7.	Tenaga Teknis Pendukung Lainnya	Memiliki pengalaman dalam melaksanakan kegiatan survey lapangan	Melaksanakan survei lapangan

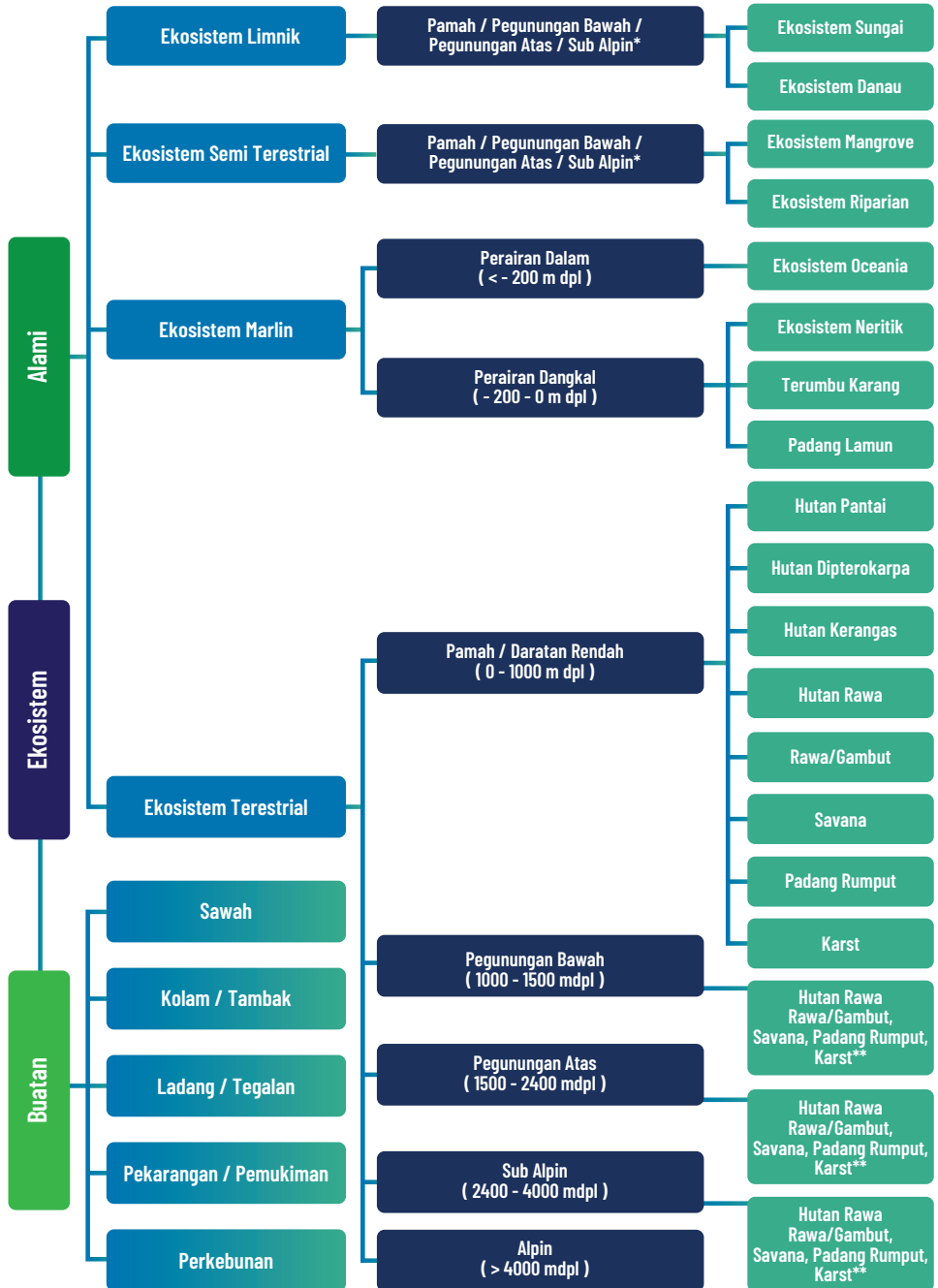
7.2 Penentuan lokasi berbasis ekosistem

Penentuan lokasi dilakukan berdasarkan berbagai pertimbangan. Yang pertama dilakukan adalah stratifikasi kawasan. Stratifikasi kawasan adalah pembagian areal menjadi unit-unit yang memiliki kesamaan karakteristik biofisik, dengan demikian diharapkan akan diperoleh keseragaman (homogenitas) pada masing-masing areal yang telah distratifikasi sehingga tidak terjadi perbedaan antar plot yang besar dalam satu areal yang sama. Tujuan utama dalam penetapan stratifikasi adalah membedakan kondisi kawasan berdasarkan perbedaan ekosistem sehingga dapat meningkatkan ketelitian dan keragaman hasil.

Dalam penghitungan stok karbon dan penilaian jasa lingkungan di kawasan konservasi ini, stratifikasi dilakukan berdasarkan ekosistem pada kawasan konservasi yang telah ditentukan terlebih dahulu. Secara umum jenis/tipe ekosistem yang digunakan berasal dari data indikatif tipe ekosistem kawasan konservasi yang telah diolah dan diklasifikasi menjadi 22 tipe ekosistem sebagaimana disajikan dalam Gambar 1 (Dit. Perencanaan Kawasan Konservasi, Ditjen KSDAE).

Selanjutnya tipe ekosistem yang telah ditentukan ini dapat dibagi kembali menjadi beberapa sub ekosistem berdasarkan kondisi penutupan lahan, misalnya hutan primer, hutan sekunder, dan hutan terdegradasi/bekas tebangan atau lainnya.

Gambar 1 | Pembagian Tipe Ekosistem pada Kawasan Konservasi



7.3 Pengukuran dan penghitungan stok karbon

Saat ini metodologi pendugaan biomassa hutan untuk pengukuran dan penghitungan stok karbon telah banyak dikembangkan. Untuk Indonesia sendiri telah disusun diantaranya SNI:7724:2011 tentang Pengukuran dan Penghitungan Cadangan Karbon – Pengukuran Lapangan untuk Penaksiran Cadangan Karbon Hutan. Selain itu juga beberapa metode pengukuran telah banyak disusun dan dikembangkan sesuai dengan tujuan, kebutuhan dan kepentingan masing-masing.

Dalam manual ini, pengukuran lapangan untuk penaksiran stok karbon dilakukan dengan pembuatan PUP di lokasi yang telah ditentukan berdasarkan tipe ekosistem yang ada. Lokasi dipilih berdasarkan keterwakilan ekosistem pada masing-masing taman nasional, aksesibilitas, ketersediaan data jasa lingkungan lainnya (biodiversitas, jasa wisata alam dan jasa air), serta ketersediaan data penunjang lainnya.

Untuk penghitungan karbon akan dihitung stok karbon pada 5 pool karbon (permukaan atas, tumbuhan bawah dan semai, kayu mati, seresah, dan karbon tanah). Juga akan diambil sampel kayu, kayu mati, seresah dan tanah untuk dianalisis. Sedangkan untuk jasa lingkungan lainnya, meliputi biodiversitas, wisata alam dan air akan dilakukan pengambilan data terkait jenis dan populasi satwa liar, jenis dan keragaman pohon, jenis dan keindahan alam, jumlah pengunjung, persepsi pengunjung terhadap objek wisata, data debit air, peta daerah aliran sungai (DAS) dan sungai.

7.3.1 Desain Metode Inventarisasi

Desain inventarisasi dilakukan untuk mengalokasikan plot-plot pengukuran sehingga dapat meningkatkan keakurasian dan keakuratan data hasil sampling. Selain itu, desain inventarisasi yang baik juga mempertimbangkan aspek-aspek teknis pelaksanaan di lapangan, sehingga memudahkan regu di dalam pelaksanaannya serta tidak menghabiskan biaya yang lebih besar.

Metode Sampling Penentuan Lokasi PUP

Penentuan lokasi plot harus menghindari bias dan memberikan kesempatan yang sama bagi suatu areal untuk disurvei. Untuk menghindari biaya yang besar, seringkali penentuan lokasi plot disesuaikan dengan aksesibilitas yang ada, baik mengikuti jalan, sungai atau kanal. Hal ini dapat menyebabkan bias sistematis. Karenanya disarankan untuk menerapkan metode penyebaran plot secara acak (random) atau sistematis (Pearson, 2005). Penentuan lokasi plot secara sistematis adalah memudahkan regu di lapangan di dalam pencarian plot. Selain itu, sistematis plot juga dapat memberikan keakurasian yang lebih baik dibandingkan secara acak, jika populasi yang diukur sangat bervariasi (Kauffman dan Donato, 2010).

Beberapa metode sampling yang dapat digunakan dalam menentukan lokasi plot sampling antara lain yaitu:

1. Purposive, Random dan Systematic Sampling
2. Stratified vs Simple Sampling
3. Metode sampling lainnya yang dapat diterima secara ilmiah

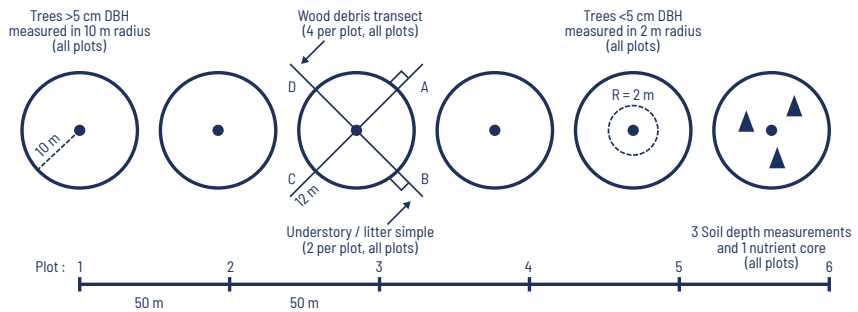
Manual ini tidak mengatur pemilihan metode sampling yang akan digunakan. Metode sampling dapat dipilih dan disesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi di lapangan. Pemilihan lokasi PUP juga ditentukan berdasarkan lokasi dan aksesibilitas lapangan, ketersediaan biaya, waktu, tenaga kerja, ketersediaan data jasa lingkungan lainnya (biodiversitas, jasa wisata alam dan jasa air), serta ketersediaan data penunjang lainnya yang ada pada lokasi tersebut dengan mempertimbangkan kelebihan dan kekurangan masing-masing metode sampling yang ada. Penentuan lokasi plot ukur dapat dilakukan baik secara acak maupun sistematis.

Bentuk, Ukuran dan Jumlah Plot Ukur

Ada beberapa bentuk plot ukur yang dapat digunakan dalam pengukuran / penghitungan stok karbon di kawasan konservasi. Jika mengacu pada SNI 7724-2011, beberapa bentuk plot yang dapat digunakan yaitu berupa lingkaran, bujur sangkar, atau persegi panjang. Plot bujur sangkar atau persegi panjang merupakan bentuk plot yang relatif sering digunakan di dalam analisa vegetasi hutan di Indonesia (Soerianegara, 2002; Hinrichs dkk, 1998; Hairiah dkk, 2011; Kemenhut, 2007). Plot bujur sangkar atau persegipanjang memiliki kemudahan dalam memastikan pohon-pohon yang masuk dibandingkan dengan plot lingkaran. Kelemahan bentuk plot bujur sangkar atau persegi panjang adalah, semakin luas plot yang diukur, maka semakin panjang batas plot yang harus dibuat. Sehingga menggunakan plot ini akan lebih banyak membutuhkan waktu.

Plot berbentuk lingkaran juga banyak digunakan karena memiliki tingkat keterwakilan yang tinggi dibanding plot persegi dengan luas yang sama. Program National Forest Inventory (NFI) juga menerapkan bentuk plot lingkaran. Demikian pula dengan protokol pengukuran yang dikembangkan oleh United States Forest Service (USFS) untuk penilaian karbon di hutan mangrove di seluruh Asia dan Micronesia, termasuk Indonesia (Kauffman dan Donato, 2010). Hanya saja biasanya pengukuran di lapangan relatif sulit untuk plot lingkaran yang lebih luas dan berada pada topografi yang miring.

Dalam pelaksanaannya, walaupun tidak membatasi dan mengharuskan menggunakan bentuk plot ukur tertentu, bentuk plot ukur yang digunakan dalam manual ini adalah bentuk plot ukur berupa lingkaran. Hal ini dilakukan dengan mempertimbangkan kepraktisan dan kemudahan serta efisiensi waktu dan anggaran. Adapun bentuk plot ukur yang digunakan adalah sebagai berikut:



Gambar 2 | Desain plot lingkaran untuk pengukuran stok karbon di hutan rawa gambut di Indonesia (Kauffman et al., 2016).

Dalam satu titik pengukuran/penghitungan stok karbon di kawasan konservasi ini menggunakan 6 plot ukur yang masing-masing plot memiliki radius 10 meter. Jarak antar plot dalam satu transek adalah sebesar 50 meter, sehingga satu transek memiliki panjang total sebesar 250 meter. Arah transek mengikuti arah kontur untuk mendapatkan perbedaan ketinggian antar plot dalam satu transek. Jarak minimal antar transek adalah sepanjang 250 meter.

Penentuan jumlah plot sebaiknya didasari atas penghitungan statistik yang memenuhi kaidah-kaidah dan persyaratan di dalam metode pengambilan sampling. SNI Pengukuran Cadangan Karbon tidak menyebutkan secara khusus berapa jumlah plot atau bagaimana menghitung jumlah plot. Namun disyaratkan Standard Error maksimal yang diperbolehkan yaitu sebesar 20%.

Sebuah metode sederhana untuk menentukan jumlah plot adalah dengan menggunakan rumus yang umum digunakan dalam inventarisasi hutan, seperti dalam digunakan dalam IHMB (Husch et al., 2003; Hinrics *et al.*, 1998; Kemenhut, 2007), yaitu:

$$N = \left(\frac{t + CV}{SE\%} \right)^2 \text{ atau } N = \left(\frac{t + s}{SE} \right)^2$$

Keterangan:

N = Jumlah plot

t = Nilai tabel t-Student

CV= Koefisien variasi (%)

s = Simpangan baku

SE= Standard Error

Atau bisa juga dengan menggunakan cara lain yaitu menggunakan Winrock calculator (<https://winrock.org/document/winrock-sample-plot-calculator-spreadsheettool/>). Kalkulator Winrock dapat menunjukkan jumlah ideal plot yang perlu dibuat lagi untuk masing-masing strata pada setiap tipe ekosistem.

Namun mengingat bahwa kawasan konservasi adalah kawasan hutan yang cukup luas dengan strata tipe ekosistem yang cukup beragam, dan mengukur kemampuan pelaksanaan di lapangan terutama mengenai pendanaan, menentukan minimal plot yang harus dibuat adalah sesuatu hal yang sulit. Dengan demikian, mengacu bahwa SNI Pengukuran Cadangan Karbon tidak menyebutkan secara khusus berapa jumlah plot yang harus dibuat, maka manual ini mensyaratkan bahwa dalam satu tipe ekosistem yang akan dilakukan pengukuran/penghitungan stok karbon, maka jumlah plot yang dibuat minimal sebanyak 18 plot yang terbagi ke dalam 3 transek.

Alat dan Bahan

Alat-alat yang dibutuhkan dalam kegiatan pengukuran dan penghitungan stok karbon dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 | Alat-alat yang dibutuhkan dalam kegiatan pengukuran dan penghitungan stok karbon

Bor tanah (soil ring sampler)	Tali rafia
Timbangan Gantung 1 Kg	Tali Tambang Nilon
Timbangan Gantung 5 Kg	Gunting
Timbangan Digital	Gunting Stek
Kaliper plastik	Steples Tembak & isinya
Label Pohon Plastik	Benang Nilon
Kompas	Spidol/Pena permanen
GPS	Buku catatan lapangan
Baterai alkaline AA utk GPS	Map plastik
Kayu/Seng untuk plang PSP	Papan Jalan (Clipboard)
Patok paralon ukuran 5 Inchi @ 1,5 m (dicor)	Selotip kertas
Cat merah (ukuran kecil)	Alat tulis (pulpen, pensil)
Kantong plastik ukuran 3 kg	Pembolong kertas
Kantong plastik ukuran 1 kg	Meteran baju
Kantong Plastik 1/2 Kg	Sepatu lapangan karet
Kantong kresek besar	Sarung tangan
Golok	Terpal
Palu	Jas Hujan
Meteran 30 m	Phi Band

7.3.2 Pengukuran Biomassa

Desain inventarisasi dilakukan untuk mengalokasikan plot-plot pengukuran sehingga dapat meningkatkan keakuratan dan keakuratan data hasil sampling. Selain itu, desain inventarisasi yang baik juga mempertimbangkan aspek-aspek teknis pelaksanaan di lapangan, sehingga memudahkan regu di dalam pelaksanaannya serta tidak menghabiskan biaya yang lebih besar.

Biomassa Atas Permukaan

Penentuan biomassa di atas permukaan (Above Ground Biomass) dilakukan dengan mempergunakan metode pengukuran biomassa yang tanpa menyebabkan kerusakan (non-destructive sampling). Untuk menduga biomassa, maka tahap awal perlu dilakukan pengukuran parameter yang bisa digunakan untuk menduga biomassa, dengan menggunakan pengukuran diameter pohon pada tegakan di lapangan. Untuk mengetahui biomassa digunakan persamaan allometrik yang sesuai.

Pada tahap awal dilakukan pengukuran dengan mencatat diameter setinggi dada (DBH-Diameter at Breast Height) pada tingkat pohon, tiang, dan pancang. Pohon dikelompokkan berdasarkan tingkat pertumbuhannya pada sub plot yang berbeda dengan ketentuan sebagai berikut:

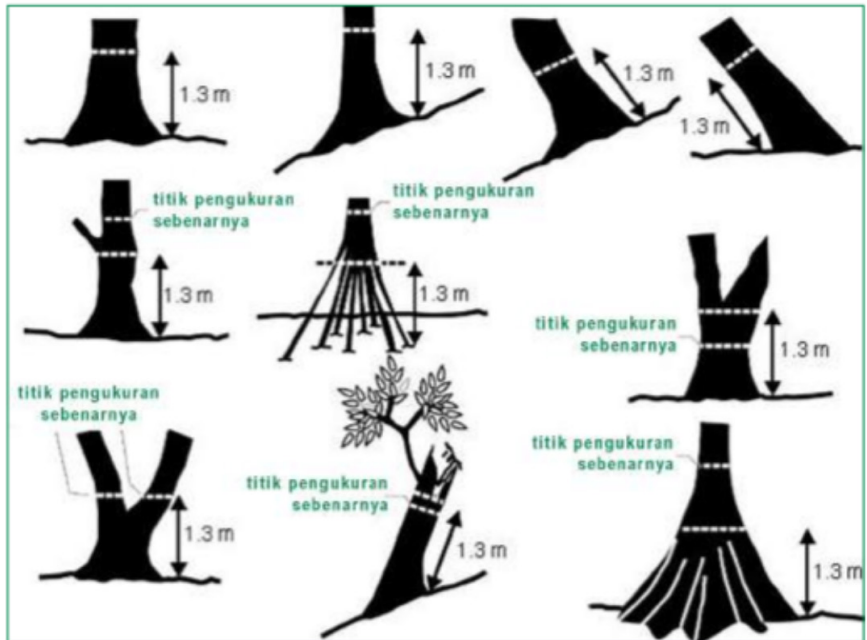
- Pohon ($DBH > 20$ cm) diukur pada plot dengan radius 10m.
- Tiang ($5\text{ cm} \leq DBH \leq 20$ cm) diukur pada plot dengan radius 10m.
- Pancang ($2\text{ cm} \leq DBG \leq 5$ cm) diukur pada nested plot dengan radius 2m

Dalam pengukuran ini parameter yang dicatat adalah nama jenis (nama ilmiah) dan diameter pohon. Pengukuran diameter dapat menggunakan diameter tape atau phi band. Untuk mengukur diameter pancang yang cenderung memiliki lingkaran pohon yang kecil, dapat menggunakan caliper.

Selanjutnya, jika diperlukan dapat dilakukan pengambilan sampel pohon. Pengambilan sampel dilakukan pada pohon dengan diameter > 20 cm dengan cara membuat potongan kayu dengan ukuran sekitar $5 \times 5 \times 5$ cm.

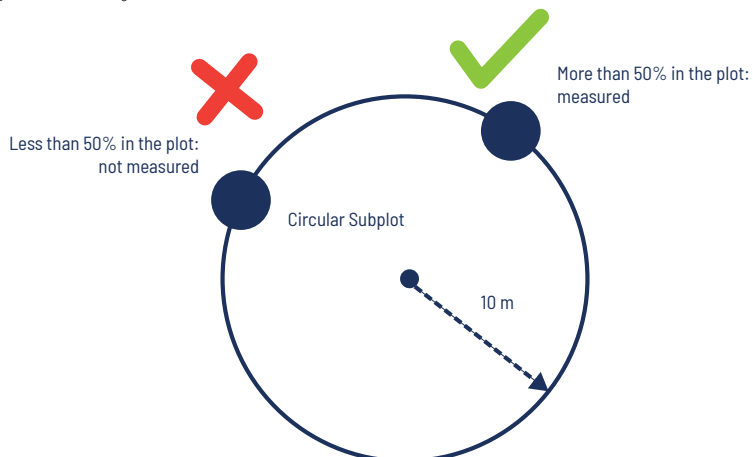
Dalam melakukan pengukuran dan pengambilan data di lapangan, tim pelaksana dituntut untuk selalu konsisten dan dapat melakukan pengukuran dengan cara yang sama dan konsisten. Termasuk dalam hal menentukan pengukuran diameter pada berbagai kondisi pohon serta penetapan pohon masuk atau keluar plot.

Dalam suatu kawasan hutan, terkadang terdapat kondisi pohon, tiang atau pancang yang tidak selalu berdiri tegak lurus dan berada pada lahan datar. Untuk kondisi pohon seperti ini perlu disesuaikan dengan berbagai kondisi pohon tersebut. Cara pengukuran diameter pohon pada beberapa kondisi khusus tersebut dapat dilihat pada Gambar 3 berikut:



Gambar 3 | Cara Pengukuran Diameter pada Beberapa Kondisi Pohon

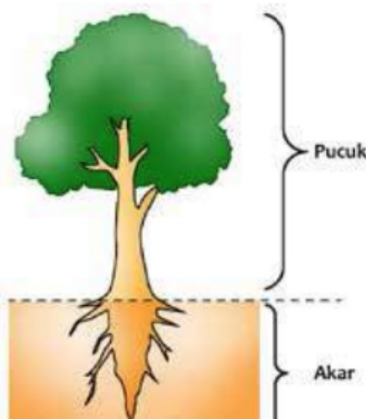
Selain itu, tegakan baik itu pohon, tiang atau pancang yang diukur dalam suatu plot adalah pohon yang secara utuh berada dalam plot ukur. Semua pohon berdiameter sesuai, yang titik tengah batangnya berada dalam plot, merupakan pohon yang harus diukur. Sedangkan semua pohon dan pancang yang titik tengah batangnya berada pada garis batas, atau sebagian besar dari bagian tegakan berada dalam plot, maka pohon tersebut dianggap masuk ke dalam plot dan wajib diukur (lihat Gambar 4.).



Gambar 4 | Penentuan Pohon Masuk dan Pohon Keluar Plot

Biomassa Bawah Permukaan

Pengukuran biomassa di bawah permukaan (Below Ground Biomass) dilakukan dengan penghitungan biomassa pada akar. Pengukuran biomassa akar menggunakan metode langsung umumnya sangat sulit dilakukan karena membutuhkan waktu lama, dan biaya tinggi. Biomassa akar dapat diduga dengan menggunakan rumus allometrik. Pada metode tidak langsung tidak dilakukan pengambilan sampel akar untuk pengukuran biomasanya, namun pengukuran biomassa akar akan bergantung pada hasil perhitungan biomassa atas permukaan (AGB). Setelah diperoleh nilai AGB, biomassa akar dapat didekati dengan rumus Nisbah Pucuk Akar. Nisbah Pucuk Akar adalah perbandingan biomassa bagian atas tanaman/pucuk (batang, ranting, daun, buah) dengan bagian akar. Nilai Nisbah Pucuk Akar dapat diilustrasikan seperti Gambar 5.



Gambar 5 | Nisbah Akar Pucuk

Besaran nisbah akar pucuk biasanya berkisar antara 1/3 atau setengah dari AGB. Beberapa nilai nisbah akar pucuk yang biasa digunakan antara lain disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 | Nilai nisbah akar pucuk yang direkomendasikan IPCC

Tipe Hutan	Nisbah Akar Pucuk	Contoh Lokasi
Hutan Hujan Tropis	0,37	Hutan campuran Dipterocarpa di Kalimantan
Hutan yang Menggugurkan Daun	0,20 - 0,24	Hutan Jati
Hutan Daerah Kering Tropis	0,28 - 0,56	Hutan Savana di NTT
Semak Tropis	0,40	Hutan bekas kebakaran
Hutan Pegunungan Tropis	0,27 - 0,28	Hutan wilayah dataran tinggi
Sumber data IPCC 2006 Guideline for National Greenhouse Gas Inventories		

Biomassa Semai, Serasah, Tumbuhan Bawah dan Nekromas

Pengukuran biomassa pada serasah, tumbuhan bawah dan nekromas (ranting dan dahan mati) dilakukan dengan membuat frame 1 x 1 m dalam masing-masing plot lingkaran. Frame ini diletakkan secara acak di dalam plot lingkaran.

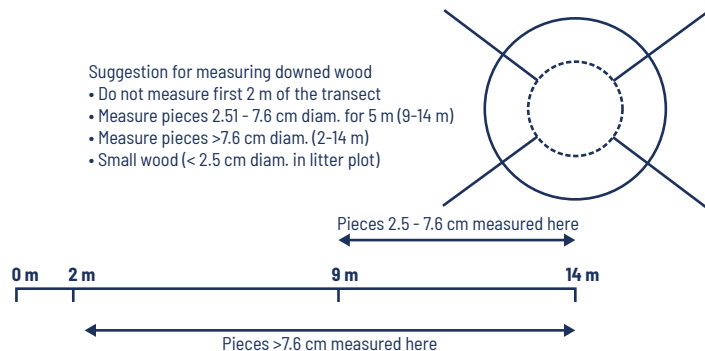
Adapun tata cara pengukuran dan pengambilan sampel serasah, tumbuhan bawah dan nekromas adalah sebagai berikut:

- Tempatkan frame ukuran 1 x 1 m di dalam plot lingkaran
- Ambil semua serasah yang menutupi lantai hutan yang ada di frame 1 x 1 m
- Pengambilan tumbuhan bawah dan semai dilakukan dengan metode destruktif, yaitu dengan memanen atau mengambil semua tumbuhan bawah yang ada dalam frame 1 x 1 m
- Ambil semua nekromas (ranting dan kayu mati) yang menutupi lantai hutan yang ada dalam frame 1 x 1 m
- Masukkan masing-masing sampel ke dalam plastik, lalu timbang dan catat berat total sampel dan berat basah sampel
- Kemudian sampel dibawa ke laboratorium untuk dikeringkan pada suhu 600C sampai mencapai kering tanur dan dianalisis kandungan C organiknya

Biomassa Kayu Mati

Pengukuran dan pengambilan sampel kayu mati dilaksanakan dengan menggunakan metode planar intersect (Gambar 3) yang terdiri dari 4 buah transek sepanjang 12 m dari titik tengah plot yang dibuat 45° (transek A, B, C, D) garis transek utama (Kauffman *et al.*, 2016). Pengukuran diameter dilakukan pada kayu mati yang menyentuh garis transek. Kayu mati yang masih berdiri tegak tidak dihitung dengan metode ini. Pengukuran dimulai pada jarak 2 m dari titik tengah plot dengan ketentuan sebagai berikut:

- Kayu mati berdiameter > 7,5 cm sound diukur pada jarak 2 – 12 m
- Kayu mati berdiameter > 7,5 cm rotten diukur pada jarak 2 – 12 m
- Kayu mati berdiameter antara 2,5 – 7,5 cm diukur pada jarak 2 – 7 m
- Kayu mati berdiameter antara 0,6 – 2,5 cm diukur pada jarak 7 – 10 m
- Kayu mati berdiameter < 0,6 cm diukur pada jarak 10 - 12 m



Gambar 6 | Lay out pengukuran kayu mati dengan metode planar intersect (Kauffman et al., 2016).

Ambil sebagian sampel kayu mati pada setiap segmen sesuai dengan ketentuan dan dibawa ke laboratorium untuk diukur berat jenisnya dan dianalisis kandungan C organiknya.

Biomassa Tanah

Kandungan karbon dalam tanah mineral berbeda jika dibandingkan dengan tanah organik. IPCC menyarankan untuk mengukur karbon tanah mineral hingga kedalaman 30 cm, dimana pada lapisan tersebut terkandung karbon yang paling tinggi. Pengukuran biomassa tanah mineral dilakukan dengan menggunakan bor tanah (soil ring sampler) dengan dimensi ring: diameter 47.8 mm, tinggi 5 cm.

Pengambilan sampel tanah dilakukan di dalam plot lingkaran pada bagian (titik) yang belum terinjak/terganggu untuk menghindari adanya perubahan pada struktur tanah. Pemilihan titik dapat dilakukan secara acak. Pengambilan sampel tanah mineral dilakukan pada kedalaman 0-30 cm dengan pembagian per kedalaman sebagai berikut:

- 0 – 5 cm
- 5 – 10 cm
- 10 – 15 cm
- 15 – 20 cm
- 20 – 25 cm
- 25 – 30 cm

Langkah-langkah pengambilan sampel tanah adalah sebagai berikut:

1. Ratakan dan bersihkan permukaan tanah dari rumput atau seresah
2. Cara pengambilan sampel tanah adalah: pada kedalaman 5 cm pertama ring diletakkan di atas permukaan tanah secara tegak lurus, kemudian tekan menggunakan balok kecil atau alat penutup yang diletakkan di atas permukaan tabung/ring atau bisa juga dengan palu. Ring ditekan sampai seluruh ring bagian masuk dalam tanah dan permukaan ring sejajar/lurus dengan permukaan tanah. Lalu tutup bagian atas ring untuk menghindari tanah yang sudah ada di dalam ring terganggu. Kemudian gali sedikit di sekitaran ring pertama untuk memberikan tempat meletakkan ring selanjutnya.
3. Ring selanjutnya digunakan untuk mengambil sampel pada kedalaman 5-10 cm. Letakkan ring secara tegak lurus pada tanah di bagian bawah ring pertama. Kemudian tekan menggunakan balok kecil atau alat penutup yang diletakkan di atas permukaan tabung/ring atau bisa juga dengan palu. Ring ditekan sampai seluruh ring bagian masuk dalam tanah dan permukaan ring sejajar/lurus dengan bagian bawah ring sebelumnya. Lalu tutup bagian atas ring dengan penutup.
4. Lakukan seterusnya sampai pada ring ke 6 untuk kedalaman 25-30 cm dengan membentuk tingkatan-tingkatan seperti anak tangga.

5. Gali ring dimulai dari tingkatan paling bawah untuk menghindari ring bagian atas rusak atau terganggu. Gali ring menggunakan sekop kecil secara hati-hati. Gali sedikit lebih dalam agar tanah dalam ring dapat terangkat seluruhnya.
6. Iris kelebihan tanah bagian bawah ring dengan pisau agar permukaan tanah sama rata dengan permukaan ring, lalu pindahkan tanah yang ada di dalam ring ke dalam kantong plastik sampel secara hati-hati agar seluruh tanah yang ada dalam ring terangkut ke dalam kantong plastik sampel.
7. Timbang dan catat berat basah sampel tanah di setiap plot pada setiap kedalaman tanah
8. Cantumkan label pada kantong plastik sampel yang berisi informasi hari/tanggal, lokasi, tipe ekosistem, nomor transek, nomor plot dan kedalaman tanah.
9. Kemudian bawa sampel tanah ke laboratorium dan dikeringkan pada suhu 60 °C sampai mencapai kering tanur dan dianalisis kandungan C organiknya.

7.3.3 Penghitungan Biomassa dan Kandungan Karbon

Setelah pengukuran data dan pengambilan sampel untuk masing-masing pool karbon di lapangan, kemudian data dan sampel yang diperoleh tersebut akan dianalisis di laboratorium untuk dihitung berat kering, berat jenis, dan kandungan C organiknya.

Perhitungan Biomassa dan Kandungan Karbon Atas Permukaan

Menurut Hairiah dan Rahayu (2007), pendugaan biomassa di atas permukaan tanah bisa diukur dengan menggunakan metode langsung (destructive) atau metode tidak langsung (non destructive). Pendugaan langsung dilakukan dengan mengambil seluruh bagian pohon dari beberapa sampel untuk ditimbang berat basahnya, tujuannya adalah untuk mendapatkan persamaan allometrik lokal. Adapun manual ini lebih memfokuskan pendugaan biomassa secara tidak langsung (non destructive), yaitu memanfaatkan persamaan alometrik yang sudah tersedia sesuai dengan lokasi yang akan dilakukan pendugaan biomasnya.

Kandungan karbon atas permukaan dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$C_{\text{bap}} = B \times \% C$$

Keterangan:

C_{bap} : cadangan karbon atas permukaan (kg)

% C : % kandungan karbon, umumnya 0.47 (atau nilai dari laboratorium)

B : Biomassa pohon (kg)

Untuk mendapatkan nilai biomassa, digunakan persamaan alometrik yang sesuai dengan karakteristik dan kondisi ekosistem dimana PUP dibangun. Persamaan alometrik pendugaan biomassa yang dapat digunakan untuk hutan tropis telah disusun berdasarkan penelitian yang dilakukan secara global maupun lokal. Beberapa pertimbangan yang dapat digunakan dalam pemilihan persamaan alometrik antara lain yaitu pertimbangan lokasi, karakteristik jenis vegetasi dominan, ketersediaan data dan pertimbangan lainnya.

Perhitungan Biomassa dan Kandungan Karbon Bawah Permukaan

Untuk pendugaan kandungan biomasa akar, terlalu sulit untuk dilakukan pengukuran di lapangan. Karena itu, dapat digunakan metode root to shoot ratio (RSR) atau rasio perbandingan antara biomasa akar (biomasa bawah permukaan) dengan biomasa atas permukaan (BAP).

Kandungan karbon bawah permukaan dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$C_{bp} = B_{bp} \times \% C$$

Keterangan:

B_{bp} : biomassa bawah permukaan (kg);

% C : % kandungan karbon, umumnya 0.47 (atau nilai dari laboratorium)

Biomassa karbon bawah permukaan diperoleh dengan menggunakan rumus:

$$B_{bp} = B_{ap} \times NAP$$

Keterangan:

B_{bp} : biomassa bawah permukaan (kg);

NAP : nilai nisbah akar pucuk;

B_{ap} : biomassa atas permukaan (above ground biomass) (kg)

C_{bp} : cadangan karbon bawah permukaan (kg);

Perhitungan Biomassa dan Kandungan Karbon Semai, Serasah, Tumbuhan Bawah dan Nekromas

Kandungan karbon pada serasah, tumbuhan bawah dan nekromas dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$C_{\text{serasah, semai, tumb.bawah}} = B_o \times \% C$$

Keterangan:

B_o : berat bahan organik (kg)

% C : % kandungan karbon, umumnya 0,47 (atau nilai dari laboratorium)

Biomassa serasah, semai, tumbuhan bawah, nekromas ranting diperoleh dengan menggunakan rumus:

$$B_0 = \frac{B_{ks} \times B_{bt}}{B_{bs}}$$

Keterangan:

B_0 : berat bahan organik (kg);

B_{ks} : berat kering contoh (kg);

B_{bt} : berat basah total (kg);

B_{bs} : berat basah contoh (kg)

Perhitungan Biomassa dan Kandungan Karbon Kayu Mati

Kandungan karbon pada kayu mati dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$C_{\text{kayumati+pohonmati}} = B \times \% C$$

Keterangan:

B : Biomassa kayu mati (Kg)

$\% C$: % kandungan karbon, umumnya 0,47 (atau nilai dari laboratorium)

Biomassa serasah, semai, tumbuhan bawah, nekromas ranting diperoleh dengan menggunakan rumus:

$$\text{Biomassa kayu mati (kg)} = \text{Volume (m}^3\text{)} \times \text{Berat jenis (kg/m}^3\text{)}$$

Untuk mendapatkan volume kayu mati, digunakan metode Quadratic Mean Diameter (QMD) sebagai berikut:

Perhitungan volume kayu mati dengan diameter < 7.6 cm:

$$QMD = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{n}}$$

Keterangan:

d_i : diameter sampel kayu mati pada tiap kelas

n : jumlah total kayu mati pada tiap kelas

$$Volume (m^3ha^{-1}) = \pi^2 * \left(\frac{N_i * QMD_i^2}{8 * L} \right)$$

Keterangan:

- N_i : jumlah kayu mati pada kelas I
 QMD_i : quadratic mean diameter kelas i (cm)
 L : panjang transek (m), (van Wagner 1968; Brown 1971)

Perhitungan volume kayu mati dengan diameter > 7.6 cm:

$$Volume (m^3ha^{-1}) = \pi^2 * \left(\frac{d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + \dots d_n^2}{8 * L} \right)$$

Keterangan:

- d_1, d_2, \dots : diameters kayu mati dengan diameter >7.6 cm (cm)
 L : panjang transek untuk kelas diameter >7.6 cm (m),
 (van Wagner 1968; Brown 1971).

Perhitungan Biomassa dan Kandungan Karbon Tanah

Kandungan karbon pada tanah dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$C_t = Kd \times p \times \% C$$

- C_t : kandungan karbon tanah (g/cm²)
 Kd : kedalaman contoh tanah/kedalaman tanah gambut (cm)
 p : kerapatan lindak (bulk density) (g/cm³)
 $\%C$: % kandungan karbon, umumnya 0,47 (atau nilai dari laboratorium)

Untuk mendapatkan kerapatan lindak (bulk density) digunakan rumus:

$$\text{Kerapatan lindak (Db)} = \frac{\text{Berat Tanah Kering Oven (g)}}{\text{Volume tanah total (cm}^3\text{)}}$$

Perhitungan Cadangan Karbon Total Pada Ekosistem

Total cadangan karbon pada 5 pool karbon dihitung dengan persamaan:

$$C_{\text{Total}} = C_{\text{bap}} + C_{\text{Serasah}} + C_{\text{kayumati+pohonmati}} + C_{\text{bbp}} + C_{\text{tanah}}$$

Keterangan:

- C_{Total} : Total cadangan karbon
 C_{bap} : Cadangan karbon atas permukaan
 C_{serasah} : Cadangan karbon serasah
 $C_{\text{kayu mati + pohon mati}}$: Cadangan karbon kayu mati dan pohon mati

C bbb : Cadangan karbon bawah permukaan (tumbuhan bawah dan semai)

C tanah : Cadangan karbon tanah

7.4 Penilaian jasa lingkungan

7.4.1 Penilaian dan Indeks Jasa Lingkungan

Keragaman Fauna

Keragaman jenis fauna dapat diperoleh dari pengamatan langsung di lokasi pembuatan PUP atau dengan studi literatur dari laporan kegiatan yang telah dilakukan di lokasi kegiatan pengukuran stok karbon ataupun hasil penelitian dan sumber lainnya yang telah ada sebelumnya.

Keragaman Flora

Keragaman jenis flora pada kajian ini dilakukan dengan menghitung kerapatan jenis pohon pada plot lingkaran yang juga digunakan dalam pengukuran stok karbon. Plot yang dipergunakan adalah plot berbentuk lingkaran dengan radius 10 meter untuk pengukuran jenis pohon (berdiameter 5 sampai 20 cm) dan tiang (berdiameter 5 sampai 20 cm) dan di dalam plot lingkaran tersebut dibuat *nested plot* dengan radius 2 m untuk mengukur diameter pada pancang (berdiameter 2 sampai 5 cm). Dari plot-plot tersebut, dilakukan analisis vegetasi untuk mendapatkan jenis-jenis dominan dan jenis-jenis komersial yang berada pada tipe ekosistem yang berkontribusi dalam pembentukan cadangan karbon dan menghitung kerapatan tiap jenis.

Selain itu data mengenai keragaman flora dapat diperoleh dari studi literature melalui laporan-laporan hasil kegiatan ataupun hasil penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya.

Pendugaan debit air

Data debit air diperoleh dari data sekunder yang berasal dari laporan hasil pengukuran debit air di taman nasional atau dapat juga dihitung melalui pendekatan-pendekatan yang memungkinkan. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk menghitung potensi jasa lingkungan air adalah pendekatan *watershed delineation* atau membuat batas-batas DAS kecil (cakupan DAS). Pendekatan *watershed delineation* digunakan agar dapat diperoleh hasil debit total air sungai pada daerah kesatuan hulu sampai ke hilir sesuai lokasi-lokasi (titik koordinat) pengukuran debit air sungai. DAS-DAS kecil yang terbentuk melingkupi dan mengelompokkan titik-titik pengukuran debit air sungai hasil kegiatan pengukuran oleh petugas dari taman nasional. Setelah diketahui debit total per-kesatuan DAS-DAS kecil tersebut dapat dihitung rata-rata debit air sungai per hektar yang akan digunakan untuk mengagregasi produksi air sungai untuk seluruh luasan ekosistem yang ada.

Pada analisis ini, deliniasi cakupan DAS (*watershed delineation*) dilakukan melalui alat analisis SWAT. SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) merupakan

model terdistribusi yang terhubung dengan Sistem Informasi Geografis (SIG) dan mengintegrasikan Spatial DSS (*Decision Support System*) (Junaidi & Tarigan, 2012). SWAT adalah model DAS kecil untuk skala sungai untuk simulasi kualitas dan kuantitas air permukaan dan air tanah, serta memprediksi dampak lingkungan dari penggunaan lahan, praktik pengelolaan lahan dan perubahan iklim. SWAT banyak digunakan dalam pencegahan dan pengendalian erosi tanah, pengendalian pencemaran sumber non-titik dan pengelolaan regional di daerah aliran sungai. Dalam analisis penilaian potensi jasa air di taman nasional ini, pendekatan SWAT hanya dilakukan sampai pada tahap mendelineasi DAS-DAS kecil berbasis sungai (*watershed delineation*) yang mencakup titik-titik pengukuran debit air sungai hasil kegiatan inventarisasi sumber daya air di lapangan.

Data yang digunakan pada analisis potensi jasa air di ekosistem hutan hujan dataran rendah meliputi: (1) Data DEM (*Digital Elevation Model*) SRTM 30 meter, (2) Peta sungai dalam format *shapefile*, (3) Peta ekosistem dalam format *shapefile*, (4) Data debit air sungai di beberapa stasiun pengamatan, (5) data curah hujan, kelembapan, (6) data dan peta tipe tanah, dan (7) data/peta penutupan lahan. Alat yang digunakan dalam proses pengolahan data adalah ArcGIS yang dilengkapi ekstensi ArcSWAT untuk tahap pengolahan data spasial dan *Microsoft Excel* yang digunakan untuk pengolahan data secara tabulasi.

Penilaian Indeks Jasa Wisata Alam

Metode yang digunakan untuk menilai indeks keindahan alam adalah menghitung indeks *Scenic Beauty Estimation* (SBE). SBE merupakan metode penilaian terhadap suatu keindahan lanskap atau titik lanskap sehingga mendapatkan suatu nilai (kuantitatif) dari obyek yang sifatnya kualitatif. SBE merupakan suatu alternatif metode untuk mengkuantifikasi objek kualitatif yang sifatnya subjektif menjadi nilai-nilai kuantitatif.

Pada prinsipnya tahapan analisis SBE adalah sebagai berikut:

- Menganalisa kualitas visual dari sebuah area dengan memperlihatkan sampel acak dari pemandangan lanskap area tersebut pada suatu grup penilai yang disebut Responden Ahli
- Mengetahui respon responden dengan mengakumulasi reaksi individual untuk mengetahui penilaian secara umum terhadap suatu pemandangan

Data yang digunakan dalam penghitungan indeks SBE ini adalah rating responden terhadap foto Objek dan Daya Tarik Wisata Alam (ODTWA). Alat yang digunakan meliputi gambar ODTWA, kuisioner serta *Microsoft Excel*. Responden yang dipilih merupakan responden ahli dengan kriteria responden yang dipilih memiliki pengalaman dalam bidang kehutanan, ekowisata dan lanskap. Setelah diperoleh data rating responden terhadap visual ODTWA, data diolah dengan persamaan sebagai berikut:

$$SBEx = (Zx - Zo) \times 100$$

Keterangan :

SBEx = nilai penduga nilai keindahan pemandangan lanskap ke-x

Zx = nilai rata-rata z untuk lanskap ke-x

Zo = nilai rata-rata suatu lanskap tertentu sebagai standar

Untuk menghitung SBE, setiap rangking dihitung jumlah frekuensi kumulatif, peluang kumulatif, dan nilai z (Daniel dan Booster, 1976). Pengelompokan didasarkan oleh sebaran normal dengan uji sebaran normal menggunakan *software Microsoft Excel*. Frekuensi (f) merupakan perhitungan jumlah responden yang menilai untuk masing- masing rating berdasarkan satu lanskap foto. Peluang kumulatif (cp) adalah frekuensi kumulatif dibagi jumlah responden. Nilai z diperoleh dengan program *Microsoft Excel* menggunakan rumus Normsinv dikali peluang kumulatif (Normsinv x cp). Untuk nilai cp = 1,00 digunakan rumus $cp = 1 - 1/(2n)$ dan untuk nilai cp = 0 ($z = \pm$ tak terhingga) menggunakan rumus $cp = 1/(2n)$. Nilai rata- rata z yang diperoleh merupakan standar penilaian untuk menduga estetika pemandangan (Harimbawa, *et al.*, 2015).

7.4.2 Penilaian dan Indeks Jasa Lingkungan

Nilai ekonomi total pada taman nasional dibedakan menjadi nilai guna (*use value*) dan nilai non guna (*non use value*). Kajian ini lebih menitik beratkan pada nilai guna.

1. Nilai guna langsung (*direct use value*)

Nilai guna langsung adalah barang dan jasa yang terkandung dalam suatu sumberdaya yang secara langsung dapat dimanfaatkan. Beberapa pemanfaatan langsung yang diperbolehkan adalah jasa ekowisata. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk menilai jasa ekowisata melalui metode biaya perjalanan (*travel cost method*).

2. Nilai guna tidak langsung (*indirect use value*)

Nilai tidak langsung adalah barang dan jasa yang ada karena keberadaan suatu sumberdaya yang tidak secara langsung dapat diambil dari sumberdaya alam tersebut. Dalam kajian ini, manfaat tidak langsung dibatasi pada nilai jasa air. Terdapat beberapa pendekatan yang dapat digunakan untuk melakukan valuasi jasa air, yaitu:

1. Pendekatan pasar air baku untuk kebutuhan sehari-hari

Nilai jasa air dihitung dengan menggunakan pendekatan harga pasar untuk air baku, meskipun nilainya belum mencerminkan nilai air yang sebenarnya.

2. Pendekatan non-pasar

Dalam hal ini air digunakan sebagai input produksi seperti pertanian, perikanan, pembangkit listrik, dll.

3. Nilai pilihan (*option value*)

Nilai manfaat pilihan mengacu pada nilai pemanfaatan langsung dan tidak langsung yang berpotensi dihasilkan dimasa yang akan datang. Ketidakpastian pemanfaatan di masa datang menjadikan ketidakpastian penawaran lingkungan sehingga manfaat pilihan lebih diartikan sebagai

nilai pemeliharaan atau perawatan sumber daya sehingga pemanfaatannya dimasa yang akan datang masih tersedia. Nilai manfaat pilihan merupakan kesediaan konsumen untuk mau membayar aset yang belum dimanfaatkan dengan alasan untuk menghindari risiko karena tidak dapat lagi memanfaatkannya dimasa yang akan datang. Dengan kata lain nilai manfaat pilihan adalah manfaat sumber daya alam dan lingkungan yang pada saat ini belum tereksploitasi atau dimanfaatkan, namun disimpan untuk masa yang akan datang. Dalam kajian ini, nilai pilihan berupa nilai biodiversitas. Untuk menghindari *double counting* dengan metode yang digunakan dalam menghitung nilai ekowisata, nilai biodiversitas dalam konteks ini diluar nilai biodiversitas yang digunakan untuk ekowisata.

Nilai ekonomi total kawasan Taman Nasional diperoleh dari Nilai Ekonomi Biodiversitas, Nilai Ekonomi Jasa Air dan Nilai Jasa Wisata Alam.

Penghitungan Nilai Ekonomi/Valuasi Biodiversitas

Nilai biodiversitas dibedakan menjadi nilai flora dan fauna. Nilai biodiversitas flora difokuskan pada flora yang memiliki nilai komersial. Untuk flora yang memiliki nilai komersial didekati dengan harga pasar (*market price approach*). Sedangkan nilai biodiversitas fauna didekati dengan biaya penggantian (*cost of replacement*).

Penghitungan Nilai Ekonomi/Valuasi Jasa Air

Harga air diperoleh dari valuasi nilai jasa lingkungan air di kawasan taman nasional baik untuk kebutuhan rumah tangga. Valuasi dilakukan dengan pendekatan metode kesediaan membayar (*willingness to pay*) konsumen terhadap penggunaan air. Dalam analisis *Willingness to Pay* (WTP) ini digunakan model permintaan air oleh masyarakat sebagai berikut:

$$Y = \alpha_0 + \beta_1 P + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon$$

Keterangan:

- Y : konsumsi air per kepala keluarga (KK) per tahun (liter/tahun)
- P1 : WTP
- X_{2...k} : peubah-peubah lainnya yang relevan
- ε : error term

Data jumlah penduduk sekitar kawasan yang memanfaatkan air yang bersumber dari dalam kawasan dan data pendukung lainnya didapat dari balai taman nasional ataupun melalui studi literature lainnya.

Penghitungan Nilai EKonomi/Valuasi Jasa Wisata Alam

Untuk memvaluasi jasa wisata alam dapat dilakukan dengan menggunakan pendekatan biaya perjalanan yang dikeluarkan oleh setiap pengunjung. Nilai ekonomi jasa wisata alam dihitung menggunakan rumus:

Nilai Ekonomi Jasa Wisata Alam = Jumlah Pengunjung (orang) X Biaya Transportasi (Rp/orang)

Untuk mendapatkan biaya transportasi bagi setiap pengunjung, digunakan *Metode Biaya Perjalanan* (TCM). Metode ini pada awalnya digunakan untuk menilai manfaat yang diterima masyarakat dari penggunaan barang dan jasa lingkungan. Pendekatan ini juga mencerminkan kesediaan masyarakat untuk membayar barang dan jasa yang diberikan lingkungan. Untuk tempat wisata yang umumnya dipungut dengan harga karcis, nilai tersebut tidak cukup untuk mencerminkan nilai jasa lingkungan dan juga tidak mencerminkan kesediaan membayar dari para wisatawan (Suparmoko, 2000). Data yang digunakan dalam metode ini terdiri dari data sekunder dan data primer yang diperoleh melalui survey pengunjung (pendekatan individual) atau studi literature dan pengumpulan informasi dari berbagai sumber. Data sekunder berupa jumlah pengunjung, asal wisatawan, potensi wisata, atraksi unggulan dan sebagainya diperoleh dari pengelola kawasan konservasi. Data yang diperoleh melalui survey diantaranya biaya transportasi umum yang dikeluarkan untuk menuju lokasi wisata, asal wisatawan.

Fungsi permintaan dari suatu kegiatan wisata dengan metode biaya perjalanan melalui pendekatan individu (Fauzi, 2006) dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$V_{ij} = f(C_{ij}, T_{ij}, Q_{ij}, S_{ij}, F_{ij}, M_i)$$

Dimana:

- V_{ij} : Jumlah kunjungan oleh individu i ke tempat j
- C_{ij} : Biaya perjalanan yang dikeluarkan oleh individu i untuk mengunjungi lokasi j
- T_{ij} : Biaya waktu yang dikeluarkan oleh individu i untuk mengunjungi lokasi j
- Q_{ij} : Persepsi responden terhadap kualitas lingkungan dari tempat yang dikunjungi.
- S_{ij} : Karakteristik substitusi yang mungkin ada di daerah lain
- F_{ij} : Faktor fasilitas-fasilitas di daerah j
- M_i : Pendapatan dari individu i

Dari ke-tiga nilai guna diatas, dapat diperoleh nilai ekonomi total, yaitu:

$$TEV = DUV + IUV + OV$$

Dimana:

- TEV : Nilai ekonomi total (Rp)
- DUV : Nilai guna langsung berupa nilai jasa wisata alam (Rp)
- IUV : Nilai guna tidak langsung berupa nilai jasa air (Rp)
- OV : Nilai pilihan berupa nilai biodiversitas flora dan fauna (Rp)

7.5 Pendugaan Nilai Karbon Hutan

Pendugaan atau estimasi nilai karbon hutan diperoleh dengan menghubungkan antara nilai stok karbon dan nilai ekonomi total. Data stok karbon diperoleh dari kajian analisis stok karbon, sedangkan data nilai ekonomi total berasal dari penjumlahan nilai guna. Dari kedua nilai di atas, dapat diperoleh harga karbon hutan yang berasal dari hutan konservasi yang telah memasukkan nilai jasa lingkungan seperti ekowisata, tata air dan biodiversitas, sebagai berikut:

$$P_C = \frac{TEV}{C_{stok}}$$

Keterangan:

P_C : Harga C-stok di taman nasional

C_{stok} : Stok karbon dalam CO2 equivalen

TEV : Nilai total ekonomi

8. Formulir Isian

Berikut adalah formulir isian (tally sheet) yang digunakan dalam Pengukuran/Penghitungan Stok Karbon dan Penilaian Jasa Lingkungan di Kawasan Konservasi

8.1. Formulir Isian Pengukuran Pohon/Tiang/Pancang

8.1 Formulir Isian Pengukuran Pohon/Tiang/Pancang Tally Sheet Pengukuran Pohon/Tiang/Pancang

Hari/Tanggal	:	
Kegiatan	:	
Lokasi	:	
Tipe Ekosistem	:	
Nomor Transek	:	
Nomor Plot	:	
Bentuk Plot	:	Lingkar
Lingkar	:	
Personil	:	

No	Pohon/Tiang/ Pancang/Semai	Nama Jenis	Dbh (cm)	Ukuran Plot	Pohon Hidup/Mati
				R = 10 m R = 2 m	Hidup/Mati
				R = 10 m R = 2 m	Hidup/Mati
				R = 10 m R = 2 m	Hidup/Mati
				R = 10 m R = 2 m	Hidup/Mati
				R = 10 m R = 2 m	Hidup/Mati
				R = 10 m R = 2 m	Hidup/Mati
				R = 10 m R = 2 m	Hidup/Mati
				R = 10 m R = 2 m	Hidup/Mati
				R = 10 m R = 2 m	Hidup/Mati
				R = 10 m R = 2 m	Hidup/Mati
				R = 10 m R = 2 m	Hidup/Mati

Keterangan:

Pohon : Vegetasi berkayu dengan diameter lebih dari 20 cm (Plot R= 10m)

Tiang : Vegetasi berkayu dengan diameter 5 s.d 20 cm (Plot R=10)

Pancang : Vegetasi berkayu dengan diameter antara 2 cm s.d 5 cm (plot R=2)

8.3 Formulir Isian Pengukuran Kayu Mati Tally Sheet Pengukuran Kayu Mati

Hari/Tanggal :
 Kegiatan :
 Lokasi :
 Tipe Ekosistem :
 Nomor Transek :
 Bentuk Plot :
 Personil :

Plot	Kuadran (A/B/ C/D)	Dbh class (transect length)	Dbh (cm)	Sample Code
	A	< 0.6 cm (10-12 m)		
		0.6 – 2.5 cm (7-10 m)		
		2.5 – 7.5 cm (2 – 7 m)		
		> 7.5 cm sound (0 -12 m)		
		> 7.5 cm rotten (0 -12 m)		
	B	< 0.6 cm (10-12 m)		
		0.6 – 2.5 cm (7-10 m)		
		2.5 – 7.5 cm (2 – 7 m)		
		> 7.5 cm sound (0 -12 m)		
		> 7.5 cm rotten (0 -12 m)		

Plot	Kuadran (A/B/C/D)	Dbh class (transect length)	Dbh (cm)	Sample Code
	C	< 0.6 cm (10-12 m)		
		0.6 – 2.5 cm (7-10 m)		
		2.5 – 7.5 cm (2 – 7 m)		
		> 7.5 cm sound (0 -12 m)		
		> 7.5 cm rotten (0 -12 m)		
	D	< 0.6 cm (10-12 m)		
		0.6 – 2.5 cm (7-10 m)		
		2.5 – 7.5 cm (2 – 7 m)		
		> 7.5 cm sound (0 -12 m)		
		> 7.5 cm rotten (0 -12 m)		

8.4 Formulir Isian Pengukuran Sampel Tanah Tally Sheet Pengukuran Tanah

Hari/Tanggal :
Kegiatan :
Lokasi :
Tipe Ekosistem :
Nomor Transek :
Personil :

Plot	Range of Depth (cm)	Kode Sampel	Berat Basah (Gram)	Soil pore salinity (ppt)*	Soil pH*	Keterangan
1	0-5					
	5-10					
	10-15					
	15-20					
	20-25					
	25-30					
2	0-5					
	5-10					
	10-15					
	15-20					
	20-25					
	25-30					
3	0-5					
	5-10					
	10-15					
	15-20					
	20-25					
	25-30					
4	0-5					
	5-10					
	10-15					
	15-20					
	20-25					
	25-30					
5	0-5					
	5-10					
	10-15					
	15-20					
	20-25					
	25-30					

9. Skenario Pemecahan Masalah

Beberapa risiko yang perlu dikelola dalam pelaksanaan penilaian jasa lingkungan berbasis karbon antara lain:

- a. Penilaian jasa lingkungan baru dilakukan oleh beberapa pengelola kawasan hutan konservasi.

Hal ini dapat diatasi dengan melakukan kegiatan sosialisasi dan pendekatan pada para pengelola kawasan konservasi yang belum melaksanakan penilaian jasa lingkungan di areal kerjanya.

- b. Pelaksanaan penilaian jasa lingkungan memerlukan biaya yang cukup banyak sementara dana dari APBN sangat terbatas

Hal ini dapat diatasi dengan kegiatan melakukan kerjasama dengan berbagai lembaga donor dalam dan luar negeri dalam pelaksanaan penilaian jasa lingkungan

- c. Kualitas dan kuantitas sumber daya manusia (SDM) pelaksana penilaian jasa lingkungan sangat rendah

Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan peningkatan kapasitas dan kapabilitas SDM yang ada di unit-unit pengelola kawasan hutan konservasi

- d. Pengelola kawasan hutan konservasi belum mendapatkan manfaat atau insentif atas pelaksanaan penilaian jasa lingkungan karbon di areal kerjanya

Hal ini dapat diatasi dengan memberikan insentif berupa tambahan anggaran operasional dan pemberian pendanaan dari Badan Pengelola Dana Lingkungan Hidup.

10. Peringatan Kesehatan dan Keselamatan

Pelaksanaan rangkaian kegiatan penilaian jasa lingkungan berbasis karbon agar memenuhi syarat-syarat Penerapan K3 (Keselamatan dan Kesehatan Kerja) di tempat kerja tertuang dalam Undang-Undang Nomor 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja dan SNI ISO 45001:2018 Manajemen Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) di antaranya sebagai berikut

- Mencegah & mengurangi kecelakaan kerja.
- Mencegah, mengurangi & memadamkan kebakaran.
- Memberi jalur evakuasi keadaan darurat.
- Memberi P3K Kecelakaan Kerja.
- Memberi APD (Alat Pelindung Diri) pada tenaga kerja.
- Mencegah dan mengendalikan Penyakit Akibat Kerja (PAK) dan keracunan.



Daftar Pustaka

- Fauzi, A. 2006. *Ekonomi Sumber Daya Alam dan Lingkungan*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta
- Hairiah, K., Ekadinata, A., Sari, RR. dan Rahayu, S. 2011. Pengukuran Cadangan Karbon: dari tingkat lahan ke bentang lahan. *Petunjuk Praktis*. Edisi Kedua. Bogor, World Agroforestry Centre, ICRAF SEA Regional Office, University of Brawijaya (UB), Malang, Indonesia xx p.
- Harimbawa IWP, Sukewijaya IM, Utami NWF. 2015. Pengaruh Alih Fungsi Telajakan Depan Rumah Menjadi Artshop Terhadap Kenyamanan dan Estetika Lanskap Desa Tegallalang. *E-Jurnal Arsitektur Lanskap* Vol 1 No 1 April 2015:1-10. <https://ojs.unud.ac.id/index.php/lanskap/article/download/12619/8653+&cd=2&hl=en&ct=clnk&gl=id>
- Hinrichs, A., R. Ulbricht, S. Soedirman dan Solichin. 1998. *Panduan Survey Orientasi Areal HPH untuk Pengelolaan Hutan Lestari*. SFMP Document No 8(1998). Sustainable Forest Management Project GTZ-Dephut.
- Hicks, C., S. Woroniecki, M. Fancourt, M. Bieri, H.R. Garcia, K. Trumper and R. Mant. 2014. *The Relationship between Biodiversity, Carbon Storage and the Provision of Other Ecosystem Services: Critical Review for the Forestry Component of the International Climate Fund*. Cambridge, UK.
- Kauffmann, J.B and Donato, D. 2010. *Protocols for the Measurement, Monitoring and Reporting of Structure, Biomass, and Carbon Stocks in Mangrove Forests*.
- Kauffman J.B., V.B. Arifanti, I. Basuki, S. Kurnianto, N. Novita, D. Murdiyarso, D.C. Donato and M.W. Warren. 2016. *Protocols for the Measurement, Monitoring, and Reporting of Structure, Biomass, Carbon Stocks and Greenhouse Gas Emissions in Tropical Peat Swamp Forests*. Working Paper 221. Bogor, Indonesia: CIFOR.
- Kementerian Kehutanan. 2007. *Pedoman Inventarisasi Hutan Menyeluruh Berkala (IHMB) pada Usaha Pemanfaatan Hasil Hutan pada Hutan Produksi*. Permenhut 34/2007.
- Leimona.B, Munawir, Rofandi N.2015. *Konsep Jasa Lingkungan dan Pembayaran Jasa Lingkungan di Indoensia: Gagasan Kebijakan*. Word Agroforestry Center ICRAF. Bogor.
- Muttaqin, M.Z., V.B. Arifanti and M. Lugina. 2018. *Integrasi Jasa Lingkungan Dalam Indikator Karbon: Sebuah Pendekatan Awal dalam Strategi Pemanfaatan Jasa Lingkungan Berbasis Karbon di Taman Nasional*, editor: Subarudi, A. Wibowo, F. Nurfatriani, A. Sugiharta and M.Z. Muttaqin, IPB Press, Bogor, Indonesia.
- Midgely, G.F., W.J. Bond, V. Kapos, C. Ravilious, J.P. Scharlemann and F.I. Woodward. 2010. *Terrestrial Carbon Stocks and Biodiversity: Key Knowledge Gaps and Some Policy Implications*. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2: 1-7.
- Peraturan Menteri LHK Nomor: P.70/Menlhk/Setjen/Kum.1/12/2017 tentang *Tata Cara Pelaksanaan Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation, Role of Conservation, Sustainable Management of Forest and Enhancement of Forest Carbon Stocks (REDD+)*.
- Ram Asheshwar Mandal, Ishwar Chandra Dutta, Pramod Kumar Jha, Siddhibir Karmacharya, "Relationship between Carbon Stock and Plant Biodiversity in Collaborative Forests in Terai, Nepal", *International Scholarly Research Notices*, vol. 2013, Article ID 625767, 7 pages, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/625767>.

- Robert W. Malmshemer, P. Hefferman; S. Brink; D. Crandall; F. Dendeke; C. Galik; E. Gee; J.A. Helm; N. Mc CLure; M. Mortimer; S. Ruddell; M. Smith; and J. Stewart. 2008. Forest Management Solutions for Mitigating Climate Change in the United States, *Journal of Forestry*, Volume 106, Issue 3, April 2008, Pages 115–117, <https://doi.org/10.1093/jof/106.3.115>
- Soerianegara, I. dan Indrawan, A. 2002. *Ekologi Hutan Indonesia*. Laboratorium Ekologi Hutan Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Pearson, T., S. Walker and S. Brown. 2005. *Sourcebook for Land Use, Land-Use Change and Forestry Projects*. Winrock International.
- Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2016 tentang Pengesahan Paris Agreement To The United Nations Framework Convention On Climate Change (Persetujuan Paris Atas Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa mengenai Perubahan Iklim).
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 108 Tahun 2015 tentang Perubahan Atas Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2011 tentang Pengelolaan Kawasan Suaka Alam dan Kawasan Pelestarian Alam.
- Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2016 Tentang Pengesahan Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change (Persetujuan Paris atas Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa mengenai perubahan iklim).
- Peraturan Menteri LHK Nomor: P.70/Menlhk/Setjen/Kum.1/12/2017 tentang Tata Cara Pelaksanaan Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation, Role of Conservation, Sustainable Management of Forest and Enhancement of Forest Carbon Stocks







Kementerian
Lingkungan Hidup dan Kehutanan
Republik Indonesia