

Kajian Perolehan Karbon sebagai Dampak Intervensi *Value Carbon Gained as Intervention Impact*

Sri Rahaju *

*Departemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan IPB, Bogor

Abstract

This study was carried out as one part of comprehensive research project aimed to increase sustainable management of forests and peatlands in Indonesia in order to increase the carbon sequestration capacity and community incomes. The specific aim of the study was to calculate total value carbon gained as impact of various interventions in area of Ex-PLG Blok A, Mentangai, Central Kalimantan. Estimation on carbon stock was conducted by Sample Plot of Measurement (PCP). The interventions in this study was cannal blocking. The study showed that activity of cannal blocking resulted in a positive impact, indicated by the present of reduction carbon rate (both above and below ground carbon), as well as carbon content by tree plantation (43,451 ha). Based on result of calculation, the amount of obtained above ground carbon stock was 14,448 ton C. Carbon stock found in the tree plantation in surrounding the cannal was 0,777 ton C. Below ground carbon stock was ranged between 550,782 ton C to 2,223,424 ton C. Total above ground and below ground carbon stock were 2,541,222.78 ton C or equal to 9,317,816.85 ton CO₂.

Keywords: carbon sequestration, carbon stock, intervention, tree plantation, blockings

*Penulis untuk korespondensi, e-mail: lmgc-ipb@indo.net.id

Pendahuluan

Eks-proyek lahan gambut (PLG) Blok A Mentangai seluas 43.451,468 ha di Kalimantan Tengah merupakan salah satu lokasi kegiatan proyek *Climate Change, Forests and Peatlands in Indonesia* (CCFPI). Intervensi di areal eks-PLG Blok A Mentangai merupakan salah satu upaya penyelamatan lahan gambut di lokasi tersebut.

Penelitian ini merupakan bagian kecil dari proyek CCFPI. Dalam penelitian ini, intervensi yang dilakukan berupa penyekatan-penyekatan (*blockings*) beberapa saluran pada lokasi Blok A Mentangai sebanyak tujuh buah blok dengan maksud mencegah mengalirnya air gambut ke sungai melalui saluran-saluran yang terbengkalai. Setelah saluran diblok, diharapkan air di dalam tanah gambut (*ground water*) akan naik dan gambut menjadi tetap basah, tidak mudah terbakar, dan subsidensi dapat dikurangi. Dengan demikian, pada akhirnya karbon yang terdapat di dalam lahan gambut dapat dipertahankan.

Tulisan ini tidak membahas berbagai dampak yang ditimbulkan oleh intervensi. Tulisan ini juga tidak membahas bagaimana model simulasi hidrologi untuk kawasan eks-PLG Blok A Mentangai dibuat. Tulisan ini menitikberatkan kajian pada suatu indikator berupa nilai total perolehan karbon (*carbon gained*) sebagai dampak dari berbagai intervensi di lokasi kegiatan proyek CCFPI di wilayah eks-PLG Blok A Mentangai.

Metode

Penentuan deliniasi batas kegiatan (*boundary project*) untuk wilayah eks-PLG Blok A Mentangai menggunakan model simulasi hidrologi. Masukan data yang digunakan dalam simulasi tersebut adalah curah hujan, tinggi muka air tanah mingguan, dan tinggi muka air drainase mingguan dan harian. Luas kawasan kajian ini ditetapkan dari hasil model simulasi hidrologi yang mencerminkan luasan lahan gambut yang berhasil dinaikkan muka air tanahnya.

Penentuan petak pengambilan contoh. Data simpanan karbon atas permukaan (*above ground*) diperoleh melalui pengukuran petak contoh pengukuran (PCP) di lapangan. Ukuran PCP untuk masing-masing tipe penutupan lahan adalah sebagai berikut:

- 1 Tipe penutupan lahan oleh vegetasi hutan/pohon, ukuran PCP 20 m × 50 m (luas 0,1 ha).
- 2 Tipe penutupan lahan oleh vegetasi non pohon/non hutan ukuran PCP bervariasi sebagai berikut:
 - Belukar, ukuran PCP 10 m × 10 m
 - Semak, ukuran PCP 5 m × 5 m
 - Padang rumput, ukuran PCP 2 m × 2 m
 - Ladang, ukuran PCP 5 m × 5 m
 - Tanah kosong, ukuran PCP 2 m × 2 m

Perhitungan dugaan simpanan karbon atas permukaan. Besarnya simpanan karbon atas permukaan yang dihitung dibedakan atas tipe tutupan vegetasi hutan dan non hutan.

Penghitungan karbon pada tipe vegetasi hutan menggunakan persamaan alometrik berdasarkan Buku Panduan Petunjuk Lapangan Pendugaan Cadangan Karbon pada Lahan Gambut (Murdiyarto dkk. 2004) yaitu:

$$W = 0,19D^{2,37} \times BJ \quad [1]$$

dimana:

- W = biomassa pohon (kg)
- BJ = berat jenis kayu (g/cm^3)
- D = diameter pohon setinggi dada (cm)

Berat jenis (BJ) kayu rata-rata berkisar antara 0,53-0,71 g/cc , jika jenis pohon yang ditemui di lapangan tidak memiliki data BJ , maka nilai BJ diasumsikan sama dengan 1. Selanjutnya, cadangan atau simpanan karbon (C , dalam kg) diduga dengan mengalikan biomassa dengan faktor konversi (Murdiyarto dkk. 2004) sebagai berikut:

$$C = 0,5 W \quad [2]$$

dimana:

- C = cadangan/simpanan karbon (kg)
- W = biomassa pohon (kg)

Komunitas tumbuhan yang tergolong pada tipe penutupan vegetasi alami semak, belukar, padang rumput, dan vegetasi budidaya (non alami) tanaman karet dan ladang termasuk dalam kategori non hutan. Adapun penghitungan karbon pada tipe vegetasi non hutan ini menggunakan rumus berikut:

$$BKt = \frac{BKc}{BBc} \times BBt \quad [3]$$

dimana:

- BKt = biomassa kering total (kg)
- BBt = biomassa basah total (kg)
- BBc = biomassa basah contoh (kg)
- BKc = biomassa kering contoh (kg)

Penghitungan dugaan simpanan karbon bawah permukaan. Berdasarkan Petunjuk Lapangan Pendugaan

Cadangan Karbon pada Lahan Gambut (Murdiyarto dkk. 2004), penghitungan simpanan karbon bawah permukaan (*below ground carbon store*) didasarkan pada data bobot isi (*bulk density*) gambut, ketebalan gambut, luas areal gambut, dan kadar karbon. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$KC = B \times A \times D \times C \quad [4]$$

dimana:

- KC = simpanan karbon (ton)
- B = bobot isi (BD , *bulk density*) tanah gambut (gr/cc atau ton/m^3), nilainya 130-150 kg/m^3
- A = luas tanah gambut (m^2)
- D = ketebalan gambut (m) (ketebalan di wilayah kajian berkisar 1,1-4,0 m)
- C = kadar karbon (C-organik) (%), digunakan nilai rata-rata 50%

Hasil dan Pembahasan

Interpretasi citra, tipe penutupan, dan perubahan luas penutupan. Berdasarkan hasil simulasi model hidrologi, dampak penabatan (penyekatan) terhadap perubahan sistem hidrologi di eks-PLG Blok A Mentangai mencapai luasan 43.451,468 ha. Pada tahun 1990, berdasarkan intepretasi citra landsat, sebelum kawasan kajian di Blok A Mentangai dibuka sebagai situs proyek lahan gambut 1 juta hektar, sebagian besar dari kawasan ini berupa hutan rawa gambut rapat seluas 28.886,056 ha (66,5%), dan sisanya berupa hutan rawa gambut bekas tebangan seluas 13.603,012 ha (31,3%), belukar seluas 673,233 ha (1,5%), semak campuran seluas 133,792 ha (0,3%), semak paku-pakuan seluas 0,243 ha (0,06%), dan tanah terbuka bekas kebakaran seluas 94,936 ha (0,2%), serta danau/penampakan air seluas 60,206 ha (0,14%). Sejak tahun 2000, pada kawasan yang sama mulai terlihat adanya kecenderungan perubahan penutupan lahan dari hutan rawa gambut rapat menjadi hutan rawa gambut bekas tebangan, belukar, semak, dan tanah terbuka bekas kebakaran (Tabel 1).

Tabel 1 Luas penutupan lahan di wilayah kajian Blok A Mentangai pada berbagai tahun

Tipe penutupan lahan	Tahun			
	1990	2000	2003	2006*)
Hutan rawa gambut primer (ha)	28.886,056	16.539,645	16.461,938	16.461,938
Hutan rawa gambut bekas tebangan (ha)	13.603,012	20.705,009	19.977,218	19.943,568
Belukar (ha)	673,233	1.373,287	2.140,326	2.457,769
Semak paku-pakuan campur (bekas kebakaran) (ha)	133,792	1.091,017	1.467,837	1.466,816
Semak paku-pakuan (bekas kebakaran) (ha)	0,243	914,536	413,950	1.263,810
Tanah terbuka (bekas kebakaran) (ha)	94,936	2.767,777	2.930,002	1.797,371
Danau (ha)	60,197	60,197	30,197	60,197

*) Interpretasi citra landsat tahun 2005

Simpanan karbon atas permukaan hutan dan non hutan. Total simpanan karbon atas permukaan di wilayah kajian eks-PLG Blok A Mentangai tahun 1990 sebesar 2.068.451 ton C, tahun 2000 sebesar 1.635.947 ton C (terjadi penurunan 432.504 ton C), tahun 2003 sebesar 1.627.912 ton C (terjadi penurunan 8.035 ton C), tahun 2004 sebesar 1.625.232 ton C (terjadi penurunan 2,680 ton C), sedangkan tahun 2006 sebesar 1.637.000 ton C (terjadi kenaikan sebesar 11.768 ton C).

Dalam wilayah kajian, laju penurunan simpanan karbon terbesar terjadi pada periode 1990-2000, yaitu rata-rata 43.250 ton C/tahun, lalu berkurang pada periode 2000-2003/2004, yaitu rata-rata 2.680 ton C/tahun. Kondisi berbeda terjadi pada periode tahun 2004-2006 (selama 2 tahun) dimana terjadi peningkatan simpanan karbon rata-rata sebesar 5.884 ton C/tahun (Tabel 2).

Setelah dilakukan penabatan saluran-saluran di Blok A Mentangai pada tahun 2004 melalui pembangunan tujuh buah dam, simpanan karbon di lokasi kajian cenderung bertambah. Hal ini dapat terjadi karena adanya dampak akibat penabatan seperti dipertahankannya air di dalam saluran pada musim kemarau sehingga pengeringan air (*over-drainage*) di lahan gambut dapat dikurangi/dihambat, sistem hidrologi menjadi lebih baik sehingga lahan gambut tetap basah, dan kebakaran lahan dan hutan gambut dapat dicegah, dan tanah gambut menjadi basah sehingga memungkinkan suksesi vegetasi alami maupun kegiatan rehabilitasi tanaman berjalan lebih baik. Dengan kondisi ini, pada akhirnya dapat menyebabkan penambahan karbon atas permukaan selama periode tahun 2005-2006.

Kondisi ini tentu tidak akan terjadi, jika pada wilayah kajian tidak dilakukan penabatan saluran-saluran. Jika diasumsikan bahwa laju pengurangan karbon dari tahun 2005-2006 sama dengan laju pengurangan yang terjadi pada periode tahun 2000-2004 sebesar 2.678 ton/tahun maka perkiraan simpanan karbon atas permukaan pada akhir tahun 2006 mencapai 1.619.878 ton C. Namun demikian pada tahun 2006 jumlah karbon yang terukur sebesar 1.637.000 ton C sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan adanya tabat selama dua tahun (2004-2006), jumlah karbon atas permukaan tanah yang berhasil

diselamatkan/diamankan/diperoleh sebesar 17.122 ton C.

Pendugaan karbon atas permukaan untuk tanaman sekitar tabat. Selain dilakukan penabatan saluran-saluran di wilayah kajian, juga dilakukan penanaman bibit tanaman asli gambut (*indigenous peatland species*) di pinggir saluran yang ditabat. Jumlah total bibit yang ditanam sebesar 7.171, terdiri dari berbagai jenis tanaman pohon (hutan), yaitu 4.123 bibit jelutung (*Dyera lowii*), 1.702 bibit belangeran (*Shorea belangeran*), 521 bibit perupuk (*Lophopetalum* sp.), dan jenis-jenis tanaman pohon lainnya sebanyak 825 bibit.

Setelah dilakukan penghitungan kandungan karbon terhadap semua jenis vegetasi yang ditanam, total karbon yang diperoleh hingga tahun 2006 sebesar 777,53 kg atau sekitar 0,777 ton. Jumlah karbon yang diperoleh terbanyak sesuai dengan jumlah jenis tanaman yang ditanam, yaitu jelutung, belangeran, dan perupuk. Dalam pertumbuhannya terlihat bahwa semua jenis tanaman di atas tumbuh sangat lambat, pada umur 2-3 tahun tinggi anakan baru mencapai rata-rata >50 cm. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh tingkat kesuburan tanah gambut yang rendah.

Simpanan karbon bawah permukaan. Ketebalan gambut merupakan variabel yang sangat berpengaruh dalam proses penghitungan simpanan karbon bawah permukaan. Besarnya ketebalan gambut dipengaruhi oleh subsidensi (menurunnya muka air gambut), oksidasi (terbakar maupun turunnya muka air), dan tercuci/terbawa oleh aliran air. Akibatnya, dalam penentuan simpanan karbon bawah permukaan, semua faktor penyebab di atas harus diperhitungkan.

Pendekatan yang digunakan untuk mengetahui dampak penabatan terhadap perolehan karbon bawah permukaan di wilayah kajian berupa penghitungan perubahan simpanan/perolehan karbon bawah permukaan sebagai akibat terjadinya pengurangan nilai subsidensi dan penghitungan perubahan simpanan/perolehan karbon sebagai akibat tercucinya gambut akibat drainase, hilangnya lapisan gambut akibat kebakaran, dan pemampatan (*compaction*) gambut serta oksidasi dan reduksi.

Tabel 2 Simpanan karbon atas permukaan di areal eks-PLG Blok A Mentangai

Deskripsi	Total simpanan karbon atas permukaan (ton C)				
	1990	2000	2003	2004	2006*)
Total simpanan karbon	2.068.451	1.635.947	1.627.912	1.625.232	1.637.000
Total perubahan simpanan karbon		-432.504	-8.035	-2.680	+11.768
Laju perubahan simpanan karbon (ton C/tahun)		-43.250	-2.678	-2.680	+5.884

Perhitungan perubahan simpanan/perolehan karbon bawah permukaan sebagai akibat terjadinya pengurangan nilai subsidi. Berdasarkan hasil simulasi subsidi yang didasarkan pada simulasi perubahan tinggi muka air tanah di lokasi kajian dan data periode tahun 2004-2006, diketahui bahwa lahan gambut dengan skenario ditabat dan tidak ditabat mengalami laju subsidi yang berbeda-beda setiap tahunnya. Selama kurun waktu antara tahun 2004-2006, penabatan saluran-saluran melalui pembangunan tujuh buah dam telah menyebabkan nilai subsidi sebesar 3,53 cm/tahun, sedangkan jika tidak ada tabat nilai subsidi sebesar 4,33 cm/tahun (Tabel 3). Dengan demikian, keberadaan tabat/dam, selain telah mampu menaikkan muka air tanah, juga telah mampu mengurangi total subsidi di lokasi kajian sebesar 1,6 cm atau rata-rata 0,8 cm/tahun dalam kurun waktu 2004-2006. Ketebalan gambut di wilayah kajian berkisar 1,16-9,75 m dan 60% subsidi diasumsikan mengalami oksidasi.

Berdasarkan nilai-nilai subsidi kemudian dilakukan penghitungan perolehan besarnya karbon di wilayah kajian. Tabel 4 memperlihatkan bahwa jumlah karbon yang diperoleh (dapat dicegah untuk tidak teroksidasi) dari tahun 2004-2006 pada lokasi kajian bervariasi dan mengikuti pola subsidi sebagai akibat adanya penabatan saluran.

Estimasi besarnya karbon yang hilang karena adanya subsidi, berdasarkan skenario adanya penabatan dan tanpa penabatan disajikan pada Tabel 4. Jika saluran-saluran yang terdapat di lokasi kajian tidak diblok, maka selama periode tahun 2004-2006 akan diduga terjadi pelepasan karbon sebesar 1.680.293 ton C (atau setara 6.161.076 ton CO₂). Dengan adanya penabatan, jumlah karbon yang hilang dapat diturunkan menjadi 1.379.618 ton C (atau setara 5.058.598 ton CO₂). Hal ini menunjukkan bahwa penabatan saluran yang telah dilakukan selama periode 2004/05-2005/06, telah mampu mencegah lepasnya (teroksidasi) karbon sebesar 300.676 ton C (setara 1.102.479 ton CO₂).

Tabel 3 Nilai subsidi di lahan gambut pada wilayah kajian berdasarkan skenario penabatan dan tanpa penabatan

Tahun	Perkiraan subsidi (cm)	
	Dengan tabat	Tanpa tabat
2004-2005	3,60	4,40
2005-2006	3,45	4,25
Total 2004-2006	7,05	8,65
Rata-rata subsidi per tahun (cm)	3,53	4,33
Rata-rata pengurangan laju subsidi/tahun (cm)	0,8	

Tabel 4 Estimasi penurunan simpanan karbon dari tahun 2004-2006 berdasarkan skenario penabatan dan tanpa penabatan

Skenario	Jumlah C	2004-2005 (a)	2005-2006 (b)	Total (a + b)
Dengan tabat (x)	ton C	701.777	677.841	1.379.518
	ton CO ₂	2.573.182	2.485.416	5.058.598
	ton CO ₂ /ha	59	57	
Tanpa tabat (y)	ton C	854.535	825.759	1.680.293
	ton CO ₂	3.133.294	3.027.783	6.161.076
	ton CO ₂ /ha	72	70	
Karbon yang diselamatkan (x - y)	ton C	152.758	147.918	300.676
	ton CO ₂	560.112	542.367	1.102.479
	ton CO ₂ /ha	13	12	

Tabel 5 Simpanan karbon bawah permukaan dari berbagai jenis penutupan lahan di eks-PLG Blok A Mentangai

Deskripsi	Total simpanan terbon bawah permukaan (ton C)				
	1990	2000	2003	2004	2006
Total simpanan karbon	321.087.172	288.748.077	286.361.315	285.565.728	286.197.978
Total perubahan		-32.339.095	-2.386.762	-795.587	632.250
Laju perubahan		-3.233.910	-795.587	-795.587	316.125

Penghitungan perubahan simpanan/perolehan karbon sebagai akibat terucui dan hilangnya lapisan gambut akibat kebakaran. Berdasarkan cara ini, nilai karbon bawah permukaan akan dihitung melalui interpretasi penutupan lahan (*land cover*) pada citra landsat tahun 1990, 2000, 2003, dan 2005 yang dicek dari survei lapangan (*ground truthing*) pada tahun 2006. Hasil survei lapangan tahun 2006 menunjukkan teridentifikasinya enam jenis penutupan lahan, yaitu tanah terbuka, semak bekas kebakaran, semak campuran bekas kebakaran, belukar, hutan primer/hutan rapat, dan hutan bekas tebang.

Pada masing-masing jenis penutupan lahan di atas, antara tahun 1990-2006, telah mengalami penurunan ketebalan gambut sebesar 17 cm/tahun (tanah terbuka), 8 cm/tahun (semak bekas kebakaran), 5 cm/tahun (semak campuran bekas kebakaran), dan sebesar 2 cm/tahun (belukar). Berdasarkan hasil pengukuran di lapangan tinggi muka air gambut rata-rata 25 cm di hutan primer dan 50 cm di hutan bekas tebang, sehingga laju subsidensi berdasarkan rumus Wösten dkk. (1997) di hutan primer sebesar 1 cm/tahun dan di hutan bekas tebang sebesar 2 cm/tahun.

Laju-laju penurunan di atas diduga oleh adanya proses kimia (oksidasi dan reduksi) dan proses fisik berupa kehilangan C karena drainase, terbakar, dan pemampatan gambut. Dalam pendekatan ini, nilai subsidensi rata-rata sebesar 0,8 cm/tahun telah digunakan untuk mengurangi nilai ketebalan gambut rata-rata pada masing-masing penutupan lahan yang berbeda sehingga penghitungan nilai simpanan karbon bawah permukaan tidak termasuk nilai simpanan karbon yang diperoleh akibat berkurangnya subsidensi seperti diuraikan pada pendekatan pertama di atas.

Ringkasan hasil penghitungan simpanan karbon bawah permukaan dari berbagai jenis penutupan lahan dapat dilihat pada Tabel 5. Total simpanan karbon di bawah permukaan tanah di wilayah kajian eks-PLG Blok A Mentangai tahun 1990 sebesar 321.087.172 ton C, tahun 2000 sebesar 288.748.077 ton C (terjadi penurunan 32.339.095 ton C), tahun 2003 sebesar 286.361.315 ton C (terjadi penurunan 2.386.762 ton C), tahun 2004 sebesar 285.565.728,100 (terjadi penurunan 795.587 ton C), sedangkan tahun 2006 sebesar 286.197.978 ton C (terjadi kenaikan sebesar 632.250 ton C).

Jika pada wilayah kajian tidak dilakukan penyekatan saluran-saluran dan diasumsikan bahwa laju pengurangan karbon bawah permukaan dari tahun 2005-2006 sama dengan laju pengurangan pada periode 2000-2004 sebesar 795.587 ton/tahun maka perkiraan simpanan karbon bawah permukaan pada akhir tahun 2006 mencapai 283.974.554 ton C. Namun, pada tahun 2006 simpanan karbon bawah permukaan yang terukur sebesar 286.197.978 ton C. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa keberadaan tabat selama dua tahun (2004-2006), telah

menyelamatkan simpanan karbon bawah permukaan sebesar 2.223.424 ton C.

Berdasarkan kedua cara penghitungan di atas dapat dinyatakan bahwa selama dua tahun berlangsungnya penabatan di kawasan kajian Blok A Mentangai, jumlah karbon bawah permukaan yang dapat diamankan/diselamatkan adalah sebesar 300.676 ton C berdasarkan sisi berkurangnya subsidensi dan sebesar 2.223.424 ton C berdasarkan sisi non-subsidensi. Dengan demikian, jumlah total karbon bawah permukaan yang terselamatkan dari keduanya sebesar 2.524.100 ton C.

Kesimpulan

Kegiatan *blocking canals* yang telah dilakukan di wilayah kajian Blok A Mentangai pada tahun 2004-2006 dan kegiatan pemeliharaan blok, ternyata telah memberikan dampak positif terhadap perolehan karbon baik perolehan karbon di atas permukaan tanah, karbon di bawah permukaan tanah, maupun karbon hasil penanaman vegetasi di sekitar tabat.

Berdasarkan hasil penghitungan, sebagai akibat dari keberadaan tabat di lokasi kajian eks-PLG Blok A, Mentangai, dalam dua tahun terakhir (2004/05-2005/06), karbon di atas permukaan yang dapat diselamatkan sebesar 17.122 ton C. Jumlah karbon yang diperoleh dari penanaman di sekitar tabat sebesar 777,53 kg atau sekitar 0,777 ton C, dan total perolehan karbon di bawah permukaan sebesar 2.524.100 ton C. Dengan demikian, total perolehan karbonnya sebesar 2.541.222,78 ton C atau setara 9.317.816,85 ton CO₂.

Meningkatnya simpanan karbon dalam bentuk ketiga kategori tersebut diduga karena efektifnya penabatan yang menyebabkan terjadinya peningkatan muka air tanah gambut sehingga lahan gambut menjadi basah dan terhindar dari kebakaran, berkurangnya nilai subsidensi sampai dengan 0,8 cm/tahun, dan pertumbuhan tanaman rehabilitasi maupun yang tumbuh alami berlangsung dengan lebih baik.

Kegiatan proyek CCFPI telah berhasil membenahi tata air di lahan gambut agar tidak menjadi kering pada musim kemarau sehingga dapat dicegah adanya bahaya kebakaran. Hasil ini telah memberikan dampak positif kepada masyarakat dalam bentuk usaha pemanfaatan lahan gambut untuk pertanian. Selain itu, air di lahan gambut dapat digunakan untuk usaha budidaya perikanan oleh masyarakat.

Daftar Pustaka

- Murdiyarto, D., Rosalina, U., Hairiah, K., Muslihat, L., Suryadiputra, I.N.N., dan Jaya, A. 2004. Petunjuk Lapangan Pendugaan Cadangan Karbon pada Lahan Gambut. Proyek CCFPI, WI-IP dan Wildlife Habitat Canada, Bogor.
- Wösten, J.H.M., Ismail, A.B., van Wijk, A.L.M. 1997. Peat Subsidence and Its Practical Implication: A Case Study in Malaysia. *Geoderma* (78):25-36.