



Faktor-faktor emisi

Mengonversi perubahan tata guna lahan menjadi estimasi CO₂

Louis V. Verchot, Kamalakumari Anitha, Erika Romijn, Martin Herold, dan Kristell Hergoualc'h

- Kekurangan data spesifik suatu negara dan kawasan menimbulkan keterbatasan yang serius untuk mengonversi estimasi luas deforestasi dan degradasi hutan menjadi estimasi perubahan stok karbon untuk sebagian besar negara tropis. Dengan demikian kita tidak dapat mengestimasi secara akurat dan tepat mengenai emisi dan penyerapan dalam program REDD+ nasional dan aktivitas percontohan REDD+.
- Kemajuan dalam peningkatan kapasitas kelembagaan negara-negara untuk melakukan inventarisasi hutan dan pengukuran lainnya untuk meningkatkan inventarisasi gas rumah kaca di sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya selama ini berlangsung lambat di sebagian besar negara nonAneks I.
- Sejumlah kendala di atas dapat diatasi jika investasi yang dilakukan terkoordinasi dan bertarget dan ada kemitraan produktif yang dikembangkan antara lembaga layanan teknis di negara tuan rumah REDD+, lembaga antarpemerintah dan lembaga penelitian lanjutan di negara maju selama fase kesiapan.

15.1 Pengantar

Kemampuan untuk mengukur kinerja merupakan prasyarat untuk menerapkan mekanisme berbasis hasil. Dalam konteks REDD+, keakuratan dalam mengukur pengurangan emisi ini merupakan bagian dari tantangan ini (lihat Bab 13). Banyak kelompok yang tengah mengembangkan sistem pengukuran untuk mendukung pelaksanaan REDD+ di negara-negara yang tidak memiliki kapasitas teknis untuk menilai emisi dari deforestasi dan degradasi secara akurat. Ada dua jenis parameter pengukuran untuk menilai emisi yang harus dilakukan oleh suatu negara. ‘Data aktivitas’ yaitu jargon yang digunakan untuk pemantauan, pelaporan, dan verifikasi (MRV) untuk menggambarkan data tentang besaran aktivitas manusia yang menghasilkan emisi atau penyerapan. Untuk REDD+, data ini biasanya merujuk ke daerah-daerah yang ada di bawah suatu sistem pengelolaan, deforestasi atau degradasi, tetapi juga bisa merujuk ke hal-hal lain, seperti jumlah asupan, yaitu pupuk. Untuk mengestimasi perubahan stok karbon dan emisi gas rumah kaca (GRK) lainnya yang dihasilkan dari penggunaan lahan dan perubahan penggunaan lahan, termasuk di kawasan hutan dengan biomassa meningkat, negara-negara membutuhkan ‘faktor emisi/penyerapan’ (untuk sederhananya, kita akan meningkatkannya sebagai faktor emisi [FE]). Faktor-faktor ini mewakili emisi atau pengurangan di semua tampungan karbon yang relevan dan dari semua GRK yang relevan per unit aktivitas. Misalnya, jika hutan rata-rata kehilangan 200 ton karbon per hektar bila ditebang dan deforestasi pada tahun tertentu adalah 2.000 hektar, suatu negara bisa mengestimasi emisi deforestasinya dengan menggabungkan kedua jenis data ini. Penggunaan lahan selanjutnya juga memiliki stok karbon dan emisi GRK (misalnya, dinitrogen oksida dari pupuk atau metana dari ternak) dan keduanya harus diperhitungkan ketika mengestimasi efek atau efek terhilang dari penggunaan lahan dan perubahan penggunaan lahan (untuk emisi acuan, lihat Bab 16).

Sejumlah inisiatif melibatkan peningkatan teknologi penginderaan jauh untuk mendeteksi deforestasi, reforestasi, dan degradasi hutan. Beberapa upaya telah difokuskan pada peningkatan sistem untuk pengukuran nasional dan internasional dan pemantauan deforestasi dan degradasi hutan (Achard dkk. 2002; Bucki dkk. 2012). Upaya ini melibatkan metode yang ditingkatkan untuk mengukur daerah terdeforestasi, mendeteksi daerah-daerah yang telah terdegradasi dan memantau daerah yang telah ditanami kembali dll. Namun sebagian besar pendekatan ini tersandung masalah mengubah estimasi wilayah ke nilai emisi atau pengurangan karena kurangnya faktor emisi yang dapat diandalkan untuk berbagai ekosistem yang sangat bervariasi. Sejumlah studi menunjukkan bahwa sebanyak 60% dari ketidakpastian estimasi emisi adalah karena kurangnya pengetahuan tentang stok karbon di hutan dan sistem penggunaan lahan lainnya (Houghton dkk. 2000; Baccini dkk. 2012).

Karena berbagai alasan, pengetahuan kita mengenai stok karbon dan fluks GRK yang terkait dengan penggunaan lahan dan perubahan penggunaan

lahan sebagai bagian dari tahap kesiapan REDD+ harus ditingkatkan. Peningkatan pengetahuan dapat membantu menentukan target intervensi yang lebih baik dan meningkatkan efisiensi implementasinya. Selain itu juga akan meningkatkan skema pembagian manfaat dengan memastikan bahwa aktivitas tidak memberi peluang klaim palsu pengurangan emisi dan akan membantu memberikan kredit untuk pengurangan nyata secara tepat.

Bab ini bertujuan untuk melihat secara kritis kendala untuk MRV karena kurangnya faktor emisi untuk jenis perubahan penggunaan lahan yang penting dan tampungan karbon utama dalam berbagai ekosistem tropis. Kami memulainya dengan kajian singkat atas konsep-konsep penting yang mendasari metode inventarisasi GRK dan rekomendasi *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) untuk praktik-praktik yang baik di kawasan ini. Selanjutnya kami akan melihat pentingnya faktor emisi dalam kerangka ini, memeriksa berbagai kendala dalam sejumlah ekosistem tropis dan beberapa kemajuan terbaru yang membantu mengurangi kendala ini. Akhirnya, kami akan membahas peran berbagai pemangku kepentingan dan menganalisis prioritas investasi untuk lebih mengurangi tantangan yang dihadapi MRV.

15.2 Pengantar: hubungan antara IPCC, UNFCCC, dan REDD+

Upaya utama untuk mengembangkan metode inventarisasi GRK telah dirintis oleh Program Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional (NGGIP) dari IPCC, yang mengeluarkan seperangkat pedoman pertama untuk inventarisasi GRK nasional pada tahun 1994. Pedoman ini direvisi tahun 1996 (GL1996) dan telah menyediakan kerangka kerja yang berguna untuk penyusunan estimasi nasional emisi dan pengurangan di berbagai sektor dan masih berfungsi sebagai dasar untuk inventarisasi GRK nasional. Namun, ada kebutuhan akan petunjuk lebih lanjut tentang cara terbaik untuk menghadapi ketidakpastian sehingga suatu negara dapat menghasilkan inventarisasi yang “akurat dalam arti tidak memberikan estimasi yang berlebihan atau terlalu rendah, dan yang sedapat mungkin dapat mengurangi ketidakpastian” (IPCC 2000). Pedoman ini memicu perkembangan dua laporan tambahan mengenai praktik yang baik untuk membantu negara-negara dalam “... pengembangan inventarisasi yang transparan, terdokumentasikan, konsisten dari waktu ke waktu, lengkap, sebanding, dinilai ketidakpastiannya, tunduk pada kendali dan jaminan mutu, efisien sesuai dalam penggunaan sumberdaya yang tersedia untuk lembaga yang melakukan inventarisasi dan yang dapat mengurangi ketidakpastian secara bertahap dengan tersedianya informasi lebih lanjut” (IPCC 2000; 2003). ‘*Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*’ (GPG2000) diterbitkan tahun 2000 dan menyediakan pedoman yang diperbarui untuk mengumpulkan inventarisasi di beberapa sektor, termasuk pertanian (IPCC 2000). ‘Panduan Praktik yang Baik untuk Penggunaan Lahan, Perubahan Tata Guna Lahan dan

Kehutanan' (GPG-LULUCF) diterbitkan tahun 2003 (IPCC 2003). Laporan 'Good Practice' tidak menggantikan Panduan IPCC tetapi memberikan petunjuk tambahan atau revisi, yang melengkapi dan konsisten dengan pedoman tersebut.

Pada tahun 2006, IPCC menerbitkan revisi GL1996 yang dikembangkan berdasarkan GPG2000 dan GPG-LULUCF. Pedoman yang direvisi ini (GL2006) merekomendasikan penggunaan metode inventarisasi yang konsisten untuk pertanian, kehutanan, dan penggunaan lahan lainnya untuk memungkinkan inventarisasi emisi dari sebagian besar kategori penggunaan lahan yang lebih komprehensif.

Dalam keputusan yang diadopsi oleh COP15 di Kopenhagen tahun 2009 (UNFCCC 2009b), UNFCCC meminta agar negara-negara yang ingin berpartisipasi dalam mekanisme REDD+ "menggunakan petunjuk dan pedoman Panel antarPemerintah tentang Perubahan Iklim (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) terbaru, seperti yang diadopsi atau didorong oleh Konferensi Para Pihak, sebagaimana mestinya, sebagai dasar untuk mengestimasi emisi GRK karena kegiatan manusia yang terkait dengan hutan berdasarkan sumber dan penyerapan karbon, stok karbon hutan, dan perubahan luas hutan." Dengan demikian, GL1996 dan GPG-LULUCF menyediakan kerangka kerja bagi upaya saat ini dalam REDD+. Namun keputusan pada COP17 di Durban tahun 2011 telah menetapkan UNFCCC ke arah adopsi 2006GL untuk digunakan pada tahun 2015, sehingga pedoman tersebut juga dapat digunakan.

Struktur dasar prosedur inventarisasi diatur menurut persamaan sederhana:

$$Emisi = A \cdot EF$$

Persamaan ini meresmikan jenis data yang diperlukan untuk mengembangkan estimasi emisi yang disebutkan dalam pengantar. *A* merupakan data aktivitas dalam persamaan. IPCC menyediakan tiga pendekatan yang mungkin untuk memperoleh data aktivitas, yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan situasi inventarisasi tertentu (lihat Bab 14; IPCC 2006). Adapun *EF* dalam persamaan tersebut merupakan faktor emisi. Faktor-faktor ini sering didasarkan pada sampel data pengukuran yang dapat dirata-ratakan untuk menghasilkan angka emisi yang representatif untuk aktivitas tertentu yang berkaitan dengan perubahan penggunaan lahan (misalnya, konversi dari hutan menjadi padang rumput) atau dengan lahan yang tersisa dalam suatu kategori penggunaan lahan (misalnya, lahan hutan yang direhabilitasi).

Dalam kebanyakan kasus, inventarisasi mencakup lima sumber karbon: biomassa di atas permukaan tanah, biomassa di bawah permukaan tanah, kayu mati, serasah, dan materi organik tanah. IPCC menggunakan konsep kategori utama untuk menentukan tingkat ketelitian yang perlu diterapkan untuk

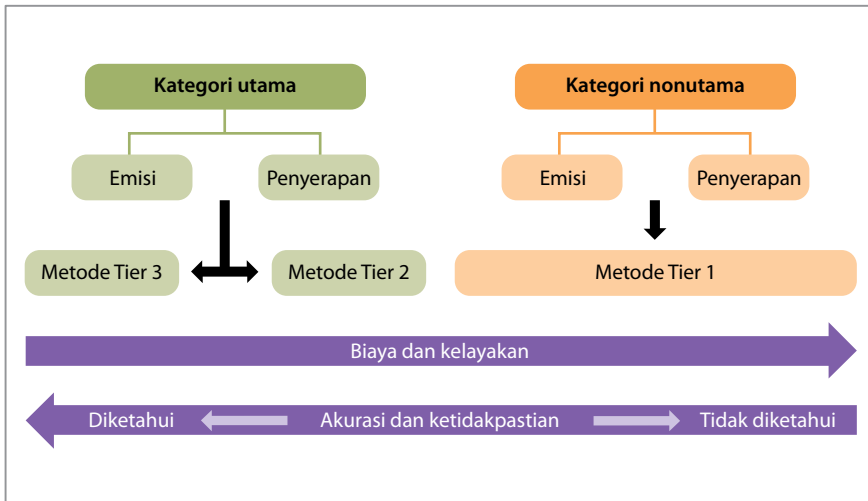
mengestimasi data aktivitas dan faktor emisi (IPCC 2000). Sebuah kategori sumber/tampungannya utama adalah suatu aktivitas dan/atau tampungan karbon yang berpengaruh signifikan pada estimasi GRK dalam hal kecenderungan tingkat absolut, atau ketidakpastian dalam emisi dan penyerapan. Kategori utama menerima perlakuan prioritas dalam inventarisasi GRK. Dalam agregat, sumber dan tampungan nonutama berjumlah kurang dari 10% dari ketidakpastian inventarisasi atau kurang dari 5% dari total emisi. Metode terperinci perlu digunakan untuk mengestimasi emisi dan penyerapan untuk kategori utama. Analisis kategori utama diperlukan untuk menentukan hal-hal berikut:

- Penggunaan lahan dan pengelolaan aktivitas mana yang signifikan
- Subkategori penggunaan lahan atau peternakan mana yang signifikan
- Emisi atau penyerapan mana dari berbagai tampungan karbon yang signifikan
- Gas nonCO₂ mana dan dari kategori mana yang signifikan
- Pendekatan mana (lihat keterangan tingkatan di bawah) yang diperlukan untuk pelaporan.

IPCC juga mengidentifikasi tiga ‘tingkat akurasi’ (*tier*) untuk pelaporan. Tingkat akurasi mewakili kerumitan metodologis yang diperlukan untuk mengestimasi emisi dan pengurangan dari suatu kategori, berdasarkan pengaruhnya terhadap inventaris total suatu negara, ketersediaan data, dan kondisi nasional. IPCC merekomendasikan penginventaris untuk menerapkan metode Tier 2 atau 3 untuk kategori utama aktivitas lahan yang menjadi sumber utama ketidakpastian atau emisi dan menggunakan metode Tier 1 untuk kategori nonutama (Gambar 15.1).

Tier 1 merupakan pendekatan yang paling sederhana dan berlaku untuk kategori nonutama yang faktor emisinya tidak tersedia untuk negara atau wilayah tertentu. Para penginventaris harus menggunakan data aktivitas spesifik untuk suatu negara atau wilayah, tetapi mereka dapat menggunakan nilai standar (*default*) global dengan faktor emisi yang ketidakpastiannya tidak diketahui. Metode Tier 1 memungkinkan penginventaris untuk menghasilkan inventarisasi lengkap dan menghindari investasi dalam pengumpulan data untuk kategori aktivitas yang hanya bernilai sebagian kecil dari total emisi atau penyerapan atau hanya sebagian kecil dari ketidakpastian. Estimasi ketidakpastian berdasarkan kategori sumber pada Tier 1 dilakukan dengan menggunakan persamaan propagasi kesalahan statistik.

Metode **Tier 2** mengikuti kerangka kerja yang sama dengan Tier 1. Data aktivitas spesifik negara atau kawasan digunakan, tetapi emisi dan penyerapannya diestimasi dengan menggunakan faktor emisi negara atau kawasan tertentu. Resolusi temporal dan spasial yang lebih tinggi dan data aktivitas yang lebih terpilah biasanya digunakan dalam metode Tier 2, dan terkait dengan faktor



Gambar 15.1 Hubungan antara kategori utama dan tingkat tier untuk kompilasi inventarisasi dan akurasi vs pengorbanan biaya (Diadaptasi dari Maniatis dan Mollicone 2010)

emisi spesifik untuk kondisi klimatologis atau geologis subregional yang tepat dan kategori penggunaan lahan atau peternakan khusus.

Metode **Tier 3** memerlukan data spasial eksplisit dan resolusinya tinggi tentang dinamika tutupan lahan. Tier 3 menggunakan metode yang lebih tinggi tingkat terincinya, termasuk model dan sistem pengukuran inventarisasi, yang berulang dari waktu ke waktu. Wilayah lahan yang telah mengalami perubahan penggunaan lahan biasanya dapat dilacak dari waktu ke waktu, setidaknya secara statistik. Kebanyakan model sudah mencakup variasi terkait iklim dalam aspek-aspek seperti pertumbuhan, penuaan, dan kematian, sehingga memungkinkan untuk melakukan estimasi dengan variabilitas tahunan. Semua model harus menjalani pemeriksaan dan validasi mutunya. Tier 3 menghasilkan keluaran berkualitas tinggi dalam hal presisi dan akurasi karena biasanya dapat dikurangi dan kompleksitas sistemnya terwakili dengan baik. Hambatan utama untuk menerapkan metode Tier 3 adalah biaya dan upaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan set data berkualitas dan pengukuran yang spesifik untuk lokasi tertentu.

15.3 Metode IPCC untuk pengembangan EF

IPCC memiliki dua pendekatan untuk pengembangan faktor emisi untuk persamaan inventarisasi. Perubahan stok karbon di segala sumber dapat diestimasi dengan menggunakan pendekatan yang disebut metode Penambahan-Pengurangan (*Gain-Loss*), yang dapat diterapkan ke semua perubahan karbon (IPCC 2006). Penambahan terjadi karena pertumbuhan atau perpindahan karbon dari tampungan lain (misalnya, perpindahan

karbon dari sebuah tampungan karbon biomassa di atas permukaan tanah ke tampungan materi organik mati karena panen). Pengurangan terjadi melalui perpindahan karbon dari satu sumber ke sumber lain atau emisi akibat pembusukan, pembakaran, panen, dll. Dalam sistem ini, perpindahan karbon penting diperhitungkan, karena setiap perpindahan dari satu tampungan ke tampungan lainnya adalah pengurangan bagi sumber donor dan penambahan bagi tampungan penerima. Karenanya, penyerapan CO₂ adalah perpindahan dari atmosfer ke tampungan karbon (biasanya biomassa); emisi CO₂ adalah perpindahan dari tampungan karbon ke atmosfer.

Pendekatan kedua disebut metode Stok-Perbedaan (*Stock-Difference*), yang diterapkan ketika stok karbon di tampungan yang relevan diukur pada dua titik waktu untuk menilai perubahan stoknya. Pada umumnya, perubahan stok karbon diestimasi dengan dasar per hektar dan nilai ini kemudian dikalikan luas total di setiap strata (data aktivitas) untuk memperoleh estimasi perubahan total stok untuk tampungan tersebut. Terkadang, data aktivitas dapat berupa total negara (misalnya, volume kayu dalam meter kubik yang dipanen), yang dalam hal ini estimasi perubahan persediaan untuk tampungan biomassa di atas permukaan tanah dihitung langsung dari data aktivitas, setelah menerapkan faktor yang tepat untuk mengonversi ke unit masa karbon. Ketika menggunakan metode Stok-Perbedaan untuk kategori penggunaan lahan tertentu, perlu dipastikan bahwa wilayah lahan di kategori tersebut pada waktu t_1 dan t_2 identik untuk menghindari kerancuan estimasi perubahan persediaan karena perubahan luas. Tabel 15.1 menyajikan contoh cara menurunkan faktor standar Tier 1 dengan menggunakan nilai standar IPCC untuk biomassa di atas permukaan tanah.

Metode Penambahan-Pengurangan cocok untuk pendekatan pemodelan ekologis menggunakan koefisien stok dan aliran yang berasal dari penelitian empiris. Pendekatan ini akan memuluskan variabilitas antartahun ke tingkat yang lebih besar daripada metode Stok-Perbedaan. Kedua metode tersebut valid dan dapat memberikan hasil yang sebanding dari waktu ke waktu, tetapi masing-masing metode lebih tepat untuk tampungan tertentu. Misalnya, pendekatan Stok-Perbedaan berdasarkan inventarisasi hutan adalah cara yang paling praktis untuk mengestimasi perubahan karbon biomassa di atas permukaan tanah (Brown 2002; Qureshi dkk. 2012). Untuk sumber lainnya, misalnya, tanah dan tampungan karbon materi organik di lahan gambut (lihat Kotak 15.1), metode Penambahan-Pengurangan lebih praktis. Gambar 15.2 merangkum langkah-langkah yang diperlukan untuk menghasilkan faktor emisi dengan menggunakan kedua metode. Untuk menerapkan pendekatan mana pun, terlebih dahulu diperlukan stratifikasi lanskap yang bermakna dan menentukan aktivitas dan sumber yang membutuhkan neraca tier yang lebih tinggi dan yang dapat diatasi dengan menggunakan metode Tier 1. Kemudian, data harus dihimpun dan disusun sedemikian rupa sehingga memberikan estimasi representatif bagi ekosistem dan sistem pengelolaan yang bersangkutan.

Tabel 15.1 Contoh Tier 1 faktor emisi untuk biomassa (atas tanah dan bawah tanah) yang terkait dengan konversi hutan menjadi padang rumput di Afrika, dihitung dengan menggunakan metode Stok-Perbedaan dan menggunakan nilai yang ditetapkan untuk sumber karbon (IPCC 2006)

	Hutan				Padang rumput				Faktor emisi untuk biomassa [¶]
	Biomassa di atas tanah*	Biomassa di bawah tanah [†]	Kepadatan C [‡]	Stok karbon di sumber biomassa	Total biomassa di atas dan bawah tanah [§]	Kepadatan C	Stok karbon di sumber biomassa		
	Mg d.m. ha ⁻¹	Mg d.m. ha ⁻¹	Mg C Mg d.m. ⁻¹	Mg ha ⁻¹	Mg d.m. ha ⁻¹	Mg C Mg d.m. ⁻¹	Mg ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹
Hutan hujan tropis	310	115	0,46	195	16	0,47	8	188	
Hutan gugur daun lembap tropis	260	52	0,46	144	16	0,47	8	136	
Hutan kering tropis	120	34	0,46	71	9	0,47	4	67	
Semak tropis	70	28	0,46	45	9	0,47	4	41	

Catatan: 1 Mg = 1 ton, d.m. = materi kering.

* Nilai untuk hutan Afrika dari Tabel 4.7 GL2006

† Berdasarkan rasio biomassa di bawah tanah terhadap biomassa di atas tanah dari Tabel 4.4 GL2006

‡ Kepadatan C dari Tabel 4.3 GL2006

§ Nilai untuk padang rumput dari Tabel 6.4 GL2006

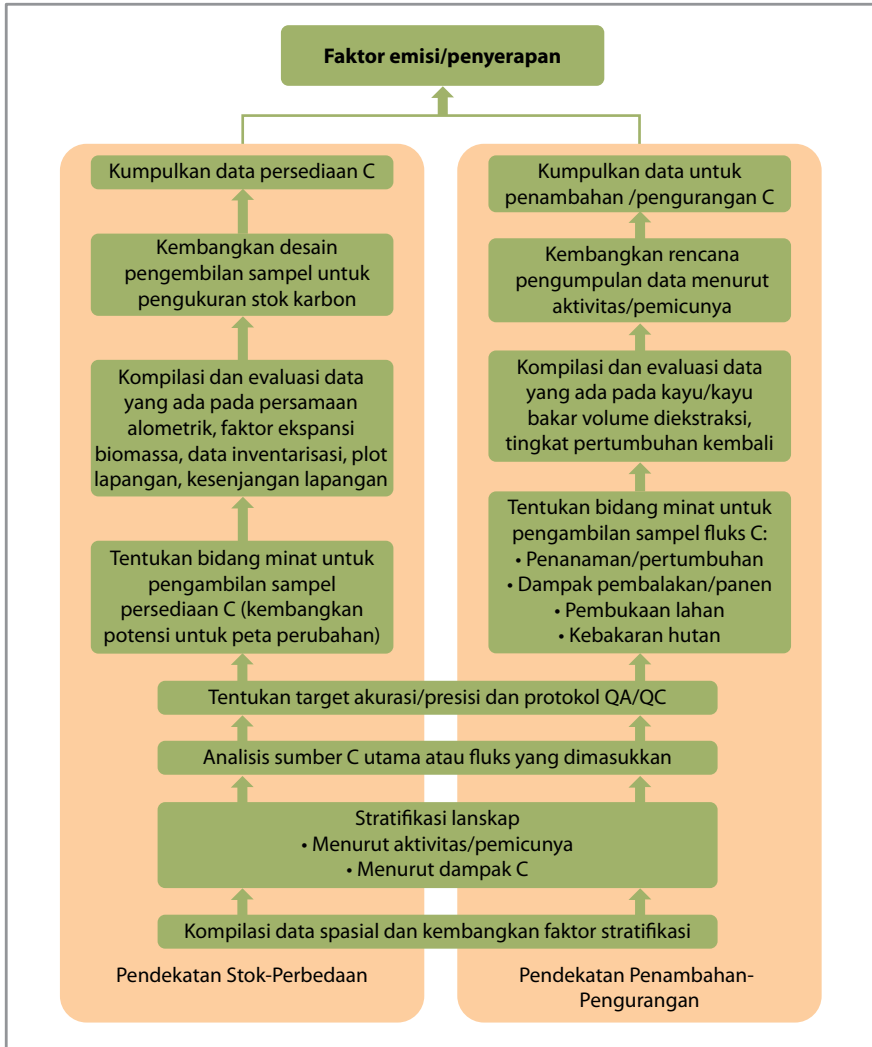
¶ Selisih antara total persediaan C biomassa di atas dan di bawah tanah di setiap sistem

Kotak 15.1 Menggunakan metode Penambahan-Pengurangan untuk meningkatkan fasilitas estimasi faktor emisi untuk lahan gambut tropis

Indonesia merupakan salah satu penghasil emisi GRK terbesar di dunia; sekitar 80% dari emisi nasional berasal dari penggunaan lahan dan perubahan penggunaan lahan. Di kepulauan Asia Tenggara, laju deforestasi di hutan rawa gambut dua kali lebih tinggi dibandingkan di setiap jenis hutan lainnya (Miettinen dkk. 2011). Karena alasan ini, mengukur emisi GRK dari perubahan penggunaan lahan di lahan gambut adalah sangat penting. Adapun yang menjadi perhatian utama adalah estimasi berkurangnya karbon dari gambut. Estimasi terbaru menyebutkan bahwa karbon yang hilang terkait dengan konversi hutan rawa gambut untuk perkebunan kelapa sawit memberikan kontribusi lebih dari 63% terhadap total kehilangan. Kehilangan biomassa sebesar 158 Mg C ha^{-1} sedangkan yang dari gambut mencapai 270 Mg C ha^{-1} selama lebih dari 25 tahun, yang merupakan periode rotasi perkebunan kelapa sawit (Hergoualc'h dan Verchot 2011).

Pengurangan gambut dapat dinilai dengan mengukur perubahan stok karbon (pendekatan Stok-Perbedaan) atau perubahan arus karbon (pendekatan Penambahan-Pengurangan). Penilaian akurat atas perubahan stok karbon tanah setelah perubahan penggunaan lahan memerlukan pengukuran stok karbon dalam kedalaman penuh dari profil gambut, karena perubahan terjadi pada kedalaman yang lebih besar di tanah yang dikeringkan; pengurangan tidak terbatas pada 30 cm atas karena berada di tanah mineral. Memang, kombinasi aktivitas fisik dan kimia yang terkait dengan drainase, subsidensi gambut, dan kebakaran dapat mempersulit penentuan lapisan tanah yang harus dibandingkan sebelum dan setelah perubahan penggunaan lahan. Namun, jelas bahwa mempelajari lapisan permukaan tanah gambut saja bukan merupakan pendekatan yang valid untuk studi banding tentang perubahan stok karbon gambut terkait dengan perubahan penggunaan lahan. Selain itu, sebagian besar formasi gambut di Asia Tenggara berada dalam bentuk kubah, maka pemilihan lokasi yang representatif dan konsisten dalam kubah sebelum dan setelah perubahan penggunaan lahan diperlukan untuk menghindari estimasi emisi atau penyerapan yang salah. Mengembangkan skema pengambilan sampel yang memadai khususnya sangat menantang, mengingat kurangnya peta lokasi posisi kubah gambut di banyak lanskap, aksesibilitas terbatas (lahan gambut murni sering terpencil dan sulit dijangkau) dan kendala otorisasi.

Mengingat masalah di atas, pendekatan yang lebih baik untuk menilai pengurangan karbon gambut setelah perubahan penggunaan lahan adalah metode Penambahan-Pengurangan. Pendekatan ini memerlukan pengetahuan tentang masukan karbon utama (kematian serasah dan akar) dan keluaran utama (laju respirasi heterotrofik tanah, pengurangan yang terkait dengan kebakaran, metanogenesis, limpasan, pelindian dan erosi). Arus ini lebih mudah diestimasi secara akurat dan tanpa bias dibandingkan perubahan dalam tampungan. Respirasi tanah dapat menjadi indikator yang berguna untuk berkurangnya karbon gambut. Akan tetapi, komponen heterotrofik harus diestimasi dan pengurangan harus diseimbangkan dengan penambahan dalam rangka untuk mengevaluasi berapa banyak karbon gambut yang hilang atau diserap. Keseimbangan antara penambahan dan pengurangan sebelum dan setelah perubahan penggunaan lahan harus dibandingkan untuk menilai emisi dan penyerapan yang terkait dengan perubahan penggunaan lahan.



Gambar 15.2 Langkah-langkah yang diperlukan dalam estimasi faktor emisi (Diadaptasi dari Meridian Institute 2011a)

15.4 Keadaan FE saat ini dan peluang perbaikannya

15.4.1 Kapasitas MRV dan FE

Sebagai bagian Studi Komparatif Global (GCS) CIFOR mengenai REDD+ (lihat Lampiran), kami melakukan analisis kapasitas MRV di 99 negara tropis nonAneks I. Penelitian ini menghitung skor masing-masing negara mengenai sejumlah kapasitas (misalnya, penginderaan jauh, inventarisasi hutan, penilaian stok karbon) dan keterlibatan nasional (misalnya, kelengkapan pelaporan nasional, keterlibatan dalam negosiasi teknis UNFCCC REDD+).

Penelitian ini kemudian menghitung skor tantangan REDD+ (misalnya, peristiwa kebakaran, keberadaan lahan gambut, kepadatan karbon tinggi) dan tantangan penginderaan jauh (misalnya, tutupan awan tinggi, daerah pegunungan) di setiap negara. Kemudian, kesenjangan dihitung menggunakan perbedaan antara skor untuk tantangan dan kapasitas dan negara-negara dikelompokkan ke dalam kategori berdasarkan pada besaran nilai mereka.

Hasil analisis menunjukkan bahwa sebagian besar negara tidak memiliki kapasitas untuk menerapkan sistem pemantauan nasional yang lengkap dan akurat untuk mengukur kinerja implementasi REDD+ sesuai dengan pedoman IPCC, seperti yang diperlukan dalam Tahap III ketika pembayaran akan didasarkan pada pengurangan emisi terukur (Romijn dkk. 2012). Empat puluh sembilan negara memiliki kesenjangan kapasitas yang sangat besar, hanya empat negara yang memiliki kesenjangan kapasitas yang sangat kecil. Negara-negara yang disebut terakhir ini memiliki kapasitas yang baik hingga sangat baik untuk mengukur perubahan kawasan hutan dan untuk melakukan inventarisasi hutan nasional pada pertumbuhan stok dan biomassa hutan. Di negara-negara yang kesenjangan kapasitasnya sangat besar, masalahnya bersumber dari keterlibatan yang terbatas dalam proses UNFCCC REDD+, kurangnya pengalaman dalam penerapan pedoman IPCC dan kurangnya akses ke data yang sesuai untuk inventarisasi Tier 2 (Hardcastle dkk. 2008; Herold 2009). Penelitian ini mendokumentasikan di mana saja kapasitas tidak memadai pada tataran teknis, politis, dan kelembagaan untuk memungkinkan estimasi yang lengkap dan akurat untuk perubahan kawasan hutan dan perubahan stok karbon terkait, serta menunjukkan bahwa mekanisme REDD+ menciptakan persyaratan yang berada di luar pengalaman banyak lembaga layanan teknis nasional.

Kesenjangan kapasitas ini juga terlihat jelas selama dua *Forest Resources Assessments* (FRA) global (FAO 2006; 2010) yang baru-baru ini dilakukan oleh (FAO 2007; *Food and Agriculture Organization* Mollicone dkk. 2007). Marklund dan Schoene (2006) menganalisis pengajuan negara ke FRA 2005 dan menemukan kualitas dan keandalan data yang sangat bervariasi. Kebanyakan negara tidak memiliki data inventarisasi hutan yang baik dan bergantung pada faktor konversi dan nilai-nilai standar untuk mengestimasi stok karbon. Dari negara-negara yang memiliki data inventarisasi, sebagian besar hanya memiliki pengukuran pada satu titik waktu. Dari 229 negara dan kawasan yang dilaporkan ke FRA 2005, hanya 143 yang melaporkan karbon di sumber biomassa dan hanya 50 yang melaporkan karbon di sumber serasah dan tanah. Tiga puluh empat negara tidak memberikan data stok karbon. Ada sedikit peningkatan di FRA 2010 (lihat Kotak 15.2).

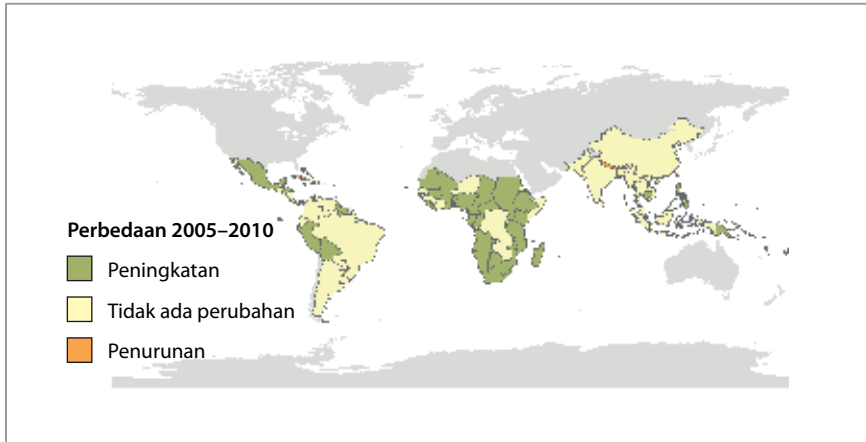
Dalam studi GCS lainnya, CIFOR menyurvei 17 lokasi percontohan REDD+ di seluruh Amerika Latin (7), Afrika (7), dan Asia Tenggara (3). Lima puluh tiga persen dari proyek ini ditemukan menggunakan persamaan

Kotak 15.2 Bukti Perkembangan antara FRA 2005 dan FRA 2010

Antara periode pelaporan 2005 dan 2010 untuk *Forest Resources Assessment* (FRA) FAO, ada beberapa peningkatan sederhana dalam hal kapasitas pemantauan. Gambar 15.3 menunjukkan perubahan kapasitas untuk melaporkan karbon dari sumber-sumber yang berbeda. Sebagian besar peningkatan terjadi di negara-negara Afrika, yang kapasitas pemantauan keseluruhannya tidak dikembangkan dengan baik pada tahun 2005. Perkembangan ini biasanya terkait dengan fakta bahwa negara-negara ini melaporkan dari dua tampungan karbon pada tahun 2010 (biomassa di atas tanah dan tanah) bukan hanya satu sumber (biomassa di atas tanah). Namun, mereka masih melaporkan pada tingkat Tier 1, menggunakan nilai *default* IPCC. Kapasitas penginderaan jauh dan penggunaan data seri waktu untuk memantau perubahan di kawasan hutan nyaris tidak meningkat antara tahun 2005 dan 2010. Kapasitas inventarisasi hutan juga menunjukkan sedikit peningkatan selama periode ini. Penurunan kapasitas pemantauan dapat ditemukan di beberapa negara, dalam beberapa kasus karena situasi politik internal.

Kurangnya peningkatan signifikan yang terlihat nyata dalam kapasitas pemantauan antara laporan FRA 2005 dan 2010 menunjukkan bahwa upaya REDD+ untuk membangun kapasitas belum berdampak banyak bagi pelaporan nasional. Masyarakat internasional perlu menyediakan sumber daya manusia dan keuangan yang lebih besar untuk mengatasi kesenjangan kapasitas untuk mengubah situasi ini.

alometrik spesifik lokasi atau spesifik negara untuk menilai biomassa di atas permukaan tanah, karena akan diperlukan untuk pendekatan 2 Tier. Empat puluh tujuh persen dari proyek menggunakan persamaan umum untuk seluruh daerah tropis. Tampungan karbon lainnya biasanya kurang penting dalam proyek-proyek ini, tetapi masih dapat mewakili porsi yang signifikan dari emisi bersih. Tidak mengherankan, kapasitas untuk menginventarisasi sumber-sumber ini bahkan lebih rendah. Hanya 24% dari tim proyek yang sudah mengenal metode untuk mengestimasi biomassa di bawah permukaan tanah. Dalam kasus pengukuran karbon kayu mati, 41% dari tim sudah mengenal metode ini. Untuk tampungan karbon serasah dan tanah, sebagian besar responden berencana untuk menggunakan nilai-nilai yang ditetapkan oleh IPCC atau mengabaikan sumber ini. Sebagian besar proyek yang disurvei tidak memiliki informasi yang cukup untuk menangani estimasi karbon di berbagai sumber. Kecuali proyek di Brasil, yang menggunakan persamaan alometrik spesifik lokasi untuk mengestimasi koefisien biomassa di atas tanah (Higuchi dkk. 1982; Silva 2007), biomassa di bawah tanah, dan kayu mati (Silva 2007). Serasah diestimasi menggunakan nilai standar Tier 1. Proyek ini tidak akan menginventarisasi tampungan karbon tanah.



Gambar 15.3 Perubahan kapasitas untuk 99 negara tropis nonAneks I berdasarkan perbedaan antara pelaporan FAO/FRA 2005 dan 2010 pada lima sumber karbon hutan yang berbeda

Sumber: Romijn dkk. (2012)

Akhirnya, fokus pengembangan metode MRV untuk proyek-proyek REDD+ terutama pada penginderaan jauh dan inventarisasi tanah oleh rimbawan profesional (GOFC-GOLD 2010). Cara ini mahal dan mungkin keefektifannya terbatas dalam mengikuti perkembangan aktual di lapangan pada skala yang diperlukan untuk menginformasikan implementasi proyek. Ada pengalaman yang berkembang dengan MRV berbasis masyarakat (lihat Kotak 15.3) untuk mengatasi kurangnya keterlibatan masyarakat yang tinggal di lahan tempat pelaksanaan skema REDD+ atau hidupnya bergantung pada lahan yang sama. Pendekatan praktis sedang dikembangkan dan diuji untuk melibatkan masyarakat lokal secara efektif dalam pemantauan (Skutsch 2010).

15.4.2 FE untuk sumber karbon biomassa

Untuk menerapkan metode Stok-Perbedaan atau Penambahan-Pengurangan, penginventaris membutuhkan data tentang ekosistem hutan dan nonhutan untuk menghasilkan faktor emisi untuk perubahan bersih yang terkait dengan penggunaan lahan atau perubahan penggunaan lahan. Dalam kasus ekosistem pertanian dan padang rumput yang vegetasi berkayunya sedikit atau tidak ada, mengestimasi biomassa secara teknis tidaklah sulit. Kebanyakan penelitian agronomi yang dilakukan oleh berbagai universitas dan lembaga penelitian pertanian di seluruh dunia mengukur produktivitas total, bukan hanya panen. Dengan demikian nilai standar biomassa yang berkembang untuk sebagian besar sistem tanam akan memerlukan tinjauan kepustakaan, meskipun hal ini mungkin rumit di banyak negara nonAneks I karena fakta bahwa data ini sering ditemukan dalam kepustakaan abu-abu dan mungkin tidak tersedia secara internasional. Biomassa dan produktivitas juga diukur

Kotak 15.3 MRV dari global ke lokal dalam REDD+: Menghubungkan pendekatan masyarakat dan pemerintah

Finn Danielsen, Neil D. Burgess, dan Martin Enghoff

Dalam beberapa tahun terakhir, sejumlah buku panduan telah dikembangkan untuk mengarahkan pengumpulan data lokal biomassa hutan (Verplanke dan Zahabu 2009; Subedi dkk. 2010; Andkk. 2011; UN-REDD Programme 2011b; Walker dkk. 2011). Penelitian menunjukkan bahwa masyarakat lokal dipercaya dapat mengumpulkan data tentang biomassa di atas tanah dan penggunaan hutan dan dapat memenuhi persyaratan dalam laporan di tingkatan yang lebih tinggi dalam IPCC (Danielsen dkk. 2011).

Keterlibatan masyarakat dalam REDD+ MRV terutama sangat berguna di kawasan hutan yang masyarakatnya memiliki penguasaan lahan tertentu, yang hak atas sumberdayanya diakui oleh pemerintah dan mereka berkemauan lokal untuk mengelola kawasan hutan. Melibatkan masyarakat akan membantu menghubungkan implementasi nasional REDD+ dengan pengambilan keputusan dan pengelolaan hutan lokal (Danielsen dkk. 2010). Selain itu, tindakan ini mengurangi risiko REDD+ akan melemahkan penguasaan hutan lokal. Selain itu juga membantu meningkatkan transparansi dan akuntabilitas inisiatif REDD+ dan memberikan kontribusi tata kelola dan pembagian keuntungan yang adil.

Namun ada pertanyaan yang timbul, yaitu bagaimana caranya agar pengintegrasian pemantauan masyarakat berhasil demi keefektifan REDD+ dengan pemantauan yang dilakukan oleh lembaga pelaksana REDD+ nasional. Di masa lalu, sebagian besar inisiatif pemantauan hutan rakyat telah dilokalkan (Fry 2011), namun tidak ada contoh cara masyarakat yang telah ditingkatkan ke tingkat nasional.

Untuk menghubungkan pemantauan masyarakat dan negara untuk REDD+ secara efektif, pemantauan masyarakat harus dimasukkan ke dalam program yang memberikan data ke dalam inisiatif MRV nasional. Program REDD+ nasional juga harus memastikan bahwa masyarakat diberi kompensasi atas kerja keras mereka. Keterlibatan masyarakat dalam MRV REDD+ harus didukung oleh kebijakan nasional memastikan ada alokasi dana dan staf yang memadai untuk pengembangan komponen pemantauan masyarakat dalam program REDD+ nasional.

Di kebanyakan negara, organisasi masyarakat sudah berpengalaman dalam pemantauan hutan masyarakat. Organisasi-organisasi ini, atau lembaga lain yang mewakili masyarakat, harus didorong untuk mengambil peran sentral dalam perancangan, pengembangan, dan percontohan komponen pemantauan masyarakat dalam program REDD+ nasional. Pendekatan ini disarankan untuk memulainya dengan langkah kecil, melihat apa yang berhasil dan kemudian mengembangkannya setelah mendapatkan banyak pengalaman (Herold dan Skutsch 2011).

Di tingkat nasional, diperlukan standar minimum pemantauan hutan masyarakat sehingga pendekatan yang sama dapat digunakan di semua lokasi di suatu negara. Standar ini harus menentukan format data mentah (pengukuran ketebalan pohon, kerapatan kayu) dan informasi pendukung tambahan (lokasi, tanggal). Setiap persyaratan tambahan untuk data tentang status sumberdaya hutan dan perkembangan tata kelola hutan juga harus ditentukan. Standar ini harus menjelaskan bagaimana dan kapan data harus dikirim dari organisasi berbasis masyarakat kepada pemerintah. Selain itu cara mengumpulkan, membuktikan, memeriksa, mengolah, dan menganalisis data juga harus ditetapkan (Pratihast dan Herold 2011). Pemeriksaan kualitas harus membandingkan tempat pemeriksaan acak dengan rangkaian data dari sumber lain. Program REDD+ nasional harus memberi tahu organisasi masyarakat dan masyarakat tentang tanda-tanda perpindahan emisi karbon dari pengurangan dan degradasi hutan di kawasan hutan tetangganya.

Staf pemerintah juga perlu diberi waktu untuk memberikan umpan balik kepada masyarakat, khususnya mengenai pertanyaan tentang data mereka, dan membantu mereka untuk memecahkan masalah pengelolaan lahan yang mungkin timbul. Kemungkinan juga akan ada kebutuhan staf REDD+ nasional untuk mengunjungi masyarakat. Bila memungkinkan, akan sangat membantu untuk melibatkan staf pemerintah dengan pengalaman dalam teknik penilaian pedesaan partisipatif dan dalam menyelenggarakan dialog dengan anggota masyarakat.

untuk sistem padang rumput yang dikelola dan kebanyakan untuk padang rumput adat. Untuk tampungan biomassa karbon, tantangan teknisnya adalah mengestimasi biomassa dari vegetasi berkayu.

Salah satu keterbatasan utama untuk meningkatkan faktor emisi adalah kurangnya persamaan biomassa yang tepat untuk mengubah pengukuran skala lahan yang dikumpulkan dalam inventarisasi hutan tradisional menjadi estimasi biomassa, kemudian menjadi jumlah karbon (IPCC 2006). Persamaan biomassa yang paling umum – persamaan alometrik – menggunakan dimensi pohon yang mudah diukur, seperti diameter dan tinggi, untuk memrediksi biomassa. Suatu kajian atas 850 persamaan alometrik di subSahara Afrika menemukan bahwa kurang dari 1% spesies pohon di kawasan ini memiliki model spesifik negara dan kurang dari 2% persamaan adalah untuk biomassa akar (Henry dkk. 2011). Selain itu, tujuh spesies pohon menyumbang 20% dari persamaan yang tersedia (semua persamaan tersedia dalam database akses terbuka CarboAfrica: www.carboAfrica.net). Dengan demikian, untuk banyak spesies, kita harus bergantung pada persamaan yang tidak spesifik untuk spesies yang menjadi sampel dan yang belum divalidasi. Tinjauan ini juga meragukan kualitas persamaan yang tersedia, karena kebanyakan memberikan nilai-nilai

yang secara teratur berada di luar rentang yang diharapkan. Para penulis menyimpulkan bahwa tidak ada negara di subSahara Afrika yang memiliki cukup model biomassa nasional yang tepat untuk digunakan dalam menilai stok karbon hutan dan variasinya dengan pendekatan Tier 2 atau Tier 3 IPCC. Misalnya, Kamerun memiliki sekitar 600 spesies pohon hutan, 20 spesies di antaranya memiliki model alometrik yang spesifik. Model umum atau rata-rata harus digunakan untuk spesies lain dan biasanya tidak diketahui.

Pendekatan yang paling umum untuk inventarisasi hutan tropis yang sangat bervariasi adalah dengan menggunakan persamaan umum, yang didasarkan pada pengukuran berbagai spesies pohon dari ekosistem yang berbeda di seluruh daerah tropis. Argumen geometris sederhana menunjukkan bahwa biomassa total pohon di atas tanah harus proporsional dengan perkalian dari luas bidang dasar batang dan total tinggi pohon, yang memberikan estimasi volume. Volume ini, dikalikan dengan berat jenisnya, memungkinkan estimasi massa per unit volume (Chave dkk. 2005). Beberapa persamaan pantropik ada dan banyak digunakan (Brown dkk. 1989; Brown dan Lugo 1992; Brown dkk. 1997; Fearnside 1997; Chave dkk. 2005). Akan tetapi, kekuatan prediksi dari model ini hanya dapat ditentukan jika modelnya divalidasi menggunakan data biomassa pohon yang diperoleh langsung dari percobaan panen destruktif, yang jarang dilakukan (Crow 1978; Cunia 1987; Brown dkk. 1989; Chave dkk. 2001; Houghton dkk. 2001). Ketterings dkk. (2001) mengusulkan metode pengambilan sampel nondestruktif untuk 'menyesuaikan' persamaan biomassa ke lokasi dengan menggunakan hubungan antara berat jenis, diameter, atau luas bidang dasar dan tinggi. Pendekatan ini menjanjikan tapi membutuhkan lebih banyak kerja sebelum dapat menjadi alat praktis untuk inventarisasi. Baru-baru ini, Picard dkk. (2012) mengusulkan pendekatan rata-rata model Bayesian untuk menggabungkan model biomassa yang berbeda dan meningkatkan estimasi biomassa alometrik. Pendekatan ini tepat ketika ada beberapa model yang tersedia untuk suatu kawasan dan kita tidak bisa menilai secara *apriori* model mana yang terbaik untuk digunakan.

Kami menyimpulkan pembahasan biomassa di atas tanah dengan kata akhir pada sifat alometrik dari persamaan ini. Di sebagian besar ekosistem, diameter pohon relatif mudah mengukurnya. Rimbawan menggunakan ukuran standar diameter setinggi dada, atau setinggi 1,3 m di atas permukaan tanah. Ada berbagai rekomendasi untuk mengukur pohon yang tidak teratur (misalnya, pohon bercabang, pohon berbanir, dll.) atau pohon-pohon di lereng, tetapi ini di luar lingkup bab ini. Di hutan tropis yang lebat, mengukur tinggi pohon secara akurat adalah hal yang sulit. Walaupun tinggi pohon umumnya meningkatkan akurasi persamaan biomassa, kebanyakan persamaan dalam situasi hutan tropis lembap tidak melakukan pengukuran ini dan hanya mengandalkan pada diameter atau diameter dan densitas kayu. Dalam survei persamaan biomassa Afrika yang dikutip di atas, hanya 15% yang menggunakan ketinggian (Henry dkk. 2011).

Sebagaimana disebutkan di atas, biomassa di bawah tanah tidak terwakili dalam persamaan alometrik. Kebanyakan pendekatan inventarisasi menggunakan pendekatan Stok-Perbedaan, sedangkan biomassa di bawah tanah diestimasi melalui rasio akar:batang, yang menggunakan hubungan antara biomassa di bawah tanah dan di atas tanah (IPCC 2003; 2006). Survei atas sejumlah kecil proyek percontohan REDD+ menunjukkan bahwa data persamaan alometrik dan rasio akar:batang tidak cukup untuk estimasi karbon di semua tingkat: lokal, regional, dan nasional. Dengan beberapa pengecualian, sebagian besar proyek yang disurvei berencana untuk menggunakan persamaan umum yang ditemukan dalam Cairns dkk. (1997) dan Mokany dkk. (2006). Beberapa proyek berencana untuk menggunakan nilai *default* Tier 1 IPCC.

Mokany dkk. (2006) meninjau sejumlah besar rasio akar:batang yang diterbitkan dan mengatakan bahwa kualitas juga merupakan masalah bagi pengukuran ini. Menggali sistem perakaran dengan benar sulit dilakukan dan perlu dilakukan oleh individu terlatih; kadang-kadang bahkan para ilmuwan pun tidak bisa melakukannya dengan benar. Dari 786 nilai akar:batang yang dikumpulkan, 63% harus dibuang, baik karena nilai-nilai yang tidak dapat diverifikasi maupun karena metode yang digunakan untuk menghasilkannya tidak memadai. Di antara yang dikumpulkan, hanya 20 observasi yang berasal dari ekosistem hutan tropis. Sistem tropis lainnya sama-sama buruk pengambilan sampelnya. Terlepas dari keterbatasan serius ini, penulis mengesahkan hubungan yang diketahui dari penelitian ekologis skala kecil dan menemukan bahwa rasio akar:batang bervariasi dengan prediktabilitas tertentu dan dapat berguna untuk kepentingan inventarisasi ketika lebih banyak data dikumpulkan. Sebagai contoh, rasio akar:batang menurun dengan meningkatnya curah hujan di hutan dan ekosistem hutan, meskipun hubungan ini bergantung pada variasi yang luas. Dalam semua ekosistem, rasio akar:batang juga menurun ketika biomassa batang meningkat. Perilaku ini bisa diharapkan untuk alasan matematis, tetapi juga dapat digunakan untuk menetapkan prioritas dalam pengumpulan data.

15.4.3 FE untuk sumber karbon dan fluks GRK lainnya

Sejumlah pendekatan telah dikembangkan untuk inventarisasi perubahan di tampungan karbon lainnya. Namun data untuk lokal, regional, dan inventarisasi sebagian besar masih kurang. Palace dkk. (2012) meninjau 49 penelitian tentang kayu mati di hutan tropis. Banyak dari penelitian ini menggunakan persentase total kayu mati yang jatuh untuk mengestimasi kayu mati yang tersisa. Kayu mati yang jatuh dan tersisa sama-sama diukur dalam 21 penelitian, dengan rasio kayu mati tersisa terhadap total kayu mulai dari 6% di hutan terganggu hingga 98% di lokasi yang sangat terganggu. Di hutan terganggu, stok kayu mati yang tersisa terhadap yang jatuh berkisar antara 11% sampai 76%. Para penulis menemukan bahwa di hutan tropis kering (2,5-118,6 Mg d.m. ha⁻¹), persentase kayu mati yang jatuh cenderung

lebih kecil dibandingkan di hutan tropis lembap (1,0-178,8 Mg d.m. ha⁻¹). Proporsi kayu mati terhadap total massa di atas tanah bisa menjadi sangat tinggi: 18 sampai 25%, bahkan di hutan yang tidak dikelola. Buku sumber GOFC-GOLD (GOFC-GOLD 2008) menunjukkan bahwa kayu mati dapat menghasilkan sampai sekitar 7% dari stok karbon total; nilai-nilai vegetasi lapisan bawah dan serasah biasanya kurang dari 3% dari tampungan karbon total. Dalam survei proyek percontohan REDD+ kami, sebagian ditemukan menggunakan metode yang didefinisikan dengan baik untuk mengukur karbon di kayu mati, berdasarkan pendekatan yang dikembangkan oleh beberapa penulis (Heath dan Chojnacky 1995; IPCC 2003; Pearson dkk. 2005; Zanne dkk. 2009). Dua proyek di Tanzania tidak berencana untuk mengukur kayu mati karena masyarakat setempat menggunakannya sebagai kayu bakar. Sebagian besar proyek tidak berniat untuk mengukur karbon serasah.

Pada akhirnya, emisi dari kebakaran menjadi perhatian penting yang data dan metodanya masih belum dikembangkan dengan baik. Contohnya, kebakaran melepaskan sejumlah besar CO₂, tapi juga menjadi sumber utama untuk emisi GRK nonCO₂, seperti CO, CH₄, N₂O, NO_x. Untuk persamaan IPCC, massa bahan bakar yang benar-benar membakar adalah faktor penting untuk memperkirakan emisi nonCO₂. Namun umumnya faktor khusus negara dan ekosistem untuk emisi ini tidak ada. Pembakaran masing-masing elemen bahan bakar melalui urutan tahapan: pengapian, menyala dan bersinar dan pirolisis (membara), bercahaya dan pirolisis, bercahaya dan punah. Masing-masing tahap melibatkan proses kimia yang berbeda, yang menghasilkan emisi yang berbeda (Yokelson dkk. 1997).

Kajian komprehensif faktor emisi untuk kebakaran dilakukan oleh Andreae dan Merlet (2001). Mereka menyimpulkan bahwa ada data yang memadai untuk faktor emisi dari sabana tropis, tetapi tidak ada data yang cukup untuk sebagian besar ekosistem utama lainnya untuk menghasilkan faktor emisi yang kuat untuk gas yang berbeda. Pengaruh komposisi spesies dalam campuran bahan bakar juga sebagian besar wajar, meskipun berpotensi memiliki dampak penting pada emisi. Misalnya, emisi NO_x dan N₂O dari kebakaran dapat berbeda karena fungsi dari muatan N pada bahan bakar. Spesies dengan konsentrasi N tinggi, seperti kacang-kacangan, diperkirakan akan memiliki emisi gas yang lebih tinggi.

15.5 Prospek ke depan

Kesimpulan pertama yang dapat ditarik dari analisis di atas adalah bahwa meskipun ada informasi yang memadai untuk inventarisasi GRK Tier 1, untuk kebanyakan sistem tropis tidak cukup data yang tersedia untuk mengembangkan pendekatan tingkat yang lebih tinggi. Untungnya, lebih banyak data tersedia untuk mengestimasi emisi dari tampungan karbon besar

seperti biomassa di atas tanah, tetapi sebagian besar data ini dikumpulkan untuk tujuan tertentu dan tidak mewakili suatu ekosistem di skala besar. Dengan demikian, kita tidak dapat memperkirakan biasanya. Sumber lain, seperti biomassa di bawah tanah atau karbon tanah, memberikan kontribusi penting bagi tampungan total karbon ekosistem, tetapi kurang dicirikan dengan baik. Sementara tujuan yang dinyatakan untuk REDD+ adalah pengurangan emisi yang dihitung dalam skema berbasis kinerja, kita masih jauh dari mampu untuk membuat yang lebih baik dari urutan besaran estimasi emisi dari sumber dan penyerapan oleh emisi dengan kepastian yang memadai di program-program REDD+ nasional. Kami tahu tentang presisi karena sebagian besar sintesis menghitung kesalahan standar. Kami juga tahu bahwa data yang digunakan untuk menghasilkan persamaan dan faktor emisi global tidak representatif dan dengan demikian bias dalam estimasi ini tidak kami ketahui.

Kesimpulan kedua adalah bahwa kemajuan selama dekade terakhir terasa lambat, baik yang terkait dengan pembuatan data baru untuk mendukung inventarisasi GRK yang lebih baik maupun kapasitas negara untuk melaksanakan inventarisasi tingkat yang lebih tinggi di sektor kehutanan. Ada beberapa upaya peningkatan kapasitas MRV yang dilakukan sebagai bagian dari kegiatan kesiapan REDD+, namun dampaknya tidak terlihat jelas dalam FRA 2010. Ada tanda-tanda bahwa komunitas ilmiah menanggapi kebutuhan kebijakan untuk data yang lebih baik untuk memungkinkan inventarisasi yang lebih akurat dan tepat dan sejumlah sintesis baru dan penting telah diterbitkan. Namun demikian, upaya-upaya yang saat ini dilakukan baru serba sedikit dan tidak terkoordinasi.

Ada beberapa kemitraan multilateral dan bilateral antara negara maju dan lembaga MRV dalam tindakan awal negara-negara REDD+. Program UN-REDD dan para mitranya bekerja dengan sejumlah negara untuk membangun sistem MRV yang transparan. Kemitraan Australia di Indonesia merupakan salah satu contoh kerja sama bilateral. Kemitraan ini telah terkonsentrasi pada penilaian penggunaan lahan dan pendeteksian perubahan penggunaan lahan; masalah keterbatasan akibat faktor emisi baru mulai dibahas.

Sebagian besar negara berkembang memiliki lembaga penelitian kehutanan dan universitas dengan fakultas kehutanan. Perjanjian Cancún menetapkan pendekatan tiga-tahap untuk REDD+ dan, sebagai bagian dari pengembangan kapasitas di Fase 1 dan 2, personil terlatih akan perlu dikerahkan untuk memberikan kontribusi data dan pengetahuan yang diperlukan untuk memfasilitasi inventarisasi tingkat yang lebih tinggi. Selama Tahap 1, inventarisasi harus dilaksanakan dengan kombinasi pendekatan Tier 1 dan Tier 2 untuk aktivitas yang memenuhi kriteria kategori utama. Upaya investasi dan terkoordinasi akan dibutuhkan untuk mengatasi kendala

inventarisasi GRK faktor emisi yang terbatas. Dengan semakin banyaknya data yang dikumpulkan, estimasi Tier 1 yang harus dilakukan dalam kategori utama semakin sedikit. Banyak kemajuan yang dapat dicapai selama sepuluh tahun ke depan jika investasi terkoordinasi dan ditargetkan dibuat dalam peningkatan kapasitas dan mobilisasi. Sementara itu, kemitraan antara lembaga penelitian dan fakultas universitas yang bekerja di sektor kehutanan, pertanian, dan sistem pengelolaan lahan lainnya di negara tuan rumah REDD+, lembaga antarpemerintah berkapasitas teknis (misalnya, GEO, UNEP, CGIAR) dan lembaga penelitian terkemuka di negara maju harus dibentuk untuk memungkinkan koordinasi, saling melengkapi keterampilan teknis, dan peningkatan kapasitas. Kerja sama Selatan–Selatan dan jaringan teknis wilayah juga harus dikembangkan.