

SIFAT KIMIA DAN TINGGI MUKA AIR TANAH GAMBUT PADA TIGA TIPE PENGGUNAAN LAHAN DI FISIOGRAFI KUBAH GAMBUT DAN RAWA BELAKANG KHG KAHAYAN-SEBAGAU

An Analysis Of The Chemical Properties And Water Table Content Of Peat On Three Types Of Land Use On Peat Dome And Backswamp Physiography Of Peat Hidrological Unit Kahayan-Sebangau At Kalampangan Village

Marinus Kristiadi Harun¹, Syaiful Anwar², Eka Intan Kumala Putri³ dan Hadi Susilo Arifin²

1.Prodi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (PSL), Sekolah Pasca Sarjana, IPB.

2.Departemen Pertanian, Institut Pertanian Bogor (IPB).

3.Departemen Ekonomi Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor (IPB).

ABSTRACT *This study aims to: (1) determine the chemical properties of peat soils in 3 types of land cover in 2 physiographies; (2) find out water level fluctuations (WLF) on peat soils covered by agroforestry and horticulture in the physiography of peat dome and backswamp during the rainy season, transitions and drought. This research was conducted in January until December 2018 in Kahayan-Sebangau Peat Hidrological Unit, in the Kalampangan Vilagge. The results showed that differences in peat soil cover conditions at different physiographies affected chemical properties and WLF. The three types of peatland cover on both physiographic types of peatlands have a pH that categories into the very acid (<4.5). The results of this study indicate that nutrients (N, P, Kd, C, Mg, Al, Na and SO₄) that are formed in each type of land cover in 2 physiographies indicate that these elements in peatlands are influenced by a layer of peat which obtains input of organic material from the plants above it. Peat fertility depends on the contribution of organic material from plants on it. Peatland cation exchange capacity values for all types are in the very high category (> 40). In addition to the chemical elements of the soil, the peat ground water level is highly volatile following rainfall so that during the peak of the dry season (MK) the WLF can reach 200 cm below the ground surface, and vice versa during the peak of the rainy season (MH) the WLF can inundate all peat soils.*

Keywords: *agroforestry systems; backswamps, chemical properties of peat soils, peat soils, peat soil water level, peat domes, physiography, peat hydrological units.*

ABSTRAK. Penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengetahui sifat kimia tanah gambut pada 3 (tiga) tipe penutupan lahan di 2 fisiografi; (2) mengetahui fluktuasi tinggi muka air (TMA) gambut berpenutupan agroforestri, hortikultura di fisiografi kubah gambut dan rawa belakang pada saat musim hujan, transisi dan kemarau. Penelitian ini dilaksanakan pada Bulan Januari s.d Desember 2018 di KHG Kahayan-Sebangau, wilayah Kelurahan Kalampangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan kondisi penutupan tanah gambut pada fisiografi yang berbeda berpengaruh terhadap sifat kimia dan TMA gambut. Ketiga tipe penutupan lahan gambut pada kedua tipe fisiografi lahan gambut mempunyai pH yang termasuk kategori sangat masam (<4,5). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa unsur hara (N, P, K_{dd}, Ca_{dd}, Mg_{dd}, Al_{dd}, Na_{dd} dan SO₄) yang terbentuk pada masing-masing tipe penutupan lahan di 2 (dua) fisiografi mengindikasikan bahwa unsur-unsur tersebut di lahan gambut dipengaruhi oleh lapisan gambut yang memperoleh masukan bahan organik dari tumbuhan di atasnya. Lapisan gambut dan bahan organik tersebut menjadi sumber unsur hara utama bagi lahan gambut melalui proses mineralisasi. Kesuburan gambut tergantung pada sumbangan bahan organik dari tumbuhan di atasnya. Nilai kapasitas pertukaran kation (KPK) tanah gambut pada semua tipe termasuk kategori sangat tinggi (>40). Selain unsur kimia tanahnya, tinggi muka air tanah gambut (TMA) sangat berfluktuatif mengikuti curah hujan sehingga pada saat puncak musim kemarau TMA dapat mencapai 200 cm di bawah permukaan tanah, dan sebaliknya pada saat puncak musim hujan TMA dapat menggenangi seluruh lapisan tanah gambut.

Kata kunci: sistem agroforestri; tanah gambut, tinggi muka air tanah gambut, sifat kimia tanah gambut, kubah gambut, rawa belakang, fisiografi, kesatuan hidrologis gambut.

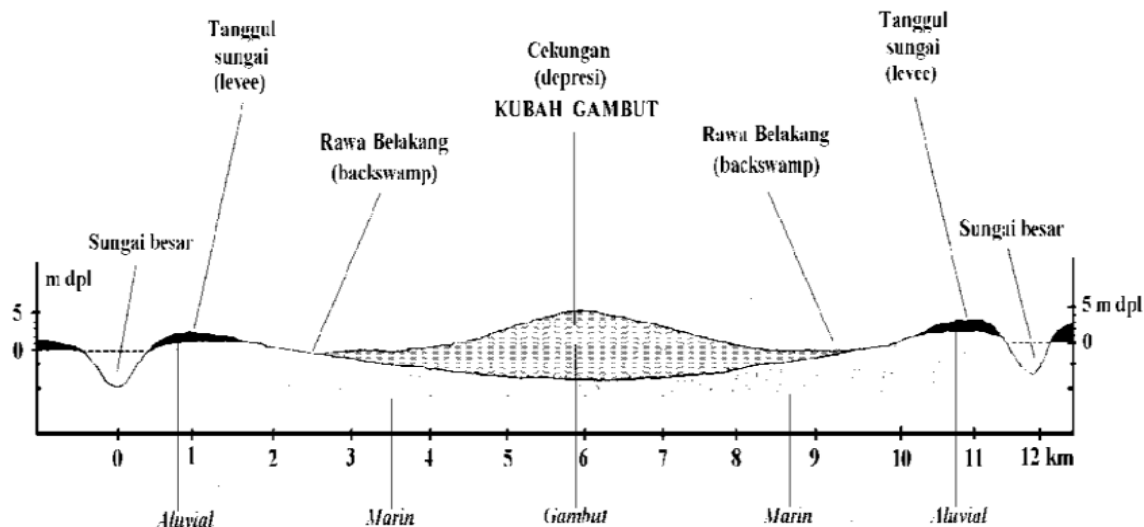
Penulis untuk korespondensi,surel: mkristiadih@gmail.com

PENDAHULUAN

Tanah gambut merupakan tanah yang berasal dari sisa-sisa tumbuhan, sehingga bahan induk berupa bahan organik. Tanah ini termasuk ordo histosol atau organosol. Drainase lahan yang buruk menjadi faktor utama terbentuknya tanah gambut. Karakteristik vegetasi yang menghasilkan bahan organik pembentuk tanah gambut akan mempengaruhi kualitas tanah gambut. Bahan mineral yang berada di bawah lapisan gambut, faktor lingkungan tempat terbentuknya tanah gambut dan proses pembentukannya berpengaruh terhadap kualitas tanah gambut (Noor 2001). Laju penimbunan bahan organik yang terdapat di lantai hutan lahan basah lebih cepat dibandingkan dengan laju dekomposisi. Kondisi tersebut menyebabkan terjadinya akumulasi bahan organik pada tanah gambut (Wahyunto & Subiksa 2011). Pembentukan tanah gambut disebabkan oleh proses deposisi dan transportasi (proses geogenik). Pada tanah mineral adalah proses pedogenik (Najiyati *et al.* 2005). Proses dekomposisi pada gambut tropika sangat lambat karena kondisi lingkungan yang anareob (Rodney & Ewel 2005). Laju penimbunan gambut di daerah tropika berkisar antara 5-10 mm per tahun (Maas 1996). Nilai tersebut lebih besar daripada laju akumulasi di daerah non tropika yang berkisar 0,1-0,8 mm per tahun (Wust *et al.* 2007).

Keragaman sifat fisika dan kimia tanah gambut tropis secara spasial maupun vertikal besar. Ketebalan gambut, tanah mineral di bawah gambut, tingkat kematangan, dan ada tidaknya pengaruh pasang surut air sungai, akan menentukan karakteristik gambut (Fahmi 2012). Karakteristik tersebut perlu sebagai acuan arah pemanfaatan lahan gambut untuk

mencapai produktivitas yang tinggi dan berkelanjutan. Ketebalan lapisan gambut dapat digunakan sebagai kriteria klasifikasi gambut. Lahan gambut dibedakan menjadi empat kategori: (1) gambut sangat tebal, jika ketebalannya lebih dari 3 m; (2) gambut tebal, jika ketebalannya 2-3 m; (3) gambut sedang, jika ketebalannya 1-2 m; dan (4) gambut tipis, jika ketebalannya 0,5-1 m (Widjaja-Adhi 1997). Indonesia mempunyai lahan gambut di sekitar sungai besar yang bermuara ke laut dan sampai ratusan kilometer ke arah hulu. Perbedaan ketebalan gambut dalam suatu daerah dipengaruhi oleh perbedaan jaraknya dari sungai atau laut. Lokasi gambut yang semakin jauh dari sungai/laut cenderung semakin tebal (membentuk kubah). Gradien ketebalan gambut di wilayah Provinsi Kalimantan Tengah adalah 1 m dalam jarak 726 m (Page *et al.* 2006). Aliran air secara lateral membentuk kubah gambut. Aliran ini terjadi pada sekitar tepi lahan gambut yang berdekatan atau berbatasan dengan sungai. Hal tersebut menyebabkan terjadinya penambahan bahan organik pada bagian tengah lahan gambut semakin bertambah sedangkan penambahan bahan organik pada bagian tepinya masih rendah (Fahmi 2012). Pembagian fisiografi dalam lanskap Kesatuan Hidrologis Gambut (KHG), lahan gambut dari sungai besar pertama hingga ke sungai besar berikutnya, dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga), yakni: (1) kawasan tanggul sungai (*levee*); (2) kawasan rawa belakang (*backswamp*), yang merupakan cekungan berisi tanah gambut; (3) kawasan kubah gambut (*peat dome*), selanjutnya kembali dataran rawa belakang dan tanggul sungai berikutnya. Kondisi bentukan lahan yang relatif sama atau mirip proses pembentukan dan dinamikanya disebut satuan (unit) fisiografi. Ilustrasi penampang skematis lanskap gambut (Gambar 1) (Subagyo 2000).



Gambar 1 Penampang skematis KHG di antara dua sungai besar (Subagyo 2000).

Kesatuan Hidrologis Gambut (KHG) perlu dijadikan sebagai acuan dalam pengelolaan ekosistem gambut. Pengelolaan lahan gambut berbasis KHG dilakukan dengan mengkonservasi kubah gambut agar sumber air terpenuhi sepanjang tahun, terhindar dari banjir dan kekeringan. Kubah gambut dilindungi dengan cara meminimalkan saluran drainase di sekelilingnya dan menjaga tutupan hutannya (Rydin & Jeglum 2006). Kesatuan hidrologis gambut perlu dipahami dalam konteks lanskap (bentang lahan) sebagai suatu ekoregion (bioregion). Hal ini digunakan sebagai batas wilayah kesatuan pengelolaan ekosistem gambut. Pendekatan tersebut sangat ideal untuk diterapkan dalam pengelolaan sumberdaya alam berbasis ekosistem. Pendekatan tersebut mempunyai kelebihan dalam hal kejelasan batas wilayah, kemampuannya dalam menggambarkan hubungan timbal balik antara kondisi bio-fisik dengan kehidupan sosial dan budaya masyarakat di dalamnya (Najiyati *et. al* 2005).

Pemanfaatan fungsi produksi ekosistem gambut mempunyai risiko lingkungan, yakni rentan mengalami degradasi, sehingga pemanfaatannya harus berprinsip kehati-hatian. Pengelolaan lahan gambut perlu meminimalisir terjadinya laju dekomposisi yang terlalu besar, mencegah terjadinya kebakaran, meminimalisir terjadinya emisi Gas Rumah Kaca (GRK) yang terlalu besar. Proses dekomposisi merupakan proses alamiah yang terjadi pada ekosistem gambut. Proses ini diperlukan dalam penyediaan hara bagi tanaman, sehingga meniadakan emisi GRK dalam pemanfaatan

lahan gambut adalah tidak mungkin (Fahmi 2012). Peningkatan produktivitas secara maksimal dan menekan tingkat emisi serendah mungkin merupakan konsep pengelolaan lahan gambut berkelanjutan. Berdasarkan uraian di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan sifat kimia tanah gambut pada 3 (tiga) tipe penutupan lahan (agroforestri, hortikultura dan semak belukar) di 2 (dua) satuan fisiografi Kesatuan Hidrologis Gambut (KHG) Kahayan-Sebangau (rawa belakang dan kubah gambut) yang termasuk wilayah Kelurahan Kalampangan, Kecamatan Sabangau, Kota Palangkaraya, Provinsi Kalimantan Tengah.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Kelurahan Kalampangan, Kecamatan Sabangau, Kota Palangkaraya, Provinsi Kalimantan Tengah. Tipe lahan yang dipilih adalah lahan gambut berpenutupan sistem agroforestri, hortikultura, dan lahan semak belukar (lahan terlantar) pada satuan fisiografi rawa belakang dan kubah gambut KHG Kahayan-Sebangau. Pelaksanaan penelitian dilakukan pada bulan Januari–Desember 2018. Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain: sampel tanah, khemikalia untuk analisis unsur kimia tanah. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah: bor gambut, GPS dan pita meteran. Penelitian ini menggunakan metode observasi, yaitu pengambilan sampel di

lapangan dan dianalisis di laboratorium untuk mendapatkan data kuantitatif. Penentuan titik pengambilan sampel tanah dilakukan dengan metode *purposive sampling*. Data yang telah diperoleh dari analisis laboratorium selanjutnya disajikan dalam bentuk table dan grafik untuk dianalisis dengan cara mengkategorikannya ke dalam 5 (lima) kategori, yakni: sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Sedangkan untuk data pH dikategorikan ke dalam 6 (enam) kategori, yakni: sangat masam, masam, agak masam, netral, agak alkalis, dan alkalis. Pengukuran fluktuasi tinggi muka air tanah gambut (TMA) dilakukan pada sumur gali yang terdapat pada lahan pertanian sistem agroforestri dan tanaman hortikultura pada fisiografi kubah gambut dan rawa belakang saat musim hujan, transisi dan kemarau. Sumur yang dijadikan sampel berjumlah 10

buah per tipe fisiografi (total 20 sumur sampel). Pengukuran pada masing-masing sumur pada 3 (tiga) kategori musim dilakukan sebanyak 3 (tiga) kali ulangan. Pengukuran TMA dilakukan pada pagi hari pukul 06.00-07.00 WIB.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Profil lahan gambut di fisiografi kubah gambut berpenutupan agroforestri, hortikultura dan semak belukar (Gambar 1). Hasil analisis sifat kimia tanah gambut pada 3 (tiga) tipe penutupan lahan (agroforestri, hortikultura dan semak belukar) di 2 (dua) fisiografi KHG Kahayan-Sebangau (kubah gambut dan rawa belakang) seperti pada Tabel 1.



Gambar 1 Tiga tipe penutupan lahan pada fisiografi kubah gambut KHG Kahayan-Sebangau wilayah Kelurahan Kalampangan, Kota Palangkaraya.

Data pada Tabel 1 selanjutnya akan dikategori mengacu pada Hardjowigeno (1996) (Tabel 2). Tabel 2 menjelaskan tentang kriteria penilai sifat kimia tanah (diadopsi dari penilaian untuk tanah mineral). Kriteria tersebut digunakan sebagai pembandingan, karena kriteria penilai sifat kimia tanah khusus untuk gambut belum ada.

Hasil analisis sifat kimia tanah (Tabel 1) menjelaskan bahwa kondisi penutupan lahan gambut berpengaruh terhadap sifat kimia tanah. Hal ini selaras dengan Fahmi (2012) yang menyatakan bahwa faktor lingkungan saling berinteraksi di dalam tanah dan berperan penting dalam menentukan sifat tanah.

Bahan organik pada tanah gambut bersifat saling mempengaruhi dengan bahan mineral di bawahnya (terutama sulfidik). Hal ini disebabkan adanya senyawa organik dalam gambut yang mampu membentuk kompleks relatif stabil dengan unsur-unsur yang bersumber dari bahan sulfidik seperti Fe (Fahmi 2012). Pembentukan kompleks tersebut sangat mempengaruhi keseimbangan kimia dalam tanah gambut, seperti berkurangnya intensitas reaksi reduksi-oksidasi (redoks) senyawa-senyawa Fe, reaksi pelepasan dan pengikatan P, berkurangnya laju mineralisasi gambut dan bahkan dapat mengurangi emisi karbon dari lahan gambut melalui reaksi pembentukan mineral siderit (Kyuma 2004).

Tabel 1 Sifat kimia gambut dari 3 penutupan lahan pada fisiografi rawa belakang dan kubah gambut KHG Kahayan-Sebangau wilayah Kelurahan Kalampangan.

Tutupan lahan	Sifat Kimia Tanah											
	pH H ₂ O	C org	Al dd	N total	P tsd	K dd	Na dd	Ca dd	Mg dd	SO ₄ (ppm)	KTK	KB
Satuan Fisiografi Rawa Belakang KHG Kahayan-Sebangau												
Agroforestri	3,81	43,66	4,52	7,46	734,25	2,25	1,12	7,45	8,29	102,12	166,20	11,52
Hortikultura	3,32	6,49	3,97	5,10	209,67	1,08	0,23	1,61	5,10	119,20	151,62	6,03
Semak belukar	3,10	16,84	5,72	0,94	19,80	0,21	0,16	6,62	4,22	104,23	217,08	5,85
Satuan Fisiografi Kubah Gambut KHG Kahayan-Sebangau												
Agroforestri	3,70	18,85	2,40	0,81	235,45	0,96	0,20	1,44	7,46	101,69	122,81	8,19
Hortikultura	3,31	50,17	2,30	4,98	142,60	0,65	0,18	0,51	4,98	112,66	130,02	4,28
Semak belukar	2,86	52,95	3,53	0,94	46,36	0,19	0,16	3,50	2,83	102,56	191,39	3,07

Tabel 2 Kriteria penilaian sifat kimia tanah

Sifat Tanah	Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi	
1. C (%)	<1,00	1,00-2,00	2,01-3,00	3,01-5,00	>5,00	
2. N (%)	<0,10	0,10-0,20	0,21-0,50	0,51-0,75	>0,75	
3. C/N	<5	5-10	11-15	16-25	>25	
4. P ₂ O ₅ HCl (mg/100 g)	<10	10-20	21-40	41-60	>60	
5. P ₂ O ₅ Bray 1 (ppm)	<10	10-15	16-25	26-35	>35	
6. P ₂ O ₅ Olsen (ppm)	<10	10-25	26-45	46-60	>60	
7. K ₂ O HCl 25% (mg/100 g)	<10	10-20	21-40	41-60	>60	
8. KTK (me/100 g)	<5	5-16	17-24	25-40	>40	
9. Susunan Kation:						
a. K (me/100 g)	<0,1	0,1-0,2	0,3-0,5	0,6-1,0	>1,0	
b. Na (me/100 g)	<0,1	0,1-0,3	0,4-0,7	0,8-1,0	>1,0	
c. Mg (me/100 g)	<0,4	0,4-1,0	1,1-2,0	2,1-8,0	>8,0	
d. Ca (me/100 g)	<2	2-5	6-10	11-20	>20	
10. Kejenuhan:						
a. Basa (%)	<20	20-35	36-50	51-70	>70	
b. Aluminium (%)	<10	10-20	21-30	31-60	>60	
Kriteria	Sangat Masam	Masam	Agak Masam	Netral	Agak Alkalis	Alkalis
pH H ₂ O	<4,5	4,5-5,5	5,6-6,5	6,6-7,5	7,6-8,5	>8,5

Sumber: Hardjowigeno (1996).

Kandungan mineral, ketebalan, jenis tumbuhan penyusun gambut, jenis mineral pada substratum (di dasar gambut), dan tingkat dekomposisi (kematangan) gambut akan menentukan karakteristik kimia tanah gambut (Fahmi 2012). Bahan kayu-kayuan umumnya mendominasi tanah gambut di Pulau Kalimantan. Bahan organik tanah gambut sebagian besar adalah lignin, dengan komposisi lebih 60% dari bahan kering. Kandungan komponen lainnya seperti selulosa, hemiselulosa, dan protein tidak melebihi 11% (Noor 2001). Berikut dijelaskan sifat kimia tanah gambut pada penelitian ini.

Kemasaman tanah (pH)

Ketiga tipe penutupan lahan gambut pada kedua tipe fisiografi lahan gambut mempunyai pH yang termasuk kategori sangat masam (<4,5). Tanah gambut di fisiografi kubah gambut mempunyai tingkat keasaman yang konsisten lebih tinggi (nilai pH lebih rendah) dibandingkan dengan tanah gambut di fisiografi rawa belakang pada semua tipe penutupan lahan. Hal ini disebabkan karena tanah gambut pada fisiografi kubah hanya menerima masukan mineral dari air hujan, sedangkan gambut pada fisiografi rawa belakang selain dari air hujan juga menerima dari pasang-surut air sungai (Fahmi 2012). Tingkat kemasaman

tanah gambut (pH) berhubungan erat dengan kandungan asam-asam organik, yaitu asam humat dan asam fulvat (Noor 2010). Bahan organik terdekomposisi mempunyai gugus reaktif karboksil dan fenol yang bersifat sebagai asam lemah. Sumber kemasaman tanah gambut diperkirakan 85-95% disebabkan oleh kedua hal tersebut. Kemasaman tanah gambut akan menurun seiring dengan kedalaman gambut. Pada lapisan atas gambut dangkal mempunyai pH lebih tinggi dari gambut tebal (Widjaja-Adhi 1997).

Tanah gambut mengandung asam-asam alifatik dan asam-asam fenolat, karena berasal dari kayu-kayuan kaya lignin dalam keadaan anaerob (Noor 2001; Fahmi 2012). Asam-asam tersebut sebagian besar bagi tanaman bersifat racun (Andersen *et.al* 2010). Asam vanilat, *p*-kumarat, *p*-hidroksibenzoat, salisilat, galat, sinapat, gentisat, dan asam syringat merupakan jenis asam fenolat yang umum dijumpai dalam tanah gambut (Adji *et.al* 2005). Pertumbuhan tanaman akan terhambat akibat asam-asam fenolat yang bersifat fitotoksik (Hicks *et.al* 2009). Perkembangan akar tanaman dan penyediaan hara di dalam tanah menjadi terhambat oleh asam-asam fenolat. Kondisi tersebut dapat menjelaskan fenomena pada lahan berpenutupan semak belukar mempunyai pH yang lebih rendah dibandingkan dengan lahan yang berpenutupan agroforestri dan tanaman hortikultura pada kedua tipe fisiografi. Hal ini disebabkan pada lahan budidaya (agroforestri dan hortikultura) seringkali menerima masukan hara dari luar berupa kapur, bahan amelioran dan pupuk (Hadi *et.al* 2000).

Keasamaan tanah (pH) merupakan salah satu sifat kimia tanah gambut yang penting. Hal ini disebabkan perubahan pH tanah salah satunya dapat menyebabkan perubahan KPK tanah. Sifat KPK gambut sebagian besar berasal dari gugus fungsional asam-asam organik yang muatannya tergantung pH (Geurts *et.al* 2010). Salah satu yang mempengaruhi perubahan pH tanah adalah fluktuasi tinggi muka air tanah gambut (TMA), sehingga secara tidak langsung fluktuasi TMA juga berpengaruh pada KPK tanah. Peningkatan pH akibat meningkatnya TMA cenderung meningkatkan KPK gambut dan begitu juga sebaliknya (Fahmi 2012). Grafik tinggi muka air tanah gambut pada sumur gali di fisiografi rawa belakang dan kubah gambut

saat musim kemarau, transisi dan musim hujan (Gambar 2).

Kondisi keasaman tanah gambut (pH) berhubungan dengan reaksi redoks dalam lapisan bahan sulfidik dan aktifitas mineralisasi dan dekomposisi dalam lapisan gambut (Fahmi 2012). Lapisan gambut dan bahan sulfidik saling tindak mempengaruhi pH tanah, yang intensitas perubahannya ditentukan oleh sifat bahan sulfidik yang sangat peka terhadap fluktuasi TMA tetapi disangga oleh lapisan gambut. Zat besi (Fe) yang berasal dari bahan sulfidik tereduksi maka akan terjadi peningkatan pH, dan demikian pula sebaliknya (Kurnain *et.al* 2001). Konsentrasi SO_4^{2-} yang tinggi dalam lapisan gambut teratas tidak berdampak pada perubahan pH tanah. Nilai pH air gambut tidak berubah walaupun terjadi peningkatan konsentrasi SO_4^{2-} (Fahmi 2012). Pada penelitian ini kandungan SO_4^{2-} pada fisiografi kubah gambut berkisar 101,69-112,66 ppm dan 102,12-119,20 ppm pada fisiografi rawa belakang.

Nilai pH tanah dipengaruhi oleh fluktuasi muka air tanah. Bahan sulfidik di bawah lapisan gambut mempengaruhi perubahan pH lapisan gambut yang berfluktuasi mengikuti fluktuasi muka air tanah. Hal ini merupakan indikasi bahwa perubahan pH tanah berhubungan dengan aktifitas redoks pada lapisan bahan sulfidik. Hal ini berhubungan dengan besarnya pengaruh perubahan pH bahan sulfidik akibat proses redoks dan pelindian (Sajarwan 2007).

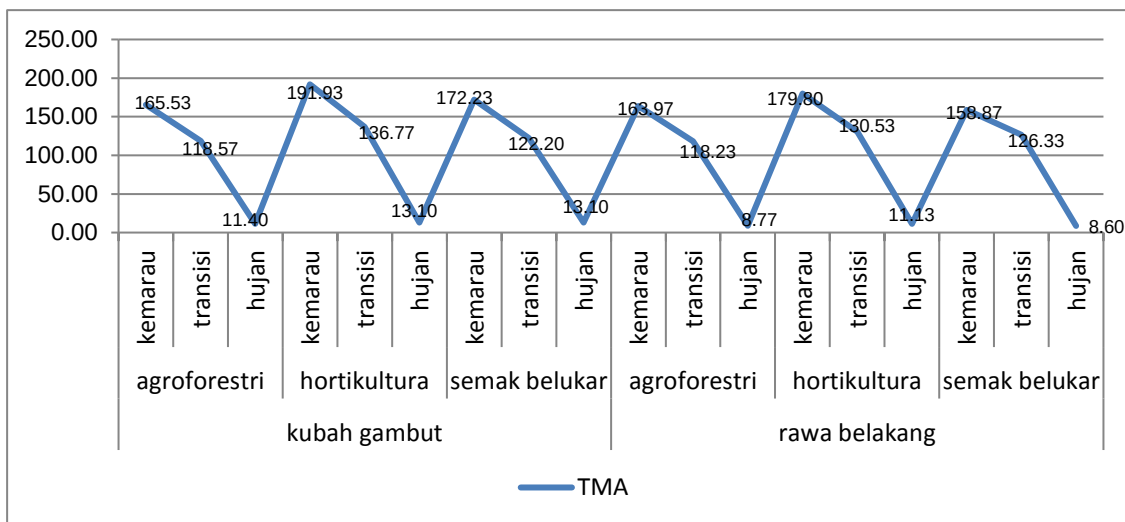
Fluktuasi TMA mempengaruhi pH tanah gambut, sedangkan ketebalan gambut menentukan daya sangga tanah terhadap besaran perubahan pH, yakni semakin tipis gambut maka daya sangganya semakin menurun. Penipisan lapisan gambut yang berada di atas bahan bahan sulfidik dapat menyebabkan peningkatan kemasaman tanah tidak hanya di lahan gambut tetapi juga di sekitar lingkungan gambut. Kondisi ini dapat terjadi terutama saat muka air tanah berada di bawah lapisan bahan sulfidik, sehingga segala upaya pemanfaatan dan konservasi gambut harus berdasarkan pada usaha melindungi gambut dari amblesan serta mempertahankan kondisi muka air tanah agar tidak memicu peningkatan laju mineralisasi dan kebakaran gambut (Fraser *et.al* 2001; Limin *et.al* 2007).

Tinggi Muka Air Tanah Gambut (TMA)

Fluktuasi TMA berperan penting dalam sifat kimia tanah gambut (Takahashi *et.al*/ 2001). Gambar 2 menjelaskan tentang fluktuasi TMA pada lokasi penelitian. Fluktuasi TMA diukur dari jarak permukaan tanah gambut ke permukaan air yang berada di sumur gali pada fisiografi kubah gambut dan rawa belakang. Gambut pada fisiografi kubah gambut termasuk gambut ombrogen. Gambut ini dalam masa pembentukannya sumber air hanya berasal dari air hujan. Fluktuasi TMA yang sangat dipengaruhi oleh curah hujan tentunya akan menampakkan TMA dan pola aliran yang

berbeda pada musim hujan dan musim kemarau. Perbedaan ini akan mempengaruhi perubahan sifat kimia tanah gambut yang tentunya dalam hal ini terkait pula dalam saling tindak dengan bahan sulfidik di bawahnya, sehingga dalam mempelajari dinamika saling tindak antara lapisan tanah gambut dengan bahan sulfidik harus memperhitungkan pula fluktuasi muka air tanah musiman (Fahmi 2012).

Kondisi TMA pada musim hujan, transisi dan musim kemarau pada fisiografi kubah gambut KHG Kahayan-Sebangau wilayah Kelurahan Kalampangan, Kota Palangkaraya (Gambar 3).



Gambar 2 Grafik TMA pada sumur gali di fisiografi rawa belakang dan kubah gambut saat musim kemarau, transisi dan musim hujan



Gambar 3 Kondisi TMA pada musim hujan (kiri), transisi (tengah) dan puncak musim kemarau (kanan) pada fisiografi kubah gambut KHG Kahayan-Sebangau wilayah Kelurahan Kalampangan, Kota Palangkaraya.

Lahan gambut yang menjadi lokasi penelitian ini memiliki sifat yang khas pada masing-masing tipe. Selain unsur kimia tanahnya, tinggi muka air tanah gambut (TMA) sangat berfluktuatif mengikuti curah

hujan sehingga pada saat puncak musim kemarau (MK) TMA dapat mencapai 200 cm di bawah permukaan tanah, dan sebaliknya pada saat puncak musim hujan (MH) TMA dapat menggenangi seluruh lapisan tanah

gambut. Tiga tipe penutupan lahan pada dua fisiografi yang berbeda pada penelitian ini menunjukkan sifat kimia tanah yang berbeda-beda, yang intensitas ataupun pola perubahannya salah satunya ditentukan oleh fluktuasi TMA. Hal ini seperti Fahmi (2012) yang menyatakan bahwa faktor fluktuasi TMA dan ketebalan lapisan gambut dapat secara bersamaan ataupun relatif dominan hanya satu faktor mempengaruhi sifat-sifat tanah yang diamati. Hal ini seperti pada unsur hara yang diamati utamanya berasal dari lapisan gambut yang terlarutkan melalui proses dekomposisi atau mineralisasi sedangkan unsur logam utamanya berasal dari bahan sulfidik yang ada di bawah lapisan gambut. Penurunan TMA sampai pada lapisan bahan sulfidik telah mempengaruhi sifat bahan sulfidik di bawah lapisan gambut, dan akibatnya sifat bahan sulfidik pada setiap ketebalan gambut juga berbeda-beda (Rodney *et.al* 2005; Takahashi *et.al* 2001).

Lapisan bahan sulfidik meningkatkan konsentrasi logam dalam tanah gambut tetapi besarnya konsentrasi asam organik dalam gambut menurunkan kelarutan unsur tersebut. Komplek asam organik-logam tersebut relatif terkonsentrasi pada suatu posisi di dalam profil tanah, yang bergerak bersama air tanah secara kapiler ataupun karena pengaruh gravitasi (Adji *et.al* 2005). Konsentrasinya (agihannya) antara lain dipengaruhi oleh jarak dari unsur tersebut berasal sehingga ketebalan gambut dalam hal ini berfungsi sebagai faktor jarak (Fahmi 2012). Fluktuasi TMA pada lahan gambut yang menjadi tapak penelitian ini sangat ditentukan oleh besarnya curah hujan (termasuk gambut ombrogen). Grafik pada Gambar 2 menunjukkan bahwa TMA pada fisiografi kubah gambut (gambut sangat dalam, > 3 m) konsisten lebih rendah dari pada fisiografi rawa belakang (gambut tipis-dalam, 1-<3 m). Hal ini disebabkan posisi gambut pada fisiografi kubah gambut lebih jauh dari pada gambut pada fisiografi rawa belakang terhadap sungai terdekat (Sungai Kahayan/Sebangau). Tinggi muka air tanah gambut pada tanah gambut berpenutupan agroforestri konsisten lebih tinggi dibandingkan TMA pada tanah gambut berpenutupan hortikultura pada kedua fisiografi. Hal ini disebabkan oleh pengaruh perakaran tanaman pohon (jelutung rawa) yang lebih dapat mengikat air tanah dibandingkan dengan perakaran tanaman hortikultura. Selain itu, iklim mikro tanah gambut berpenutupan agroforestri lebih baik

dibandingkan dengan tanah gambut berpenutupan tanaman hortikultura (Kurnain *et.al* 2001).

Sifat tanah gambut cenderung berubah-ubah membentuk suatu pola tertentu yang menyesuaikan dengan fluktuasi TMA. Namun, ada juga sifat tanah gambut yang konsisten tidak terpengaruh dengan fluktuasi TMA karena adanya faktor lain yang lebih berpengaruh terhadapnya (Fahmi 2012). Setiap unsur yang diamati memiliki sifat yang khas dalam merespon dinamika fluktuasi TMA sehingga selalu tercapai kondisi keseimbangan secara alamiah, walaupun demikian secara umum dapat dikatakan bahwa fluktuasi TMA lebih dominan dalam mempengaruhi sifat kimia tanah gambut dengan substratum bahan sulfidik dibandingkan faktor ketebalan gambut (Fahmi 2012).

Salah satu faktor yang mempengaruhi fluktuasi TMA adalah ketebalan gambut (Fahmi 2012). Fluktuasi TMA berdasarkan Gambar 2 mencapai 11,4-192 cm pada kubah gambut dan 8,6-179,8 cm pada daerah rawa belakang. Fluktuasi TMA akibat perbedaan musim menentukan ketersediaan oksigen, derajat dekomposisi, ketersediaan dan pergerakan unsur hara dan logam serta mempengaruhi sifat fisika dan biokimia tanah (Takahashi *et.al* 2001). Laju dekomposisi dan populasi mikroorganisme tanah gambut sangat dipengaruhi oleh kedalaman (jeluk) TMA. Fluktuasi TMA mempengaruhi distribusi dan konsentrasi ferro (Fe^{2+}) dan SO_4^{2-} (Prietz *et al.* 2010).

Konsentrasi unsur atau senyawa hasil aktifitas mikroorganisme dalam tanah dipengaruhi oleh fluktuasi TMA. Ketersediaan P akan meningkat dalam tanah gambut yang mengalami pembasahan kembali setelah kering. Penggenangan cenderung meningkatkan konsentrasi P, Ca, K, amonium (NH_4^+), CO_2 , Fe^{2+} , ion-ion kuat, pH, daya hantar listrik (DHL) dan kapasitas pertukaran kation (KPK) (Reddy & DeLaune 2008). Pada tanah dalam kondisi relatif kering maka ion-ion kuat, pH, DHL, KPK dan konsentrasi unsur-unsur tersebut cenderung menurun sedangkan konsentrasi aluminium (Al^{3+}), SO_4^{2-} , dan Fe^{3+} cenderung meningkat. Pergerakan dan kelarutan unsur hara serta tingkat emisi karbon di lahan gambut dipengaruhi oleh fluktuasi TMA tanah (Fahmi 2012). Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar unsur hara seperti N dan P dapat mencemari lingkungan (eutrofikasi) karena

unsur tersebut bergerak bersama air menuju perairan bebas (Andersen *et.al* 2010). Penggenangan meningkatkan kemampuan bergerak NH_4^+ , Mn^{2+} , Fe^{2+} dan SO_4^{2-} , dan ion-ion tersebut dapat bergerak bersamaan dengan air tanah atau mengendap karena adanya gravitasi atau konsentrasinya yang jenuh. Pergerakan air di dalam tanah akan membawa sebagian tanah dalam bentuk mineral ataupun senyawa organik, dan pergerakan ini dapat terjadi secara horizontal ataupun vertikal yang menyebabkan ion dan unsur dapat tersebar pada tempat-tempat tertentu di lahan gambut (Fraser *et al.*, 2001). Unsur Mg dapat tercuci (terlindi) dan dapat kembali ke lapisan atas karena bergerak bersama air tanah. Unsur hara dan logam dapat tersebar dalam profil tanah dan dapat hilang dari tanah karena terbawa bersama aliran air menuju perairan bebas. Unsur dalam tanah dapat bergerak dalam bentuk ion ataupun senyawa yang telah membentuk kompleks dengan bahan organik. Perubahan bilangan valensi dapat menjadikan unsur tersebut bersifat lebih mudah bergerak. Ion Fe^{2+} lebih mudah bergerak dari pada Fe^{3+} (Geurts *et.al* 2010).

Fluktuasi muka air tanah mempengaruhi kondisi redoks tanah dan konsentrasi Fe di dalam tanah. Penurunan Eh dan peningkatan curah hujan telah menurunkan kandungan Fe total dari 25 % menjadi < 1 % dari total massa tanah. Perubahan musim juga berpengaruh terhadap kandungan Fe total tanah gambut dan pengaruh curah hujan tahunan terhadap kandungan Fe dalam air tanah rawa (Prietz *et.al* 2010).

Fluktuasi TMA berpengaruh terhadap daya hantar listrik (DHL) tanah gambut. Pola fluktuasi DHL merupakan kebalikan dari pola fluktuasi muka air tanah (Fahmi 2012). Lapisan gambut dan lapisan bahan sulfidik di bawahnya saling tindak mempengaruhi nilai daya hantar listrik (DHL) pada kedua lapisan tersebut. Fluktuasi nilai DHL yang terbentuk mengindikasikan bahwa bahan sulfidik menjadi sumber ion terlarut dalam tanah gambut. Pengaruh bahan sulfidik sebagai sumber ion terlarut tidak terlepas dari peranan air tanah sebagai media dari pergerakan ion dalam lapisan gambut (Fahmi 2012). Fraser *et al.* (2001) menyimpulkan pentingnya peranan pergerakan air secara vertikal terhadap besaran dan agihan ion di lahan gambut. Kondisi tanah yang lebih kering pada musim kemarau (MK) menyebabkan peningkatan

kejenuhan dan konsentrasi ion-ion terlarut dalam tanah. Peningkatan nilai DHL akibat turunnya muka air tanah dapat memicu keracunan unsur tertentu pada tanaman, sehingga segala upaya dalam rangka pemanfaatan lahan gambut harus didasarkan pada usaha konservasi lapisan gambut dan mempertahankan muka air tanah agar tercapai keseimbangan unsur terlarut dalam larutan tanah.

Fluktuasi TMA berpengaruh terhadap nilai kapasitas pertukaran kation (KPK) tanah gambut. Nilai KPK lapisan gambut tidak dipengaruhi oleh keberadaan bahan sulfidik di bawahnya (Fahmi 2012). Pengaruh TMA terhadap KPK tanah gambut dapat dijelaskan sebagai berikut. Nilai KPK tanah gambut tergantung pada pH, di sisi lain diketahui bahwa nilai pH tanah gambut dengan substratum bahan sulfidik sangat sensitif terhadap fluktuasi TMA. Oleh karena itu, untuk memperbaiki ataupun meningkatkan kualitas tanah gambut dengan substratum bahan sulfidik maka yang harus diperhatikan adalah fluktuasi TMA dan ketebalan lapisan gambut agar tidak terjadi penurunan pH secara drastis yang dapat berakibat pada penurunan KPK tanah.

Kandungan basa-basa (Al, K, Na, Ca dan Mg)

Kandungan unsur Al pada semua tipe lahan termasuk kategori sangat rendah (<10). Kandungan unsur Kalium (K) pada lahan gambut berpenutupan agroforestri dan hortikultura di fisiografi rawa belakang termasuk kategori sangat tinggi (>1). Kandungan unsur K pada lahan gambut berpenutupan agroforestri dan hortikultura pada fisiografi rawa kubah gambut termasuk kategori tinggi (0,6-1,0). Sedangkan pada lahan gambut berpenutupan semak belukar pada kedua fisiografi termasuk kategori rendah (0,1-0,2). Kandungan unsur Natrium (Na) pada lahan gambut berpenutupan agroforestri pada fisiografi rawa belakang termasuk kategori sangat tinggi (>1). Sedangkan lahan gambut tipe lainnya termasuk kategori rendah (0,1-0,3). Kandungan unsur Ca pada lahan gambut berpenutupan agroforestri dan semak belukar pada fisiografi rawa belakang kategori sedang (6-10). Lahan gambut berpenutupan semak belukar pada fisiografi kubah gambut termasuk kategori rendah (2-5). Sedangkan lahan gambut berpenutupan hortikultura pada fisiografi rawa belakang, berpenutupan agroforestri dan hortikultura

pada fisiografi kubah gambut termasuk kategori sangat rendah (<2). Kandungan unsur Mg lahan gambut berpenutupan agroforestri pada fisiografi rawa belakang termasuk kategori sangat tinggi (>8). Sedangkan tipe lainnya termasuk kategori tinggi (2-8). Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tebal gambut, maka basa-basa yang dikandungnya semakin rendah dan reaksi tanah menjadi semakin masam. Penelitian ini selaras dengan Kurnain *et.al* (2001) dan Fahmi (2012) yang menyatakan bahwa reaksi tanah menjadi lebih masam, kandungan Ca dan Mg menurun dan kandungan abu semakin rendah dengan semakin tebalnya gambut. Kandungan basa-basa yang rendah disertai dengan nilai kapasitas tukar kation (KTK) yang tinggi menyebabkan ketersediaan basa-basa menjadi rendah. Rendahnya kandungan basa-basa pada gambut pedalaman (ombrogen) berhubungan erat dengan proses pembentukannya yang lebih banyak dipengaruhi oleh air hujan. Kejenuhan basa (KB) tanah gambut pedalaman pada umumnya sangat rendah.

Kapasitas Pertukaran Kation (KPK)

Parameter KPK pada lahan gambut semua tipe termasuk kategori sangat tinggi (>40). Hal ini disebabkan oleh muatan negatif bergantung pH yang sebagian besar dari gugus karboksil dan gugus hidroksil dari fenol. Fraksi lignin dan senyawa humat akan menentukan nilai KPK tanah gambut ombrogen (Fahmi 2012). Vegetasi penyusun gambut ombrogen didominasi dari bahan kayu-kayuan yang mengandung senyawa lignin, pada proses degradasinya akan menghasilkan asam-asam fenolat. Muatan negatif (yang menentukan KPK) pada tanah gambut seluruhnya adalah muatan tergantung pH (*pH dependent charge*). Pada pH gambut yang dinaikkan maka KPK akan naik. Hasil disosiasi hidroksil pada gugus karboksilat atau fenol merupakan muatan negatif yang terbentuk. Penetapan KPK dengan pengekstrak amonium klorida (pada pH aktual) akan menghasilkan nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan penetapan KPK menggunakan pengekstrak amonium acetat (Kurnain *et.al* 2001). Nilai KPK tinggi menunjukkan kekuatan jerapan lemah, sehingga kation-kation K, Ca, Mg, dan Na yang tidak membentuk ikatan koordinasi akan mudah tercuci, namun kapasitas jerapan gambut tinggi (Fahmi 2012). Kandungan unsur hara tanah gambut

rendah dan mengandung beragam asam-asam organik yang sebagian bersifat racun bagi tanaman, sehingga menyebabkan tanah gambut memiliki tingkat kesuburan rendah. Asam-asam tersebut merupakan bagian aktif dari tanah, yang menentukan kemampuan gambut untuk menahan unsur hara (Kurnain *et.al* 2001). Sifat kimia tanah gambut ditentukan oleh asam-asam organik tersebut. Pengaruh buruk asam-asam organik yang beracun tersebut dapat dikurangi dengan menambahkan bahan-bahan yang banyak mengandung kation polivalen seperti Fe, Al, Cu, dan Zn. Kation-kation tersebut membentuk ikatan koordinasi dengan ligan organik membentuk senyawa kompleks/khelat. Bahan amelioran gambut dapat berasal dari bahan-bahan yang mengandung kation polivalen (Sabiham 2010).

Nitrogen (N)

Kandungan unsur N pada semua tipe tanah gambut pada penelitian ini termasuk kategori sangat tinggi ($>0,75$). Ketersediaan N pada tanah gambut bagi tanaman umumnya rendah. Analisis N total umumnya relatif tinggi karena berasal dari N-organik. Perbandingan kandungan C dan N tanah gambut akan meningkat dengan semakin meningkatnya kedalaman, umumnya berkisar antara 20-45. Kecukupan N tanaman yang optimum memerlukan pemupukan N (Noor 2001).

Fosfor (P)

Kandungan unsur P lahan gambut pada semua tipe termasuk kategori sangat tinggi (>35). Unsur fosfor (P) pada tanah gambut sebagian besar dijumpai dalam bentuk P-organik, yang selanjutnya akan mengalami proses mineralisasi menjadi P-anorganik oleh jasad mikro. Sebagian besar senyawa P-organik berada dalam bentuk ester ortofosfat, sebagian lagi dalam bentuk mono dan diester. Ester yang telah diidentifikasi terdiri atas inositol fosfat, fosfolipid, asam nukleat, nukleotida, dan gula fosfat. Ketiga senyawa pertama bersifat dominan (Fahmi 2012). Fraksi P-organik diperkirakan mengandung 2% P sebagai asam nukleat, 1,0% sebagai fosfolipid, 35% inositol fosfat, dan sisanya belum teridentifikasi. Di dalam tanah, pelepasan inositol fosfat sangat lambat dibandingkan ester lainnya, sehingga senyawa ini banyak terakumulasi, dan kadarnya di dalam tanah menempati lebih

dari setengah P-organik atau kira-kira seperempat total P tanah (Kurnain *et.al* 2001). Fe atau Al bereaksi dengan senyawa inositol heksafosfat membentuk garam yang sukar larut, demikian juga terhadap Ca. Dalam keadaan demikian, garam ini sukar didekomposisi oleh mikroorganisme (Prietz *et.al* 2010). Penelitian pada tanah Histosol yang tidak diusahakan, dan didrainase, yang mengandung bahan mineral yang tinggi termasuk besi feri (Fe^{3+}) dan Ca yang tinggi, akan menurunkan mobilitas dan degradasi fosfat. Dari total P fraksi terbesar yaitu fraksi P-organik tidak labil dan yang resisten. Asam fulvat berasosiasi dengan P sebesar 12% dari total P. Fosfat residu berturut-turut sebesar 13; 29; dan 8% dari total P tanah pada Histosol yang diusahakan, tidak diusahakan, dan yang digenangi (Kurnain *et.al* 2001). Kandungan C-organik untuk semua tipe tanah gambut pada penelitian ini termasuk kategori sangat tinggi (>5). Nilai KB semua tipe lahan gambut termasuk kategori sangat rendah (<20).

Status Hara Secara Umum

Status hara tanah gambut secara alami tergolong rendah, baik hara makro maupun mikro. Kandungan unsur hara gambut sangat ditentukan oleh lingkungan pembentukannya (Noor 2001). Tingkat kesuburan tanah gambut tergantung pada beberapa faktor: (a) ketebalan lapisan tanah gambut dan tingkat dekomposisi; (b) komposisi tanaman penyusunan gambut; dan (c) tanah mineral yang berada di bawah lapisan tanah gambut (Wüst *et.al* 2007). Gambut dapat dikategorikan kedalam tiga tingkat kesuburan yang didasarkan pada kandungan P_2O_5 , CaO, K_2O , dan kadar abunya, yaitu: (1) gambut eutrofik dengan tingkat kesuburan yang tinggi; (2) gambut mesotrofik dengan tingkat kesuburan yang sedang; dan (3) gambut oligotrofik dengan tingkat kesuburan yang rendah (Widjaja-Adhi 1997). Gambut pada penelitian ini merupakan gambut ombrogen, terutama gambut pedalaman yang terdiri atas gambut tebal dan miskin unsur hara, digolongkan ke dalam tingkat oligotrofik. Kemasaman tanah, kapasitas tukar kation dan basa-basa dapat ditukar, fosfor, unsur mikro, komposisi kimia dan asam fenolat gambut merupakan beberapa sifat kimia tanah gambut yang berpengaruh terhadap dinamika hara dan penyediaan hara bagi tanaman (Fahmi 2012).

SIMPULAN

Unsur hara (N, P, K_{dd} , Ca_{dd} , Mg_{dd} , Al_{dd} , Na_{dd} dan SO_4) yang terbentuk pada masing-masing tipe penutupan lahan di 2 (dua) fisiografi mengindikasikan bahwa unsur-unsur tersebut di lahan gambut dipengaruhi oleh lapisan gambut yang memperoleh masukan bahan organik dari tumbuhan di atasnya. Lapisan gambut dan bahan organik tersebut menjadi sumber unsur hara utama bagi lahan gambut melalui proses mineralisasi yang laju pelepasan, agihan dan konsentrasinya dipengaruhi oleh fluktuasi TMA, ketebalan gambut dan sifat setiap unsur hara itu sendiri.

Fluktuasi TMA mencapai 11,4-192 cm pada kubah gambut dan 8,6-179,8 cm pada daerah rawa belakang.

DAFTAR PUSTAKA

- Adji, F.F., B.D. Kertonegoro and A. Maas. 2005. Relationship between the depth of ground water table dynamics and peats degradation in Kalampangan Central Kalimantan. *Dalam* : H. Wosten and B. Radjagukguk. (Eds.), *Proceeding of the Session on The Role of Tropical Peatlands In Global Change Processes*. Yogyakarta, Indonesia. pp. 21–30.
- Andersen, R., L. Rochefort and M. Poulin. 2010. Peat, water and plant tissue chemistry monitoring : A seven-year case-study in a restored peatland. *Wetlands*. 30; 159–170.
- Andriesse, J.P. 1988. *Nature and Management of Tropical Peat Soils*. FAO Soils Bulletin 59. FAO, Rome. 165 p.
- Artz, R.R.E., S.J. Chapman, A.H.J. Robertson, J.M. Potts, F. Laggoun-Défarge, S. Gogo, L. Comont, J.R. Disnar and A.J. Francez. 2008. FTIR spectroscopy can predict organic matter quality in regenerating cutover peatlands. *Soil Biology and Biochemistry*. 40; 515–527.
- Fahmi, A. 2012. Saling tindak tanah gambut dan substratum bahan sulfidik serta pengaruhnya terhadap sifat kimia tanah. Disertasi. Program Pascasarjana. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta. 2012. (tidak dipublikasikan).

- Fraser, C.J.D., M.T. Roulet and M. Lafteur. 2001. Ground water flow patterns in a large peatland. *Hydrology Journal*. 242; 142–154.
- Geurts, J.J.M., A.J.P. Smolders, A.M. Banach, J.P.M. Van de Graaf, J.G.M. Roelofs and L.P.M. Lamers. 2010. The interaction between decomposition, net N and P mineralization and their mobilization to the surface water in fens. *Water Research*. 44; 3487–3495.
- Hadi, A., K. Inubushi, E. Purnomo, F. Razie, K. Yamakawa and H. Tsuruta. 2000. Effect of land–use changes on nitrous oxide (N₂O) emission from tropical peatlands. *Chemosphere*. 2 (3–4); 347–358.
- Harjowigeno, S. 1996. Pengembangan lahan gambut untuk pertanian suatu peluang dan tantangan. Orasi Ilmiah Guru Besar Tetap Ilmu Tanah Fakultas Pertanian IPB. 22 Juni 1996.
- Hicks, W.S., G.M. Bowman and R.W. Fitzpatrick. 2009. Effect of season and landscape position on the aluminum geochemistry of tropical acid sulfate soil leachate. *Australian Journal of Soil Research*. 47; 137–153.
- Kurnain, A., T. Notohadikusumo, B. Radjagukguk and S. Hastuti. 2001. Peat soil properties related to degree of decomposition under different land use systems. *International Peat Journal*. 11; 67–77.
- Kyuma, K. 2004. *Paddy Soil Science*. Kyoto University Press and Trans Pacific Press. Melbourne. Australia. 279 p.
- Limin S.H., E. Yunsiska, K. Kusin and S. Alim. 2007. Restoration of hydrological status as the key to rehabilitation of damaged peatland in Central Kalimantan. **Dalam**: J.O. Rieley, C. Banks and B. Radjagukguk (Eds.), *Carbon–Climate–Human Interactions on Tropical Peatland: Carbon pools, fire, mitigation, restoration and wise use. Proceedings of the International Symposium and Workshop on Tropical Peatland*. Yogyakarta. pp. 217–223.
- Maas, A. 1996. A note on the formation of peat deposits in Indonesia. **Dalam**: E. Maltby, C. P. Immirzi and R. J. Safford. (Eds.), *Tropical Lowland Peatlands of Southeast Asia. Proceedings of a Workshop on Integrated Planning and Management of Tropical Lowland Peatlands*. IUCN, Gland, Switzerland.
- Najiyati, S., A. Asmana, I.N. N. Suryadiputra. 2005. Pemberdayaan masyarakat di lahan gambut. Proyek Climate Change, Forest and Peatlands in Indonesia. Wetlands International-Indonesia Programme and Wildlife Habitat Canada. Bogor, Indonesia.
- Noor, M. 2001. Pertanian Lahan Gambut: Potensi dan Kendala. Penerbit Kanisius. Yogyakarta. 174 halaman.
- Noor, M. 2010. Lahan Gambut: pengembangan, konservasi dan perubahan iklim. Gadjah Mada University Press. 212 halaman.
- Page, S.E., J.O. Rieley and R. Wurst. 2006. Lowland tropical peatlands of Southeast Asia. **Dalam** : I.P. Martini, A.M. Cortizas and W. Chesworth, (Eds.), *Peatlands; Evolution and Records of Environmental and Climate Changes*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands. pp. 145–172.
- Prietzl, J., S. Spielvogel, A. Botzaki, M. Bretthole and W. Klysubun. 2010. Abiotic and biotic changes of sulphur, iron, and carbon speciation after aeration of wetland soils. **Dalam**: R.J. Gilkes and N. Prakongkep. (Eds.), *Soil Solutions for a Changing World. 19th World Congress of Soil Science*. Brisbane, Australia. pp. 5–8.
- Reddy, K.R. and R.D. DeLaune. 2008. *The Biogeochemistry of Wetlands; Science and applications*. CRC Press. New York, USA. 779 p. Rydin, H. and J.K. Jeglum. 2006. *The Biology of Peatlands*. Oxford University Press. New York.
- Rodney, A.C. and K.C. Ewel. 2005. A tropical freshwater wetland; Production, decomposition and peat formation. *Wetland Ecology and Management*. 13; 671–684.
- Rydin, H. and J.K. Jeglum. 2006. *The Biology of Peatlands*. Oxford University Press. New York.
- Sabiham, S. 2010. Properties of Indonesian peat in relation to the chemistry of carbon emission. *Proceeding of International and Workshop on Evaluation and Sustainable Management of Soil Carbon Sequestration in Asian Countries*. Bogor, Indonesia. pp. 205–216.

- Sajarwan, A. 2007. Kajian Karakteristik Gambut Tropika yang Dipengaruhi oleh Jarak dari Sungai, Ketebalan Gambut dan Tipe Hutan di Daerah Aliran Sungai Sebangau. *Disertasi*. Program Pascasarjana UGM. Yogyakarta. 369 p.
- Subagyo, H. 2000. Inventarisasi karakteristik tanah gambut sebagai penunjang pengelolaan hutan produksi lestari (PHPL). *Di dalam* H. Daryono, Y.J. Sidik, Y. Mile, E. Subagyo, T.S. Hadi, A. Akbar, K. Budiningsih [Editor]. Upaya Rehabilitasi Pengelolaan Hutan Rawa Gambut Menuju Pengembalian Fungsi dan Pemanfaatan Hutan yang Lestari. Prosiding Seminar Pengelolaan Hutan Rawa Gambut dan Ekspose Hasil Penelitian di Hutan Lahan Basah. Balai Teknologi Reboisasi Banjarbaru. Banjarmasin, 9 Maret 2000. pp. 126 – 137.
- Takahashi, H., S. Shimada and B.I. Ibie. 2001. Annual changes of water balance and a drought index in a tropical peat swamp forest of Central Kalimantan, Indonesia. ***Dalam***: J.O. Rieley and S.E. Page. (Eds.), *Jakarta Symposium Proceedings on 185 Peatlands for People Natural Resources Function and Sustainable Management*. Jakarta, Indonesia. pp. 63–67.
- Wahyunto dan Subiksa, I. G. M. 2011. *Genesis Lahan Gambut Indonesia*. Balai Penelitian Tanah. Bogor. 3-14 hal.
- Widjaja-Adhi, I.P.G. 1997. Developing tropical peatlands for agriculture. ***Dalam***: J.O. Rieley and S.E. Page. (Eds.), *Biodiversity and Sustainability of Tropical Peatlands*. Samara Publishing, Cardigan. pp. 293–300.
- Wüst, R., J.O. Rieley, S.E. Page and V.D. Kaars. 2007. Peatland evolution in S.E. Asia over the last 35.000 years ; implications for evaluating their carbon storage potential. ***Dalam*** : J.O. Rieley, C.J. Banks and B. Radjagukguk (Eds.), *Proceedings of the International Symposium and Workshop on Tropical Peatland*. Yogyakarta. pp. 25–40.