

# POTENSI DAN PEMANFAATAN LAHAN GAMBUT BERKELANJUTAN UNTUK PERTANIAN

Supiandi Sabiham  
Guru Besar Pengelolaan Tanah pada Fakultas Pertanian,  
Institut Pertanian Bogor (IPB)

## ABSTRAK

Pemanfaatan lahan gambut untuk berbagai usaha, termasuk untuk pertanian, harus selalu memperhatikan beberapa sifat gambut sebagai berikut: (i) mudah rusak bila dimanfaatkan dalam keadaan aerob karena bahan utamanya adalah CHO yang mudah terdekomposisi, (ii) tingkat kesuburan tanah yang rendah (miskin unsur hara), (iii) kemasaman tanah dan kandungan asam-asam organik yang tinggi, serta (iv) laju kehilangan C (emisi C) yang cepat. Selain itu, ketebalan gambut dan bahan tanah mineral di bawah endapan gambut harus menjadi pertimbangan utama dalam mengembangkan lahan gambut. Pengalaman menunjukkan bahwa pemanfaatan lahan gambut di Indonesia untuk pertanian tidak selalu memberikan hasil yang menggembirakan. Kekurangperhatian terhadap sifat-sifat inheren gambut yang menyebabkan terjadi miskelola sehingga mengakibatkan daya dukung fisik lahannya menjadi rendah, merupakan faktor utama dari kegagalan yang sering dialami. Dalam upaya memanfaatkan lahan gambut secara berkelanjutan, azas kehati-hatian dalam mengelola lahan gambut harus diutamakan, termasuk dalam memilih tanaman yang akan diusahakan sesuai dengan kemampuan daya dukung lahannya. Pemanfaatan lahan gambut berkelanjutan untuk pertanian sangat ditentukan oleh keberhasilan pengaturan tata air (saluran), karena gambut Indonesia umumnya terbentuk pada daerah yang selalu tergenang (*waterlogged*) namun bahan gambutnya mudah rusak pada saat mengalami proses kekeringan. Beberapa hal penting lainnya yang juga harus diperhatikan dalam pemanfaatan lahan gambut di Indonesia ke depan adalah: (i) pengelolaan harus dilakukan berdasarkan pada spesifik lokasi, (ii) penataan lahan gambut yang akan digunakan harus didasarkan pada wilayah fungsional ekosistemnya, dan (iii) keberadaan *local knowledge* dan *local technology*. Dengan memperhatikan kunci-kunci pokok pengelolaan lahan gambut seperti tersebut di atas, diharapkan dalam pemanfaatan lahan gambut Indonesia ke depan dapat memperoleh keuntungan secara ekonomi yang lebih baik, tanpa harus mengorbankan aspek kelestarian lingkungan.

## PENDAHULUAN

Di Indonesia, gambut (yang mengandung bahan organik >65%) 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 yang secara keseluruhan berkembang di lahan rawa-rawa, baik rawa pasang surut maupun non pasang surut. Sebagian besar bahan gambut masih terlihat secara jelas bentuk asalnya, yaitu berasal dari kayu-kayuan dan daun-daunan. Hanya sebagian kecil saja berupa komponen tumbuhan yang sudah tidak lagi terlihat secara jelas bentuk tumbuhan asalnya.

Di sekitar endapan rawa gambut sering ditemukan endapan bahan tanah mineral, berupa sedimen fluviatil yang terbawa oleh aliran sungai (Furukawa dan Sabiham, 1985). Oleh karena itu, endapan gambut pada lapisan bawah atau yang tersebar di sekitar sungai, bahan gambutnya sering berada di dalam keadaan tercampur dengan tanah mineral. Bahan campuran ini disebut sebagai *peaty mineral* (Soil Survey Staff, 1996), dengan kandungan bahan organik berkisar antara 21 sampai 65%.

Pemerintah Republik Indonesia mulai mengembangkan lahan rawa pasang surut dan non-pasang surut sejak akhir 1960an dalam skala yang lebih besar untuk perluasan usaha pertanian tanaman pangan dan perkebunan dikaitkan dengan pengembangan wilayah melalui program transmigrasi. Rawa non-pasang surut disebut oleh para ahli Ilmu Tanah Indonesia sebagai rawa lebak. Proses-proses yang terjadi pada rawa lebak ini berada di dalam lingkungan air tawar, sedangkan rawa pasang surut berada dalam lingkungan marin. Keadaan lingkungan yang berada di antara rawa lebak dan rawa pasang surut disebut sebagai rawa air payau. Hal inilah yang menyebabkan ketiga daerah rawa di Indonesia masing-masing mempunyai keunikan tersendiri ditinjau dari ekosistemnya.

## DAYA DUKUNG DAN PEMANFAATAN LAHAN GAMBUT

Sampai tahun 2000, luas lahan rawa yang telah dikembangkan dan terdokumentasikan pemerintah untuk usaha pertanian dan perkebunan adalah sekitar 1,3 juta ha, termasuk di dalamnya hutan rawa gambut. Seluas 835.200 ha di antaranya adalah lahan pasang surut yang secara potensial lebih baik daripada rawa lebak [Ditjen Pengembangan Pedesaan, 2000]. Rieley *et al.* [1997] melaporkan bahwa hutan rawa gambut di Indonesia yang dikonversi untuk peruntukan lain telah mencapai 20 sampai 35%, dengan laju perubahan setiap tahunnya lebih dari 150.000 ha [Sugandhy, 1997]. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan hutan rawa gambut di Tanah Air sudah sangat intensif. Namun demikian, berdasarkan hasil pengamatan para ahli selama ini, para pengguna tampaknya masih kurang memperhatikan adanya

keragaman dan kemampuan daya dukung lahan gambut, walaupun mereka secara prinsip memahami adanya keunikan dari lahan tersebut.

Kemampuan daya dukung lahan gambut banyak ditentukan oleh stabilitas dari bahan organiknya. Tingkat kestabilan bahan organik ini berhubungan erat dengan mudah-tidaknya bahan gambut menjadi rusak, yang sedikitnya ditentukan oleh tiga faktor berikut [Sollins *et al.*, 1996]: (i) sifat inheren bahan organik, (ii) interaksi bahan organik dengan liat (*clay*), terutama dengan unsur-unsur logam pada kompleks jerapan koloid liat, dan (iii) tempat di mana 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  $-COOH$ ,  $-C=O$ , dan  $-C-OH$  sebagai bahan aktif dari koloid organik, serta oleh kandungan unsur hara dan derivat asam organik hasil proses dekomposisi bahan organik.

Kekurangperhatian terhadap adanya keragaman dan masalah daya dukung lahan gambut ditunjukkan oleh berbagai implementasi pengembangan lahan di lapangan. Seperti misalnya pembuatan saluran yang terlalu lebar dan dalam, pemilihan lahan gambut untuk pemukiman dan usaha pertanian yang kurang selektif, serta terlalu cepat lahan gambut digunakan (setelah pembukaan lahan) untuk berbagai kegiatan usaha (dalam hal ini proses pematangan bahan gambut kurang diperhatikan). Kesemua ini memberikan akibat kondisi gambut menjadi berubah dari keadaan anaerob 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 lain dari keadaan aerobik tersebut adalah bahan organik yang terkarbonisasi menjadi meningkat, bahan gambut menjadi mudah tererosi baik oleh erosi air maupun erosi angin, dan proses pemadatan gambut menjadi sangat cepat. Hal ini mengakibatkan penurunan permukaan tanah (*subsiden/subsidence*) menjadi semakin cepat. Kecepatan subsiden di Delta Upang dan Telang, SumSel masing-masing adalah 2-5 cm dan sekitar 6,5 cm [Chambers, 1979; Tim IPB, 1982], sedangkan di PT Riau Sakti rata-rata mencapai 10 cm. Dilain pihak proses akumulasi bahan organiknya hanya 0,04 sampai 0,60 cm per tahun (Sabiham, 1988).



(*Sahul Shelf*) yang dimulai sekitar 11.000 tahun BP<sup>1</sup>). Proses pembentukan pantai merupakan tahap awal dalam proses perkembangan endapan gambut. Sebagai sumber bahan gambut adalah vegetasi rawa yang tumbuh dengan berbagai keragaman spesies.

Dalam kaitannya dengan perubahan tinggi permukaan air laut masa lalu, Tjia [1970] serta Molengraaf dan Weber [1921] telah melaporkannya secara rinci. Mereka mengemukakan bahwa posisi awal permukaan air laut di Dataran Sunda pada akhir zaman es (periode Pleistosen/*Pleistocene*), yaitu sekitar 3 juta tahun BP berada pada 97 sampai 100 m di bawah permukaan air laut sekarang. Pada periode pasca-Glasial (*post-Glacial period*) hingga awal periode Holosen, permukaan air laut mulai naik secara perlahan-lahan sebagai akibat mencairnya es di daerah kutub, sehingga di Dataran Sunda dan Dataran Sahul berubah menjadi laut. Kemudian pada periode Holosen, yaitu selama *Quaternary period*, tinggi permukaan air laut mengalami perubahan secara fluktuatif, seperti dilaporkan Tjia [1977] dan Yoshikawa [1987] dari hasil penelitiannya di Dataran Sunda dan Dataran Sahul (Tabel 1).

Tabel 1. Perubahan Tinggi Permukaan Air Laut selama Periode Holosen (*Quaternary Period*\*)

No.	Periode (tahun BP)	Tinggi Permukaan Air Laut**)	
		Dataran Sunda	Dataran Sahul
		..... m .....	
1.	6000 – 5300	3,0	2,5
2.	4800 – 4000	2,5	1,0
3.	2300 – 1500	1,6	0,4
4.	1000 ≈ ?	-	0,2
5.	400 – 200	0,5	-

\*) Sumber: Tjia [1977] dan Yoshikawa [1987]

\*\*) Di atas permukaan laut pada saat pasang maksimum sekarang

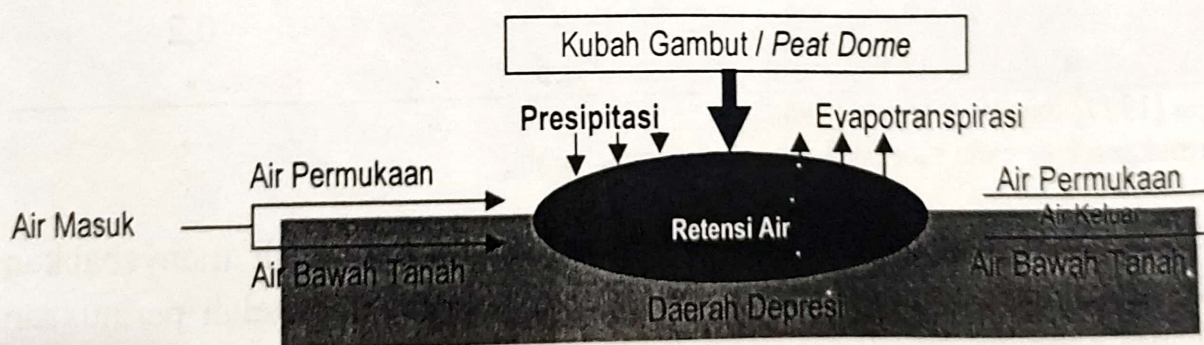
Naiknya permukaan air laut selama periode Holosen telah menyebabkan penggenangan pada daerah-daerah cekungan Kaizuka (1980). Setelah permukaan air laut mencapai keadaan stabil, genangan-genangan tersebut secara perlahan-lahan surut kembali, sampai suatu saat endapan alluvial muncul di permukaan. Kejadian ini merupakan awal dari proses pembentukan dataran pantai.

Adanya pengaruh pasang-surut air laut saat ini, di mana tinggi permukaan air sungai di sekitar dataran pantai pada saat pasang maksimum dapat mencapai 3,0 m

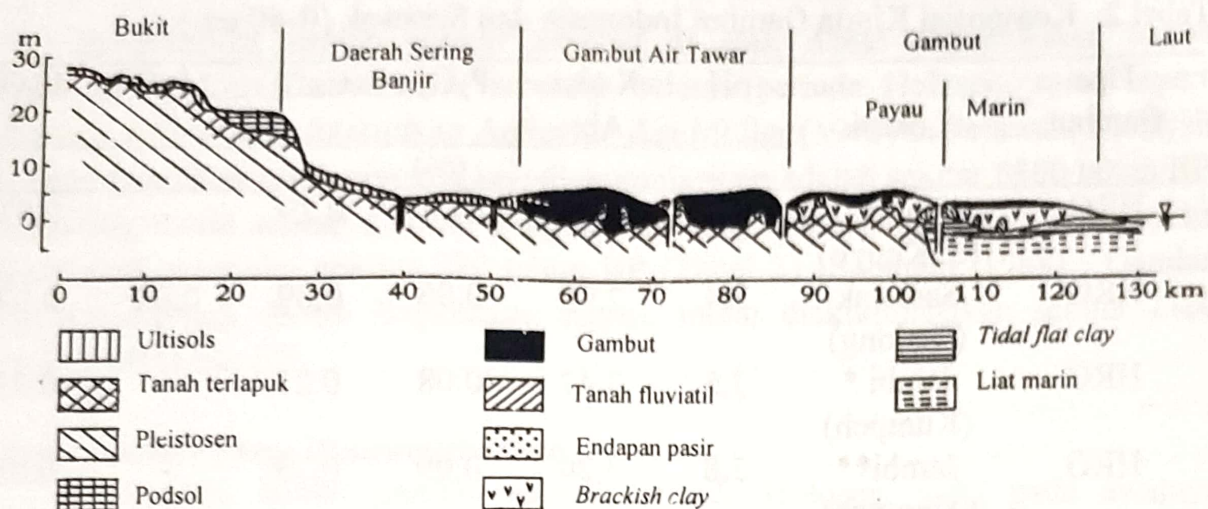
<sup>1</sup>) BP adalah Before Period, yaitu dicatat sebelum tahun 1950.

Silvius *et al.* [1984], di samping secara nyata telah memberikan kontribusi terhadap kelanjutan proses pembentukan dataran pantai, juga mempunyai pengaruh besar terhadap perubahan garis pantai ke arah laut [Scott dan Fisher, 1969]. Pada saat terjadi pertambahan garis pantai ke arah laut, permukaan tanah alluvial di daerah pedalaman menjadi kering, kemudian mengalami subsiden membentuk daerah depresi. Pada saat permukaan air sungai naik sebagai akibat pasang air laut maka sebagian atau seluruh daerah depresi menjadi tergenangi.

Penggenangan ini mempunyai peranan penting dalam proses penumpukan bahan organik, yang kemudian secara berangsur-angsur membentuk endapan gambut. Selama proses penumpukan bahan organik terus berlangsung, tinggi permukaan lahan gambut, mulai dari tanggul sungai hingga ke bagian tengah (*center*), menaik. Di bagian tengah selalu membentuk kubah gambut (*peat dome*). Hal ini disebabkan penumpukan bahan gambut pada bagian tengah lebih cepat dibandingkan dengan penumpukan yang terjadi pada bagian yang dekat dengan tanggul sungai. Di bagian tengah, bahan gambut lebih tebal dan lebih miskin akan unsur hara karena relatif jauh dari sumber bahan mineral, sehingga dukungan terhadap aktifitas mikroorganisme penghancur bahan organik jadi kurang. Sebaliknya, bahan gambut yang diendapkan di dekat tanggul sungai kaya akan bahan mineral sehingga aktifitas mikroorganisme meningkat, dan proses dekomposisi bahan organik menjadi cepat. Dengan demikian, makin ke tengah, umumnya gambut makin tebal. Gambar 2 menunjukkan skematik kubah gambut.



Gambar 2. Skematik Endapan Gambut dalam Bentuk Kubah (*Peat Dome*)



Gambar 3. Endapan Gambut di Daerah Dataran Pantai Jambi yang diakumulasikan di Tiga Tempat Berbeda (Modifikasi dari Sabiham, 1988)

Berdasarkan tempat di mana gambut diakumulasikan, Sabiham [1988] dari hasil studinya yang mendalam di daerah dataran pantai Jambi, menemukan tiga macam endapan gambut (lihat Gambar 3). Pertama, gambut yang diendapkan pada daerah cekungan, yaitu di atas tanah tua (*Pleistocene terrace*), dan berkembang dalam pengaruh air hujan dan/atau air tawar yang berasal dari sungai (ekosistem air tawar). Kedua, gambut yang diendapkan pada daerah depresi (pada tanah alluvial); gambut ini berkembang dalam pengaruh marin (ekosistem marin). Ketiga, gambut yang diendapkan pada daerah di bawah pengaruh antara lingkungan air tawar dan marin (ekosistem payau).

Gambut yang berkembang di bawah pengaruh air hujan atau air tawar umumnya mempunyai ketebalan gambut lebih dari 3,0 m. Dalam kaitannya dengan penggunaan untuk pertanian, gambut ini disebut sebagai gambut ombrogen, bersifat sangat masam, miskin unsur hara, daya dukung sangat rendah, serta mudah rusak [Polak, 1975]. Tabel 2 menunjukkan komposisi kimia gambut ombrogen dari Indonesia dan Sarawak, Malaysia. Untuk gambut yang berkembang dalam lingkungan payau atau marin umumnya dapat dikategorikan ke dalam gambut topogen, karena di samping ketebalan gambutnya kurang dari 3,0 m (umumnya < 2,0 m), tetapi juga relatif kaya akan unsur hara, bersifat agak masam sampai masam, dan mempunyai daya dukung yang lebih baik daripada gambut ombrogen.

Tabel 2. Komposisi Kimia Gambut Indonesia dan Sarawak (0-40 cm)

Tipe Gambut	Lokasi	pH	Kadar Abu	..... (%) .....			
				P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O
HRG	Kalbar (S. Kunyit)	3,3	1,36	0,04	0,29	-	0,02
HRG	Sarawak (Gedong)	3,4	2,90	0,06	0,09	0,08	0,09
HRG	Jambi * (Kumpeh)	3,5	3,47	0,08	0,21	-	0,03
HRG	Jambi** (Kumpeh)	3,8	3,20	0,09	0,33	-	0,05

Keterangan: HRG = Hutan rawa gambut; \*) Pusat kubah gambut; \*\*) Backswamp (daerah di belakang tanggul sungai); Sumber: Andriess (1974) dan Sabiham (1988)

Tabel 3. Hasil C<sup>14</sup>-dating Contoh Gambut dari dari Daerah Rawa Jambi dan Kalimantan

LOKASI PENGAMATAN	KEDALAMAN Contoh gambut (cm)	UMUR Contoh gambut (tahun BP)
<b>GAMBUT JAMBI LINGKUNGAN AIR TAWAR</b>		
7 km Timur Laut dari Pulaumentaro	200-250	4040 ± 180
	400-450	4360 ± 130
	700-750	5710 ± 130
3 km Utara dari Rntaupanjang	200-250	5890 ± 190
	400-430	6830 ± 180
<b>GAMBUT JAMBI LINGKUNGAN PAYAU</b>		
Sekunder (SK) 8, Unit II	30- 50	1120 ± 55
Dendang I	100-120	1440 ± 55
<b>GAMBUT JAMBI LINGKUNGAN MARIN</b>		
SK 19 Rantaurasau dekat Saluran Pengumpul	30- 50	220 ± 40
<b>GAMBUT KALIMANTAN SELATAN LINGKUNGAN PAYAU</b>		
5 km Timur Laut dari	25- 75	1420 ± 70
Pertengahan Anjir Sarapat	150-194	2000 ± 50

\*) Sumber: Sabiham (1988). C<sup>14</sup>-dating dilakukan di *Gakushuin Univ., Tokyo*, dan sebagian lagi di *Radiation Center, Osaka Prefecture, Jepang*

Berdasarkan uraian seperti tersebut di atas, dapat dikemukakan bahwa gambut di Indonesia umumnya terbentuk selama periode Holosen, sama seperti endapan gambut yang ditemukan Anderson dan Muller [1975] di Serawak, Malaysia. Gambut ombrogen yang pertama kali diakumulasikan adalah sekitar 6800 tahun BP, yang paling muda adalah gambut yang berkembang dalam lingkungan marin, yaitu diakumulasikan mulai sekitar 220 tahun BP (Tabel 3) [Sabiham, 1988]. Gambut yang berkembang dalam lingkungan payau, mulai diakumulasikan sekitar 1100 sampai 2000 tahun BP.

### **Bahan Gambut yang Diakumulasikan**

Akumulasi bahan gambut selama periode Holosen, yang pada awalnya dipengaruhi oleh naik (*transgressions*) dan turun (*regressions*) permukaan air laut masa lalu (Sabiham, 1988), berhubungan erat dengan vegetasi yang tumbuh pada keadaan lingkungan saat itu. Dengan demikian, bahan gambut yang diendapkan tersusun dalam beberapa lapisan. Bahan asal tumbuhan pada setiap lapisan berasal dari vegetasi berbeda. Berdasarkan analisis fosil tepungsari dan spora (*arboreal dan non-arboreal pollens*) dalam gambut air tawar dan payau, lapisan gambut paling bawah – yaitu yang kontak langsung dengan tanah mineral – adalah berasal dari tanaman rendah, terutama kelompok paku-pakuan, sedangkan dalam gambut marin bahan gambut pada lapisan bawah berasal dari tumbuhan bakau (*mangrove*) (Sabiham dan Furukawa, 1986). Makin tebal endapan gambut, keadaan pada bagian permukaan menjadi semakin tawar dengan dicirikan oleh bahan gambut yang berasal dari tanaman hutan campuran (*mixed forest*). Di bagian tengah lapisan gambut, yaitu antara lapisan dasar dan permukaan, fosil tepungsari dan spora yang ditemukan adalah kebanyakan dari asosiasi tumbuhan yang relatif homogen.

Selama periode Holosen, terjadinya akumulasi bahan gambut karena tumbuhan mati sebagai akibat penggenangan yang disebabkan oleh adanya kenaikan permukaan air laut (*transgressions*), selain yang berasal dari bagian tumbuhan (berupa biomasa) seperti daun, ranting, dan batang yang terakumulasikan di atas permukaan tanah. Dari hasil studi Sabiham (1988), yang diperkuat oleh hasil penelitian Yoshikawa (1987) dan Tjia (1977), kenaikan permukaan air laut pada masa lalu sedikitnya terjadi pada : (i) awal periode Holosen, (ii) periode 6800 – 5900 tahun yang lalu (BP), (iii) periode 4800 – 4000 tahun BP, (iv) periode 2000 – 1500 tahun BP, dan (v) periode 400 – 200 tahun BP.

## Keanekaragaman Hutan Rawa Gambut

Indonesia mempunyai hutan rawa gambut terbesar ke empat di dunia dan yang terluas di daerah tropika (Immirzi dan Maltby, 1992). Endapan gambut yang ditumbuhi vegetasi hutan dapat mencapai ketebalan lebih dari 12 m [Brady dan Kosasih, 1991]. Namun di dunia, lahan gambut hanya terdapat di sebagian kecil permukaan bumi yang luasnya diperkirakan sekitar 400 juta ha atau hanya 2,5% dari luas daratan bumi. Jumlahnya yang terbatas dan sifatnya yang khas menyebabkan lahan gambut merupakan habitat unik bagi kehidupan beraneka macam flora dan fauna. Oleh karena keunikan lahan gambut, maka hanya beberapa macam tumbuhan dan hewan saja yang dapat hidup dengan baik, sehingga apabila lahan ini dikembangkan tanpa terkendali sampai mengalami kerusakan, maka dunia akan kehilangan beraneka macam jenis flora dan fauna hutan rawa gambut yang tidak mampu tumbuh pada habitat lainnya.

Di Sumatra, lebih dari 300 jenis tumbuhan dijumpai di hutan rawa gambut. Contoh tumbuhan spesifik lahan gambut yang memiliki nilai ekonomi tinggi adalah jelutung (*Dyera costulata*), ramin (*Gonystylus bancanus*), dan meranti (*Shorea spp*). Selain itu juga ditemukan beberapa spesies pohon bernilai ekonomi sedang, yaitu kempas (*Kompassia malaccensis*), punak (*Tetramerista glabra*), perepat (*Combretocarpus royundatus*), terentang (*Camptospherma spp*), pulai rawa (*Alstonia pneumatophor*), bungur (*Lagestroemia spesiosa*), dan nyatoh (*Palaquium spp*). Pohon jelutung kekhasannya adalah sebagai penghasil getah. Di Singapura, getah jelutung digunakan sebagai bahan dasar permen karet (Furukawa, 2004).

Jenis flora yang mendominasi lahan gambut umumnya berupa pohon-pohonan. Tumbuhan ini mempunyai perakaran banyak dan mampu menembus ke lapisan bagian dalam hingga mencapai tanah mineral di bawah gambut. Tumbuhan dengan sistem perakaran demikian, maka pohon selama pertumbuhannya dapat ditopang dengan kuat, dan akar mampu mengambil unsur hara dari lapisan tanah mineral di bawah gambut yang secara umum kandungan haranya jauh lebih banyak daripada dalam gambut. Kemampuan tersebut tidak terdapat pada tumbuhan rendah (semak-herba) dan tanaman pangan. Namun demikian bila bahan mineral di bawah lapisan gambut adalah pasir kuarsa, seperti banyak ditemukan di Kalimantan, maka vegetasi yang tumbuh umumnya miskin akan jenis; demikian pula bahan gambut yang diakumulasikan di atas pasir ini sangat miskin akan unsur hara.

Hasil penelitian Istomo (2002) menunjukkan bahwa hutan rawa gambut Sumatera yang masih dalam bentuk hutan primer (*virgin*), vegetasinya terdiri dari atas komposisi jenis pohon yang cukup beragam tergantung dari ketebalan

gambutnya. Untuk lahan gambut dengan ketebalan 2 – 3, 4 – 5 dan 6 – 7 m, pada tingkat semai, masing-masing didominasi oleh pasir-pasir (*Urandra secudiflora*), milas (*Parastemon urophyllum*) dan jambu-jambu (*Eugenia* sp.); pada tingkat pancang masing-masing didominasi oleh wuni (*Antidesma puncticulatum*), bintangur (*Callophylum soulatri*) dan jambu-jambu (*Eugenia* sp.); dan pada tingkat pohon masing-masing didominasi biam (*Palaquium obovatum*), jambu-jambu (*Eugenia* sp.) dan ramin (*Gonystylus bancanus*).

Berdasarkan distribusi vegetasi hutan tersebut dapat dikemukakan bahwa ada perubahan jenis dominan dari yang tumbuh pada gambut dengan ketebalan 2 – 3 m menuju jenis dominan yang tumbuh pada gambut dengan ketebalan 6 – 7 m, namun tidak ada hubungan dominasi jenis pada masing-masing tingkat semai, pancang atau pohon (Tabel 4). Data di dalam tabel tersebut menunjukkan bahwa untuk tingkat pohon, banyaknya jenis semakin menurun dengan semakin tebal gambut, akan tetapi banyaknya pohon per hektar dan luas bidang dasar untuk pohon  $\geq 10$  cm meningkat dengan semakin meningkatnya ketebalan gambut. Hal lain yang menarik untuk dikemukakan bahwa makin tebal gambut, kerapatan vegetasi semak-herba makin menurun.

Tabel 4. Hubungan Ketebalan Gambut dengan Komposisi Jenis Pohon Berdiameter  $\geq 10$  cm\*)

Ketebalan gambut (m)	Jumlah jenis per ha	Jumlah pohon per ha	Luas bidang dasar ( $m^2 ha^{-1}$ )
2 – 3	36	379	19,58
4 – 5	33	499	25,47
6 – 7	30	518	28,78

\*) Sumber: Istomo (2002)

Namun demikian, sekarang ini hutan rawa gambut di Tanah Air sebagian besar telah berubah menjadi: (i) hutan campuran, (ii) hutan sekunder bekas tebangan, (iii) semak-belukar, (iv) padang rumput rawa, dan (v) lahan pertanian (Harahap, 1993). Hanya sebagian kecil saja yang masih berupa hutan primer, yang berada pada beberapa tempat terpisah.

Habitat hutan rawa gambut, terutama pada gambut tebal, tampaknya kurang banyak disenangi oleh hewan-hewan besar sebagai tempat hidupnya. Karena endapan gambut selalu dalam keadaan yang sangat lunak (kadang-kadang ditemukan

seperti "bubur"), bersifat sangat masam, dan miskin unsur hara, maka fauna yang sering ditemukan kebanyakan dari beberapa jenis burung dan mamalia, seperti terlihat dalam Tabel 5.

Tabel 5. Beberapa Jenis Burung & Mamalia yang Ditemukan di Hutan Rawa Gambut \*)

No	Nama Daerah	Nama Latin
<b>JENIS BURUNG</b>		
1.	Rangkong	<i>Buceros vigil</i>
2.	Punai jambu	<i>Ptilinopus jambu</i>
3.	Baram jambi	<i>Streptopelia bitorquata</i>
4.	Punai beruke	<i>Teron curvirostra</i>
5.	Punai utong	<i>T. griseicauda</i>
6.	Punai tasi	<i>T. fulvicollis</i>
7.	Menkot	<i>Rhizotera longirostis</i>
8.	Punai ondu	<i>Phaenicophaeus sumatranus</i>
9.	Pungguk	<i>Ninox scutulata</i>
10.	Mangkako	<i>Pelargopsis capensis</i>
<b>JENIS MAMALIA</b>		
1.	Tenggiling	<i>Manis javanica</i>
2.	Pelanduk	<i>Tragulus javanicus</i>
3.	Keluang	<i>Pteropus vampyrus</i>
4.	Kera	<i>Macaca fascicularis</i>
5.	Ungko	<i>Hylobates syndactylus</i>
6.	Musang	<i>Martes flagula &amp; Priondon linsang</i>
7.	Musang air	<i>Lutra perspicillata</i>
8.	Babi	<i>Sus scrofa</i>
9.	Rusa	<i>Cervus unicolor</i>
10.	Tupai	<i>Callosciurus prevostii</i>

\*) Sumber: Sebagian dari Momose dan Shimamura [2004]

Banyaknya penebangan dan kebakaran hutan di lahan gambut telah menyebabkan hilangnya vegetasi (tegakan hutan, semak, rumput dsb) sehingga dapat mengakibatkan hilangnya fungsi rawa sebagai tempat berlindung dan sarang bagi ikan-ikan untuk melakukan pemijahan, dan sumber makanan bagi ikan-ikan yaitu berupa daun tumbuhan, buah-buahan, biji-bijian, dan larva insekta yang jatuh serta hanyut bersama aliran air.

Berbagai spesies ikan banyak yang hidupnya bergantung pada bahan makanan berasal dari binatang dan tumbuhan (daun tumbuhan, biji-bijian dan buah-buahan). Bahan tersebut membentuk detritus yang merupakan bahan pokok rantai

makanan bagi banyak invertebrata air maupun ikan.

Berdasarkan kondisi tersebut di atas maka gangguan dari penebangan liar serta kebakaran hutan akan mengakibatkan siklus kehidupan (pemijahan dan rantai makanan) terganggu, yang akhirnya jumlah ikan menurun.

### **Fungsi Hidrologi**

Salah satu kekhasan gambut Indonesia, di samping diendapkan di daerah cekungan tanah mineral yang relatif kedap air, tetapi juga memiliki porositas tinggi sehingga mempunyai daya menampung air yang sangat besar. Total ruang pori gambut pada keadaan belum terganggu berkisar antara 88 sampai 90% tergantung dari bobot isi gambut [Nicolas, 2002]. Dalam keadaan jenuh air, kadar air bahan gambut berkisar antara 450 sampai dengan lebih dari 850% (berdasarkan bobot kering bahan gambut) atau dapat mencapai 90% (berdasarkan volume bahan gambut). Kadar air yang bervariasi ini tidak hanya terkait dengan tingkat kematangan bahan gambutnya. Kadar air yang tinggi lebih banyak disebabkan oleh bentuk permukaan tanah mineral yang cekung yang berada di bawah gambut. Dengan kemampuan menampung air yang tinggi, maka daerah cekungan dapat berfungsi sebagai penyimpan air yang cukup besar. Air yang terjebak di dalam daerah cekungan dan ruang yang besar akan turut berperan dalam mengangkat gambut membentuk kubah.

Bahan gambut akan terus diakumulasikan di atas tanah mineral apabila: (i) ada air yang masuk ke daerah retensi, (ii) adanya daerah depresi yang menjadi tempat retensi air, sehingga air dalam keadaan tergenang untuk jangka waktu yang cukup lama, dan (iii) ketersediaan sumber bahan organik utama, yaitu dari vegetasi yang tumbuh di daerah tersebut. Oleh karena itu fungsi hidrologi (*Hydrological function*) dalam proses pembentukan gambut menjadi penting, bukan sebaliknya. Selama ini sebagian dari masyarakat beranggapan bahwa endapan gambut berfungsi sebagai resapan air. Kondisi air tergenang bukan karena air secara keseluruhan diserap oleh bahan gambut, tetapi sebagian besar air menjadi sulit keluar dari daerah retensi karena berada dalam cekungan. Demikian pula selama vegetasi hutan rawa gambut berada dalam keadaan tidak terganggu, keseimbangan air dalam ekosistem hutan akan tetap dipertahankan.

Fungsi hutan rawa gambut sebagai pengatur hidrologi akan terganggu apabila mengalami kondisi drainase yang berlebihan karena material ini memiliki sifat kering tidak-balik, porositas yang sangat tinggi, dan daya hantar vertikal yang rendah. Gambut yang telah mengalami kekeringan melebihi atau sampai dengan

batas kering tidak-balik akan memiliki bobot isi yang sangat ringan sehingga mudah hanyut terbawa aliran permukaan, terutama pada saat hujan, strukturnya lepas seperti lembaran serasah, mudah terbakar, dan sulit menyerap air kembali.

Jumlah dan kualitas air pada lahan gambut merupakan salah satu kunci pengelolaan lahan gambut. Salah satu cara untuk memecahkan masalah ketersediaan air pada lahan gambut adalah dengan pengaturan tata air. Dalam hal pengaturan sistem pengairan, orang Banjar membuat *tabat* pada saluran irigasi/drainase, yaitu bangunan pintu air terbuat dari kayu yang dapat dibuka dan ditutup sesuai dengan kebutuhan.

### Endapan Gambut Sebagai *Carbon Sink* dan Pengaruhnya Terhadap Iklim Global

Perubahan iklim merupakan fenomena global yang ditandai dengan berubahnya suhu dan distribusi curah hujan. Kontributor terbesar bagi terjadinya perubahan tersebut adalah gas-gas di atmosfer yang sering disebut gas rumah kaca (GRK) seperti karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ), metana ( $\text{CH}_4$ ), dan nitrous oksida ( $\text{N}_2\text{O}$ ) yang konsentrasinya terus mengalami peningkatan [Ohta, 2005]. Efek rumah kaca adalah sebuah fenomena di mana energi dari radiasi matahari diserap oleh permukaan bumi, dan dilepas kembali ke atmosfer sebagai energi infra merah namun tidak dapat menembus ke luar angkasa karena terhambat oleh adanya GRK seperti tersebut di atas.

Endapan gambut, sebagai *carbon sink*, selama dalam keadaan tidak terganggu memiliki kandungan unsur karbon (C) yang sangat besar. Menurut perhitungan Immirizi dan Maltby [1992] kandungan C yang terdapat dalam gambut di dunia sebesar 329-525 Gt atau 35% dari total C dunia. Sedangkan gambut di Indonesia memiliki cadangan karbon sebesar 46 GT (catatan 1 GT sama dengan  $10^9$  ton) atau 8-14% dari karbon yang terdapat dalam gambut di dunia. Dengan demikian, gambut secara tidak langsung memiliki peranan yang cukup besar sebagai pengendali iklim global. Apabila gambut tersebut terbakar atau mengalami kerusakan karena dikelola tanpa memperhatikan sifat gambut, maka bahan gambut akan mengeluarkan gas, terutama  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , dan  $\text{CH}_4$  ke udara dan siap berperan di dalam perubahan iklim dunia. Namun demikian, Sabiham dan Sulistyono [2000] melaporkan bahwa berdasarkan hasil percobaan skala laboratorium, yaitu dengan penambahan bahan amelioran  $\text{Fe}^{3+}$  sebesar 5% erapan maksimum, emisi  $\text{CO}_2$  menurun sekitar 23 – 28% dan emisi  $\text{CH}_4$  juga sekitar 23 – 33%. Mario dan Sabiham [2002] dari hasil percobaan di lapangan pada lahan gambut Berengbengkel,

Kalimantan Tengah menemukan peranan  $Fe^{3+}$  dalam mempertahankan kehilangan total C dari bahan gambut seperti terlihat dalam Tabel 6.

Tabel 6. Estimasi Kehilangan C dari Lahan Gambut Berengbengkel, Kalteng\*)

Jenis Perlakuan	Gambut pada lingkungan		
	Air tawar	Air payau	Marin
	..... (ton ha <sup>-1</sup> tahun <sup>-1</sup> ) .....		
Tanpa $Fe^{3+}$ **)	2,086	1,986	1,967
Dengan $Fe^{3+}$ **)	1,489	1,377	1,339

\*) Sumber: Mario dan Sabiham [2002]

\*\*)  $Fe^{3+}$  diberikan dalam bentuk terak baja dengan dosis 5% erapan maksimum

## MASA DEPAN PENGEMBANGAN LAHAN GAMBUT INDONESIA

Pengembangan lahan gambut Indonesia ke depan diusulkan menerapkan beberapa kunci pokok pengelolaan sebagai berikut: (i) legal aspek yang mendukung pengelolaan lahan gambut, (ii) penataan ruang berdasarkan satuan sistem hidrologi gambut sebagai wilayah fungsional ekosistem gambut, (iii) pengelolaan air pada lahan gambut, (iv) pendekatan pengembangan berdasarkan karakteristik bahan tanah mineral di bawah lapisan gambut, (v) peningkatan stabilitas dan penurunan sifat toksik bahan gambut, dan (vi) pengembangan tanaman yang sesuai dengan karakteristik lahan.

### Keputusan Presiden Republik Indonesia No. 32 Tahun 1990:

#### Apakah Masih Relevan ?

Dalam Pasal 10, Keputusan Presiden (Keppres) Republik Indonesia No. 32 Tahun 1990 tentang Pengelolaan Kawasan Lindung, secara tegas menyebutkan bahwa "Kriteria kawasan bergambut sebagai kawasan lindung adalah tanah bergambut dengan ketebalan 3,0 m atau lebih yang terdapat di bagian hulu sungai dan rawa". Sebenarnya di dalam menetapkan kawasan lindung untuk lahan gambut seharusnya 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 harus masuk sebagai kawasan lindung. Sebaliknya, walaupun gambut tebal (>3,0m) tetapi bukan pada pusat kubah

gambut perlu mendapat pertimbangan untuk dapat dikembangkan sesuai dengan potensinya. Dengan demikian penyempurnaan Keppres tersebut menjadi suatu hal yang penting terkait dengan pengelolaan gambut Indonesia di masa depan.

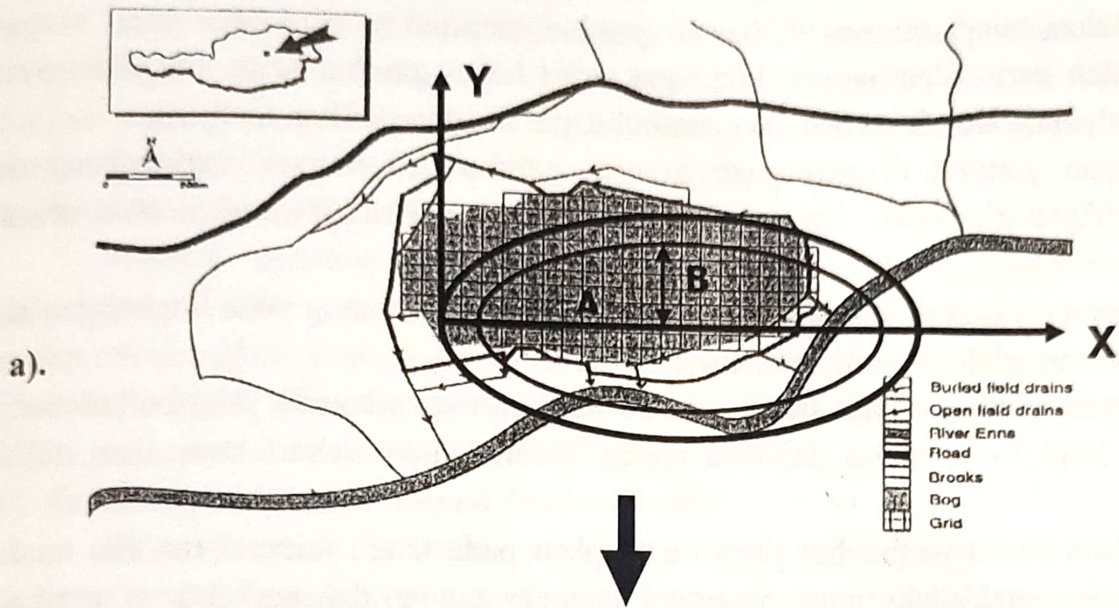
### **Penataan Ruang berdasarkan Wilayah Fungsional Ekosistem Gambut**

Kawasan gambut dapat berfungsi menampung, menahan atau menyimpan air tawar, dan kemudian secara *sistematik* mendistribusikannya ke daerah yang berada di sekitarnya. Dengan demikian, dalam setiap hamparan gambut dapat dijadikan sebagai "Wilayah Fungsional Ekosistem Gambut" yang berfungsi sebagai pengendali banjir, pencegah kekeringan, dan sebagai penyangga untuk mencegah terjadinya intrusi air laut. Wilayah fungsional tersebut harus ditetapkan batas-batas alaminya sebagai wilayah bekerjanya mekanisme proses ekologis yang berhubungan dengan daya dukung dan dinamika kehidupan dalam ekosistem lahan gambut.

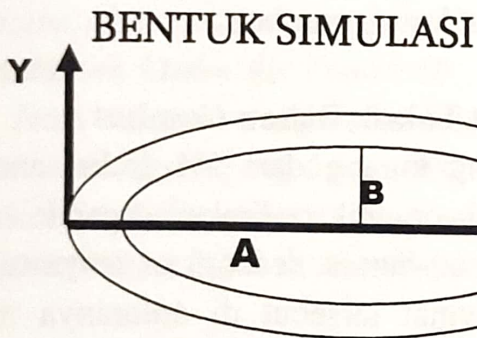
Oleh karena itu, dalam penataan ruang untuk wilayah fungsional ekosistem gambut, sistem jaringan drainase harus didesain secara sangat hati-hati dengan memperhatikan karakteristik ekosistem gambut. Struktur jaringan drainase juga harus dirancang dengan baik sehingga dapat meminimalkan akses interaksi manusia dengan kawasan-kawasan yang harus dilindungi seperti ke pusat-pusat kubah gambut.

### **Pengelolaan Air pada Lahan Gambut**

Dalam penataan ruang untuk kawasan gambut, pendekatannya harus didasarkan pada suatu sistem pengelolaan air dalam satu wilayah fungsional ekosistem gambut. Pada dasarnya gambut tidak boleh tergenang dalam jangka waktu lama untuk mendukung pertumbuhan tanaman, namun juga tidak boleh terlalu kering agar gambut tidak menjadi bersifat kering tidak-balik membentuk pasir semu. Dengan demikian, permukaan air tanah harus selalu berada pada jangkauan akar tanaman, dan kelembaban tanah di bagian permukaan harus mendukung gambut agar tidak menjadi kekeringan. Model perhitungan menetapkan tinggi muka air tanah, yang disebut sebagai *groundwater mound modeling*, seperti terlihat dalam Gambar 4a dan 4b, dapat dipertimbangkan untuk menjadi salah satu cara dalam menghitung penetapan tinggi muka air tanah. Namun demikian, untuk pusat kubah gambut sebagai sumber air tawar tetap harus dikonservasi.

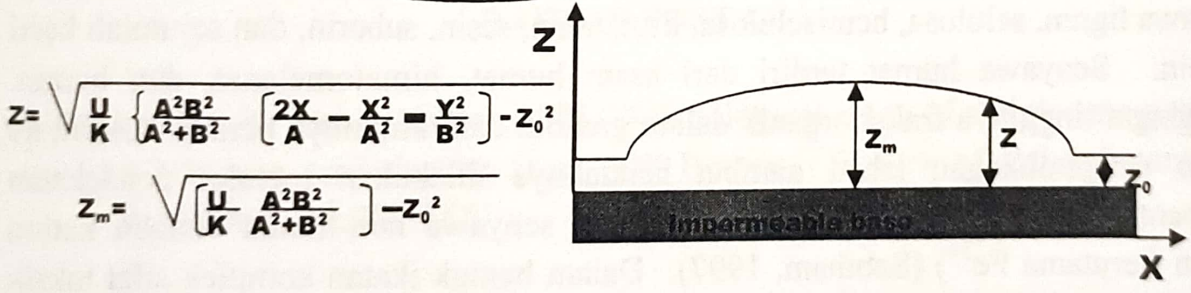


a).



b).

A: major axis  
 B: minor axis  
 X,Y: plane coordinates  
 Z : ketinggian utk tiap titik  
 Z<sub>m</sub>: ketinggian permukaan air tanah maksimum  
 Z<sub>o</sub>: ketinggian muka air di saluran  
 U: seepage \*)  
 K: Hydraulic conductivity



$$Z = \sqrt{\frac{U}{K} \left\{ \frac{A^2 B^2}{A^2 + B^2} \left[ \frac{2X}{A} - \frac{X^2}{A^2} - \frac{Y^2}{B^2} \right] - Z_0^2 \right.}$$

$$Z_m = \sqrt{\left[ \frac{U}{K} \frac{A^2 B^2}{A^2 + B^2} \right] - Z_0^2}$$

\*) Seepage diukur dengan menggunakan persamaan "Ingram" sebagai gambaran keseimbangan air pada daerah endapan gambut, sebagai berikut:  $P - E - U_{cat} - U_{acr} - G - \Delta W = 0$   
 Di mana: P = presipitasi, E = evaporasi, U = rembesan lateral, G = rembesan vertikal, dan  $\Delta W$  = rembesan lateral.  
 G dan  $\Delta W = 0$  karena di bawah endapan gambut kedap air, dan tidak ada perubahan kadar air dalam gambut;  $U_{cat}$  (zona anaerob) = pd kedalaman >60 cm;  $U_{acr}$  (zona aerob) = pd kedalaman 10-60 cm

Gambar 4. Daerah Studi (a) dan Pemodelan Muka Air Tanah (b) Berdasarkan Pendekatan Ginzler (1997).

### **Bahan Mineral di Bawah Endapan Gambut**

Bahan tanah mineral di bawah gambut merupakan parameter yang sangat penting dan perlu diperhatikan bilamana suatu lahan gambut akan dikembangkan untuk pertanian. Untuk itu endapan gambut dapat dikelompokkan menjadi:

- 1) Endapan gambut di atas pasir kuarsa; gambut ini banyak berkembang di lingkungan air tawar, dan umumnya miskin sampai sangat miskin akan unsur hara.
- 2) Endapan gambut di atas tanah mineral tua yang berkembang pada lingkungan air tawar, dan relatif miskin akan unsur hara.
- 3) Endapan gambut di atas tanah mineral muda (tanah alluvial) yang berkembang pada lingkungan marin dan/atau payau, secara umum relatif kaya akan unsur hara.

Pada dasarnya gambut yang diendapkan pada tanah mineral tua dan muda dapat direkomendasikan untuk pertanian tanaman pangan dan perkebunan, asalkan dilakukan secara hati-hati dan bukan pada pusat kubah gambut.

### **Peningkatan Stabilitas dan Penurunan Sifat Toksik Bahan Gambut**

Bahan gambut umumnya mengandung kurang dari 5% fraksi anorganik sedangkan selebihnya (>95%) adalah fraksi organik. Fraksi organik tersebut sebagian besar terdiri dari senyawa-senyawa non-humat, sedangkan senyawa humat hanya sekitar 10 – 20%. 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. Mengingat tingginya fraksi organik dalam gambut dan umumnya bersifat toksik, ke depan pengembangan lahan gambut hendaknya dilakukan melalui pendekatan pembentukan ikatan kompleks antara derivat senyawa non-humat dengan kation logam (terutama  $Fe^{3+}$ ) (Sabiham, 1997). Dalam bentuk ikatan kompleks sifat toksik dari derivat asam organik akan menurun.

### **Pemilihan Jenis Tanaman yang Sesuai.**

Jenis tanaman yang akan diusahakan pada lahan gambut harus didasarkan pada kemampuan dan kesesuaian lahan tersebut disertai dengan mempertimbangkan kondisi tata airnya. Diusulkan dua cara pendekatan dalam mengusahakan tanaman. Pertama, pengembangan tanaman berdasarkan pendekatan pada kondisi drainase alami. Kedua, pendekatan pada kondisi drainase buatan pada berbagai permukaan air tanah.

### 1) Pendekatan pada Kondisi Drainase Alami

Berdasarkan pengamatan di lapangan selama ini, tanaman pangan yang dapat dikembangkan dan mempunyai nilai ekonomi tinggi, serta mampu beradaptasi dengan sangat baik pada kondisi drainase alami yaitu padi jenis lokal dan sagu dari spesies rawa gambut yaitu *Metroxylon sago* dan *M. rumphii*.

### 2) Pendekatan pada Kondisi Drainase Buatan

Kondisi drainase yang dibuat seharusnya tidak menjadikan gambut kekeringan. Oleh karenanya tata saluran yang dirancang harus tetap mempertimbangkan kandungan air dalam gambut pada keadaan di atas batas kritis. Batas kritis kadar air untuk gambut marin adalah 229 – 307%, gambut payau 253 – 339%, dan gambut air tawar 273 – 365% [Azri, 1999].

#### a) Kedalaman Muka Air Tanah (<40 – 60 cm)

Beberapa jenis tanaman yang baik untuk dikembangkan pada kondisi drainase buatan seperti ini di antaranya adalah padi, sayuran, buah-buahan (tanaman pekarangan), dan rumput sebagai pakan ternak.

#### b) Kedalaman Muka Air Tanah 60 – 100 cm

Jenis tanaman yang dapat dikembangkan pada lahan gambut dengan kondisi permukaan air tanah yang dalam (60 – 100 cm) adalah tanaman tahunan/perkebunan seperti kelapa, kelapa sawit, dan karet yang diusahakan dalam bentuk perkebunan. *Acacia crasicarpa* dapat diusahakan dalam bentuk hutan tanaman industri.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, J.A.R., and J. Muller. 1975. Palynological study of a Holocene peat and a Miocene coal deposit from NW Borneo. *Review of Palaeobotany and Palynology* 19:291-351.
- Andriessse, J.P. 1974. Tropical lowland peats in Southeast Asia. Communication No. 63. Royal Tropical Institute, Amsterdam.
- Andriessse, J.P. 1988. Nature and management of tropical peat soils. *FAO Soils Bull.* 59, Rome. 165 p.

- Azri. 1999. Sifat kering tidak balik tanah gambut dari Jambi dan Kalimantan Tengah: Analisis berdasarkan kadar air, kemasaman total, gugus fungsional COOH dan OH-fenolat. Tesis. Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Brady, M.A., and A. Kosasih. 1991. Controlling off-site forest destruction during oil field development in Sumatra, Indonesia. *In*, Proceedings of the 20<sup>th</sup> Annual Indonesian Petroleum Association Convention. Jakarta, Indonesia. pp: 485-509.
- Chambers, M.J. 1979. Rate of peat loss on the Delta Upang transmigration projects. South Sumatera. pp: 765-777. Proc. Simposium Nasional III. Pengembangan Daerah Pasang Surut di Indonesia.
- Ditjen Pengembangan Pedesaan. 2000. Penyempurnaan sistem reklamasi dan pengembangan pertanian di lahan rawa. Bahan Seminar Nasional Penelitian dan Pengembangan Pertanian Lahan Rawa. Cipayung, Bogor. 25 - 27 Juli 2000.
- 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.
- Ginzler, C. 1997. A hydrological approach to bog management. pp.280-286. *In*, Parkyn, L. *et al.* (eds.) Conserving peatlands. Cab Int'l Wallingford. Oxon, UK.
- Harahap, H. 1993. Pemanfaatan gambut di Indonesia: Suatu kesempatan dan tantangan. *In*, Triutomo (ed.) Prosiding Seminar Nasional Gambut II. HGI-BPPT. Jakarta.

- Immirzi, C.P., and E. Maltby. 1992. The global status of peatlands and their role in carbon cycling. A report for friends of the earth by the Wetland Ecosystems Research Group. Department of Geography, University of Exeter, Friends of the Earth, London.
- Istomo. 2002. Kandungan fosfor dan kalsium serta penyebarannya pada tanah dan tumbuhan hutan rawa gambut. Disertasi. Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Kaizuka, S. 1980. Late Cenozoic Palaeogeography of Japan. *Geo J.* 4(2):101-109.
- 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.
- Molengraaff, G.A.F., and M. Weber. 1921. On the relation between the Pleistocene Glacial period and the origin of the Sunda Sea (Java and South China Seas), and its influence on the distribution of coral reef and on the land and fresh water faunas. pp. 397-439. *In*, Proceedings of Koninkrijke Akademie van Wetenschappen, de Amsterdam, 23.
- Momose, K., and T. Shimamura. 2004. Malay riverbank communities in peat swamp forests of the Sumatran east coast: Environment, network and transformation. pp. 537-559. *In*, Furukawa, H. *et al.* (eds.) Ecological Destruction, Health, and Development: Advancing Asian Paradigms. Kyoto University Press and Trans Pacific Press. Australia.
- Nicolas. 2002. Peranan amelioran tanah mineral diperkaya dengan besi terak baja terhadap perubahan kadar serat dan produktivitas gambut disawahkan. Tesis. Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Ohta, H. 2005. Overview of greenhouse effect gas emission from agricultural soils through microbial activities. Paper of the International Workshop on Ecological Analysis and Control of Greenhouse Gas Emission from Agriculture in Asia. Ibaraki, Japan, 15-16 September 2005.

- 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.
- Rieley, J.O., S.E. Page, S.H. Limin, and S. Winarti. 1997. The peatland resources of Indonesia and the Kalimantan peat swamp forest research project. *Proc. Int'l. Symp. Biodiversity, Environmental Importance and Sustainability of Tropical Peat and Peatlands*. Samara Publ.
- 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., and H. Furukawa. 1986. A Study of Floral Composition of peat in the Lower Batang Hari River Basin of Jambi, Sumatra. *Southeast Asian Studies* 24(2):113-132.
- Sabiham, S., dan N.B.E. Sulistyono. 2000. Kajian Beberapa Sifat Inheren dan Perilaku Gambut: Kehilangan CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> melalui Proses Reduksi-Okasidasi. *J. Tanah Trop.* 10:127-135.
- 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.
- Scott, A.J, and W.L. Fisher. 1969. Delta syatems and deltaic deposition. *In*, Delta Systems in the in the Exploration for Oil and gas. A Research Colloquium, Bureau of Economic Geology, The University of Texas, Austin. pp. 10-29.

- Silvius, M.J., M.W. Simons, W.J.M. Verheugt. 1984. Soil, vegetation, fauna and nature conservation of the Berbak Game Reserve, Sumatra, Indonesia. Research Institute for Nature Management, Arnhem. The Netherlands.
- Soil Survey Staff. 1996. Keys to Soil Taxonomy. 8<sup>th</sup> Edition. 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.
- Sugandhy, A. 1997. Conservation and sustainable use of tropical peatland in Indonesia, within the national strategy for environmental management of wetland ecosystems. Proc. Int'l. Symp. Biodiversity, Environmental Importance and Sustainability of Tropical Peat and Peatlands. Samara Publ. Ltd.
- Tim IPB. 1982. Laporan akhir unit percontohan tata air di Telang, Sumatera Selatan. P4S-Institut Pertanian Bogor
- Tjia, H.D. 1970. Quaternary shorelines of the Sunda Land, Southeast Asia, *Geologie en Mijnbouw* 49(2):135-144.
- Tjia, H. D. 1977. "INQUA" Quaternary shorelines commission, Pacific and Indian Ocean Subcommittee, Region Indonesia and Malaysia, Status Report, *Geology/ Geosurvey Newsletter* 9:89-92
- Yoshikawa, T. 1987. Inventory of quaternary shorelines. Indian and Pacific Oceans Region. Tokyo University of Agriculture. Japan