

Supiandi Sabiham

Desain Pengelolaan Lahan Gambut Untuk Mendukung Produktivitas Pertanian Berbasis Perkebunan

**Teladan Selama Lebih dari Empat
Dekade (1970 – 2015)**

Prof. Dr. Supiandi Sabiham

Guru Besar pada Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan,
Fakultas Pertanian, IPB

Jln. Meranti Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

Ketua Umum Himpunan Masyarakat Gambut Indonesia (HGI);
Email: ssupiandi@yahoo.com

Daftar Isi

1. PENGANTAR	4
2. ISTILAH GAMBUT	5
3. AWAL PEMANFAATAN LAHAN GAMBUT UNTUK PERTANIAN	5
4. PEMANFAATAN LAHAN GAMBUT DI INDONESIA: SUATU TANTANGAN	7
4.1. Persebaran Lahan Gambut di Indonesia	7
4.2. Karakteristik Lahan Gambut di Indonesia	8
4.3. Faktor-Faktor yang Perlu Diperhatikan Dalam Pemanfaatan Lahan Gambut	9
4.4. Pentingnya Tata Air untuk Pengelolaan Lahan Gambut	11
5. LESSON LEARNED PENGELOLAAN LAHAN GAMBUT: KEBERHASILAN DAN KEGAGALAN	12
5.1. Awal Pemanfaatan Lahan Gambut	12
5.2. Belajar dari Kearifan tradisional.	13
5.3. Memahami Karakteristik Gambut:	14
5.4. Bagaimana Memperlakukan Lahan Gambut yang Produktif?.	19
5.5. Kepentingan antar sektor.	19
6. DISAIN PENGELOLAAN LAHAN GAMBUT UNTUK MASA MENDATANG	22
6.1. Aspek Legal.	22
6.2. Aspek Praktis.	26
7. PENUTUP	32

1. Pengantar

Gambut merupakan salah satu tipe ekosistem lahan basah dengan sumberdaya hayati yang mempunyai potensi untuk dikembangkan guna mendukung sistem kehidupan (*life supporting system*). Pemanfaatan lahan gambut pada sektor pertanian, terutama pada sub-sektor perkebunan dan kehutanan, tumbuh dan berkembang dengan sangat cepat. Dalam pengembangan lahan gambut, di samping memperoleh keberhasilan yang cukup signifikan, tetapi juga tidak sedikit kegagalan yang diperoleh masyarakat. Pengembangan lahan gambut tidak terlepas dari kegiatan pengaturan tata air dan pengelolaan tanah yang harus dilakukan dengan sangat hati-hati. Lahan gambut sebagai media tumbuh harus selalu mempunyai kandungan air di atas batas kritis dan bahan gambutnya harus selalu dipertahankan di dalam keadaan stabil. Stabilitas gambut dapat terjadi apabila mempunyai tingkat dekomposisi saprik (gambut matang) serta bahan aktifnya berinteraksi dengan kation membentuk *organo-metal complex*. Endapan bahan mineral di bawah gambut, berupa pasir kuarsa dan/atau tanah sulfat masam, juga harus menjadi perhatian serius dalam pengelolaan lahan gambut. Demikian pula, emisi carbon (C) dari lahan berbahan organik tinggi telah menjadi isu penting. Di samping upaya peningkatan produksi, pengurangan emisi-C dari lahan gambut harus menjadi prioritas utama dalam pengelolaan lahan gambut ke depan.

2. Istilah Gambut

Di dalam dunia ilmu pengetahuan, terutama untuk bidang ilmu tanah, gambut dikenal dengan sebutan *Histosols* [Soil Survey Staff, 1999] atau yang populer disebut sebagai *peat* [Andriesse, 1988]. Penamaan gambut diambil dari nama Kecamatan Gambut, dekat Kota Banjarmasin, Kalimantan Selatan. Di kecamatan tersebut usaha pertanian pada lahan gambut dapat berhasil dengan baik untuk pertama kalinya, yaitu pada awal 1930an. Atas dasar itulah para ahli ilmu tanah di Indonesia sepakat untuk menggunakan istilah *peat* sebagai gambut.

3. Awal Pemanfaatan Lahan Gambut Untuk Pertanian

Gambut menjadi dikenal secara nasional antara lain karena peranan Proyek Pembukaan Persawahan Pasang Surut (P4S) yang dimulai pada tahun 1969. Sebagai pengelola P4S pada tingkat nasional saat itu adalah Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik (PUTL). Pemilihan daerah pasang surut untuk persawahan, selain karena telah banyak masyarakat pendatang yang berasal dari Sulawesi Selatan (suku Bugis) dan Kalimantan Selatan (suku Banjar) membuka daerah rawa tersebut di beberapa tempat di Sumatera dan Kalimantan, dan berhasil, tetapi juga didasarkan pada adanya energi pasang air

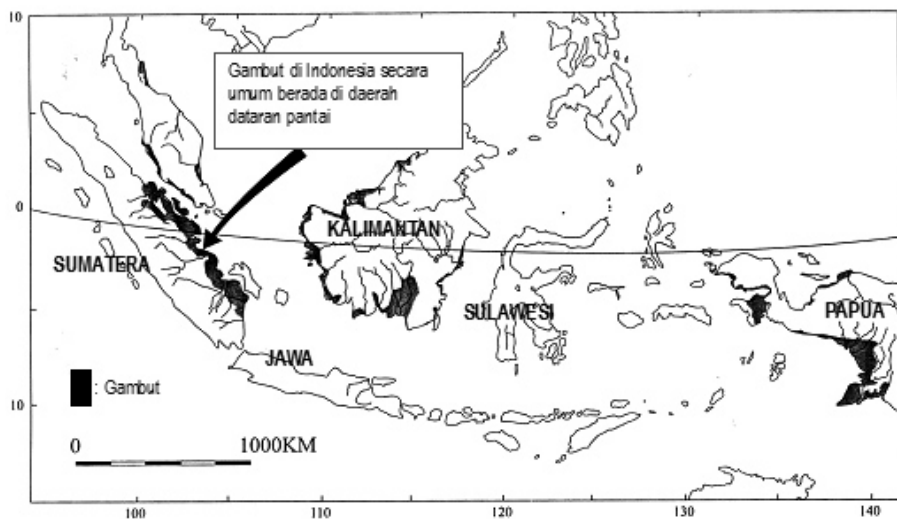
laut yang dapat dimanfaatkan untuk pengairan pada dataran pantai yang relatif datar. Selain itu, sebagai alasan utama kenapa diarahkan pada pembukaan lahan untuk persawahan adalah karena saat itu (pada akhir tahun 1960an) bangsa Indonesia dituntut untuk meningkatkan penyediaan pangan, terutama beras [Harahap, 1993].

Pada awal dimulainya P4S, informasi tentang jenis tanah dan potensi lainnya untuk pertanian yang ada pada lahan pasang surut belum terungkap secara rinci. Oleh karena itu, dalam kegiatan pengembangannya Departemen PUTL mengundang UGM, ITB, dan IPB untuk melakukan kajian/penelitian dan survei guna mengetahui kemampuan dan kesesuaian lahannya. Kegiatan survei dan pemetaan tanah dimulai pada tahun 1969/1970. Dalam kurun waktu tidak kurang dari 10 tahun ternyata hanya mampu melakukan pemetaan tanah sekitar 1,0 jt ha. Dari hasil survei diperoleh bahwa lahan yang dipetakan kenyataannya tidak hanya berupa lahan rawa pasang surut, tetapi juga termasuk lahan rawa yang hanya dipengaruhi air hujan/air tawar yang disebut sebagai rawa lebak. Informasi tentang penyebaran lahan gambut di dua lingkungan rawa tersebut serta permasalahan dan potensinya untuk pertanian menjadi terungkap secara jelas. Endapan gambut yang ditemukan pada saat survei dilakukan hampir seluruhnya ditutupi oleh hutan lebat yang kaya akan spesies pohon [Tim P4S-IPB 1975], di mana untuk beberapa spesies di antaranya mempunyai nilai ekonomi kayu yang tinggi.

4. Pemanfaatan Lahan Gambut di Indonesia: Suatu tantangan

4.1. Persebaran Lahan Gambut di Indonesia

Di Indonesia, gambut tersebar di pulau-pulau di sekitar Dataran Sunda yaitu di pantai timur Sumatera serta pantai barat dan selatan Kalimantan, dan di sekitar Dataran Sahul yaitu di pantai barat dan selatan Papua (Gambar 1). Endapan gambut di daerah-daerah tersebut menyebar sangat luas, mulai dari dataran pantai hingga jauh ke pedalaman dengan ekosistem yang berbeda.



Gambar 1. Distribusi endapan gambut di Indonesia, serta di Semenanjung Malaysia dan Serawak, serta Brunei [Furukawa, 2004]. (Hasil kompilasi Furukawa berdasarkan peta tanah FAO-UNESCO tahun 1979)

4.2. Karakteristik Lahan Gambut di Indonesia

Luas lahan gambut di Indonesia berkisar antara 16-17 juta ha [Polak, 1975; Andriesse, 1988]. Sebagian besar dari bahan gambut masih terlihat secara jelas bentuk asalnya, terutama yang berasal dari kayu dan daun. Hanya sebagian kecil saja berupa komponen tumbuhan sudah tidak lagi terlihat secara jelas bentuk tumbuhan asalnya. Namun demikian, apabila diamati secara lebih cermat ternyata bahan yang mendominasi gambut di Indonesia umumnya berasal dari kayu (*woody peat*). Sebagian dari proses akumulasi bahan gambut dipengaruhi proses “erosi-transportasi-deposisi” tanah mineral halus (*fine-textured weathering products*) berasal dari *Tertiary Facies* [Furukawa dan Sabiham, 1985]. Oleh karena itu, endapan gambut pada lapisan bawah atau yang tersebar di sekitar sungai, bahan gambutnya sering berada dalam keadaan tercampur dengan bahan mineral. Bahan campuran ini disebut sebagai *peaty clay* [Sabiham, 1988], dengan kandungan bahan organik sekitar 30 sampai 65%.

Kemampuan daya dukung lahan gambut banyak ditentukan oleh tingkat stabilitas bahan organiknya, yang mempunyai hubungan erat dengan mudah-tidaknya bahan gambut menjadi rusak. Sedikitnya ada tiga faktor yang menentukan tingkat stabilitas bahan organik, sebagai berikut [Sollins *et al.*, 1996]: (i) sifat inheren bahan organik, (ii) kemampuan bahan organik berinteraksi dengan liat (*clay*), terutama dengan unsur-unsur logam pada kompleks jerapan koloid liat, dan (iii) tempat bahan organik tersebut diakumulasikan. Faktor yang disebutkan terakhir berkaitan erat dengan masing-masing ekosistem rawa gambut. Sifat inheren bahan organik terutama ditentukan oleh peranan gugus fungsional, yaitu: $-COOH$, $-C=O$, $-C-OH$, dan fenol- $-OH$ sebagai bahan aktif dari koloid organik, serta oleh kandungan unsur hara dan derivat asam organik hasil proses dekomposisi bahan organik.

4.3 Faktor-Faktor yang Perlu Diperhatikan Dalam Pemanfaatan Lahan Gambut

Kekurangperhatian terhadap keragaman dan masalah daya dukung lahan gambut telah ditunjukkan oleh implementasi yang kurang tepat dalam pengembangan lahan. Misalnya di dalam pemilihan lahan gambut untuk pemukiman dan usaha pertanian yang kurang selektif, terlalu cepat lahan gambut digunakan (penggunaan lahan gambut dilakukan segera setelah pembukaan lahan) untuk berbagai kegiatan usaha sehingga proses pematangan bahan gambut kurang mendapat perhatian, serta pembuatan saluran yang terlalu lebar dan dalam¹⁾. Kesemua ini memberikan akibat kondisi gambut menjadi sangat cepat berubah dari keadaan anaerobik menjadi sebagian bersifat aerobik, sehingga sebagian dari bahan gambut mengering dan tidak mampu lagi menyerap air karena mengalami proses kering tidak-balik (*irreversible drying*). Bahan gambut menjadi seperti pasir (pasir semu atau *pseudosand*), dan menjadi kurang/tidak berfungsi lagi sebagai tanah karena terjadi perubahan sifat inheren dari bahan organiknya [Sabiham, 2000; Sabiham dan Riwandi, 2000]. Akibat lainnya dari keadaan aerobik tersebut adalah bahan organik yang terkarbonisasi menjadi meningkat, bahan gambut menjadi mudah tererosi baik oleh air maupun angin, dan proses pemadatan gambut menjadi sangat cepat. Hal ini mengakibatkan terjadinya penurunan permukaan tanah yang disebut subsiden (*subsidence*) menjadi semakin cepat pula. Pengukuran subsiden dapat dilakukan dengan menggunakan alat seperti terlihat dalam Gambar 2

Itulah sebabnya reklamasi lahan gambut sering dan selalu menjadi kontroversi tetapi sekaligus menjadi tantangan. Di masa lalu, masyarakat (terutama sebagian besar penduduk lokal), selalu menghindari penggunaan lahan gambut untuk pemukiman dan pertanian karena berbagai alasan. Alasan utama mereka adalah karena gambut bersifat sangat masam serta produktivitas tanahnya sangat rendah. Pada masa kolonial Belanda, pembuatan saluran untuk pengembangan

¹⁾ Terdiri dari saluran primer, sekunder dan tersier; ukuran saluran bervariasi tergantung dari kondisi tanah; secara umum ukuran untuk saluran primer 5,0 m lebar dan 2,5 m dalam, saluran sekunder 3,0 m lebar dan 1,5 sampai 2,0 m dalam, serta saluran tersier 2,0 m lebar dan 0,7 sampai 1,0 m dalam.



Gambar 2. Alat pengukur subsidensi

wilayah di sekitar lahan gambut pada prinsipnya hanya untuk memperbaiki sarana perhubungan daripada untuk pertanian. Penggunaan lahan gambut untuk pertanian sering dipandang Pemerintah Belanda sebagai yang tidak layak. Pons dan Driessen [1975] melaporkan bahwa gambut di Indonesia pada umumnya mempunyai tingkat kesesuaian yang sangat rendah untuk pertanian.

4.4. Pentingnya Tata Air untuk Pengelolaan Lahan Gambut

Stephens dan Speir [1969], berdasarkan hasil kajian mereka pada lahan gambut di Florida, menyimpulkan bahwa apabila pada lahan tersebut dibuat parit dengan ukuran yang sesuai untuk lahan gambut kemudian dipupuk dengan unsur hara makro & mikro secara tepat waktu dan sesuai dengan kebutuhan tanaman, lahan gambut akan menjadi bermanfaat untuk usaha pertanian. Saluran yang direncanakan dan yang dibuat harus mampu mempertahankan kondisi bahan gambut dalam keadaan tidak terlalu kekeringan dan tidak terlalu jenuh air. Artinya kadar air dalam bahan gambut harus selalu cukup (selalu di atas batas kritis). Tabel 1 menunjukkan batas kritis kadar air di dalam bahan gambut [Sabiham, 2000].

Tingkat dekomposisi	Gambut Jambi-Sumatera			Gambut Kalimantan Tengah		
	Marin	Payau	Air tawar	Marin	Payau	Air tawar
Fibrik	336,8 – 450,9	316,5 – 423,7	308,9 – 413,5	290,6 – 388,9	273,0 – 365,5	346,6 – 464,0
Hemik	165,5 – 221,6	245,0 – 327,9	318,3 – 426,5	202,7 – 271,4	178,0 – 238,3	191,7 – 256,6
Saprik	186,8 – 250,0	280,6 – 375,7	238,2 – 318,9	192,0 – 257,0	224,4 – 300,4	232,0 – 310,6

Tabel 1. Batas kritis kadar air (%) gambut Jambi, Sumatera dan Kalimantan Tengah

Catatan: Di bawah batas kritis, bahan gambut tidak mampu menyerap air kembali

5. *Lesson Learned* Pengelolaan Lahan Gambut: Keberhasilan dan Kegagalan

5.1 Awal Pemanfaatan Lahan Gambut

Pembukaan dan pengembangan lahan gambut untuk usaha pertanian pada awalnya lebih terkonsentrasi di daerah rawa pasang surut yang dimulai sejak tahun 1930an, terutama pada lahan gambut dengan ketebalan $\leq 1,0$ m (gambut tipis). Orang-orang yang banyak berperan dalam pengembangan lahan gambut saat itu adalah mereka yang berasal dari suku Bugis, Banjar, Jawa, serta sebagian kecil dari suku Melayu. Mereka datang ke daerah rawa pasang surut dengan tujuan mengusahakan lahan untuk pertanian berbasis padi sawah.

Belajar dari pengalaman masyarakat tersebut, pemerintah Belanda, berdasarkan laporan Polak [1949], membuka lahan gambut untuk perluasan lahan pertanian di Rawa Lakbok, Jawa Barat. Di Delta Pulau Petak, Kalimantan Selatan membuka Anjir (Saluran) Sarapat, Anjir Tamban dan Anjir Talaran. Disamping itu pemerintah Belanda pada awal kemerdekaan Republik Indonesia telah mencoba mempraktekkan sistem *polder* (sistem irigasi tertutup), yang dirancang dan dilaksanakan Dr. H.J. Schophuys di Hulu Sungai Utara, yang kemudian dikenal sebagai Polder Alabio. Semua yang dikerjakan telah memberikan hasil yang sangat signifikan terhadap peningkatan produksi pertanian saat itu.

Kemudian, dengan dilatarbelakangi kebutuhan dalam penyediaan pangan terutama beras yang terus meningkat, sejalan dengan perkembangan jumlah penduduk di satu pihak dan di pihak lain terbatasnya lahan yang tersedia di Pulau Jawa, maka Pemerintah Indonesia melalui P4S mulai membuka lahan rawa pada tahun 1969 untuk pengembangan pertanian, khususnya pertanian tanaman pangan, yang dikaitkan dengan program transmigrasi. Jumlah transmigran yang telah ditempatkan di berbagai lokasi selama periode 1969/1970 – 1999/2000 berjumlah 1.150.902 [Tirtosudarmo, 2004]. Namun, sejak awal tahun 1980-an, pihak swasta juga mulai diberi kesempatan membuka dan mengembangkan lahan gambut untuk perkebunan (antara lain perkebunan kelapa dan kelapa sawit), serta untuk Hutan Tanaman Industri (HTI).

5.2. Belajar dari Kearifan tradisional.

Masyarakat Banjar dan Bugis dalam mengelola lahan gambut untuk pertanian di pesisir Selatan dan Barat Kalimantan serta pesisir Timur Sumatera dimulai dari pemilihan lahan, cara pembuatan saluran, mengatur tata air, mengolah tanah, menanam, sampai dengan cara panen, dilakukan dengan cara-cara tradisional dalam sistem *handil*. Sistem *handil* dibangun dengan membuat saluran utama kurang lebih tegak lurus dengan sungai. Ukuran saluran utama relatif sempit dan dangkal, yaitu lebar 2,0 *depa* (1,0 *depa* = 1,4 m) dan kedalaman 0,5 – 1,0 *depa*. Saluran sekunder dibangun kurang lebih tegak lurus terhadap saluran utama dengan ukuran lebih kecil. Jarak antara saluran sekunder adalah sekitar 27,0 *depa*. Pada pertemuan saluran sekunder dengan saluran primer dipasang pintu air tradisional yang disebut sebagai *tabat*. Saluran-saluran inilah yang dipergunakan untuk membuang air masam dan mengatur muka air pada lahan sawah dalam sistem *handil*. Pada saat awal musim hujan *tabat-tabat* dibuka agar keasaman yang terbentuk dari oksidasi bahan sulfidik di lahan sawah secara berangsur-angsur tercuci. Pencucian dilakukan selama dua bulan secara terus menerus, dan setelah itu *tabat* ditutup untuk mengatur permukaan air pada lahan sawah, kemudian dilakukan penanaman.

5.3. Memahami Karakteristik Gambut:

5.3.1. Sifat inheren gambut.

Bahan gambut, yang komposisi kimianya banyak didominasi oleh bahan lignin [Sabiham, 1997], setelah mengalami proses biodegradasi akan mengalami perubahan menjadi asam-asam organik berupa senyawa fenolat dan derivat asam organik lainnya. Dari komposisi kimia yang lain, yaitu dari selulosa dan hemiselulosa, setelah mengalami proses dekomposisi akan mengalami perubahan menjadi asam-asam organik berupa senyawa karboksilat. Hampir seluruh mekanisme kimiawi yang terjadi dalam bahan gambut adalah karena kehadiran asam-asam organik tersebut, yaitu yang berlangsung pada tapak reaktif gugus fungsional, terutama -COOH (lihat Tabel 2), di samping gugus fungsional -OH -fenol dan -OH -alkohol.

Tingkat dekomposisi	Gambut Jambi-Sumatera			Gambut Kalimantan Tengah		
	Marin	Payau	Air tawar	Marin	Payau	Air tawar
Fibrik	0,51	0,48	0,35	0,51	0,39	0,39
Hemik	0,34	0,36	0,33	0,50	0,30	0,34
Saprik	0,33	0,40	0,29	0,50	0,30	0,306

Tabel 2. Kandungan fungsional grup -COOH (me g^{-1} bahan gambut)

Gugus fungsional tersebut sangat tidak stabil, tergantung pada keadaan reduksi-oksidasi (redoks) dan pH tanah. Dalam suasana oksidatif, gugus fungsional tersebut akan mengalami proses oksidasi dan dekarboksilasi membentuk C=O quinon yang kurang atau bahkan tidak reaktif dalam fungsinya sebagai tanah. Akibatnya, reaksi pertukaran kation menjadi tidak berjalan, bahkan kation tidak dapat terjerap sehingga mudah hilang karena pencucian. Ikatan kation dengan gugus fungsional ini terjadi karena gaya elektrostatik, reaksi khelat atau ikatan kompleks, dan koadsorpsi [Tan, 1993]. Selain itu, karena bahan gambut



Kanal SPU – Alue 4



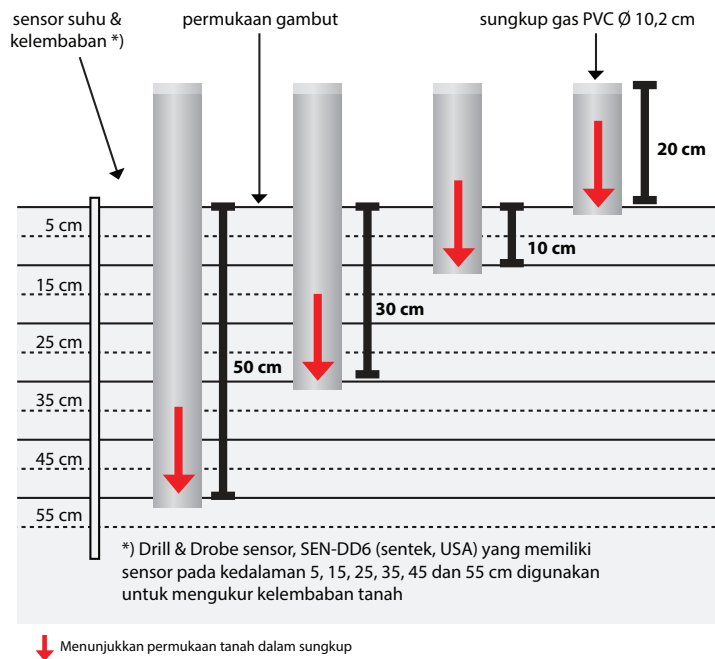
Kanal SPU – Alue 5

Gambar 3. Saluran utama pada *Mega Rice Project* (Projek PLG), Kalimantan Tengah
[Foto atas izin dari Wetland International, 2003]

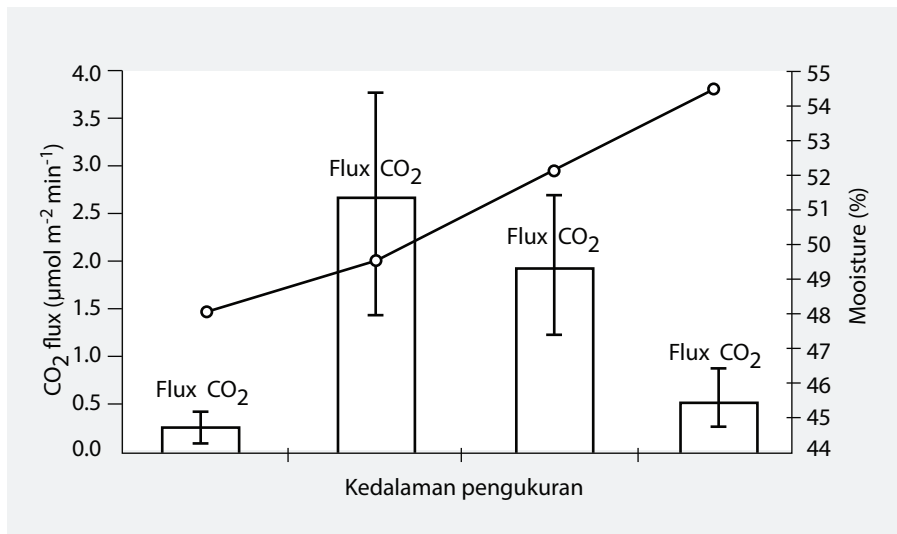
umumnya berasal dari ikatan CHO, secara genetika kestabilan bahan gambutnya menjadi rendah karena mudah terdekomposisi membentuk CO_2 , CH_4 , dan H_2O .

Berdasarkan uraian di atas, dapat dipahami bahwa karakteristik atau sifat inheren bahan gambut sangat berbeda dengan bahan tanah mineral. Perbedaan ciri serta sifat antara bahan gambut dengan tanah mineral ini menimbulkan banyak konsekuensi, baik di dalam tataran akademik maupun praktis. Selama ini pola pikir dalam memandang tanah gambut adalah sama dengan pola pikir dalam memandang tanah mineral. Hal ini dapat dilihat dari metode penyifatan (*characterization methods*) adalah sama bagi kedua jenis tanah tersebut. Misalnya, dalam penetapan ketersediaan unsur hara digunakan metoda yang sama. Akibatnya adalah hasil-hasil penetapan sifat-sifat gambut menjadi tidak realistis apabila dibandingkan dengan kondisi di lapangan. Demikian pula dalam memandang tingkat kestabilan bahan gambut tidak dapat dianggap sebagai sesuatu yang sama seperti tanah mineral. Bahan gambut adalah bersifat *meta-stabil*, sehingga mudah rusak karena proses dekomposisi. Hooijer *et al.* (2006) menyatakan bahwa pengaturan tata air (kedalaman drainase) berpengaruh terhadap proses dekomposisi dan laju subsidensi pada lahan gambut. Semakin rendah permukaan air tanah (*groundwater table*) akan menyebabkan meningkatnya laju subsidensi pada lahan gambut.

Kekeliruan dalam memandang ciri dan sifat gambut juga secara riil dapat terlihat di lapangan. Contoh, dalam *men-desain* pengembangan lahan gambut melalui penataan saluran yang bertujuan mengeluarkan air lebih, telah dibuat saluran dengan ukuran besar [Gambar 3]. Yang terjadi adalah pengurasan air yang berlebihan (*over drained*) disusul dengan berbagai kerusakan ekosistem yang *catastrophic* dan berkepanjangan. Seharusnya pemikiran dasar dalam membuat saluran adalah seberapa banyak air harus dipertahankan di dalam gambut agar bahan gambut tidak rusak dan dapat menunjang pertumbuhan tanaman.



Gambar 4a. Monitoring fluks CO₂ dari beberapa kedalaman gambut



Gambar 4b. Hubungan antara fluks CO₂ dengan kelembaban gambut pada beberapa kedalaman gambut

5.3.2. Hubungan Muka Air Tanah dan Emisi CO₂

Hasil penelitian Handayani [2009] pada perkebunan sawit di Meulaboh menunjukkan bahwa kedalaman muka air tanah berpengaruh terhadap fluks CO₂; gambut di dalam keadaan aerob terlihat bahwa semakin dalam muka air tanah (sampai dengan kedalaman muka air tanah tertentu) fluks CO₂ semakin meningkat, sedangkan dalam keadaan anaerob fluks CO₂ sangat rendah. Namun demikian dari hasil penelitian Tim HGI-GAPKI [Sabiham *et al*, 2015] menunjukkan bahwa fluks CO₂ tidak bersifat linier karena ada pengaruh kelembaban gambut yang mampu menurunkan fluks tersebut (Gambar 4b). Ini membuktikan bahwa lahan gambut merupakan salah satu tipologi ekosistem rawa yang berperan penting di dalam siklus karbon global, dan saat ini menjadi perhatian serius bagi *The United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC). Di dunia lahan gambut menyimpan C rata-rata sekitar 2000–3500 t C ha⁻¹ dengan laju penyerapan sebesar 0,01–0,03 Gt C tahun⁻¹ [Agus *et al.*, 2010; Maltby dan Immirzi, 1996].

5.4. Bagaimana Memperlakukan Lahan Gambut yang Produktif?.

Karena banyaknya kekeliruan dalam implementasi pengembangan lahan gambut, tidak sedikit lahan gambut yang kurang/tidak berkembang (*mal-developed*) walaupun sudah dibuka cukup lama. Diperkirakan lebih dari 3 jt ha dari 5 jt ha lahan gambut di Indonesia yang telah dibuka merupakan lahan tidak berkembang [Sabiham, 2006].

Sebenarnya, dengan memperlakukan hutan rawa gambut secara baik dan benar sesuai dengan kemampuan/daya dukung lahan gambutnya, maka hasil yang diperoleh telah terbukti menjadi lebih baik. Contohnya, dalam pengembangan perkebunan (terutama perkebunan kelapa sawit) di beberapa tempat di pantai Timur Sumatera, serta pantai barat dan selatan Kalimantan, dengan pengelolaan yang tepat, telah memberikan hasil memuaskan (produksi rata-rata dapat mencapai $>18 \text{ t TBS ha}^{-1}$, walaupun produksi yang dihasilkan tersebut masih lebih rendah bila dibandingkan dengan di Sarawak, Malaysia yang dapat mencapai hingga pada kisaran antara $24 - 28 \text{ t TBS ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$. Selama pengelolaan lahan/tanah di lapangan, saluran-saluran primer dibuat dengan ukuran yang sesuai dengan kebutuhan, yang digunakan untuk memasukkan *fresh water* (supply) dan mengeluarkan air lebih (drainase). Permukaan air tanah di petakan (pada kisaran $\geq 40 \text{ cm}$ pada musim hujan sampai $\geq 80 \text{ cm}$ pada musim kemarau) dan di saluran terus dijaga ketat dengan membuat pintu air dan bangunan limpasan air; saluran sekunder (*collection drain*) dan primer (*main drain*) yang dibangun hanya untuk mengontrol muka air gambut di lapangan. Demikian pula pemberian unsur hara makro-mikro sesuai kebutuhan untuk pertumbuhan kelapa sawit, dilakukan dengan prosedur yang baik dan benar.

5.5. Kepentingan antar sektor.

Terkait dengan pengembangan lahan gambut, Sabiham [2006] telah menguraikan secara jelas tentang bentuk kepentingan sektor yang sangat kuat yaitu sejak

dimulainya P4S pada tahun 1969 hingga pelaksanaan ISDP (*Integrated Swamp Development Project*) selama periode tahun 1995 – 2000. Demikian pula, dengan adanya keanekaragaman hutan rawa gambut, maka dalam empat dekade terakhir ini lahan tersebut telah menjadi tempat tarik-menarik antar kepentingan berbagai sektor; bahkan di dalam sektor pertanian pun (pengertian pertanian dalam arti luas) telah terjadi pula tarik-menarik antar kepentingan sub-sektor, misalnya sub-sektor kehutanan, perkebunan, dan tanaman pangan.

Pembukaan hutan rawa gambut pada dasarnya tidak/bukan hanya untuk kepentingan pengembangan pertanian, tetapi yang menjadi daya tarik utamanya adalah potensi hutannya yang sangat besar. Sebagai contoh, hasil penelitian Istomo [2002] di wilayah kerja HPH PT. Diamond Raya Timber menunjukkan bahwa volume tegakan total semua jenis pohon pada hutan yang belum ditebang adalah $286 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Volume kayu jenis komersial dengan diameter $\geq 40 \text{ cm}$ adalah $106 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Volume rata-rata jenis kayu komersial per pohon adalah $2,46 \text{ m}^3$. Jenis pohon yang mempunyai nilai komersial tinggi adalah ramin (*Gonystylus bancanus*, 16,8%), meranti (*Shorea* spp., 35,2%) dan sunkai (*Palaquium* spp., 22,5%). Pengembangan untuk pertanian dan perkebunan umumnya pada lahan gambut setelah hutan dibuka [ur Rehman *et al.*, 2015].

Dampak dari kekeliruan yang paling dirasakan dalam lingkungan sosial masyarakat dari pengembangan lahan gambut di Indonesia sebagai akibat kuatnya kepentingan antar sektor/sub-sektor adalah kegiatan megaprojek PLG di Kalimantan Tengah. Berdasarkan penelitian awal (survey) sebelum dibuka, jenis tanah pada lahan ex-PLG tidak semuanya gambut [van Wijk, 1951; Sabiham, 2004; Tim Institut Pertanian Bogor, 1996], sebagian merupakan tanah mineral terutama pada wilayah bagian selatan dan wilayah pinggir sungai (*levee area*) seperti terlihat dalam Tabel 3. Berdasarkan hasil studi exPLG tahun 2003 [Puslittanak, 2000] menunjukkan adanya lahan yang telah mengalami perkembangan dan yang tidak berkembang. Lahan yang mengalami perkembangan ditunjukkan oleh adanya kegiatan pertanian yang dilaksanakan masyarakat transmigran, meskipun dengan produksi yang rendah, sementara lahan yang tidak/belum

mengalami perkembangan ditunjukkan oleh lahan yang ditinggalkan masyarakat pendatang. Penyebab ditinggalkannya lahan-lahan tersebut adalah karena: (i) di bawah endapan gambut berupa bahan tanah mineral yang mengandung bahan sulfidik yang teroksidasi oleh karena penurunan permukaan air tanah berlebihan (*over drained*) sehingga menghasilkan tanah gambut yang bersifat sangat masam, (ii) kerusakan bahan gambut karena teroksidasi dan/atau terlimpasi oleh air masam dari tempat lain, dan (iii) produktivitas gambut yang rendah karena miskin unsur hara (gambut ombrogen).

Tabel 3. Luasan lahan gambut di exPLG Kalimantan Tengah

Zona Pengembangan	Tanah mineral	Gambut			Pasir kuarsa
		40 – 130 cm	130 – 300 cm	>300 cm	
A	137.000	52.800	30.000	55.700	-
B	43.495	13.025	13.845	86.015	-
C	137.750	97.200	26.900	238.100	2.200
D	83.705	15.015	-	-	-
E	64.250	21.300	212.700	56.500	69.600
Total	466.200	199.340	283.445	436.315	71.800

Pembelajaran yang diperoleh dari pengalaman penggunaan lahan gambut untuk kegiatan pertanian (pertanian dalam arti luas) seperti telah diuraikan di atas adalah:

- 1) Pengelolaan lahan harus dilakukan dengan memperhatikan ekosistem lahan gambut.
- 2) Saluran drainase pada lahan gambut harus diatur dengan sangat ketat agar mampu mempertahankan muka air, termasuk muka air tanah yang sesuai dengan kebutuhan ruang perakaran tanaman.

6. Disain Pengelolaan Lahan Gambut untuk Masa Mendatang

Terkait dengan penggunaan gambut untuk pertanian, hingga saat ini ada tiga kategori lahan gambut yang dapat disampaikan di sini, yaitu: (i) lahan gambut telah dibuka dan telah ditanami, (ii) lahan gambut telah dibuka tetapi belum ditanami, dan (iii) lahan gambut yang belum dibuka (berupa hutan yang sudah terganggu/*disturbed forests*). Berdasarkan ketebalan bahan gambutnya, untuk tiga kategori tersebut terdiri dari gambut <3m dan >3m. Mengingat akhir-akhir ini pengembangan lahan gambut lebih diarahkan pada usaha perkebunan, maka desain pengelolaannya difokuskan pada upaya untuk mendukung usaha tersebut dikaitkan dengan aspek legal dan aspek praktis.

6.1. Aspek legal.

Pengembangan lahan gambut Indonesia di masa depan diusulkan untuk mencermati aspek legal terlebih dahulu, yaitu: (i) aspek legal yang mendukung pengelolaan lahan gambut (dalam kaitannya dengan aspek budidaya), dan (ii) aspek legal terkait dengan penataan ruang berdasarkan satuan sistem hidrologi gambut sebagai wilayah fungsional ekosistem gambut yang didasarkan pada luas lahan gambut secara keseluruhan. Terkait dengan pengelolaan lahan gambut, dalam ps. 10, Keputusan Presiden (Keppres) Republik Indonesia No. 32 Tahun

1990 tentang Pengelolaan Kawasan Lindung, menyebutkan bahwa “Kriteria kawasan bergambut adalah tanah bergambut dengan ketebalan 3,0 m atau lebih yang terdapat di bagian hulu sungai dan rawa”. Namun demikian, aturan yang membatasi pada kriteria ketebalan gambut $\geq 3,0$ m kemudian kawasan gambut tersebut harus dijadikan hutan lindung kiranya masih kurang lengkap. Sebab, di dalam aturan itu tidak dinyatakan secara spesifik bagian rawa yang mana dari lahan gambut tebal tersebut harus dijadikan daerah konservasi, apakah bagian dari kubah gambut saja ataupun semua gambut dengan ketebalan $\geq 3,0$ m. Ada beberapa daerah dengan gambut tebal yang sampai saat ini masih digunakan sebagai kawasan budidaya. Contohnya, lahan gambut yang ada di sekitar Tembilahan, Kuala Enok, dan Pulau Kijang, Propinsi Riau, telah dikembangkan menjadi kebun kelapa sejak tahun 1930-an (lihat Gambar 5a).



Gambar 5a. Kebun Kelapa di lahan gambut yang diusahakan masyarakat lokal (Foto Tahun 1985)

Kondisi saat ini, kebun tersebut masih tetap memproduksi. Ketebalan gambut di kawasan ini hingga sekarang masih sekitar 4,0 m, tetapi **bukan merupakan kubah gambut**. Selain itu, hingga saat ini puluhan ribu hektar lahan gambut tebal sedang diusahakan untuk perkebunan, baik itu perkebunan kelapa sawit ataupun HTI (lihat Gambar 5b).



Gambar 5b. Kebun sawit di lahan gambut di Riau dengan pengelolaan air yang baik
(Foto Tahun 2013)

Sebenarnya di dalam menetapkan kawasan bergambut sebagai kawasan lindung tidak hanya ditentukan oleh ketebalan gambut saja. Faktor lain yang menentukan adalah juga bahan tanah mineral yang berada di bawah gambut. Walaupun gambutnya tipis (misalnya ketebalan gambut <3,0 m), tetapi kalau di bawah gambut itu adalah pasir kuarsa, seperti banyak ditemukan di Kalimantan

Tengah, maka endapan gambut seperti ini sebaiknya tidak masuk sebagai kawasan budidaya. Hal ini disebabkan potensi dari endapan gambut tersebut, baik untuk usaha pertanian maupun untuk kegiatan usaha lainnya, sangat rendah.

Pusat kubah gambut merupakan endapan gambut yang paling kritis, karena volume air yang berada di bawah gambut (pusat kubah) sangat tinggi. Kalau pusat kubah ini terganggu oleh pembuatan saluran dan pembukaan hutan, maka air yang berada di bawah gambut akan dengan cepat keluar, dan gambut dengan cepat pula teroksidasi/terdekomposisi, sehingga pusat kubah gambut menjadi cekung yang akhirnya daerah tersebut akan menjadi tergenang. Jadi sebenarnya yang harus dikonservasi menjadi kawasan lindung adalah endapan gambut yang berada di pusat kubah. Namun demikian, yang masih menjadi kesulitan adalah dalam menentukan batas yang tepat areal pusat kubah gambut; ini sangat tergantung dari bentuk permukaan bahan tanah mineral di bawah gambut.

Terkait dengan kelembagaan formal, perlu ada kajian khusus untuk mengembangkan lahan gambut secara dinamis berdasarkan wilayah fungsional ekosistem lahan gambut. Sebab banyak dijumpai pada suatu hamparan gambut dengan wilayah fungsional ekosistem yang sama berada pada batas administrasi yang berbeda. Dalam sistem penataan ruang saat ini di Indonesia, seperti tercermin dalam UU No.24/1992 tentang Penataan Ruang yang kemudian disempurnakan dalam UU No. 26/2007 tentang Penataan Ruang yang baru, cenderung masih bersifat bias administratif, dan masih adanya benturan dengan peraturan yang dibuat oleh Pemerintah Daerah. Dengan demikian penataan ruang yang berbasis pada keseimbangan antara kepentingan ekonomi, sosial dan ekologi, dengan didasarkan pada pendekatan wilayah fungsional ekosistem gambut yang berskala makro dan mikro dengan memperhatikan unsur-unsur kekayaan keanekaragaman sumberdaya hayati *in-situ*, menjadi sangat diperlukan.

Salah satu unsur penting dalam penataan ruang wilayah fungsional ekosistem gambut, adalah desain spasial struktur jaringan drainase. Belajar dari

pengalaman sebelumnya, sistem jaringan drainase harus didesain berdasarkan pada azas kehati-hatian dengan memperhatikan karakteristik ekosistem gambut. Pengembangan sistem drainase pola grid (sistem terbuka) sering mendatangkan bencana banjir di musim hujan dan kekeringan pada musim kemarau. Struktur jaringan drainase harus didesain sedemikian rupa agar meminimalkan akses interaksi manusia secara langsung ke kawasan-kawasan yang harus dilindungi.

6.2. Aspek praktis.

Untuk lahan gambut yang telah dibuka dan ditanami perlu pengelolaan sebagai berikut:

1. *Pengelolaan air pada lahan gambut.* Pengembangan lahan gambut untuk pertanian tidak terlepas dari kegiatan pengaturan air karena bahan gambut umumnya diendapkan pada daerah tergenang dalam jangka waktu lama. Pengaturan air melalui pembuatan saluran drainase dan pemberi pada lahan gambut harus dilakukan dengan sangat hati-hati karena pengeringan yang berlebihan akan menyebabkan gambut menjadi kering sehingga dapat mendorong terjadinya kebakaran hutan. Oleh karena itu pembuatan saluran drainase, yang sekaligus berfungsi sebagai saluran pemberi, perlu mempertimbangkan kedalaman, lebar saluran, dan pengaturan air dengan pintu air. Saluran tidak boleh terlalu dalam dan terlalu lebar supaya tidak terjadi *over drainage*. Pada dasarnya gambut tidak boleh tergenang di dalam jangka waktu lama untuk mendukung pertumbuhan tanaman, namun juga tidak boleh terlalu kering agar gambut tidak menjadi kering tidak-balik membentuk pasir semu. Oleh karena itu pada titik-titik tertentu saluran drainase perlu dibuat pintu air yang dapat dibuka dan ditutup kapan saja sesuai dengan keperluan, sehingga mampu mengatur muka air tanah di lahan pertanaman berkisar antara 40 cm hingga ≥ 80 cm. Cara pengukuran tinggi muka air tanah dapat dilakukan dengan menggunakan alat *piezometer* seperti terlihat dalam Gambar 6. Pada kisaran permukaan air tanah tersebut



Gambar 6. Alat pengukur tinggi muka air tanah (piezometer)



Gambar 7 . kedalaman muka air tanah

Kadar Air (KA) - 12 thn
pembukaan (pengambilan
sampel 3 september 2015

Kedalaman contoh**] (cm)	%KA tdk ada <i>understory</i> <i>cover crops</i>	%KA di bawah <i>understory</i> <i>cover crops</i>
0 – 20	331	442
20 – 40	521	689
40 – 60	485	654

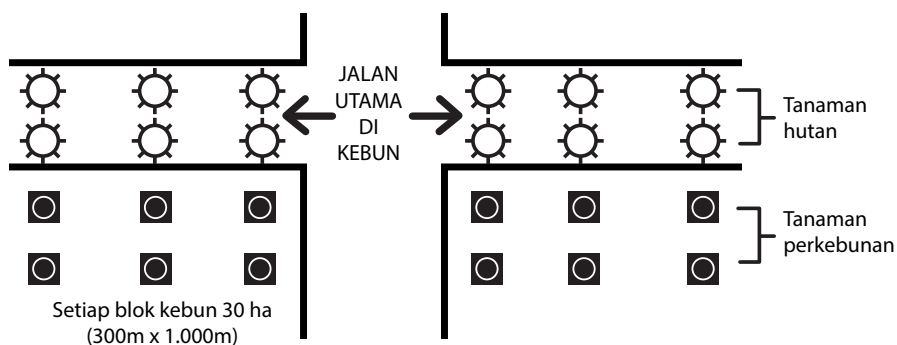
diharapkan air tanahnya di samping selalu berada pada jangkauan akar tanaman (sesuai dengan umur tanaman yang dibudidayakan), tetapi juga kelembaban tanah di bagian permukaan dapat mempertahankan gambut tidak menjadi kekeringan (tetap stabil). Gambar 7 yang diambil di suatu perkebunan kelapa sawit pada musim kemarau 2015 menunjukkan bahwa pada kedalaman muka air sekitar 80 cm dari permukaan, kandungan air pada lapisan 0-20, 20-40 dan 40-60 masih tinggi yaitu $>300\%$ (w/w), yang umumnya berada di atas kadar air batas kritis.

2. *Bahan tanah mineral di bawah endapan gambut.* Bahan ini merupakan parameter yang kurang banyak diperhitungkan, baik dalam sistem Taksonomi Tanah yang dikembangkan oleh USDA maupun dalam system evaluasi lahan yang dikembangkan FAO [FAO, 2006]. Berdasarkan pengalaman selama pengembangan lahan rawa dapat dikemukakan bahwa hampir semua lahan gambut yang bermasalah selalu berhubungan dengan bahan tanah mineral yang berada di bawahnya. Berubahnya tingkat kemasaman tanah pada lahan gambut yang berkembang pada lingkungan marin atau payau menjadi sangat masam adalah sebagai akibat teroksidasinya bahan mineral pirit yang berada dalam bahan endapan *mangrove*. Demikian pula, yang terkait dengan tingkat kesuburan tanahnya berhubungan sangat erat dengan tanah mineral di bawah gambut. Endapan gambut yang berkembang di atas pasir kuarsa, seperti banyak ditemukan di Kalimantan Tengah, mempunyai tingkat kesuburan yang sangat rendah, dan hutan yang berkembang di lahan gambut demikian umumnya miskin akan jenis tumbuhan pohon, dan keadaan hutannya bersifat sangat spesifik yang oleh Andriesse [1988] disebut sebagai hutan kerangas. Kedua kondisi demikian itu akan sangat berpengaruh pada pertumbuhan tanaman budidaya apabila gambutnya tipis ($<1,0$ m).
3. *Pemberian bahan amelioran gambut.* Bahan gambut umumnya mengandung

kurang dari 5% fraksi anorganik sedangkan selebihnya (>95%) adalah fraksi organik. Fraksi organik sebagian besar terdiri dari senyawa-senyawa non-humat, sedangkan senyawa humat hanya sekitar 10 hingga 20% [Driessen, 1978]. Senyawa non-humat tersebut di antaranya meliputi senyawa lignin, selulosa, hemiselulosa, lilin, tanin, resin, suberin, dan sejumlah kecil protein. Senyawa humat terdiri dari asam humat, himatomelanat, dan humin (Stevenson, 1982; Tan, 1993). Mengingat tingginya fraksi organik dalam gambut, maka gambut merupakan tanah yang mudah rusak, atau dengan kata lain mempunyai stabilitas yang rendah. Mempertahankan kadar air di dalam bahan gambut pada keadaan jenuh air, atau minimal pada keadaan kadar air di atas batas kritis, merupakan salah satu cara untuk mempertahankan kestabilan bahan gambut. Konsep dasarnya adalah proses oksidasi bahan organik harus dihambat menjadi sekecil mungkin. Akan tetapi upaya ini belum optimal apabila tidak dilakukan secara sinergi dengan upaya lainnya yang mampu menekan terjadinya proses disintegrasi bahan organik. Pembentukan senyawa kompleks, yaitu suatu reaksi antara ion logam polivalen dengan ligan melalui ikatan pasangan elektron, adalah cara perbaikan untuk meningkatkan stabilitas bahan organik dalam gambut. Asam organik mampu mengikat ion-ion logam transisi, seperti Al, Fe, Cu, Zn, dan Mn membentuk ikatan kovalen yang cukup kuat (khelat). Hasil penelitian bersama [Mario dan Sabiham, 2002] menunjukkan bahwa dengan pemberian bahan tanah mineral yang diperkaya bahan yang mengandung Fe^{3+} tinggi (seperti terak baja), dengan dosis 5% erapan maksimum Fe^{3+} , mampu meningkatkan produksi padi dengan sangat nyata dan stabilitas gambut dengan memperkecil rata-rata kehilangan karbon (C) per tahun sebesar 28% ($0,597 \text{ ton C ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$) pada gambut air tawar, 30% ($0,609 \text{ ton C ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$) pada gambut air payau, 31% ($0,628 \text{ ton C ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$) pada gambut marin.

4. *Perbaikan lingkungan mikro di areal perkebunan.* Upaya ini dapat dilakukan

melalui pengembangan seperti penulis telah sering sebutkan sebagai “hutan kebun”, yaitu dengan menanam tanaman pepohonan **disepanjang jalan perkebunan** seperti terlihat dalam Gambar 8. Walaupun belum ada informasi/data yang secara detail mengenai pengaruhnya terhadap lingkungan mikro, tetapi berdasarkan pengalaman dalam pengembangan “hutan kota” telah memberikan suasana nyaman bagi masyarakat yang tinggal di kota tersebut.



Gambar 8. Penanaman tanaman pepohonan) di areal perkebunan
(Gambar sebagai contoh untuk Perkebunan Kelapa Sawit)

Untuk lahan gambut yang telah dibuka akan tetapi belum ditanami, pengelolaannya diusulkan sebagai berikut:

Apabila dibawah endapan gambut tidak dijumpai tanah mineral bermasalah, maka dapat dilanjutkan penanaman dengan mengupayakan kegiatan seperti pada lahan gambut yang telah dibuka dan telah ditanami tersebut di atas, namun apabila dijumpai tanah mineral bermasalah pada lahan gambut tipis (<1,0 m)

maka lahan gambut tersebut perlu dikonservasi .

Untuk lahan gambut yang belum dibuka (umumnya sejak awal penyerahan HGU, hutan sudah terganggu), pengelolaannya diusulkan sebagai berikut:

1. *Ketebalan gambut <3 m.* Hutan dengan bahan substratum (tanah mineral di bawah gambut tidak bermasalah) diusulkan dapat dibuka dan dikembangkan.
2. *Ketebalan gambut >3m.*
Lahan gambut demikian diusulkan untuk dikonservasi.

7. Penutup

Keberhasilan di dalam pengelolaan lahan/tanah, termasuk untuk lahan gambut, tidak terlepas dari faktor manusianya yang mengelola lahan tersebut. Namun, pada dasarnya semua pihak memahami bahwa masalah kesejahteraan masyarakat harus menjadi perhatian yang paling utama, baik untuk masa kini maupun mendatang. Oleh karena itu, mengharmoniskan antara upaya meningkatkan produksi dalam rangka peningkatan kesejahteraan masyarakat dengan mempertahankan kualitas lingkungan menjadi sangat penting. Uraian mengenai desain pengelolaan lahan gambut berdasarkan teladan selama empat dekade terakhir ini pada dasarnya ingin menjembatani antara dua kepentingan: kesejahteraan dan lingkungan, yang dalam pelaksanaannya mengacu pada *“Community-based Development”*.

Untuk menjadi teladan bagi semua lapisan masyarakat, mari kita renungkan bersama bahwa **“nun jauh di sana, juga di sekitar kita sekarang, masih banyak masyarakat yang mengharapkan bantuan untuk meningkatkan kesejahteraan mereka baik untuk saat ini maupun untuk masa mendatang.**



Gambar 9. Penggunaan saluran di perkebunan kelapa sawit untuk transportasi, selain fungsi utamanya dalam pengelolaan air.

Referensi

- Agus et al. 2010.** Carbon budget and management strategies for conserving carbon in peatland: cash study in Kubu Raya and Pontianak Districts, West Kalimantan, Indonesia. pp. 217-233. In Proceedings of Int'l Workshop on Evaluation and Sustainable Management of Soil Carbon Sequestration in Asian Countries. Bogor-Indonesia, September 28-29, 2010.
- Andriesse, J.P. 1988.** Nature and management of tropical peat soils. FAO Soils Bull. 59, Rome. 165 p.
- Driessen, P.M. 1978.** Peat soils. *In*, Soil and Rice. IRRI, pp. 763-779. IRRI Los Banos.
- FAO. 2006.** Lecture notes on the major soils of the world. [Http://www.fao.org/DOCREP/003/y1899E/41899204.htm](http://www.fao.org/DOCREP/003/y1899E/41899204.htm)
- Furukawa, H. 2004.** The ecological destruction of coastal peat wetlands in Insular Southeast Asia. pp. 31-72. *In*, Furukawa, H. *et al.* (eds.) Ecological Destruction, Health, and Development: Advancing Asian Paradigms. Kyoto University Press and Trans Pacific Press. Australia.
- Furukawa, H. and S. Sabiham. 1985.** Agriculture landscape in the lower Batang Hari, Sumatra. I: Stratigraphy and geomorphology of coastal swampylands (in Japanese). *Southeast Asian Studies*. 23(1): 3-37.
- Handayani, E.P. 2009.** Emisi karbondioksida (CO₂) dan metan (CH₄) pada perkebunan kelapa sawit di lahan gambut yang memiliki keragaman dalam ketebalan gambut dan umur tanaman. Disertasi. IPB, Bogor.
- Harahap, H. 1993.** Pemanfaatan gambut di Indonesia: Suatu kesempatan dan tantangan. *Dalam*, Triutomo (ed.) Prosiding Seminar Nasional Gambut II. HGI-BPPT. Jakarta.
- Hooijer A., M. Silvius, H. Wosten, and S. Page. 2006.** PEAT-CO₂: Assessment of CO₂ emissions from drained peatlands in SE Asia. Delft Hydraulics Report Q3943.
- Istomo. 2002.** Kandungan fosfor dan kalsium serta penyebarannya pada tanah dan tumbuhan hutan rawa gambut. Disertasi. Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Maltby, E., and C.P. Immirzi. 1996.** Introduction: The Sustainable Utilization of Tropical Peatlands. *Dalam*: Maltby *et al.* (eds), Tropical Lowland Peatlands of Southeast Asia. IUCN. Gland, Switzerland.

- Mario, M.D., dan S. Sabiham. 2002.** Penggunaan tanah mineral yang diperkaya oleh bahan berkadar Fe tinggi sebagai amelioran dalam meningkatkan produksi dan stabilitas gambut. *J. Agroteksos* 2(1):35-45.
- Polak, B. 1949.** De Rawa Lakbok: Een eutroof laagveen op Java (Rawa Lakbok: Gambut Eutropi di Jawa). *In*, Mededelingen van Algemeen Proefstation voor de Landbouw. No. 85. Buitenzorg.
- Polak, B. 1975.** Character and occurrence of peat deposits in the Malaysian tropic. Pp. 71-81. *In*, Proceedings on Modern Quaternary Research in Indonesia. Modern Quaternary Research in Southeast Asia.
- Pons, L.J., and P.M. Driessen. 1975.** Reclamation and development of waste land on oligotrophic peat and acid sulphate soils. Proceedings of Symposium on Development of Problems Soils in Indonesia, Jakarta.
- Puslittanak. 2000.** Laporan evaluasi lahan exPLG, Kalimantan Tengah. Badan Litbang Pertanian, Deptan-RI.
- Sabiham, S. 1988.** Studies on peat in the coastal plains of Sumatra and Borneo: I. Physiography and geomorphology of the coastal plains. *Southeast Asian Studies* 26(3):308-335.
- Sabiham, S. 1997.** Penggunaan kation terpilih untuk mengontrol asam fenolat toksik dalam gambut. *J. Il. Pert.* 7(1):1-7.
- Sabiham, S. 2000.** Kadar air kritis gambut Kalimantan Tengah dalam kaitannya dengan kejadian kering tidak-balik. *J. Tanah Trop.* 11:21-30.
- Sabiham, S. 2004.** Ecological issues of the mega-rice project in Indonesia: A case study of swampland development in Central Kalimantan. pp. 73-87. *In*, Furukawa, H. *et al.* (eds.) Ecological Destruction, Health, and Development: Advancing Asian Paradigms. Kyoto University Press and Trans Pacific Press. Australia.
- Sabiham, S. 2006.** Pengelolaan lahan gambut Indonesia berbasis keunikan ekosistem. Orasi Ilmiah Duru Besar Fakultas Pertanian, IPB.
- Sabiham, S. dan Riwandi. 2000.** Hubungan antara kandungan besi total dengan tingkat humifikasi dan derivat asam fenolat dalam gambut Jambi dan Kalimantan Tengah. *J. Agrista* 4(1):10-16.
- Sabiham, S. et al. 2015.** Teknologi pemanfaatan lahan gambut untuk perkebunan kelapa sawit pada tingkat emisi GRK rendah dan stabilitas gambut yang tinggi. Laporan Kegiatan Penelitian Tahun I.

Kerjasama Penelitian HGI-GAPKI.

Sabiham, S. et al. 2015. Teknologi pemanfaatan lahan gambut untuk perkebunan kelapa sawit pada tingkat emisi karbon rendah dan setabilitas gambut yang tinggi. Laporan Penelitian Tahun I. Kerjasama Penelitian HGI-GAPKI.

Soil Survey Staff. 1999. Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. USDA, Soil Conservation Services, Washington D.C.

Sollins, P., P. Homann, and B.A. Caldwell. 1996. Stabilization and destabilization of soil organic matter: Mechanisms and controls. *Geoderma* 74:65-105.

Stephens, J.C. and W.H. Speir. 1969. Subsidence of organic soils in the USA. *Land Subsidence* 2:523-534. IAHS-AIHS Publ. 89.

Stevenson, F.J. 1982. Humus chemistry. Genesis, composition, reaction, A Willey-Interscience Publ. 2nd Edition. NY.

Tan, K.H. 1993. Principles of soil chemistry. Marcel Dekker, Inc. NY.

Tim Institut Pertanian Bogor. 1996. Analisis mengenai dampak lingkungan regional pengembangan lahan gambut satu juta hektar di Provinsi Kalimantan Tengah. Proyek Pengembangan Lahan Gambut Kalimantan Tengah. Departemen PU. Jakarta.

Tim P4S-IPB. 1975. Laporan survey dan pemetaan tanah Delta Berbak, Jambi. P4S-IPB. Bogor.

Ur Rehman, S. A., U. Sudadi, S. Anwar, dan S. Sabiham. 2015. Landuse changes and above-ground biomass estimation in patlands of Riau and West Kalimantan, Indonesia. *J. ISSAAS* 21(1): 123-135.