



Identifikasi Masalah untuk Penyempurnaan FREL-2016 Indonesia

Solichin Manuri
Daniel Murdiyarso
Kristell Hergoualc'h
Rupesh Bhomia

Identifikasi Masalah untuk Penyempurnaan FREL-2016 Indonesia

Solichin Manuri

Daniel Murdiyarso

Kristell Hergoualc'h

Rupesh Bhomia

Working Paper 37

© 2025 CIFOR-ICRAF



Materi dalam publikasi ini berlisensi di bawah Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0),
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

DOI: 10.17528/cifor-icraf/009199

Manuri S, Murdiyarso D, Hergoualc'h K, Bhomia R. 2025. *Identifikasi Masalah untuk Penyempurnaan FREL-2016 Indonesia*. Working Paper 37. Bogor, Indonesia: CIFOR; Nairobi, Kenya: ICRAF.

Terjemah dari: Manuri S, Murdiyarso D, Hergoualc'h K, Bhomia R. 2024. *Analysis for improvement of Indonesia FREL- 2016*. Working Paper 26. Bogor, Indonesia: CIFOR; Nairobi, Kenya: ICRAF.

CIFOR

Jl. CIFOR, Situ Gede
Bogor Barat 16115
Indonesia
T +62 (251) 8622622
F +62 (251) 8622100
E cifor@cifor-icraf.org

ICRAF

United Nations Avenue, Gigiri
PO Box 30677, Nairobi, 00100
Kenya
T +254 (20) 7224000
F +254 (20) 7224001
E worldagroforestry@cifor-icraf.org

cifor-icraf.org

Penggunaan istilah dan penyajian materi dalam publikasi ini tidak menunjukkan adanya pendapat dari pihak CIFOR-ICRAF, para mitra, dan lembaga donor; mengenai status hukum suatu negara, wilayah, kota, daerah atau mengenai wewenangnya, atau pemisahan batas-batasnya.

Daftar Isi

Daftar Singkatan	v
Pengantar	vii
Ringkasan	viii
1 Latar Belakang	1
2 Metode	3
2.1 Identifikasi Aktivitas, Kantong Penyimpanan Karbon, dan Gas yang Belum Disertakan	3
2.2 Kompilasi Data Aktivitas dan Faktor Emisi	3
2.3 Pendugaan Emisi Tahunan dan <i>Baseline</i> Emisi	10
2.4 Analisis Ketidakpastian	11
3 Hasil	14
3.1 Beberapa Aktivitas, Kantong Penyimpanan Karbon, dan Gas yang Belum Disertakan dalam Frel–2016	14
3.2 Pendugaan Emisi Tahunan	19
3.3 <i>Baseline</i> Emisi	20
3.4 Analisis Ketidakpastian	21
4 Pembahasan	25
5 Kesimpulan	27
Daftar Pustaka	28

Daftar Gambar dan Tabel

Gambar

1	Transisi tutupan mangrove tahun 1990 hingga 2018	7
2	Perkembangan akuakultur/tambak tahunan di Indonesia	8
3	Deforestasi tahunan mangrove (batang biru) dan konversi mangrove menjadi akuakultur (batang oranye) dalam ribuan hektare	8
4	Tren perubahan tutupan hutan dan lahan pada lahan gambut selama periode <i>baseline</i>	9
5	Area terbakar tahunan di lahan gambut (dalam hektare)	10
6	Emisi tahunan dari lahan gambut	19
7	Emisi tahunan dari kebakaran gambut	20

Tabel

1	Faktor emisi kebakaran gambut	3
2	Faktor emisi pada emisi CO ₂ <i>on-site</i> dari dekomposisi gambut	4
3	Faktor emisi pada emisi N ₂ O <i>on-site</i> dari dekomposisi gambut	5
4	Faktor emisi pada emisi CH ₄ <i>on-site</i> dari lahan gambut	6
5	Faktor emisi pada emisi CO ₂ <i>off-site</i> karena hilangnya karbon organik terlarut	6
6	Rerata karbon organik tanah pada mangrove berdasarkan beragam tipe tanah, diambil dari Tabel 4.11 2013 Pedoman IPCC (IPCC 2014)	7
7	Ringkasan sumber data dan metode yang digunakan untuk menghitung emisi, penyerapan, dan <i>baseline</i>	10
8	Daftar kantong Penyimpanan karbon dan gas pada FREL-2016 serta potensi penyertaan pada FREL berikutnya	14
9	Potensi aktivitas REDD+ dan potensi penyempurnaan untuk peningkatan FREL	16
10	Emisi lahan gambut dari FREL revisi dan penambahan pada emisi gambut FREL-2016	19
11	Perbandingan <i>baseline</i> emisi analisis ini dan FREL-2016	21
12	Analisis ketidakpastian emisi dekomposisi gambut	22
13	Analisis ketidakpastian emisi kebakaran gambut	23
14	Analisis ketidakpastian emisi dari konversi mangrove	24
15	Ringkasan analisis ketidakpastian dari tiap aktivitas	24

Daftar Singkatan

AD	<i>Activity data</i> Data aktivitas
AGB	<i>Above-ground biomass</i> Biomassa atas-permukaan tanah
BGB	<i>Below-ground biomass</i> Biomassa bawah-permukaan tanah
C	<i>Carbon</i> Karbon
CH ₄	<i>Methane</i> Metana
CO	<i>Carbon monoxide</i> Karbon monoksida
CO ₂	<i>Carbon dioxide</i> Karbon dioksida
DOC	<i>Dissolved organic compounds</i> Senyawa organik terlarut
ECS	<i>Enhancement of carbon stocks</i> Peningkatan cadangan karbon
EF	<i>Emission factor</i> Faktor emisi
ER	<i>Emission reduction</i> Reduksi emisi
FREL	<i>Forest reference emission level</i> Rujukan Tingkat Emisi Hutan
GRK	Gas rumah kaca
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change Panel Antar-pemerintah tentang Perubahan Iklim
MoA	Ministry of Agriculture Kementerian Pertanian
MODIS	<i>Moderate resolution imaging spectroradiometer</i> Spektroradiometer pencitraan resolusi menengah
MoEF	Ministry of Environment and Forestry Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK)
MRV	<i>Monitoring, reporting, and verification</i> Pemantauan, pelaporan, dan verifikasi
N ₂ O	Nitrous oksida
NDC	<i>Nationally Determined Contribution</i> Kontribusi yang ditetapkan secara nasional
NFI	<i>National forest inventory</i> Inventarisasi hutan nasional
PDF	<i>Probability density function</i> Fungsi kerapatan peluang

REDD+	<i>Reducing emissions from deforestation, forest degradation, enhancement of forest carbon stock, sustainable management of forests and conservation of forest carbon</i> Reduksi emisi dari deforestasi, degradasi hutan, peningkatan cadangan karbon, pengelolaan hutan berkelanjutan, dan konservasi karbon hutan
SFM	<i>Sustainable forest management</i> Pengelolaan hutan berkelanjutan
U%	<i>Percent of uncertainty</i> Persentase ketidakpastian
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change Konvensi Kerangka Kerja PBB tentang Perubahan Iklim

Pengantar

Para pihak dalam Konvensi Kerangka Kerja PBB mengenai Perubahan Iklim (UNFCCC) harus menyusun *Forest Reference Emission Levels* (FREL) atau Rujukan Tingkat Emisi Hutan mereka. Indonesia, sebagai salah satu negara teratas dengan cadangan tinggi-karbon dalam ekosistem lahan basah, termasuk lahan gambut dan mangrove; karena itu perlu memasukkan sejumlah sumber dan serapan yang kurang terwakili untuk menyempurnakan FREL serta sistem pemantauan, pelaporan, dan verifikasi nasional.

Dokumen FREL pertama Indonesia yang telah diserahkan ke Sekretariat UNFCCC adalah sebuah usaha yang patut dihargai, meski demikian para pengkaji UNFCCC juga merekomendasikan perbaikan teknis yaitu dengan memasukkan kebakaran lahan gambut dan emisi gas non-CO₂. Emisi yang dilaporkan berada pada level *Tier-2* dengan menggunakan data spesifik negara. Selain faktor emisi yang telah diadopsi, Indonesia menggunakan dinamika tutupan lahan beresolusi tinggi, yang dikenal sebagai data aktivitas, pada kategori tutupan lahan paling utama.

Kajian ini mengidentifikasi beberapa aktivitas, sumber kantong penyimpanan karbon, dan gas yang belum disertakan dalam FREL–2016; serta digunakannya suplemen IPCC 2006 untuk Lahan Basah, untuk menutup kesenjangan pendugaan emisi mangrove dan lahan gambut. Kami berharap kajian ini dapat dipertimbangkan dalam proses penyempurnaan FREL Indonesia.

Bogor, Desember 2023

Solichin Manuri
Daniel Murdiyarso
Kristell Hergoualc’h
Rupesh Bhomia

Ringkasan

Rujukan Tingkat Emisi Hutan pertama Indonesia (FREL 1) telah diserahkan kepada Konvensi Kerangka Kerja PBB tentang Perubahan Iklim (UNFCCC) pada 2015 dan direvisi pada 2016 (FREL-2016). FREL Pertama bertujuan untuk mengkaji kegiatan pengurangan emisi dari deforestasi, degradasi hutan, peningkatan cadangan karbon hutan, pengelolaan hutan berkelanjutan, dan konservasi karbon hutan (REDD+) pasca-2012. *Green Climate Fund* menyetujui proposal Indonesia yang mengakses pembayaran REDD+ sebesar US\$103,8 juta untuk periode 2014-2016. Pemerintah Indonesia telah mengidentifikasi kesenjangan dan potensi penyempurnaannya yang kemudian didokumentasikan dalam FREL-2016 oleh tim penilai teknis UNFCCC untuk pengkajian FREL-2016.

Studi ini mengidentifikasi belum disertakannya sejumlah aktivitas, kantong penyimpanan karbon, dan gas ke dalam FREL- 2016 agar sesuai dengan rencana penyempurnaan; serta rekomendasi dari penilaian teknisnya. Para pemangku kepentingan di Indonesia mengidentifikasi adanya kesenjangan pada saat lokakarya “Peningkatan Kapasitas Suplemen Lahan Basah IPCC 2013 dan Diagnostik FREL” April 2020. Sebagai tambahan, kami menggunakan Suplemen Lahan Basah IPCC 2013 untuk mengidentifikasi kesenjangan pendugaan dan penyerapan emisi dari perubahan tutupan hutan serta kebakaran mangrove dan lahan gambut.

Usulan sub-aktivitas REDD+ yang teridentifikasi dalam analisis ini termasuk pula kebakaran gambut dan konversi mangrove. Perlu dicatat bahwa emisi dari kebakaran gambut telah menjadi sumber emisi terbesar, melampaui deforestasi dan dekomposisi gambut. Lebih jauh lagi, analisis ini menggabungkan penambahan kantong penyimpanan karbon dan gas sesuai dengan Suplemen 2013 yang mengacu pada Pedoman IPCC tentang Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional IPCC: Lahan Basah (Suplemen Lahan Basah). Khusus gas non-CO₂ seperti: metana, nitrous oksida, dan karbon monoksida; sudah disertakan ke dalam pendugaan emisi dari dekomposisi dan kebakaran gambut. Pendugaan emisi dekomposisi gambut juga memperhitungkan kehilangan karbon organik terlarut. Temuan yang dihasilkan menyarankan penambahan emisi sekitar 30% dibandingkan dengan pendugaan dekomposisi gambut di 2016, padahal tingkat emisi kebakaran gambut tercatat 58% lebih tinggi dibandingkan dengan *baseline* 2016.

Untuk menilai ketidakpastian dugaan emisi, kami menggabungkan metode *Propagation of Error* dan *Monte Carlo Simulation* (MCS). Ternyata ditemukan bahwa tingkat ketidakpastian emisi dekomposisi gambut lebih tinggi daripada FREL-2016, ini dilakukan dengan MCS yang dapat menganalisis ketidakpastian dengan lebih baik berdasarkan Pedoman IPCC 2016. Temuan ini menekankan tentang pentingnya mempertimbangkan beberapa aktivitas yang belum diperhitungkan, tambahan kantong penyimpanan karbon dan gas, serta menganalisis ketidakpastian untuk meningkatkan akurasi dan reliabilitas pendugaan emisi dalam konteks REDD+ dan FREL Pertama.

1 Latar Belakang

Rujukan Tingkat Emisi Hutan Pertama Indonesia (FREL 1) telah diserahkan kepada Konvensi Kerangka Kerja PBB tentang Perubahan Iklim (UNFCCC) pada 2015 dan direvisi pada 2016 (FREL-2016). FREL Pertama bertujuan menetapkan serangkaian rujukan atau *baseline* emisi dari deforestasi, degradasi hutan, dan dekomposisi gambut berdasarkan data historis dari 1990 hingga 2012. Dokumen ini digunakan untuk mengkaji reduksi emisi dari aksi mitigasi REDD+ pasca-2012. *Green Climate Fund* menyetujui proposal Indonesia untuk mengakses pembayaran REDD+ sebesar US\$103,8 juta selama kurun waktu 2014–2016.

Pemerintah Indonesia kemudian mengidentifikasi kesenjangan dan potensi penyempurnaan, yang telah didokumentasikan ke dalam FREL-2016 dan dilakukan oleh tim teknis penilaian UNFCCC saat pengkajian FREL-2016. Hal ini termasuk juga adanya penyempurnaan faktor emisi (EF) dan data aktivitas (AD) lewat pendataan yang lebih akurat dan metodologi yang lebih baik, serta inklusi emisi gambut dari kebakaran dan aktivitas REDD+ lain, seperti pengelolaan hutan berkelanjutan dan peningkatan cadangan karbon (KLHK 2016).

FREL-2016 mengidentifikasi deforestasi sebagai sumber utama emisi. Deforestasi didefinisikan sebagai konversi kelas tutupan hutan menjadi kelas nonhutan. Untuk pendugaan emisi dari deforestasi, kami menempatkan karbon cadangan total berbasis EF pada tiap kelas hutan dengan asumsi bahwa seluruh cadangan karbon akan hilang setelah deforestasi.

FREL-2016 juga mempertimbangkan pentingnya emisi dari kebakaran gambut karena berkontribusi signifikan terhadap inventarisasi gas rumah kaca (IGRK) nasional. Karena tidak akuratnya AD dan EF, FREL-2016 tidak menyertakan emisi dari kebakaran gambut. Namun demikian, komponen ini dimasukkan ke dalam lampiran FREL-2016. Metode pendugaan kebakaran gambut mengikuti Pedoman IPCC 2014. Data aktivitas di dalam lampiran merupakan proksi dari area terbakar berdasarkan distribusi titik panas, mengikuti MRI (2013) yang tinggi ketidakpastiannya.

Indonesia memiliki mangrove sekitar 3 juta hektare (ha) atau sekitar 23% mangrove dunia, sehingga menjadikan Indonesia pemilik mangrove terbesar di dunia. Murdiyarso dkk. (2015) menyatakan bahwa hingga 2005, hilangnya mangrove Indonesia per tahun setara dengan 31 % emisi sektor lahan Indonesia. Oleh karena itu, ekosistem ini berperan penting bagi mitigasi perubahan iklim di Indonesia. FREL-2016 telah memasukkan emisi dari deforestasi dan degradasi hutan mangrove, namun hanya tentang perubahan biomassa di atas permukaan tanah (AGB). Padahal, emisi dari tanah mangrove akibat akuakultur/tambak seharusnya disertakan dalam perhitungan ini.

Proyek yang dilaksanakan CIFOR ini berupaya mendukung penyempurnaan FREL serta sistem pemantauan, pelaporan, dan verifikasi (MRV) lahan basah Indonesia; agar bisa lebih jauh lagi mengkarakterisasi dinamika yang belum dilaporkan, termasuk kebakaran gambut dan deforestasi, degradasi, dan regenerasi mangrove. Jalur ini seharusnya sejalan dengan upaya perbaikan pelaporan Indonesia terkait dengan prinsip transparansi, akurasi, konsistensi, komparabilitas, dan kelengkapan;

sebagai bagian dari komitmen terhadap Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional (NDC) yang tertuang dalam Perjanjian Paris. Penilaian yang lebih detail terhadap beberapa aktivitas yang belum disertakan, kantong penyimpanan karbon, dan gas non-CO₂ yang belum terhitung, perlu dilakukan agar potensi emisi dapat dipahami dengan baik dan ketidakpastian penghitungan emisi dapat diturunkan.

Tujuan analisis ini adalah untuk memberi sumbangan dalam upaya menyempurnakan FREL-2016 dengan mengikutsertakan komponen-komponen yang diuraikan di atas, khususnya yang terkait dengan emisi lahan basah.

Dokumen ini terdiri dari dua bagian. Bagian pertama mengidentifikasi komponen yang belum disertakan dalam FREL-2016 termasuk angka-angka EF dan AD, khususnya pada pendugaan emisi dari lahan basah. Bagian kedua, menduga besarnya emisi yang tidak disertakan dalam FREL-2016, khususnya untuk lahan basah yang dihitung berdasarkan Suplemen IPCC 2006 tentang Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional: Lahan Basah (IPCC 2014).



2 Metode

2.1 Identifikasi Aktivitas, Kantong Penyimpanan Karbon, dan Gas yang Belum Disertakan

Berdasarkan rencana penyempurnaan (MoEF 2016) serta rekomendasi penilaian teknis (UNFCCC 2016); kami mengidentifikasi beberapa aktivitas, kantong penyimpanan karbon, dan gas yang belum disertakan dalam FREL-2016. Bulan April 2020, para pemangku kepentingan di Indonesia telah mengidentifikasi kesenjangan pada lokakarya “Peningkatan Kapasitas dalam Penggunaan Suplemen Lahan Basah 2013 IPCC dan Diagnosis FREL”. Selain itu, kami juga menerima rekomendasi dari pertemuan dan lokakarya yang diselenggarakan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) pada 2019.

2.2 Kompilasi Data Aktivitas dan Faktor Emisi

Kami menggunakan basis AD untuk menganalisis *database* yang disediakan oleh KLHK kecuali terhadap data yang tidak dapat diakses atau yang tidak tersedia. Sebagian besar *database* dalam format tabel berisi:

- perubahan tutupan hutan dan lahan selama 1990–2017 dari KLHK;
- distribusi lahan gambut dari Kementerian Pertanian (Ritung dkk. 2011);
- area terbakar selama 2001–2019 dari data citra spektoradimeter resolusi menengah (MODIS) yang diambil dari Giglio dkk. (2018).

EF disusun dari FREL-2016 dan Pedoman IPCC 2004 agar bisa menutup kesenjangan perhitungan emisi.

2.2.1 Faktor Emisi

2.2.1.1 Faktor Emisi Kebakaran Gambut

Terkait kebakaran gambut, FREL-2016 menyediakan penilaian awal emisi karbon dioksida (CO₂). Pendugaan emisi tambahan untuk metana (CH₄) dan karbon monoksida (CO) juga dapat disertakan. Seluruh GRK non-CO₂ dikonversi menjadi CO₂ ekuivalen (CO₂e) dengan menerapkan potensi pemanasan global (GWP) dalam horizon lebih dari 100 tahun dengan umpan balik karbon iklim yang dirujuk dari Laporan Penilaian IPCC Kelima. Mengingat CO bukan GRK, sehingga tidak dikonversi menjadi CO₂e. Sementara EF untuk kebakaran gambut diambil dari Bab 2 Suplemen Lahan Basah 2013 (lihat Tabel 1).

Tabel 1 Faktor emisi kebakaran gambut

Gas	Rerata	95% CI	Satuan
CO ₂	601	[290; 913]	t CO ₂ ha ⁻¹
CO	74	[36; 113]	t CO ₂ ha ⁻¹
CH ₄	252	[48; 132]	t CO ₂ ha ⁻¹

Sumber: Drösler dkk. 2014

2.2.1.2 Faktor Emisi Non-CO₂ untuk Dekomposisi/Drainase Gambut

FREL-2016 memasukkan emisi CO₂ gambut *on-site* dari dekomposisi material tanah organik, tetapi mengeluarkan GRK lain (CH₄ and N₂O). Selain itu juga mengecualikan emisi CO₂ *off-site* karena hilangnya senyawa organik terlarut (DOC). Untuk melengkapi pendugaan emisi lahan gambut, kami menggunakan EF dari Suplemen Pedoman IPCC 2013 (lihat Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5).

Tabel 2 Faktor emisi pada emisi CO₂ *on-site* dari dekomposisi gambut

Tutupan lahan	Kelas IPCC	EF (t CH ₄ ha ⁻¹ y ⁻¹)	Persentase ketidakpastian (U, %)
Hutan lahan kering primer	Lahan hutan kering dan semak belukar	1,7	90,6
Hutan lahan kering sekunder/hutan tebangan	Lahan hutan kering dan semak belukar	1,7	90,6
Hutan mangrove primer	Lahan hutan kering dan semak belukar	1,7	90,6
Hutan rawa gambut	Lahan hutan kering dan semak belukar	1,7	90,6
Hutan perkebunan	Lahan hutan kering perkebunan	1,6	152,2
Semak kering	Lahan hutan kering dan semak belukar	1,7	90,6
Tanaman perkebunan	Perkebunan kelapa sawit	1,5	73,5
Wilayah permukiman	Lahan pertanian	1,8	120,7
Lahan gundul	Padang rumput	1,8	120,7
Savana dan padang rumput	Padang rumput	1,8	120,7
Perairan terbuka/badan air	Persawahan	6,3	92,3
Hutan mangrove sekunder/hutan tebangan	Lahan hutan kering dan semak belukar	1,7	90,6
Hutan rawa sekunder/hutan tebangan	Lahan hutan kering dan semak belukar	1,7	90,6
Semak basah	Lahan hutan kering dan semak belukar	1,7	90,6
Pertanian kering murni	Lahan pertanian	1,8	120,7
Pertanian kering campuran	Lahan pertanian	1,8	120,7
Persawahan	Persawahan	6,3	92,3
Tambak/akuakultur	Persawahan	6,3	92,3
Wilayah transmigrasi	Lahan pertanian	1,8	120,7
Dermaga dan pelabuhan		-	-
Kawasan tambang		-	-
Rawa terbuka	Persawahan	6,3	92,3

Sumber: Drösler dkk. 2014

Tabel 3 Faktor emisi pada emisi N₂O *on-site* dari dekomposisi gambut

Tutupan lahan	Kelas IPCC	EF (t N ₂ O ha ⁻¹ y ⁻¹)	Persentase ketidakpastian (U, %)
Hutan lahan kering primer	Lahan hutan kering dan semak belukar	1,1	45,8
Hutan lahan kering sekunder/hutan tebangan	Lahan hutan kering dan semak belukar	1,1	45,8
Hutan mangrove primer	Lahan hutan kering dan semak belukar	1,1	45,8
Hutan rawa gambut primer	Lahan hutan kering dan semak belukar	1,1	45,8
Hutan perkebunan	Perkebunan, kelapa sawit	0,6	-
Semak kering	Lahan hutan kering dan semak belukar	1,1	45,8
Tanaman perkebunan	Perkebunan, kelapa sawit	0,6	-
Wilayah permukiman	Lahan pertanian	2,3	54,0
Lahan gundul	Lahan pertanian	2,3	54,0
Savana dan padang rumput	Lahan pertanian	2,3	54,0
Perairan terbuka/badan air	Lahan pertanian	2,3	54,0
Hutan mangrove sekunder/hutan tebangan	Lahan hutan kering dan semak belukar	1,1	45,8
Hutan rawa sekunder/hutan tebangan	Lahan hutan kering dan semak belukar	1,1	45,8
Semak basah	Lahan hutan kering dan semak belukar	1,1	45,8
Pertanian kering murni	Lahan pertanian	2,3	54,0
Pertanian kering campuran	Lahan pertanian	2,3	54,0
Persawahan	Persawahan	0,2	112,5
Tambak/akuakultur		-	-
Wilayah transmigrasi	Lahan pertanian	2,3	54,0
Dermaga dan pelabuhan	Lahan pertanian	2,3	54,0
Kawasan tambang	Lahan pertanian	2,3	54,0
Rawa terbuka		-	-

Sumber: Drösler dkk. 2014

Tabel 4 Faktor emisi pada emisi CH₄ *on-site* dari lahan gambut

Tutupan lahan	Kelas IPCC	EF (t CH ₄ ha ⁻¹ y ⁻¹)	Persentase ketidakpastian (U, %)
Hutan kering primer	Lahan hutan kering dan semak belukar	1,7	90,6
Hutan kering sekunder/hutan tebangan	Lahan hutan kering dan semak belukar	1,7	90,6
Hutan mangrove primer	Lahan hutan kering dan semak belukar	1,7	90,6
Hutan rawa primer	Lahan hutan kering dan semak belukar	1,7	90,6
Hutan perkebunan	Perkebunan hutan kering	1,6	152,2
Semak kering	Lahan hutan kering dan semak belukar	1,7	90,6
Tanaman perkebunan	Perkebunan kelapa sawit	1,5	73,5
Wilayah permukiman	Lahan pertanian	1,8	120,7
Lahan kosong	Padang rumput	1,8	120,7
Savana dan padang rumput	Padang rumput	1,8	120,7
Perairan terbuka/badan air	Persawahan	6,3	92,3
Hutan mangrove sekunder/hutan tebangan	Lahan hutan kering dan semak belukar	1,7	90,6
Hutan rawa sekunder/hutan tebangan	Lahan hutan kering dan semak belukar	1,7	90,6
Semak basah	Lahan hutan kering dan semak belukar	1,7	90,6
Pertanian lahan kering murni	Lahan pertanian	1,8	120,7
Pertanian lahan kering campuran	Lahan pertanian	1,8	120,7
Persawahan	Persawahan	6,3	92,3
Tambak/akuakultur	Persawahan	6,3	92,3
Wilayah transmigrasi	Lahan pertanian	1,8	120,7
Dermaga dan pelabuhan		-	-
Kawasan tambang		-	-
Rawa terbuka	Persawahan	6,3	92,3

Sumber: Drösler dkk. 2014

Tabel 5 Faktor emisi pada emisi CO₂ *off-site* karena hilangnya karbon organik terlarut

Kategori tata guna lahan	EF (t CO ₂ ha ⁻¹ y ⁻¹)	Persentase ketidakpastian (U, %)
Zona tropis	3,0	35,4

Sumber: Drösler dkk. 2014

2.2.1.3 Faktor Emisi Konversi Akuakultur

Kami menggunakan EF dari Pedoman Suplemen IPCC 2013 untuk menduga ekstraksi tanah mangrove menjadi akuakultur, menggunakan kedalaman 1 m sebagai basis pengukuran (lihat Tabel 6). Konversi mangrove menjadi akuakultur melibatkan ekskavasi tanah, yang kami asumsikan akan menghasilkan emisi dari tanah yang digali sedalam 1 m.

Tabel 6 Rerata karbon organik tanah pada mangrove berdasarkan beragam tipe tanah, menurut Tabel 4.11 2013 Pedoman IPCC (IPCC 2014)

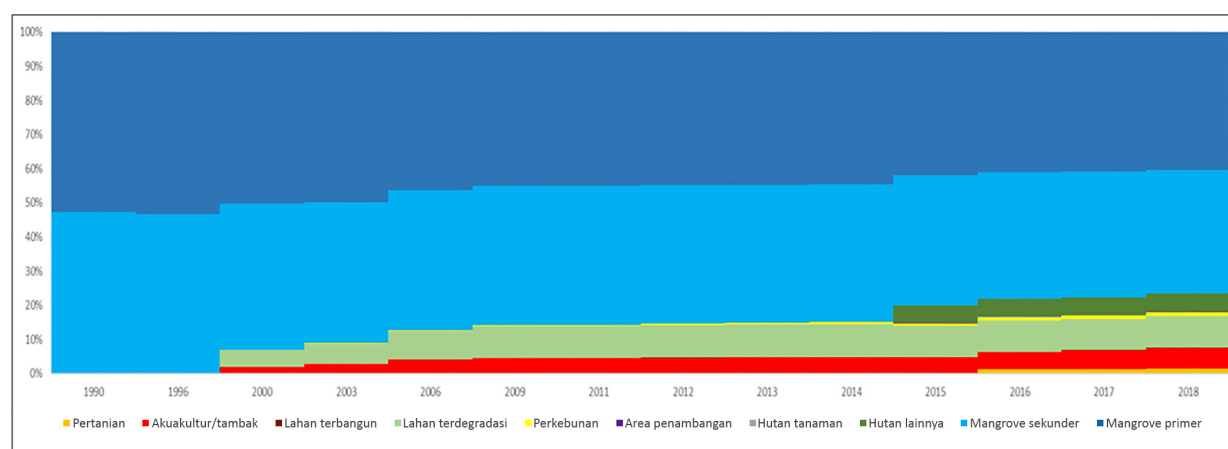
Jenis tanah	Rerata SO _{sebelum} (t CO ₂ ha ⁻¹)	95% CI (t CO ₂ ha ⁻¹)
Tanah organik	1.727	128;138
Tanah mineral	1.049	143;161
Tanah agregat	1.415	128;139

2.2.2 Data Aktivitas

Sebuah metode baru untuk menghasilkan AD akan dibutuhkan untuk aktivitas yang belum diperhitungkan: deforestasi bersih, kebakaran gambut, konversi mangrove, dan peningkatan cadangan C. Penggunaan peta tutupan hutan dan lahan KLHK yang sebelumnya sudah dipakai untuk menghasilkan AD, akan tetap dipakai pada degradasi hutan dan dekomposisi gambut. Peta lahan gambut baru untuk dekomposisi gambut sebenarnya sudah tersedia, tetapi belum dipublikasikan saat laporan ini disiapkan. *Dataset* serupa pada FREL-2016 tampaknya juga akan digunakan untuk FREL berikutnya. Analisis ini menggunakan *dataset* peta gambut pada FREL-2016 (Ritung dkk. 2011).

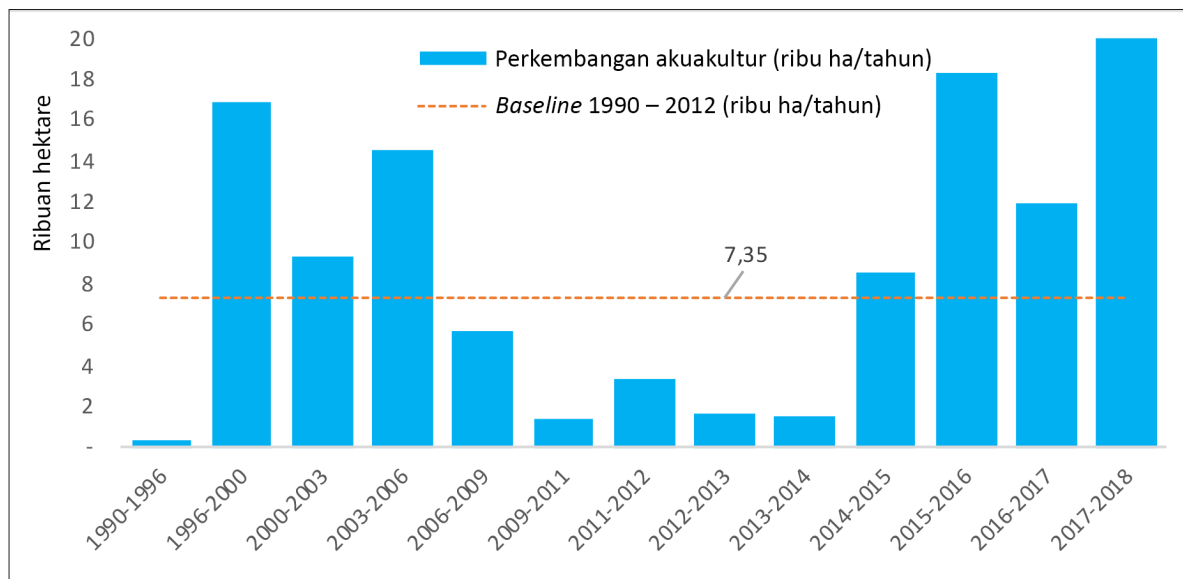
2.2.2.1 Konversi Mangrove

Pada konversi mangrove menjadi akuakultur, kami menggunakan laporan hutan tahunan KLHK dan peta tutupan lahan yang digunakan FREL-2016 untuk menghasilkan AD pada deforestasi dan degradasi hutan. Siapapun dapat mengekstraksi kelas akuakultur atau tambak dari *dataset* tersebut. Gambar 1 memuat transisi tutupan mangrove dari tahun 1990 hingga 2018. Dari data awal tahun 1990, sekitar 15% hutan mangrove telah ditebang di tahun 2018. Antara 1990-2018, sekitar 210.000 ha dari 3,6 juta ha hutan mangrove telah dikonversi menjadi akuakultur/tambak. Dengan kata lain, laju konversi mangrove adalah 7.350 ha per tahun (lihat Gambar 2).



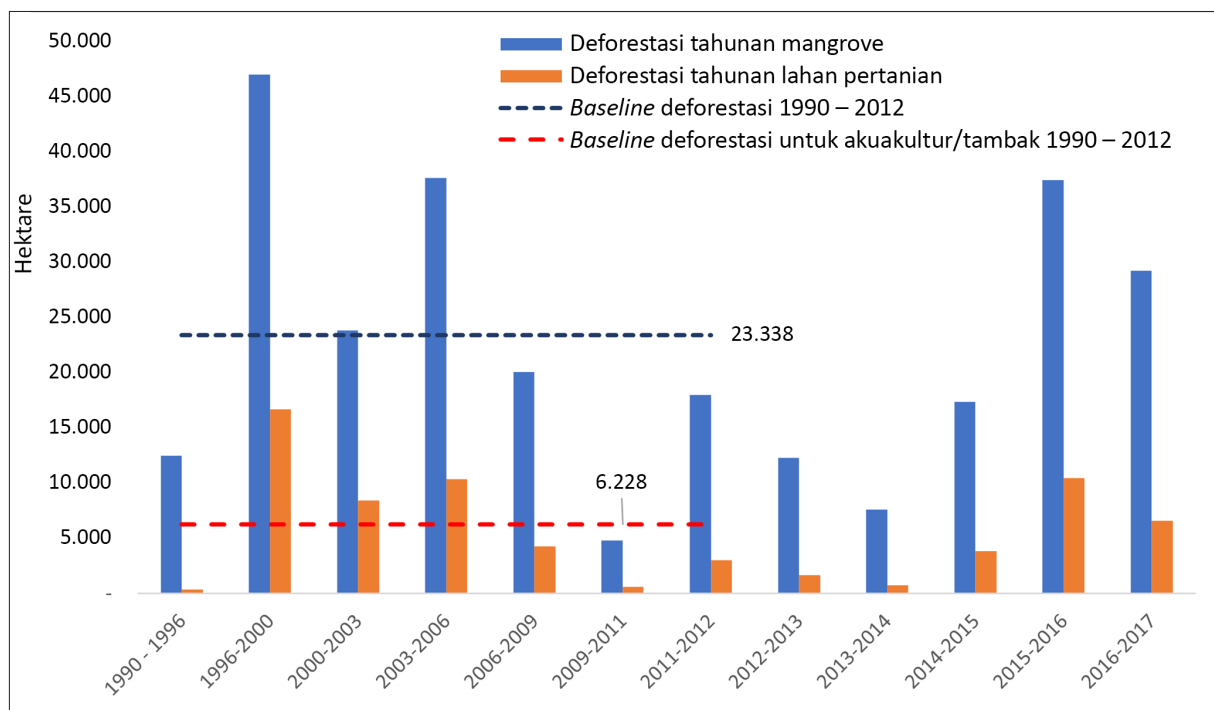
Gambar 1 Transisi tutupan mangrove tahun 1990 hingga 2018

Catatan: Warna merah menunjukkan perluasan akuakultur tahunan



Gambar 2 Perkembangan akuakultur/tambak tahunan di Indonesia

Rerata deforestasi pada hutan mangrove lebih dari 23.339 ha per tahun, tetapi hanya 6.228 ha yang dikonversi menjadi akuakultur/tambak per tahunnya (lihat Gambar 3). Pada analisis ini, kami menggunakan data perkembangan akuakultur/tambak di hutan mangrove pada tahun 1990, terlepas dari tipe hutan dan tutupan lahan pasca-1990. Tidak semua deforestasi di mangrove disebabkan oleh pengembangan akuakultur/tambak (lihat Gambar 3). Selain itu, tidak semua akuakultur dikembangkan secara langsung dari hutan mangrove. Sering kali akuakultur dikembangkan beberapa tahun setelah deforestasi mangrove.

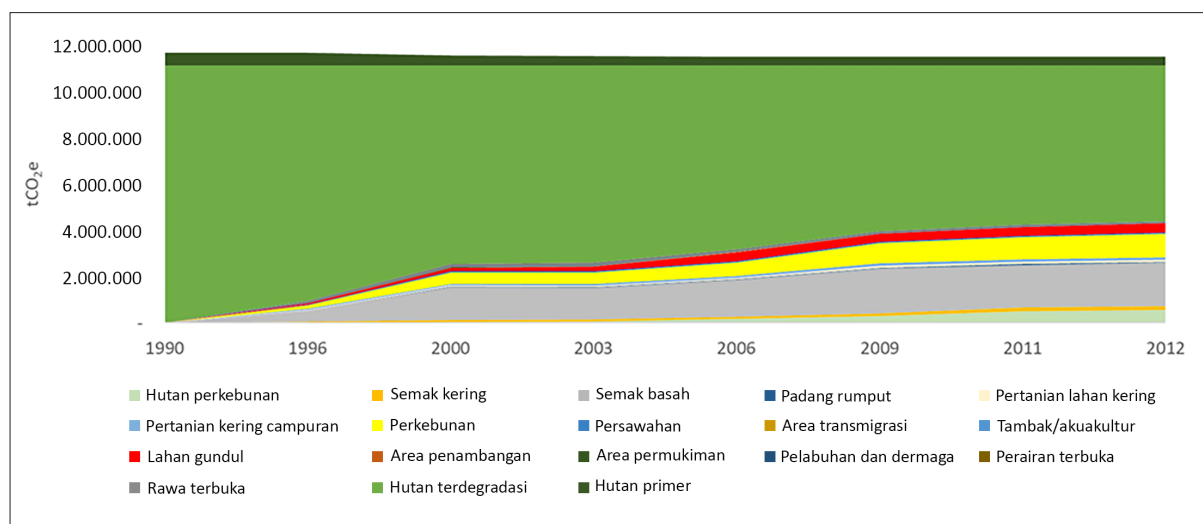


Gambar 3 Deforestasi tahunan mangrove (batang biru) dan konversi mangrove menjadi akuakultur (batang oranye) dalam ribuan hektare

Pada analisis ini, kami menggunakan konversi hutan mangrove sebagai AD dengan rerata 23,3 ha per tahun mulai dari 1990 hingga 2012. Deforestasi terbesar hutan mangrove terjadi pada 1996-2000 (47.000 ha per tahun). Sementara deforestasi mangrove terendah terjadi pada rentang waktu 2009-2011.

2.2.2.2 Tutupan Lahan pada Lahan Gambut

AD untuk dekomposisi gambut dihasilkan dari peta tutupan hutan dan lahan, lalu ditumpang-tindihkan dengan peta distribusi lahan gambut. Seluruh lahan gambut berhutan di tahun 1990 dimasukkan ke dalam penghitungan emisi dekomposisi gambut. Gambar 4 menunjukkan tren perubahan hutan dan tutupan lahan pada lahan gambut mulai tahun 1990 hingga 2012. Ketika hutan rawa gambut ditebang dan dikonversi menjadi penggunaan lahan lain dan kelas tutupan lahan lain, maka emisi yang dilepaskan akan lebih tinggi dibandingkan dengan kelas hutan. Emisi dari kelas nonhutan akan terus diperhitungkan dalam periode pemantauan berikutnya, karena merupakan emisi warisan. Sama halnya jika degradasi hutan terjadi pada hutan rawa gambut primer dan kemudian menjadi hutan sekunder, ini juga akan melepas emisi akibat pembangunan kanal untuk aksesibilitas penebangan.

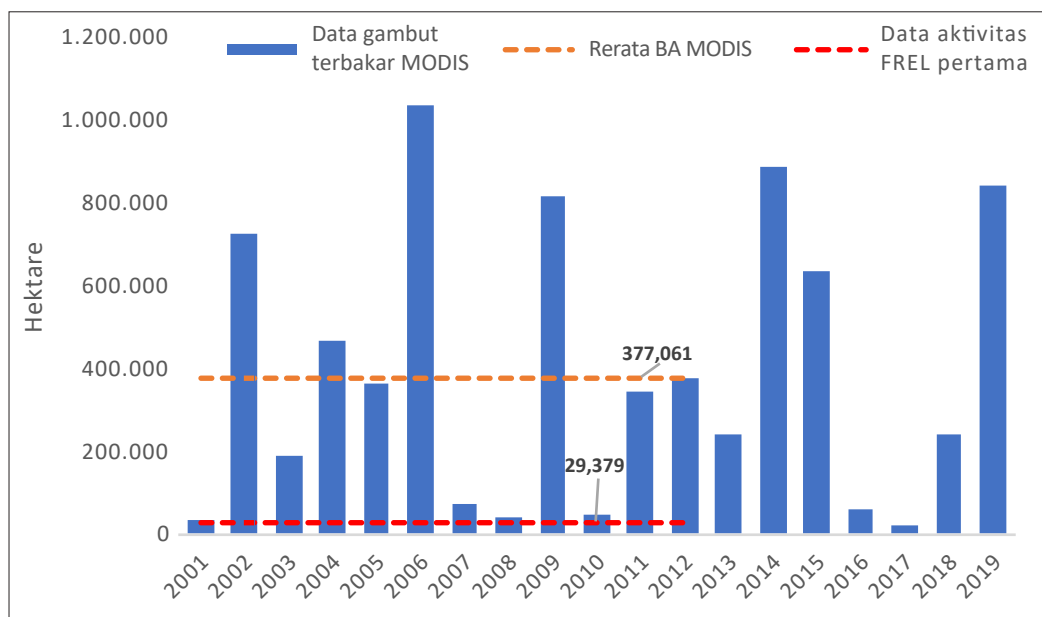


Gambar 4 Tren perubahan tutupan hutan dan lahan pada lahan gambut selama periode *baseline*

2.2.2.3 Data Bekas Terbakar pada Kebakaran Lahan Gambut

Dalam analisis ini, kami menggunakan data contoh area bekas kebakaran lahan gambut yang diambil dari data MODIS (University of Maryland 2019) (lihat Gambar 5). *Dataset* ini merupakan versi revisi area terbakar menggunakan algoritma baru yang mencakup lebih banyak area terbakar dibandingkan dengan versi sebelumnya (Giglio dkk. 2018). Namun, data tersebut hanya tersedia pada awal 2001 sehingga tidak dapat digunakan untuk merekonstruksi FREL-2016 yang menerapkan periode *baseline* 1996-2012. Analisis kuantitatif terhadap sifat-sifat kesalahan *dataset* ini mengindikasikan bahwa area terbakar MODIS memiliki ketidakpastian 57,37% di kawasan Asia Tenggara (Brennan dkk. 2019).

Antara tahun 2001-2012, kebakaran lahan gambut adalah 377.000 ha/tahun (berdasar pada data bekas terbakar MODIS). Data ini berbeda secara signifikan dibandingkan dengan lampiran FREL-2016 yang mengidentifikasi 29.000 ha/tahun. Namun, tren tahunannya sama. Contoh, kedua *dataset* ini mengindikasikan angka tertinggi area terbakar selama periode *baseline* 2001-2012 terjadi pada tahun 2016.



Gambar 5 Area terbakar tahunan di lahan gambut (dalam hektare)

2.3 Pendugaan Emisi Tahunan dan *Baseline* Emisi

Pendekatan yang sama terhadap FREL-2016, kami terapkan lagi dalam pendugaan emisi ini untuk memastikan konsistensi dan komparabilitas. Emisi dihasilkan dengan mengalikan AD dalam hektare dan EF dalam tCO₂e per hektare. Analisis ini menggunakan sumber AD yang sama dengan FREL-2016.

Baseline emisi dari konversi mangrove dan kebakaran gambut berdasarkan pada rerata emisi historis dari periode *baseline*, serupa dengan metode pada FREL-2016. *Baseline* emisi dari dekomposisi gambut berdasarkan rerata peningkatan emisi tahunan, berbeda dari regresi linear yang digunakan pada FREL-2016. Periode *baseline* dari konversi mangrove dan dekomposisi gambut adalah di rentang waktu 1990-2012, sedangkan untuk kebakaran gambut, karena kurangnya data historis jangka panjang, *baseline* emisi untuk kebakaran gambut diperkirakan dari 2001 hingga 2012, bukan dari 1990 hingga 2012. Ringkasan sumber data dan metode yang digunakan untuk menghitung emisi, penyerapan, dan *baseline* dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Ringkasan sumber data dan metode yang digunakan untuk menghitung emisi, penyerapan, dan *baseline*

Aktivitas	Data aktivitas	Faktor emisi	Metode
Dekomposisi gambut	Dataset serupa dengan FREL-2016 dan Laporan ER, meliputi perubahan hutan dan tutupan lahan dari 1990 sampai 2018.	EF CO ₂ pada FREL-2016 dan tambahan EF pada GRK non-CO ₂ .	Pendekatan serupa seperti untuk pendugaan rerata emisi <i>baseline</i> deforestasi dan degradasi hutan.
Kebakaran gambut	Area terbakar MODIS sejak 2001 sampai 2018 digunakan sebagai proksi data jejak kebakaran dalam lampiran FREL-2016 adalah tidak tepat.	EF kebakaran gambut dari Pedoman IPCC 2014.	Memasukkan emisi yang diwariskan; menggunakan rerata peningkatan dekomposisi gambut tahunan.
Konversi mangrove	Set data serupa pada FREL-2016 dan Laporan ER, meliputi perubahan hutan dan tutupan lahan sejak 1990 sampai 2018.	IPCC 2014 - Tabel 4.11 Cadangan karbon tanah untuk mangrove, rawa pasang surut, dan padang lamun untuk aktivitas ekstraksi.	Untuk pendugaan emisi, kami menggunakan pendekatan perbedaan cadangan. Rerata historis kami gunakan untuk menghasilkan <i>baseline</i> .

2.4 Analisis Ketidakpastian

Analisis ketidakpastian kami lakukan dengan menggabungkan dua pendekatan. Pendekatan 1 berdasarkan PEA, untuk pendugaan ketidakpastian kategori individual dalam inventarisasi. Pendekatan 2 berdasarkan MCS, cocok untuk penilaian ketidakpastian detail kategori per kategori. Hal ini relevan, khususnya ketika ketidakpastiannya tinggi, distribusinya non-normal, algoritmanya berfungsi kompleks, dan/atau sebagian dari AD, EF, atau keduanya berkorelasi. Kedua pendekatan ini disarankan dalam Pedoman IPCC 2016.

2.4.1 Pendekatan 1: Propagasi Kesalahan

Lewat pendekatan 1, ketidakpastian dalam emisi atau penyerapan dapat berpropagasi dari ketidakpastian dalam AD dan EF melalui PEA. Pendekatan 1 juga secara teoretis memerlukan deviasi standar yang dibagi dengan nilai rerata di bawah 0,3. Namun dalam praktiknya, pendekatan ini akan memberikan hasil yang bersifat informatif walaupun kriteria ini tidak sepenuhnya terpenuhi dan sejumlah korelasi masih ada.

Perbaikan analisis ketidakpastian FREL-2016 dengan pendekatan 1 memerlukan pendugaan rerata dan standar deviasi pada tiap AD dan EF, seperti yang terjadi pada pendugaan emisi di tingkat subkategori dan kategori dengan pendekatan yang sama. Setelah ketidakpastian dalam kategori ditentukan, mereka kemudian digabungkan untuk menduga ketidakpastian di seluruh negara kapan pun waktunya. Sebagaimana didiskusikan di sini, pendugaan ketidakpastian ini digabungkan menggunakan dua aturan yang biasa dipakai untuk menggabungkan ketidakpastian nonkorelasi melalui penjumlahan dan perkalian. Pendekatan 1 menduga ketidakpastian menggunakan persamaan propagasi kesalahan dalam dua langkah. Pertama, penaksiran persamaan IPCC 3.1 digunakan untuk menggabungkan EF dan AD per kategori. Kedua, penaksiran persamaan IPCC 3.2 digunakan untuk mencapai ketidakpastian keseluruhan emisi nasional tiap tahunnya.

PERSAMAAN 3.1

MENGGABUNGKAN KETIDAKPASTIAN – PENDEKATAN 1 - MULTIPLIKASI

$$U_{total} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2}$$

Dimana:

U_{total} = persentase ketidakpastian produk kuantitas (separuh dari 95% interval kepercayaan dibagi dengan total dan dituliskan dalam persentase).

U_1 = persentase ketidakpastian terkait dengan tiap kuantitas.

PERSAMAAN 3.2

MENGGABUNGKAN KETIDAKPASTIAN – PENDEKATAN 1 – PENAMBAHAN DAN PENGURANGAN

$$U_{total} = \frac{\sqrt{(U_1+X_1)^2 + (U_2+X_2)^2 + \dots + (U_n+X_n)^2}}{|X_1+X_2+\dots+X_n|}$$

Dimana:

U_{total} = persentase ketidakpastian jumlah kuantitas (separuh dari 95% interval kepercayaan dibagi dengan total (yaitu rerata) dan dituliskan dalam persentase). Istilah 'ketidakpastian' ini berdasarkan pada 95% interval kepercayaan.

X_1 and U_1 = ketidakpastian jumlah dan persentase mereka saling berkaitan.

2.4.2 Pendekatan 2: Simulasi *Monte Carlo*

Berdasarkan IPCC (2006), model input sampel *pseudo-random* diterapkan dalam MCS sesuai fungsi kepadatan probabilitas pada tiap input. Sampel disebut 'acak semu' (*pseudo random*) karena dihasilkan dari sebuah algoritma, yang disebut sebagai generator bilangan acak semu. Serangkaian angka yang dihasilkan dapat direproduksi dan setiap serinya memiliki sifat keacakan. Jika model ini memiliki dua atau lebih input, maka sampel acak dihasilkan dari PDF untuk tiap input. Satu nilai acak untuk tiap input dimasukkan ke dalam model untuk mencapai sebuah pendugaan model keluaran. Proses ini diulang pada angka iterasi tertentu hingga mencapai pendugaan multipel dari model keluaran. Pendugaan multipel ini merupakan nilai sampel PDF dari model keluaran. Dengan menganalisis sampel PDF untuk model keluaran tersebut, akan diperoleh rerata, deviasi standar, 95% interval kepercayaan, dan properti lain dari keluaran PDF. Mengingat MCS merupakan sebuah metode numerik, maka semakin banyak iterasi akan membuat hasil semakin presisi.

Perlu diperhatikan kasus-kasus ketika: (i) ketidakpastian emisi tahunan dekomposisi gambut (terutama akibat degradasi dan hutan sekunder) pada level transisi cukup besar dan distribusinya nonformal; dan (ii) distribusi emisi tahunan dari degradasi pada level transisi adalah nonformal. Konsekuensinya, untuk meningkatkan analisis ketidakpastian FREL-2016, penggunaan teknik statistik numerik khususnya MCS lebih disarankan ketimbang pendekatan 1.

Untuk menjalankan MCS, kami mendefinisikan PDF dari AD dan EF; nilai acak terpilih dari AD dan EF dalam PDF masing-masing; dan memperdugakan nilai emisi menggunakan nilai acak AD dan EF. Prosedur ini diulang beberapa kali, sehingga hasil tiap perhitungan membentuk emisi PDF secara keseluruhan. Analisis MCS diterapkan di tingkat sub-kategori (tipe hutan dan transisi tutupan lahan), terhadap agregasi kategori (deforestasi, degradasi, dan dekomposisi gambut) atau FREL secara keseluruhan.



© Aulia Erlangga/CIFOR

3 Hasil

3.1 Beberapa Aktivitas, Kantong Penyimpanan Karbon, dan Gas yang Belum Disertakan dalam Frel-2016

3.1.1 Daftar Aktivitas yang Belum Disertakan

Aktivitas REDD+ meliputi upaya mencegah deforestasi, degradasi hutan, pengelolaan hutan berkelanjutan, peningkatan cadangan karbon hutan, dan peran konservasi. FREL-2016 hanya mencakup upaya mencegah deforestasi dan degradasi hutan, termasuk sub-aktivitas dekomposisi gambut yang terkait dengan sektor kehutanan dan tata guna lahan. Beberapa aktivitas/sub-aktivitas REDD+ yang perlu disertakan agar memenuhi prinsip kelengkapan pelaporan emisi GRK telah diurutkan sesuai prioritas di bawah ini:

1. kebakaran gambut;
2. konversi mangrove menjadi akuakultur/tambak;
3. peningkatan cadangan karbon;
4. pengelolaan hutan berkelanjutan;
5. konservasi karbon hutan.

Terlepas dari beberapa aktivitas kunci yang belum disertakan tersebut, konversi mangrove menjadi akuakultur/tambak merupakan isu relevan mengingat Indonesia merupakan salah satu negara dengan mangrove terluas di dunia (Giri dkk. 2011). Terlebih lagi, perbaikan sebagian dari aktivitas yang sudah dimasukkan juga relevan, seperti: kantong penyimpan karbon lain, gas, dan kelas tutupan lahan lain (lihat Tabel 8. Daftar kantong penyimpan karbon dan gas yang digunakan dalam FREL–2016 dan potensi penyertaan pada FREL berikutnya).

FREL-2016 mengecualikan peningkatan cadangan karbon hutan karena tidak tersedianya EF yang akurat. Selama proses penilaian teknik, tim pengkaji menyarankan agar *database* yang ada dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan data penyerapan hutan dan tutupan lahan yang membaik. Hal ini dapat terwujud jika tersedia informasi cadangan karbon untuk tiap kelas tutupan lahan. Perbaikan nilai cadangan karbon di kelas hutan tidak alami akan bermanfaat untuk pendugaan bahwa tidak hanya penyerapan dari peningkatan cadangan karbon tetapi juga emisi dari deforestasi yang diperhitungkan sebagai kelas tutupan lahan pasca konversi.

Tabel 8 Daftar kantong penyimpan karbon dan gas pada FREL-2016 serta potensi penyertaan pada FREL berikutnya

	FREL-2016	Potensi penyempurnaan
Kantong penyimpan karbon	• AGB pada deforestasi dan degradasi hutan • Karbon tanah untuk dekomposisi gambut	• AGB pada peningkatan cadangan C • Biomassa bawah-permukaan tanah (BGB) pada deforestasi dan degradasi hutan • Karbon tanah pada konversi mangrove menjadi akuakultur/tambak
Gas	• Emisi CO₂ dari deforestasi, degradasi hutan, dan dekomposisi gambut	• Emisi CH₄ dan N₂O serta DOC dari dekomposisi gambut • Emisi CO₂, CH₄, dan CO dari kebakaran gambut

3.1.2 Daftar Kantong Penyimpan Karbon dan Gas yang Belum Disertakan

FREL-2016 berbasis pada pendekatan bertahap dengan memasukkan kantong penyimpan karbon dan gas paling signifikan dalam pendugaan emisi, selain juga terkait dengan data apakah yang paling tersedia. Hal ini mengarah pada seleksi prioritas kantong penyimpan karbon dan gas pada FREL-2016. Oleh karena itu, memasukkan kantong penyimpan karbon dan gas signifikan lain seharusnya menjadi prioritas dalam perbaikan FREL selanjutnya (lihat Tabel 8).

3.1.3 Perbaikan Lainnya

Selama penilaian teknis FREL-2016, tim menyarankan perbaikan analisis ketidakpastian AD agar mampu membedakan lebih lanjut kelas hutan dan tutupan lahan. Tim telah mengkaji bahwa ketidakpastian AD dalam FREL-2016 hanya pada kelas hutan dan nonhutan. Selama implementasi *Forest Carbon Partnership Facility* di Provinsi Kalimantan Timur, terkait analisis ketidakpastian AD terhadap deforestasi dan degradasi hutan, KLHK lebih memperhitungkan ketelitian perubahan hutan dan tutupan lahan daripada ketelitian pemetaan hutan dan tutupan lahan. Metode ini diadopsi ke dalam konteks Indonesia dengan menerapkan klasifikasi manual. Hal ini akan secara signifikan meningkatkan kredibilitas FREL jika analisis ketidakpastian dilakukan untuk merubah pemetaan di seluruh Indonesia pada 10-15 tahun ke belakang. Namun, metode ini tidak dapat diimplementasikan pada data FREL-2016.



Tabel 9 Potensi aktivitas REDD+ dan potensi penyempurnaan untuk peningkatan FREL

No.	Aktivitas REDD+ yang disertakan atau diperbaiki	Deskripsi perubahan tata guna lahan IPCC	Kantong penyimpanan karbon dan GRK dalam FREL-2016	Tipe perbaikan yang diusulkan atau disebut dalam FREL-2016 diusulkan atau disebut dalam laporan FREL TA diusulkan atau disebut dalam Laporan ER, 2018 diusulkan atau disebut dalam laporan ini berdasarkan IPCC 2014		Data dan metode yang dibutuhkan	Isu
1	Deforestasi	Konversi lahan hutan menjadi lahan lain	Kantong penyimpanan • AGB • Tanah* GRK • CO ₂	1.1	Penyempurnaan AD melalui pendekatan hibrida, menggabungkan klasifikasi visual dan otomatis	• Algoritma klasifikasi otomatis	Metodologi perubahan hutan dan tutupan lahan memerlukan upaya besar dan berjangka panjang.
				1.2	Penyempurnaan AD melalui klasifikasi otomatis dan perbandingan langsung serial waktu citra satelit (deteksi perubahan)	• Algoritma deteksi perubahan	Hasilnya tidak sesuai untuk penilaian penyerapan pascakonversi.
				1.3	Memasukkan penyerapan pascakonversi	• Cadangan C pada kelas nonhutan • AD pada deforestasi bersih	
				1.4	Memasukkan kantong penyimpanan karbon tambahan dan gas non- CO ₂	• EF yang menyertakan kantong penyimpanan karbon tambahan dan gas non-CO ₂ • AD deforestasi yang telah ada	Tidak seluruh kantong penyimpanan karbon dan gas bersifat signifikan. Tambahan kantong penyimpanan karbon signifikan mencakup BGB dan kayu mati.
				1.5	Memasukkan data dari petak mangrove tambahan	• Petak sampel dalam hutan mangrove	
				1.6	Input data lebih cepat dan validasi petak biomassa terukur	• Platform pemrosesan dan input data	Hal ini membutuhkan sistem yang kokoh dan terintegrasi.
				1.7.	Penggunaan persamaan alometrik <i>Tier 2</i> atau persamaan <i>Tier 1</i> yang telah diperbarui	• Persamaan alometrik <i>Tier 2</i> yang telah tersedia	Hal ini membutuhkan rekalkulasi ribuan petak Inventarisasi Hutan Nasional (NFI).
				1.8.	Pendugaan EF berdasarkan tutupan lahan dan stratifikasi hutan yang detail di beberapa jenis lahan gambut	• EF pada tiap kelas tutupan lahan yang detail	Terbatasnya pengkajian mengenai EF dari dekomposisi gambut.

* Untuk emisi *on-site* dari dekomposisi tanah organik yang dikeringkan.

Table 9 Lanjutan

No.	Aktivitas REDD+ yang disertakan atau diperbaiki	Deskripsi perubahan tata guna lahan IPCC	Kantong penyimpanan karbon dan GRK dalam FREL-2016	Tipe perbaikan yang diusulkan atau disebut dalam FREL-2016 diusulkan atau disebut dalam laporan FREL TA diusulkan atau disebut dalam Laporan ER, 2018 diusulkan atau disebut dalam laporan ini berdasarkan IPCC 2014	Data dan metode yang dibutuhkan	Isu
				1.9. Penghitungan <i>Baseline</i> emisi lahan gambut 1.10. Penambahan gas dan kantong penyimpanan karbon <i>off-site</i> pada emisi lahan gambut 1.11. Justifikasi dan bukti pengeringan pada area terdeforestasi dan hutan terdegradasi 1.12. Memasukkan emisi dari ekstraksi tanah mangrove 1.13. Memasukkan emisi tanah dari kebakaran lahan gambut 1.14. Perbaikan AD pada lahan gambut terbakar 1.15. Perbaikan EF untuk lahan gambut terbakar, terutama terkait kedalamannya	• Pendekatan baru untuk pengembangan <i>baseline</i> emisi gambut • EF untuk emisi non-CO₂ lahan gambut dan emisi <i>off-site</i> lain • Justifikasi berbasis kajian literatur • AD konversi mangrove • EF pada ekstraksi tanah • AD pada area terbakar • EF pada lahan gambut terbakar • Perbaikan AD • Penggunaan EF dari IPCC 2014⁺	Sulit untuk membedakan antara kebakaran hutan dengan kebakaran terencana di Indonesia dengan menggunakan citra satelit. Mayoritas area terbakar yang digambarkan oleh KLHK adalah kebakaran hutan.
2	Degradasi hutan	Lahan hutan tersisa	• AGB • CO₂ • Karbon tanah pada lahan gambut dan mangrove	2.1. Disertakannya degradasi hutan lebih lanjut di hutan sekunder	• Metode penilaian tingkat kedua degradasi hutan • AD (level kedua) degradasi hutan lebih lanjut	Degradasi hutan lebih lanjut (level kedua degradasi hutan) sulit dideteksi, khususnya dengan metode interpretasi visual saat ini.

berlanjut ke halaman berikutnya

Table 9 Lanjutan

No.	Aktivitas REDD+ yang disertakan atau diperbaiki	Deskripsi perubahan tata guna lahan IPCC	Kantong penyimpanan karbon dan GRK dalam FREL-2016	Tipe perbaikan yang diusulkan atau disebut dalam FREL-2016 diusulkan atau disebut dalam laporan FREL TA diusulkan atau disebut dalam Laporan ER, 2018 diusulkan atau disebut dalam laporan ini berdasarkan IPCC 2014	Data dan metode yang dibutuhkan	Isu
3	Peningkatan cadangan karbon (di dalam hutan/ aforestasi dan reforestasi yang ada)	Lahan hutan Lahan hutan tersisa/lahan lain dikonversi menjadi lahan hutan		3.1. Aktivitas tambahan	• AD pada aforestasi dan reforestasi • AD pendapatan hutan • Faktor penyerapan pada aforestasi, reforestasi, dan pertumbuhan hutan	
4	Pengelolaan hutan berkelanjutan	Lahan hutan Lahan hutan tersisa		4.1. Aktivitas tambahan	• AGB dan biomassa bawah permukaan tanah, kayu mati • AD pada SFM, misal: degradasi hutan, batas implementasi SFM • EF dalam dampak SFM	FREL-2016 mengidentifikasi sejumlah isu, khususnya terkait dengan EF dan batas implementasi.
5	Konservasi cadangan karbon hutan	Lahan hutan Lahan hutan tersisa		5.1. Aktivitas tambahan	• AGB, BGB, dan kayu mati • AD • EF sebagai dampak konservasi	Pada dasarnya aktivitas ini telah tercakup dalam deforestasi dan degradasi hutan.
6	Umum			6.1. Analisis ketidakpastian komprehensif, mencakup seluruh potensi dan kesalahan signifikan, serta penggunaan MCS 6.2. pendekatan konsisten dalam penghitungan rerata emisi tahunan dari deforestasi dan dekomposisi gambut		

Tanah organik dalam konteks ini merujuk pada lahan gambut karena hutan mangrove di Indonesia tumbuh di atas tanah mineral sesuai dengan peta tutupan lahan gambut dan lahan nasional (REF MAPS)

Catatan: AGB = *above ground biomass*/biomassa atas-permukaan tanah; AD = *activity data*/data aktivitas; BGB = *below ground biomass*/biomassa bawah-permukaan tanah; EF = *emission factor*/faktor emisi; NFI = *National forest inventory*/inventarisasi hutan nasional; MCS = Monte carlo simulation; SFM = *Sustainable forest management*/pengelolaan hutan berkelanjutan

3.2 Pendugaan Emisi Tahunan

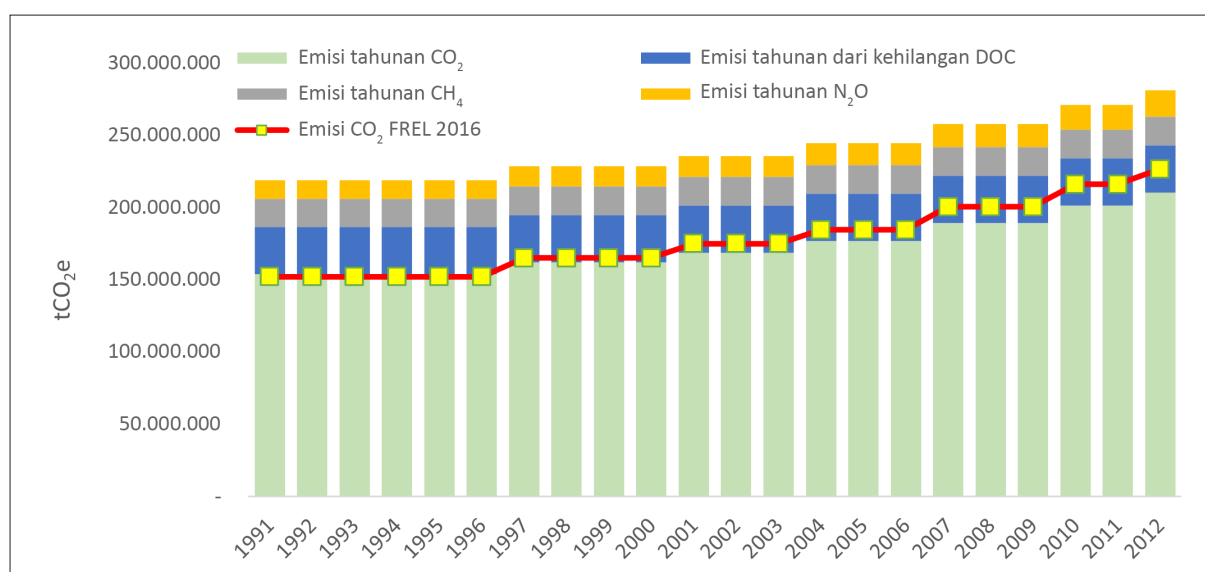
3.2.1 Emisi dari Dekomposisi Gambut

Penghitungan emisi dari dekomposisi gambut tidak hanya pada gas CO₂, sebagaimana dalam FREL-2016, namun juga untuk gas non-CO₂ (CH₄, N₂O, dan DOC). Emisi total dari dekomposisi gambut dalam FREL-2016 dan hasil analisis ini masing-masing adalah 3,9 GtCO₂ dan 5,4 GtCO₂. Emisi gas lain ditambahkan hingga 38,8% dibanding pendugaan CO₂ di FREL sebelumnya yang hanya dihasilkan dari dekomposisi gambut (lihat Tabel 10).

Tabel 10 Emisi lahan gambut dari FREL revisi dan penambahan pada emisi gambut FREL-2016

	Emisi rerata	Emisi total
FREL-2016 (tCO ₂)	177.502.645	3.905.058.186
FREL perbaikan (tCO ₂)	246.296.821	5.418.530.065
Emisi tambahan (tCO ₂)	68.794.176	1.513.471.879
Emisi tambahan (%)	38,8%	

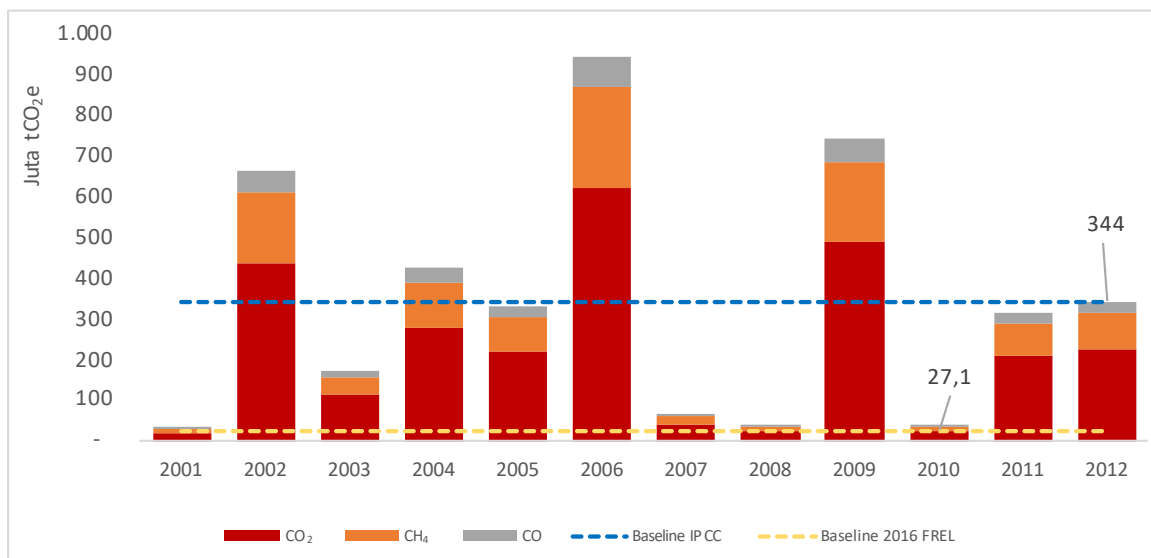
Emisi tahunan dari *baseline* 2016 dan analisis ini menunjukkan tren serupa. Emisi tahunan 2016 dari dekomposisi pada 1991 dan 2012 masing-masing sebesar 151,8 MtCO₂ dan 226,2 MtCO₂. Analisis ini menemukan bahwa emisi tahunan dari dekomposisi gambut pada 1991 dan 2012 masing-masing sebesar 220,3 MtCO₂ dan 294,7 MtCO₂ (lihat Gambar 6).



Gambar 6 Emisi tahunan dari lahan gambut

3.2.2 Emisi dari Kebakaran Gambut

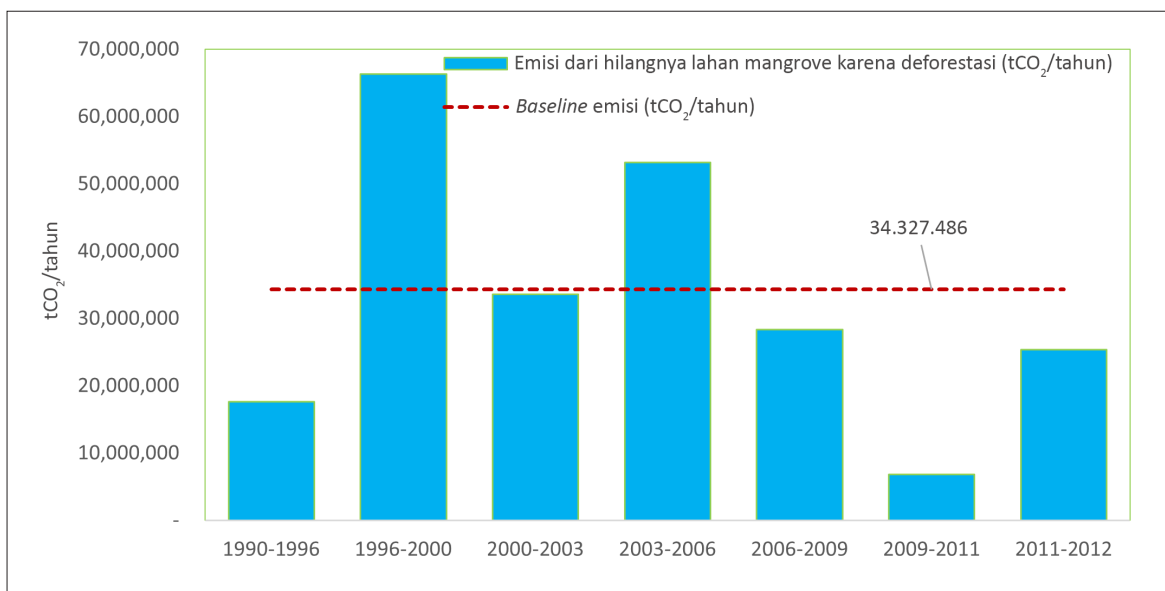
Karena kurangnya data historis jangka panjang, *baseline* emisi untuk kebakaran gambut diperkirakan dari 2001 hingga 2012, bukan dari 1990 hingga 2012. Rerata emisi tahunan dari kebakaran gambut sebesar 344 juta tCO₂, 12 kali lebih tinggi daripada rerata kebakaran hutan tahunan yang dinyatakan dalam lampiran FREL-2016. Emisi tertinggi terjadi pada 2006, salah satu tahun terjadinya El Nino. Emisi terendah terjadi pada 2001, tahun terjadinya La Nina. Serupa di 2001, emisi pada 2007, 2008, dan 2010 juga rendah karena La Nina. Emisi gas CO₂ dari kebakaran gambut menjadi yang terbesar dengan kontribusi sebesar 66%. Sementara itu, CH₄ dan CO masing-masing berkontribusi hanya 26% dan 8% dari total emisi kebakaran gambut (lihat Gambar 7).



Gambar 7 Emisi tahunan dari kebakaran gambut

3.2.3 Emisi dari Konversi Mangrove

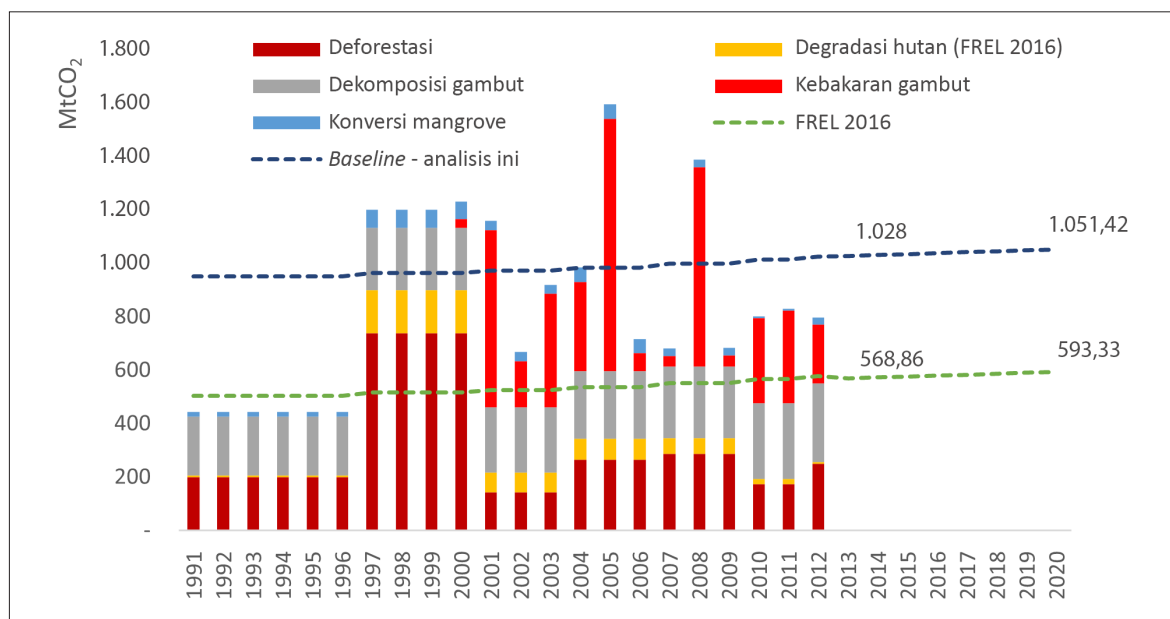
Rerata emisi dari deforestasi mangrove sebesar 34,3 juta tCO₂y⁻¹. Emisi tahunan terbesar terjadi selama 1996–2000, sedangkan terendah pada rentang 2009–2011. Pengembangan akuakultur/tambak serta penembangan masif menjadi penyebab utama deforestasi mangrove selama 1997–2000. Emisi tahunan dari tanah mangrove akibat konversi dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Emisi tahunan dari hilangnya lahan mangrove akibat konversi

3.3 Baseline Emisi

Total *baseline* emisi dari deforestasi, degradasi hutan, dekomposisi gambut, kebakaran gambut, dan konversi mangrove pada 2013 dan 2020 masing-masing sebesar 1.028 MtCO₂ dan 1.051 MtCO₂. Angka ini hampir dua kali lipat dari laporan emisi dalam FREL-2016, yaitu masing-masing sebesar 569 MtCO₂ dan 593 MtCO₂, dalam periode yang sama (lihat Gambar 9).



Gambar 9 Emisi tahunan dari aktivitas REDD+ dan perbandingannya dengan FREL nasional

Tabel 11 Perbandingan *baseline* emisi analisis ini dan FREL-2016

	FREL 2016 (MtCO ₂)	FREL 2016 versi perbaikan (MtCO ₂)
Deforestasi	293	293
Degradasi hutan	58	58
Dekomposisi gambut	218	298
Kebakaran gambut	27	344
Konversi mangrove		34
Total	596	1.028

Sumber terbesar emisi adalah kebakaran gambut, dekomposisi gambut, dan deforestasi; yang masing-masing berkontribusi sebesar 33%, 29%, dan 29%. Sementara itu, emisi dari degradasi hutan dan konversi mangrove masing-masing hanya menyumbang 6% dan 3%. Sumber emisi tambahan terbesar berasal dari kebakaran lahan gambut (317 MtCO₂). Emisi non-CO₂ dari dekomposisi gambut dan emisi tanah mangrove masing-masing menyumbang 80 MtCO₂ dan 34 MtCO₂ (lihat Tabel 11).

3.4 Analisis Ketidakpastian

Dalam analisis ini, emisi dari dekomposisi gambut memiliki ketidakpastian batas bawah 29-62%; dan ketidakpastian batas atas antara 35-73%. Di sisi lain, ketidakpastian emisi dekomposisi gambut yang dilaporkan pada FREL-2016 bernilai antara 31% dan 36%. Ketidakpastian emisi dari dekomposisi gambut yang dilaporkan dalam FREL-2016 sepertinya di bawah pendugaan yaitu setidaknya 1,5 kalinya dari empat periode pertama (1990–1996, 1996–2000, 2000–2003, dan 2003–2006). Sementara ketidakpastian dalam tiga periode terakhir (2006–2009, 2009–2011, dan 2011–2012) hanya sedikit di bawah pendugaan. Namun, ketidakpastian batas bawah secara keseluruhan adalah 15,8%, sedangkan ketidakpastian batas atas sebesar 19%. Analisis ketidakpastian emisi dekomposisi gambut dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12 Analisis ketidakpastian emisi dekomposisi gambut

Tahun	Gas	Emisi (tCO ₂ e)	U batas bawah (%)	U batas atas (%)	Emisi total (tCO ₂ e)	U batas bawah U (%)	U batas atas (%)
1990	Emisi CO ₂	155.092.164	88	102	220.310.086	62	73
	Emisi CH ₄	19.267.715	62	71			
	Emisi N ₂ O	12.480.714	34	41			
	Emisi DOC	33.469.493	29	35			
1996	Emisi CO ₂	168.114.882	74	89	233.708.021	54	65
	Emisi CH ₄	19.707.666	54	64			
	Emisi N ₂ O	12.419.576	32	39			
	Emisi DOC	33.465.898	27	33			
2000	Emisi CO ₂	178.172.542	56	68	243.882.089	41	50
	Emisi CH ₄	19.835.872	46	55			
	Emisi N ₂ O	12.411.373	29	35			
	Emisi DOC	33.462.303	25	30			
2003	Emisi CO ₂	187.483.511	54	67	253.203.269	41	50
	Emisi CH ₄	19.736.481	46	55			
	Emisi N ₂ O	12.520.331	28	35			
	Emisi DOC	33.462.946	25	30			
2006	Emisi CO ₂	203.386.046	47	58	268.975.209	36	44
	Emisi CH ₄	19.635.013	44	52			
	Emisi N ₂ O	12.488.584	27	33			
	Emisi DOC	33.465.566	24	29			
2009	Emisi CO ₂	219.070.680	42	51	284.466.570	32	39
	Emisi CH ₄	19.594.411	41	49			
	Emisi N ₂ O	12.333.936	26	32			
	Emisi DOC	33.467.543	24	28			
2011	Emisi CO ₂	229.426.400	38	46	294.722.620	30	36
	Emisi CH ₄	19.549.973	40	48			
	Emisi N ₂ O	12.277.729	26	31			
	Emisi DOC	33.468.518	23	27			
2012	Emisi CO ₂	116.029.676	37	45	148.666.445	29	35
	Emisi CH ₄	9.772.879	40	48			
	Emisi N ₂ O	6.129.144	26	31			
	Emisi DOC	16.734.746	24	27			

Tabel 13 Analisis ketidakpastian emisi kebakaran gambut

Tahun	Gas	Emisi (tCO ₂ e)	U batas bawah (%)	U batas atas (%)	Emisi total (tCO ₂ e)	U batas bawah U (%)	U batas atas (%)
2001	Emisi CO ₂	21.466.123	53	63			
	Emisi CH ₄	8.506.805	51	61			
	Emisi CO	2.644.973	53	63			
2002	Emisi CO ₂	437.343.856	53	62	870.721.742	30	35
	Emisi CH ₄	173.314.888	51	60			
	Emisi CO	53.887.822	53	62			
2003	Emisi CO ₂	114.219.547	52	63			
	Emisi CH ₄	45.264.036	51	61			
	Emisi CO	14.073.692	53	62			
2004	Emisi CO ₂	279.922.348	53	63			
	Emisi CH ₄	110.930.358	51	60			
	Emisi CO	34.490.952	53	62			
2005	Emisi CO ₂	220.162.907	53	62	1.705.094.188	24	28
	Emisi CH ₄	87.248.304	52	60			
	Emisi CO	27.127.624	53	62			
2006	Emisi CO ₂	622.052.010	53	62			
	Emisi CH ₄	246.512.836	51	60			
	Emisi CO	76.646.848	53	62			
2007	Emisi CO ₂	44.520.230	53	63			
	Emisi CH ₄	17.642.911	51	60			
	Emisi CO	5.485.611	53	62			
2008	Emisi CO ₂	25.197.566	53	62	850.892.194	33	39
	Emisi CH ₄	9.985.537	51	61			
	Emisi CO	3.104.747	53	62			
2009	Emisi CO ₂	490.261.733	53	63			
	Emisi CH ₄	194.285.700	51	60			
	Emisi CO	60.408.159	53	62			
2010	Emisi CO ₂	26.614.864	53	62	357.272.629	33	39
	Emisi CH ₄	10.547.198	51	61			
	Emisi CO	3.279.381	53	63			
2011	Emisi CO ₂	208.509.351	53	62			
	Emisi CH ₄	82.630.119	51	60			
	Emisi CO	25.691.718	53	62			
2012	Emisi CO ₂	227.148.738	53	62	345.153.846	38	44
	Emisi CH ₄	90.016.717	51	60			
	Emisi CO	27.988.391	53	63			

Tabel 14 Analisis ketidakpastian emisi dari konversi mangrove

Periode	Emisi tahunan (tCO ₂ e)	U batas bawah (%)	U batas atas (%)
1990–1996	17.589.069	29	33
1996–2000	66.330.649	24	28
2000–2003	33.606.304	28	32
2003–2006	53.164.664	28	33
2006–2009	28.348.341	28	32
2009–2011	6.807.219	27	31
2011–2012	25.376.558	26	30

Tabel 15 Ringkasan analisis ketidakpastian dari tiap aktivitas

Aktivitas	Emisi (tCO ₂ e)	U batas bawah (%)	U batas atas (%)
Dekomposisi gambut	1.799.267.865	15,8	19,0
Kebakaran gambut	4.129.134.597	14,2	16,7
Konversi mangrove	231.222.804	11,5	13,2
Total	6.159.625.267	10,6	12,5

Ketidakpastian batas bawah pada pendugaan emisi kebakaran gambut berkisar antara 24% sampai 38% pada 2004–2006 dan 2012. Ketidakpastian batas atas pada pendugaan emisi kebakaran gambut bervariasi antara 28% hingga 44%. Ketidakpastian pendugaan emisi baik batas bawah maupun atas pada periode *baseline* keseluruhan masing-masing sebesar 14,2% dan 16,7%. Pendugaan emisi kebakaran gambut memiliki ketidakpastian batas bawah sebesar 14,2% dan ketidakpastian batas atas sebesar 16,7% (lihat Tabel 13). Emisi dari konversi mangrove memiliki ketidakpastian terendah di antara seluruh aktivitas dengan nilai ketidakpastian batas bawah 11,5% dan ketidakpastian batas atas sebesar 13,2% (lihat Tabel 14). Gabungan ketidakpastian dari seluruh pendugaan emisi di semua periode masing-masing adalah 10,6% dan 12,5% untuk ketidakpastian batas bawah dan atas. Keseluruhan ketidakpastian total emisi pada FREL-2016 sebesar 16,5%, lebih tinggi dari analisis ini (lihat Tabel 15).



4 Pembahasan

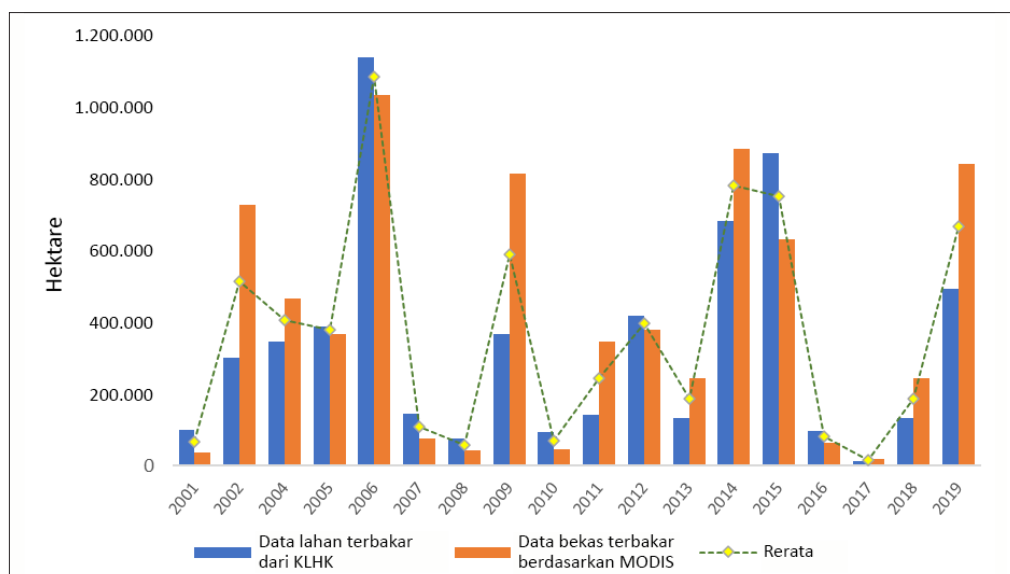
Emisi dari lahan basah, yaitu emisi dari kebakaran gambut, dekomposisi gambut, dan konversi mangrove telah dikaji kembali dan ditambahkan untuk menyempurnakan FREL-2016 (yang hanya mencatat emisi dari deforestasi dan degradasi hutan). Total revisi *baseline* menjadi dua kali lebih besar dari *baseline* FREL-2016. Analisis emisi dan *baseline* ini menggunakan EF yang diambil dari Pedoman IPCC untuk gangguan terkait tanah organik yang dapat diintegrasikan ke dalam FREL. Selain itu, gas non-CO₂ juga dimasukkan dalam pendugaan emisi, khususnya pada kebakaran gambut dan dekomposisi gambut. Emisi dari kebakaran gambut meningkatkan *baseline* total secara signifikan.

Kebakaran Gambut

EF CO₂ yang digunakan untuk pendugaan emisi dari kebakaran gambut dalam FREL-2016 lebih tinggi dibandingkan dengan EF IPCC yang digunakan dalam analisis ini. Pendugaan emisi kebakaran gambut dalam kajian ini menjadi sumber terbesar, melampaui emisi deforestasi. Data area terbakar pada analisis ini 13 kali lebih besar dibandingkan dengan data area terbakar yang dipakai untuk pendugaan emisi dalam lampiran FREL-2016. Hal ini dikarenakan perbedaan metode penentuan area yang terbakar.

Berdasarkan data MODIS, ketidakpastian area terbakar di Asia Tenggara sebesar 57,37%; cukup besar dibandingkan dengan ketidakpastian *dataset* serupa di kawasan lain. Besarnya ketidakpastian data area terbakar dari produk penginderaan jarak jauh kerap disebabkan oleh resolusi spasial dan representasi data simulasi. Produk area terbakar MODIS dihasilkan dengan menggunakan citra resolusi medium (250 m) berbasis *dataset* simulasi global. Sementara data area terbakar pada lampiran FREL-2016 berdasarkan resolusi kasar titik panas MODIS, yaitu 1 km dan berdasarkan model yang dikembangkan dari relasi titik panas dan bekas kebakaran (MRI 2013). Sayangnya, tidak ada laporan ketidakpastian dari *dataset* ini.

KLHK (2021) menemukan bahwa luasan area terbakar dalam analisis ini lebih tinggi dibandingkan dengan pemetaan mereka. Namun, dua analisis ini memiliki tren serupa dalam dinamika tahunan. Area terbakar dari KLHK dihasilkan dari interpretasi visual citra landsat. Perbandingan area terbakar dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10 Perbandingan area terbakar berdasarkan area terbakar MODIS dan KLHK



Tambahan gas non-CO₂ lain juga dimasukkan dalam pendugaan emisi dari kebakaran gambut yang masing-masing berkontribusi pada 26% dan 8% dari N₂O dan CO. Disertakannya CO dalam pendugaan *baseline* emisi mungkin tidak diperlukan atau menjadi berlebihan; mengingat CO bukan termasuk GRK. Meski demikian, dibanding GRK yang lain, kontribusi emisi CO yang terendah.

Dekomposisi Gambut

Tambahan emisi gas non-CO₂ lain dalam analisis ini berasal dari dekomposisi gambut yang meningkatkan nilai rerata emisi *baseline* sebesar 38% dari total emisi dekomposisi gambut. Ketidakpastian emisi dari dekomposisi gambut yang dilaporkan dalam FREL-2016 nampaknya lebih rendah sedikitnya 1,5 kali dalam beberapa tahun periode *baseline*. Namun, ketidakpastian batas bawah keseluruhan pendugaan emisi dari dekomposisi gambut sebesar 15,8%; sedangkan ketidakpastian batas atas sebesar 19%. Gabungan ketidakpastian semua pendugaan emisi dari seluruh periode untuk batas bawah dan atas berturut-turut sebesar 10,6% dan 12,5%. Sedangkan ketidakpastian total emisi dari FREL-2016 sebesar 16,5% lebih tinggi dari analisis ini.

5 Kesimpulan

Daftar aktivitas dan sub-aktivitas REDD+, kantong penyimpanan karbon, dan gas yang belum disertakan telah teridentifikasi untuk penyempurnaan FREL Pertama. Daftar ini dikembangkan berdasarkan laporan sebelumnya serta dokumen dari KLHK dan UNFCCC. Usulan sub-aktivitas REDD+ dalam analisis ini memasukkan kebakaran gambut dan konversi mangrove. Emisi dari kebakaran gambut merupakan sumber emisi terbesar setelah deforestasi dan dekomposisi gambut.

Tambahan kantong penyimpanan karbon dan gas dalam analisis ini merujuk pada Suplemen IPCC 2013 untuk Lahan Basah. Gas non-CO₂, yaitu: CH₄, N₂O, dan CO; yang disertakan dalam analisis ini untuk pendugaan emisi dekomposisi gambut dan kebakaran gambut. Sebagai tambahan, kehilangan DOC juga disertakan dalam pendugaan emisi dari dekomposisi gambut; yang meningkatkan emisi 30% lebih tinggi dibandingkan dengan pendugaan FREL Pertama. Sementara itu, pendugaan emisi dari kebakaran gambut meningkatkan *baseline* hingga 58% lebih tinggi dibandingkan dengan *baseline* 2016.

Analisis ketidakpastian ini dilakukan menggunakan kombinasi PEA dan MCS. Cara ini membuat tingkat ketidakpastian pendugaan emisi dekomposisi gambut menjadi lebih tinggi dibanding FREL-2016. Meskipun begitu, menurut Pedoman IPCC 2016, untuk menganalisis ketidakpastian lebih disarankan menggunakan MCS ketimbang PEA.



Daftar Pustaka

- Brennan J, Gómez-Dans JL, Disney M, Lewis P. 2019. Theoretical uncertainties for global satellite-derived burned area estimates. *Biogeosciences* 16(16): 3147–3164. <https://doi.org/10.5194/bg-16-3147-2019>
- Drösler M, Verchot LV, Freibauer A, Pan G, Evans CD, Bourbonniere RA, Alm JP, Page S, Agus F, Hergoualc'h K, dkk. 2014. Drained inland organic soils. *Dalam* Hiraishi T, Krug T, Tanabe K, Srivastava N, Jamsranjav B, Fukuda M, Troxler T. eds. *2013: Supplement to the 2006 guidelines for national greenhouse gas inventories: Wetlands*. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Giglio L, Boschetti L, Roy DP, Humber ML, Justice CO. 2018. The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product. *Remote Sensing of Environment* 217: 72–85. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.08.005>
- Giri C, Ochieng E, Tieszen LL, Zhu Z, Singh A, Loveland T, Masek J, Duke N. 2011. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography* 20(1): 154–159. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014. Hiraishi T, Krug T, Tanabe K, Srivastava N, Baasansuren J, Fukuda M, Troxler TG. eds. *2013 Supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Wetlands*. Geneva, Swiss: IPCC.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. Eggleston S, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K. eds. *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*. Hayama, Jepang: IPCC/IGES.
- KLHK (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan). 2021. *Dua dasawarsa Indonesia memantau kebakaran hutan dan lahan penghitungan luas kebakaran hutan dan lahan tahun 2000 – 2020*. Jakarta, Indonesia: Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim KLHK.
- KLHK (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan). 2016. *National forest reference emissions level for deforestation and forest degradation*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. https://redd.unfccc.int/media/frel_submission_by__indonesia_final.pdf
- MRI (Mitsubishi Research Institute). 2013. Greenhouse gas reduction project through forest conservation in peatland in Central Kalimantan. Tokyo, Jepang: MRI.
- Murdiyarso D, Purbopuspito J, Kauffman BJ, Warren MW, Sasmito SD, Donato DC, Manuri S, Krisnawati H, Taberima S, Kurnianto S. 2015. The potential of Indonesian mangrove forests for global climate change mitigation. *Nature Climate Change* 5(12). <https://doi.org/10.1038/nclimate2734>
- REF MAPS. 2019. national peatland and land-cover maps.
- Ritung S, Wahyunto, Nugroho K, Sukarman, Hikmatullah, Suparto CT. 2011. *Peta lahan gambut Indonesia skala 1:250.000*, p. 11. Jakarta, Indonesia: Kementerian Pertanian.
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 2016. Report on the technical assessment of the proposed forest reference emission level of Indonesia submitted in 2016. Geneva, Swiss: UNFCCC. <https://unfccc.int/resource/docs/2016/tar/idn.pdf>
- University of Maryland. 2019. MODIS data. <http://modis-fire.umd.edu/ba.html>

Working Papers CIFOR-ICRAF berisi hasil penelitian tahap awal atau lanjut, yang merupakan isu penting terkait hutan tropis, dan perlu dipublikasikan pada waktu yang tepat. Makalah tersebut dibuat untuk menginformasikan sekaligus mendorong dilakukannya pembahasan. Isinya telah ditinjau secara internal, tetapi belum melewati proses tinjauan sesama rekan dari luar yang memakan waktu lebih lama.

Indonesia telah menyampaikan Rujukan Tingkat Emisi Hutan (*Forest Reference Emission Level/FREL*) Pertama kepada Konvensi Kerangka Kerja PBB tentang Perubahan Iklim pada 2015, kemudian direvisi pada tahun 2016 (FREL-2016). FREL-2016 digunakan untuk menilai dampak aksi mitigasi pasca-2012 yang diimplementasikan melalui REDD+ (reduksi emisi dari deforestasi, degradasi hutan, peningkatan cadangan karbon hutan, pengelolaan hutan berkelanjutan, dan konservasi karbon hutan). Meskipun UNFCCC menyatakan FREL-2016 sebagai sebuah usaha yang patut dihargai, para pengkaji merekomendasikan perbaikan teknis, seperti dengan menyertakan kebakaran lahan gambut dan emisi dari gas non-CO₂.

Kajian ini mengidentifikasi beberapa aktivitas, kantong penyimpanan karbon, dan gas yang belum disertakan pada FREL-2016, serta menawarkan rekomendasi penilaian teknis. Dengan tujuan tersebut, kajian ini menggabungkan Propagasi Kesalahan dan Simulasi Monte Carlo untuk menilai ketidakpastian pendugaan emisi. Hasilnya menegaskan kembali tentang pentingnya memperhitungkan aktivitas yang belum disertakan, beserta tambahan kantong penyimpanan karbon dan gas. Mereka juga menekankan kembali perlunya analisis ketidakpastian untuk meningkatkan akurasi dan reliabilitas pendugaan emisi di dalam konteks REDD+ dan FREL-2016.



cifor-icraf.org

forestsnews.cifor.org

CIFOR-ICRAF

Pusat Penelitian Kehutanan Internasional dan World Agroforestry (CIFOR-ICRAF) memanfaatkan sumber daya pepohonan, hutan, dan bentang alam agroforestri untuk menghadapi tantangan terberat dunia saat ini – berkurangnya keanekaragaman hayati, perubahan iklim, ketahanan pangan, kesejahteraan, dan ketidaksetaraan. CIFOR dan ICRAF merupakan bagian dari Pusat Penelitian CGIAR.

