

PERAN GAMBUT TERHADAP NITROGEN TOTAL TANAH DI LAHAN RAWA* [The Role of Peat on Total Nitrogen in The Wetland Soils]

Arifin Fahmi¹✉ dan Bostang Radjagukguk²

¹Badan Litbang Pertanian/BALITTRA, Jl. Kebun Karet, Loktabat Utara, Banjarbaru, 70712, Kalimantan Selatan, Tlp ; 085330118888, email ; Fahmi.nbl@gmail.com

²Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada

ABSTRACT

Peatland has important role in wetland ecosystem stability. Depletion and disappearance of peat layer lead to loss of potential source of nutrient and disruption of wetland ecosystem stability. The research aimed to study the influence of peat thickness and land hydrological condition on the total nitrogen (N) content in soil, the influence of rapidly or naturally the depletion and disappear of peat layer on total N content in soil, and the influence of hydrological condition on total N content in soil. Total N was observed in June of 2009 and 2010 (transition from wet to dry season), September of 2009 and 2010 (peak of dry season), and January of 2010 and 2011 (peak of wet season). The research was carried out on potential acid sulphate soil (A), peaty acid sulphate soil (B), shallow peat which all of peat layers were removed (C), shallow peat which peat layer was partially removed (D), shallow peat (E), moderate peat (F) and deep peat (G). The results showed that total N content increased with increasing of peat thickness, the depletion and disappearance of peat layer reduced total N content in soil, and declining in the groundwater level increased total N content in soil.

Key words : Nitrogen, peat, wetland.

ABSTRAK

Lahan gambut memiliki peranan penting terhadap kestabilan ekosistem lahan rawa. Hilang dan menipisnya lapisan gambut menyebabkan hilangnya sumber hara dan mengganggu kestabilan ekosistem lahan rawa. Penelitian bertujuan mengetahui pengaruh ketebalan lapisan gambut terhadap kandungan N total tanah, mengetahui pengaruh menipisnya atau hilangnya lapisan gambut akibat penggalian lapisan gambut ataupun secara alamiah terhadap kandungan N total tanah, serta mengetahui pengaruh kondisi hidrologi lahan terhadap kandungan N total tanah. Nitrogen total diamati pada kondisi puncak musim hujan (MH) yaitu Januari 2010 dan 2011, kondisi lahan agak jenuh atau agak kering (T) dilaksanakan Juni 2009 dan 2010 dan kondisi paling kering (puncak MK) dilaksanakan Oktober 2009 dan 2010. Pada tahun pertama penelitian hanya dilaksanakan pada tanah gambut tipis (E), sedang (F), tebal (G). Sedangkan pada tahun kedua penelitian dilaksanakan pada tanah E, F, G, tanah sulfat masam bergambut (B), sulfat masam potensial (A), gambut tipis yang lapisan gambutnya di hilangkan sebagian (D), gambut tipis yang lapisan gambutnya dihilangkan seluruhnya (C). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan N total meningkat dengan peningkatan ketebalan gambut, hilang dan menipisnya lapisan gambut menyebabkan penurunan kandungan N total tanah, dan menurunnya permukaan air tanah menyebabkan peningkatan kandungan N total tanah.

Kata kunci : Nitrogen, gambut, lahan rawa

PENDAHULUAN

Sekitar 207.000 km² lahan gambut berada di Indonesia yang tersebar di beberapa pulau besar (Page *et al.*, 2008). Dalam beberapa tahun terakhir keberadaan ekosistem rawa, terutama lahan lahan gambut, menjadi salah satu fokus perhatian dunia, karena dianggap memiliki kontribusi besar terhadap pemanasan global. Kerusakan lingkungan yang terjadi tidak hanya berdampak pada pemanasan global tetapi secara langsung juga terjadi pada lahan gambut atau lingkungan rawa itu sendiri. Beberapa peneliti telah melaporkan adanya perubahan kondisi lingkungan atau kerusakan lahan gambut akibat kegiatan pembukaan atau konversi lahan, menurut Adji *et al.* (2005) dan Anda *et al.* (2009) terjadi peningkatan kemasaman tanah, konsentrasi aluminium dan pelindian unsur hara dari larutan

tanah akibat kegiatan pembukaan atau konversi lahan. Selain itu, Limin *et al.* (2007) dan Page *et al.* (2009) melaporkan bahwa pembukaan lahan gambut untuk proyek pertanian satu juta hektar telah menyebabkan penurunan tinggi muka air tanah sampai 176 cm pada musim kemarau sedangkan pada musim hujan terjadi penggenangan atau banjir sampai 100 cm di atas permukaan tanah.

Sekitar 1 juta ha lahan gambut di Kalimantan Tengah pada tahun 1995 telah dibuka untuk tujuan pengembangan pertanian, tetapi karena berdampak negatif terhadap lingkungan maka akhirnya proyek ini dihentikan. Menurut Rieley *et al.* (2008) luasan daerah yang mendapat dampak negatif langsung akibat proyek ini mencapai 1,5 juta ha. Sementara itu gambut dikenal sebagai sumberdaya alam yang sangat sulit untuk diperbaharui. Dikatakan oleh

Chimner dan Ewel (2005) bahwa laju penimbunan gambut di daerah tropika relatif lebih cepat dari pada daerah beriklim sedang. Akan tetapi karena gambut di daerah tropika tersusun dari bahan berkayu yang kaya lignin maka pembaharuannya berjalan lambat, sehingga jika terjadi degradasi maka kerusakan yang terjadi hampir tidak dapat terpulihkan.

Luas lahan gambut di Indonesia setiap tahunnya semakin berkurang karena kebakaran dan adanya praktek pembukaan lahan. Menurut Wahyunto *et al.* (2005) sekitar 355.000 ha lahan gambut telah hilang dalam kurun waktu 1990 – 2002. Riley dan Page (2008) memprediksi lahan gambut dengan ketebalan 50 – 300 cm di Indonesia dan Malaysia akan hilang dalam rentang waktu sampai 20 tahun kedepan akibat adanya pembukaan lahan gambut untuk perkebunan. Dengan kata lain, luas tanah sulfat masam yang memiliki sifat marginal akan semakin bertambah.

Upaya reklamasi dan restorasi sistem hidrologi lahan gambut menyebabkan perubahan sifat tanah gambut (McCormick *et al.*, 2011). Perubahan sifat alamiah ini berpotensi memacu terjadinya kebakaran dan percepatan mineralisasi gambut sehingga mengganggu kestabilan ekosistem. Menurut Harvey dan McCormick (2009) oksidasi gambut memiliki kontribusi besar terhadap perubahan kualitas air dan mineral yang sensitif terhadap perubahan tersebut. Selain itu, hilangnya lapisan gambut dapat menyebabkan penurunan kualitas tanah, dilain pihak menurut Kurnain (2005) dan Sapek (2008) bahwa gambut dapat berperan sebagai sumber hara seperti Nitrogen (N), fosfor (P) dan kalium (K) bagi tanah gambut itu sendiri melalui proses dekomposisi.

Tergaganggunya keseimbangan ekosistem rawa akibat pembukaan lahan gambut dapat dikurangi dengan melakukan pengelolaan sistem hidrologi lahan yang tepat. Mempertahankan kedalaman muka air tanah sampai pada batasan tertentu serta menerapkan upaya pemanfaatan lahan gambut secara terbatas telah terbukti mampu memperlambat atau mengurangi potensi kerusakan

ekosistem lahan rawa dan lingkungan dalam arti yang lebih luas.

Mengingat peran vital keberadaan gambut bagi keseimbangan ekosistem di lingkungan sekitarnya khususnya di lahan rawa maka dipandang perlu untuk melakukan suatu penelitian tentang peranan lapisan gambut terhadap kandungan N di lahan rawa dengan mempertimbangkan pengaruh ketebalan lapisan gambut dan kondisi hidrologi lahan. Tujuan penelitian ini mencakup 3 aspek yaitu: 1. Mengetahui pengaruh ketebalan lapisan gambut terhadap kandungan N total tanah. 2. Mengetahui pengaruh menipisnya atau hilangnya lapisan gambut akibat penggalian lapisan gambut ataupun secara alamiah terhadap kandungan N total tanah dan 3. Mengetahui pengaruh kondisi hidrologi lahan terhadap kandungan N total tanah.

BAHAN DAN CARA KERJA

Penelitian dilaksanakan selama dua tahun, tahun pertama (2009 – 2010) penelitian hanya dilaksanakan pada tanah gambut tipis (E), sedang (F), tebal (G). Sedangkan pada tahun kedua (2010 – 2011) penelitian dilaksanakan pada tanah E, F, G, tanah sulfat masam bergambut (B), sulfat masam potensial (A), gambut tipis yang lapisan gambutnya di hilangkan sebagian (D), gambut tipis yang lapisan gambutnya dihilangkan seluruhnya (C) (Gambar 1). Penambahan lahan penelitian (A, B, C dan D) di tahun kedua ditujukan untuk melihat kandungan N total tanah pada kondisi tanah gambut yang telah mengalami kehilangan ataupun penipisan lapisan gambut secara alamiah ataupun akibat aktifitas manusia.

Tanah gambut yang menjadi lokasi penelitian adalah tanah gambut yang memiliki lapisan bahan sulfidik berada di bawahnya, pada lahan gambut sedang (F) dan tebal (G) ditemukan dua lapisan gambut dengan derajat dekomposisi (kematangan) yang berbeda yaitu lapisan sapris berada di lapisan teratas dan lapisan hemis yang berada di bawahnya, sedangkan pada gambut tipis (E) hanya ditemukan lapisan sapris (Tabel 1 dan Gambar 1). Seluruh lahan

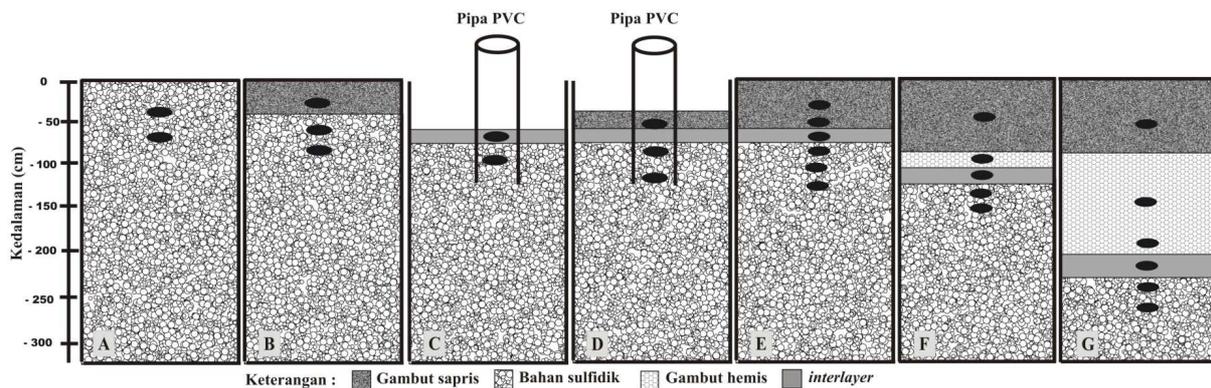
penelitian berada dalam suatu hamparan wilayah yang saling berdekatan dan berasosiasi, wilayah ini adalah lahan tidur dengan vegetasi campuran yang didominasi oleh tumbuhan semak, perdu dan karet yang tumbuh secara liar. Lokasi penelitian berada di Pangkoh IX, Kabupaten Pulang Pisau, Kalimantan Tengah.

Titik contoh tanah dalam satu profil tanah diambil berdasarkan keberadaan lapisan *interlayer* (lapisan perbatasan antara bahan gambut dan bahan mineral berupa campuran kedua bahan tersebut) dan kondisi profil tanah (Gambar 1), sehingga jumlah titik contoh adalah tidak sama untuk setiap tanahnya. Titik contoh tersebut adalah 25, 50, 70, 90, 110 dan 135 cm untuk tanah E; 47, 100, 120, 135 dan 155 cm untuk tanah F; 50, 150, 200, 220, 245 dan 260 cm untuk tanah G. Sedangkan untuk tanah A contoh tanah diambil dari kedalaman 20 dan 55 cm; 15, 50 dan 85 cm untuk tanah B; 85 dan 120 cm untuk tanah C dan 45, 70 dan 120 cm untuk tanah D.

Contoh tanah pada tanah A, B, D, E dan F diambil menggunakan bor tanah, sedangkan pada tanah C dan D diambil melalui penggalian sebuah pipa yang telah ditanamkan dalam sebuah minipit beberapa bulan sebelumnya. Teknis pengambilan contoh tanah pada C dan D adalah dengan membuat sebuah lubang (minipit) berukuran sekitar 1 x 2 m, kedalaman lubang dibuat sekitar 70 cm untuk tanah

C dan 35 cm untuk tanah D (Gambar 1). Pada bagian tengah minipit dipasang pipa paralon ukuran 5 inch yang pada dindingnya diberi lubang kecil untuk sirkulasi air tanah. Pipa ini ditancapkan ke dalam tanah sampai kedalaman 150 cm dari permukaan tanah. Pembuatan minipit dan pemasangan pipa dilakukan tiga bulan sebelum contoh tanah diambil. Minipit untuk pengamatan transisi musim hujan ke musim kemarau (T) yaitu Juni 2010 dibuat dalam bulan Pebruari, sedangkan untuk pengamatan musim kemarau (MK) pada September 2010 minipit dibuat dalam bulan Juni 2010, dan untuk pengamatan musim hujan (MH) pada Januari 2011 minipit dibuat dalam bulan September 2010. Setiap tapak penelitian dibuat tiga minipit (sebagai ulangan) yang masing-masing dipasang satu pipa.

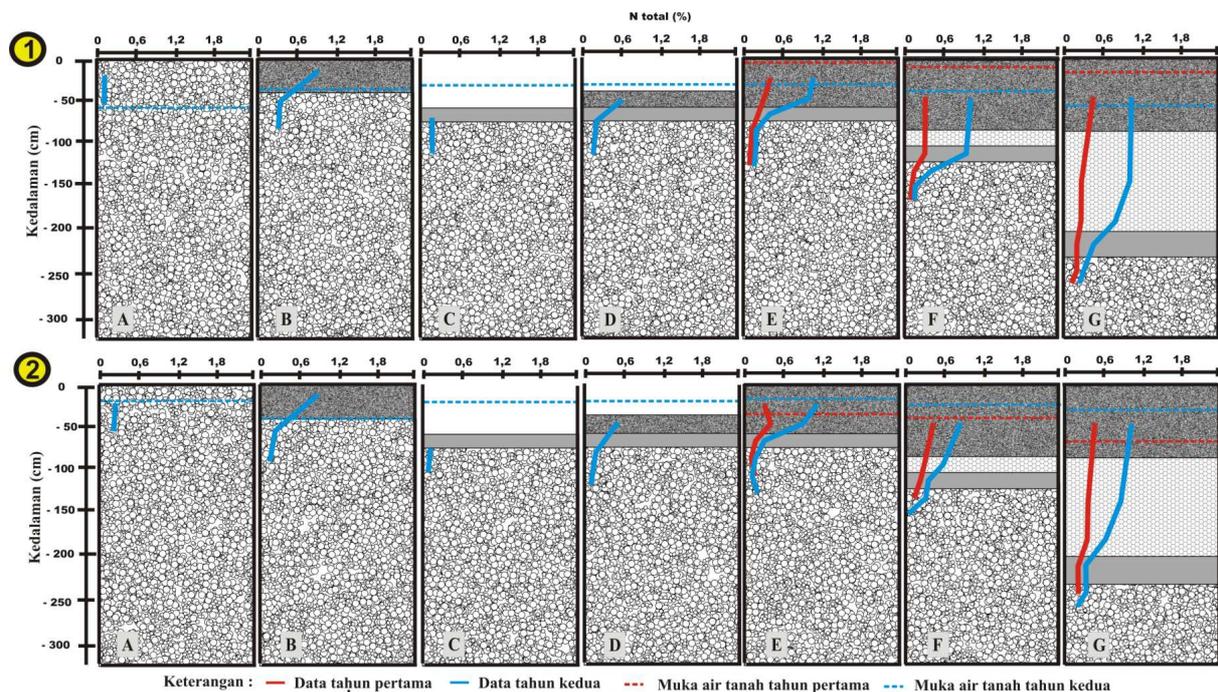
Waktu pengambilan contoh tanah ditentukan berdasarkan kondisi hidrologi lahan, waktu-waktu terpilih tersebut dianggap mewakili kondisi lahan yang paling jenuh air (puncak MH) dilaksanakan Januari 2010 dan 2011, kondisi lahan agak jenuh atau agak kering (T) dilaksanakan Juni 2009 dan 2010 dan kondisi paling kering (puncak MK) dilaksanakan Oktober 2009 dan 2010. Kandungan N total tanah dianalisis menggunakan metode *Kjeldahl* (Bremner, 1996). Derajat dekomposisi gambut ditetapkan dengan metode *von Post* (Tabel 1). Data rata-rata hasil pengukuran setiap ulangan contoh



Gambar 1. Profil tanah pada lokasi penelitian dan posisi titik contoh tanah pada tanah sulfat masam potensial (A), sulfat masam bergambut (B), gambut tipis yang seluruh lapisan gambutnya dihilangkan (C), gambut tipis yang sebagian lapisan gambutnya di hilangkan (D), gambut tipis (E), gambut sedang (F) dan gambut tebal (G).

Tabel 1. Derajat dekomposisi gambut yang ditetapkan berdasarkan metode *von Post* pada lahan gambut E, F dan G.

Asal gambut	Derajat dekomposisi
Gambut tipis	Sapris
Gambut sedang	Sapris
Lapisan atas gambut tebal	Sapris
Lapisan bawah gambut tebal	Hemis



Gambar 2. Kandungan N total tanah sulfat masam potensial (A), sulfat masam bergambut (B), gambut tipis yang seluruh lapisan gambutnya dihilangkan (C), gambut tipis yang sebagian lapisan gambutnya dihilangkan (D), gambut tipis (E), gambut sedang (F) dan gambut tebal (G). 1; Pengamatan musim hujan (MH). 2 ; Pengamatan saat transisi musim hujan ke musim kemarau (T).

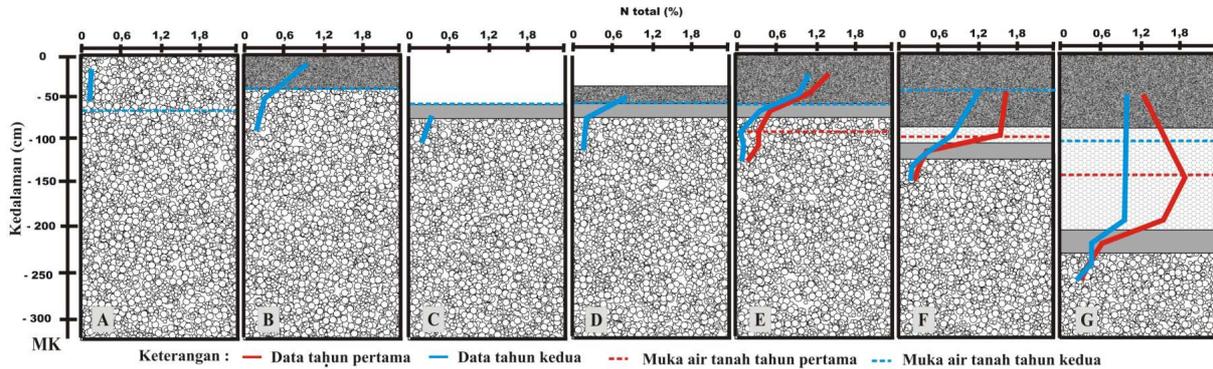
disajikan dalam sebuah diagram *scatter* yang disusun sedemikian rupa agar lebih mudah untuk dibandingkan.

HASIL

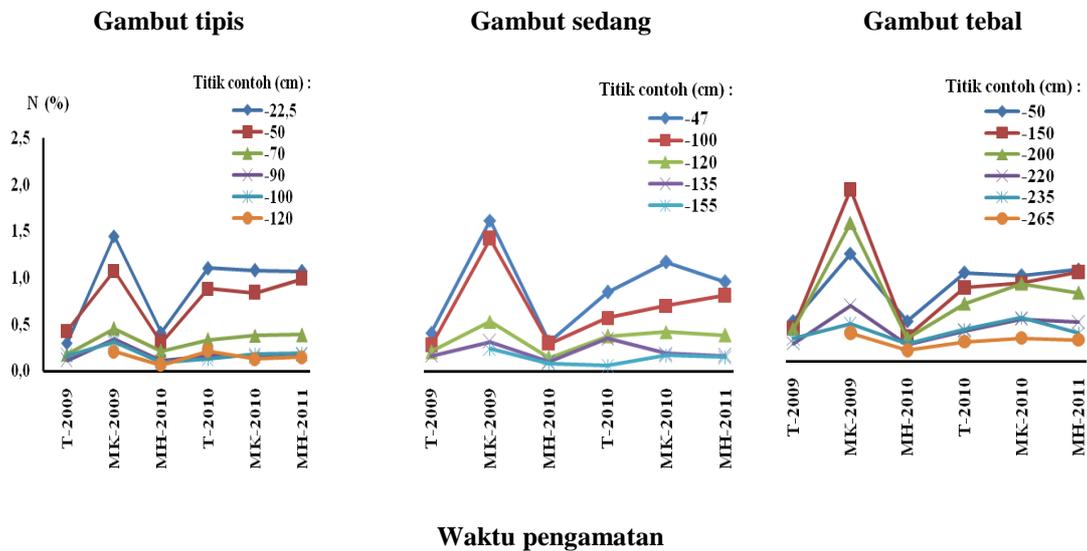
Berdasarkan pengamatan yang dilakukan pada tanah gambut (tanah E, F dan G) diketahui kandungan N total berkisar antara 0,10 sampai 1,97 %, dengan rata-rata 0,83 % dalam lapisan gambut, nilai ini lebih tinggi dari pada kandungan N lapisan bahan sulfidik yang hanya mengandung rata-rata

0,22 %. Sedangkan kandungan N rata-rata 0,17 % pada tanah A; 0,44 % pada tanah B; 0,17 % pada tanah C dan 0,21 % pada tanah D (Gambar 2 dan 3).

Berdasarkan kondisi hidrologi lahan yang diamati berdasarkan musim diketahui bahwa kandungan N total tanah (khususnya lapisan atas pada pengamatan MH dan MK) cenderung lebih tinggi pada saat muka air tanah yang lebih rendah. Hal ini dapat dilihat dari data kandungan N total pada tanah E, F dan G (Gambar 2 dan 3). Kandungan N total di lapisan gambut pada MH



Gambar 3. Kandungan N total tanah sulfat masam potensial (A), sulfat masam bergambut (B), gambut tipis yang seluruh lapisan gambutnya dihilangkan (C), gambut tipis yang sebagian lapisan gambutnya di hilangkan (D), gambut tipis (E), gambut sedang (F) dan gambut tebal (G) yang diamati waktu musim kemarau (MK).



Gambar 4. Fluktuasi kandungan nitrogen total tanah gambut tipis (E), sedang (F) dan tebal (G) yang diamati pada musim hujan (MH), transisi musim hujan ke musim kemarau (T) dan musim kemarau (MK) selama dua tahun penelitian.

tahun pertama lebih rendah dari pada MH tahun kedua dan pada MK tahun pertama lebih besar dari pada MK tahun kedua. Sedangkan kondisi sebaliknya terjadi pada pengamatan T, yaitu kandungan N total di lapisan gambut tahun pertama lebih besar dari pada tahun kedua.

Berdasarkan ketebalan gambut diketahui bahwa pengaruh ketebalan gambut terlihat secara jelas hanya pada MK tahun pertama atau hanya

terjadi pada saat muka air tanah berada pada posisi sangat rendah (Gambar 4). Selain itu, gambar tersebut juga menunjukkan bahwa konsentrasi N tertinggi terdapat dalam tanah G dibandingkan tanah A, B, C, D, E dan F.

Menipisnya lapisan gambut secara cepat ataupun secara alamiah menyebabkan penurunan kandungan N total tanah. Terbukti dalam penelitian ini kandungan N dalam tanah A, B, C dan D adalah

lebih rendah dari pada gambut E, F dan G, baik pada lapisan teratas ataupun pada posisi titik contoh yang sama (Gambar 2 dan 3). Kandungan N total dalam lapisan atas tanah E (1,07 - 1,10 %), tanah F (1,04 - 1,21 %) dan tanah G (0,99 - 1,06 %) adalah lebih tinggi dari pada tanah D (0,51 - 0,76 %), tanah C (0,13 - 0,36 %), tanah B (0,87 - 0,92 %) dan tanah A (0,15 - 0,22 %).

PEMBAHASAN

Nitrogen adalah unsur yang sebagian besar bersumber dari proses dekomposisi bahan organik, dimana besarnya pasokan N dari proses dekomposisi sangat tergantung pada kualitas dan kuantitas bahan organik (Vahdat *et al.*, 2012). Gambut sebagai bahan organik memiliki kandungan N yang cukup tinggi, sehingga keberadaan gambut dan material organik di atasnya menjadi sumber N bagi tanah.

Rata-rata kandungan N total 0,83 % dalam lapisan gambut pada penelitian ini sedikit lebih tinggi dari pada hasil penelitian Maas *et al.* (1997) yang melaporkan bahwa kadar N tanah gambut di daerah Pangkoh sebesar 0,75 %. Perbedaan ini dimungkinkan mengingat sifat asli N dalam tanah gambut yang dapat memiliki keragaman tinggi dan dapat dipengaruhi oleh banyak proses seperti translokasi maupun volatilisasi, serta jenis vegetasi yang tumbuh di atasnya. Selanjutnya Suhardjo dan Widjaja-Adhi (1977), Lambert (1995), Sajarwan (1998) dan Dohong (1999) melaporkan bahwa kandungan N total dalam tanah gambut pada beberapa daerah di Indonesia berkisar antara 0,3 dan 2,1 %.

Berdasarkan Gambar 2 dan 3 khususnya tanah gambut E, F dan G diketahui kadar N total tanah cenderung lebih tinggi pada saat permukaan air tanah yang lebih rendah. Rendahnya permukaan air tanah menyebabkan kondisi tanah yang lebih aerob sehingga meningkatkan laju dekomposisi dan menurunkan tingkat kehilangan N karena pelindian. Bentuk N dalam tanah yang tergenang biasanya berbentuk NH_4 dan bentuk ini relatif lebih mudah hilang karena pelindian. Proses dekomposisi akan

lebih intensif pada kondisi aerasi yang lebih baik (Breemen dan Buurman, 2002) seperti kondisi terjadinya penurunan permukaan air tanah (Strakova *et al.*, 2011). Menurut Banach *et al.* (2009) dan Sapek *et al.* (2009) terjadinya peningkatan kandungan N tanah karena penurunan tinggi permukaan air tanah, N dapat hilang karena bergerak bersama air tanah pada kondisi yang tergenang atau lapisan tanah yang jenuh dengan air. Sedangkan tingginya kandungan N total pada pengamatan T tahun kedua dibandingkan tahun pertama diduga berhubungan dengan peningkatan pH tanah yang sangat drastis pada saat tersebut (Data pH tidak ditunjukkan). Hal ini sesuai dengan pendapat Reddy dan DeLaune (2008) salah satu faktor yang mempengaruhi laju dekomposisi adalah peningkatan pH tanah.

Kandungan N total lapisan gambut yang lebih tinggi dibandingkan lapisan bahan sulfidik merupakan indikasi bahwa lapisan gambut sebagai bahan organik masih mengandung N yang cukup besar. Dengan kata lain dapat dikatakan bahwa lapisan gambut di atas bahan sulfidik merupakan sumber N utama bagi tanah. Hal ini sesuai pendapat Xing *et al.* (2011) bahwa biomassa gambut adalah cadangan N terbesar di lahan gambut. Lapisan permukaan gambut yang selalu mendapatkan pasokan bahan organik dari sisa-sisa organisme di atasnya menyebabkan kandungan N total tanah secara konsisten lebih tinggi pada lapisan permukaan dibandingkan lapisan di bawahnya.

Nitrogen dalam tanah utamanya berasal dari proses perombakan bahan organik, pola sebaran kandungan N yang terbentuk menunjukkan bahwa kandungan N total hanya dipasok dari lapisan gambut atau bahan organik di atasnya, sehingga keberadaan bahan sulfidik yang berada di bawah lapisan gambut dalam penelitian ini dapat dinyatakan tidak berpengaruh terkait kemungkinan perannya sebagai sumber hara terhadap kandungan N total tanah gambut. Hal ini dapat diperhatikan pada tanah A ataupun titik contoh yang berasal dari lapisan bahan sulfidik pada tanah B, C, D, E, F dan G

(Gambar 1, 2 dan 3) yang memiliki kandungan N sangat rendah dengan kisaran 0,06 – 0,43 %.

Pengaruh ketebalan gambut terlihat secara jelas hanya pada MK tahun pertama atau hanya terjadi pada saat permukaan air tanah berada pada posisi sangat rendah (Gambar 4). Gambar tersebut menunjukkan bahwa kandungan N tertinggi terdapat dalam lapisan gambut tebal (1,97 % pada gambut tebal, 1,47 % pada gambut sedang dan 1,08 pada gambut tipis). Hal ini disebabkan gambut tebal memiliki derajat dekomposisi lebih rendah dari pada gambut sedang dan tipis yang ditunjukkan dari hasil uji derajat dekomposisi gambut berdasarkan metode *von Post* (Tabel 1 dan Gambar 1). Berdasarkan data tersebut dapat dinyatakan bahwa adanya perbedaan kandungan N total berdasarkan ketebalan gambut berhubungan erat dengan keberadaan lapisan gambut yang memiliki derajat dekomposisi berbeda, dimana semakin rendah derajat dekomposisi gambut maka kandungan haranya cenderung makin tinggi. Menurut Kurnain (2005) kandungan N total gambut menurun dengan meningkatnya derajat dekomposisi gambut, dan menurut Cabezas *et al.* (2012) derajat dekomposisi gambut sangat berpengaruh pada pengembalian N bagi tanah.

Menipisnya lapisan gambut secara cepat akibat dilakukan penggalian ataupun secara alamiah menyebabkan penurunan kandungan N total tanah. Gambar 2 dan 3 menunjukkan kandungan N dalam tanah A, B, C dan D adalah lebih rendah dari pada tanah E, F dan G, baik pada lapisan teratas ataupun pada posisi titik contoh yang sama dari permukaan tanah. Ini dapat dipahami karena hilangnya lapisan atas gambut berarti hilangnya bahan organik yang merupakan sumber N utama (Reddy dan DeLaune, 2008). Dengan demikian transfortasi hasil perombakan bahan organik ke lapisan bawah (Kaiser dan Kalbitz, 2012) tidak terjadi sehingga kandungan N baik pada lapisan atas maupun lapisan bawah menjadi menurun. Selain itu jumlah N dalam tanah gambut yang berasal dari proses fiksasi dari udara hanya sekitar 1,5 – 2,0 kg ha⁻¹ tahun⁻¹ (Houle *et al.*, 2006).

KESIMPULAN

Gambut sebagai bahan organik adalah deposit N bagi tanah gambut, semakin tebal gambut maka depositnya juga semakin besar. Menipisnya ataupun hilangnya lapisan gambut secara cepat akibat dilakukan penggalian ataupun secara alamiah menyebabkan penurunan kandungan N total tanah. Turunnya muka air tanah memacu mineralisasi bahan organik yang ada di lapisan atas gambut serta mineralisasi gambut itu sendiri sehingga meningkatkan kandungan N total tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Adji FF, BD Kertonegoro and A Maas. 2005. Relationship between the depth of ground water table dynamics and peats degradation in Kalampangan Central Kalimantan. *Proceeding of the Session on The Role of Tropical Peatlands In Global Change Processes*. Yogyakarta, Indonesia. H Wosten and B Radjaguguk. (Eds.). 21–30. ALTERRA-EU INCO-STRAPEAT and RESTROPEAT.
- Anda M, AB Siswanto and RE Subandiono. 2009. Properties of organic and acid sulfate soils and water of a 'reclaimed' tidal backswamp in Central Kalimantan, Indonesia. *Geoderma* **149**, 54–65.
- Banach AM, K Banach, EJW Visser, Z Stepniewska, AJM Smits, JGM Roelofs and LPM Lamers. 2009. Effects of summer flooding on floodplain biogeochemistry in Poland; implications for increased flooding frequency. *Biogeochemistry* **92**, 247–262.
- Breemen NV and P Buurman. 2002. *Soil Formation*, 2nd edition, 404. Kluwer Academic Publisher. Dordrecht, USA.
- Bremner JM. 1996. Total nitrogen. In : C.A. Black, D.D. Evans, J.L. White, L.E. Ensminger and F.E. Clark. (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. USA. Agronomy **9**, 1149–1178. ASA.
- Cabezas A, J Gelbrecht, E Zwirnmann, M Barth and D Zak. 2012. Effects of degree of peat decomposition, loading rate and temperature on dissolved nitrogen turnover in rewetted fens. *Soil Biology and Biochemistry* **48**, 182–191.
- Chimner RA and KC Ewel. 2005. A tropical freshwater wetland : II. Production, decomposition, and peat formation. *Wetland Ecology and Management* **13**, 671–684.
- Dohong S. 1999. Peningkatan Produktivitas Tanah Gambut yang Disawahkan dengan Pemberian Bahan Amelioran Tanah Mineral Berkadar Besi Tinggi. *Disertasi*. 171, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Harvey JW and PV McCormick. 2009. Groundwater's significance to changing hydrology, water chemistry, and biological communities of a floodplain ecosystem, everglades, South Florida, USA. *Hydrogeology Journal* **17**, 185–201.
- Houle D, SB Gauthier, S Plaquet, D Planas and A Warren. 2006. Identification of two genera of N₂-fixing cyanobacteria growing on the three feather moss species in boreal forests of Quebec, Canada. *Canadian Journal of Botany* **84**, 1025–1029.

- Kaiser, K. and K. Kalbitz. 2012.** Cycling downwards – dissolved organic matter in soils. *Soil Biology and Biochemistry* **52**, 29–32.
- Kurnain A. 2005.** Dampak Kegiatan Pertanian dan Kebakaran Atas Watak Gambut Ombrogen. *Dissertasi*, 315. Pascasarjana Fakultas Pertanian UGM. Yogyakarta.
- Lambert K. 1995.** Physico-Chemical Characterisation of Lowland Tropical Peat Soil, *PhD Thesis*, 161. RUG, Gent, Belgium.
- Limin SH, E Yunsiska, K Kusin and S Alim. 2007.** Restoration of hydrological status as the key to rehabilitation of damaged peatland in Central Kalimantan. *Proceedings of the International Symposium and Workshop on Tropical Peatland, Carbon–Climate–Human Interactions on Tropical Peatland: Carbon pools, fire, mitigation, restoration and wise use*. JO Rieley, C Banks and B Radjagugkuk (Eds.), 217–223. Yogyakarta. CARBOPEAT-Liechester University, United Kingdom.
- Maas A, R Sutanto, A Supriyo dan Hairunsyah. 1997.** Perbaikan kualitas gambut tebal, dampaknya pada pertumbuhan dan produksi padi sawah. *Laporan Hasil Penelitian*. Lembaga Penelitian UGM Bekerjasama dengan Agricultural Research Management Project.
- McCormick PV, JW Harvey and ES Crawford. 2011.** Influence of changing water sources and mineral chemistry on the everglades ecosystem. *Environmental Science and Technology* **41**(1), 28–63.
- Page SE, CJ Banks, JO Rieley and R Wust. 2008.** Extent, significance and vulnerability of the tropical peatlands carbon pools ; past, present and the future prospects. *Proceedings of the 13th International Peat Congress. After Wise Use – The Future of Peatlands*. Vol. 1. Tullamore, Ireland. C Farrel and J Feehan (Eds.). 233–236. International Peat Society.
- Page SE, A Hoscilo, H Wosten, J Jauhiainen, M Silvius, JO Rieley, H Ritzema, K Tansey, L Graham, H Vasander and SH Limin. 2009.** Restoration ecology of lowland tropical peatlands in Southeast Asia : Current knowledge and future research directions. *Ecosystems* **12**, 888–905.
- Reddy KR and RD DeLaune. 2008.** *The Biogeochemistry of Wetlands: Science and applications*, 779. CRC Press. New York, USA.
- Rieley JO, T Notohadiprawiro, B Setiadi and SH Limin. 2008.** Restoration of tropical peatland in Indonesia ; why, where and how ? *Proceedings of the 13th International Peat Congress, After Wise Use – The Future of Peatlands*. Vol. 1. Tullamore, Ireland. C Farrel and J Feehan (Eds.). 240–244. International Peat Society.
- Rieley JO and SE Page. 2008.** Carbon budgets under different land uses on tropical peatland. *Proceedings of the 13th International Peat Congress, After Wise Use – The Future of Peatlands*. Vol. 1. Tullamore, Ireland. *Dalam* : C Farrel and J Feehan (Eds.). 245–249. International Peat Society.
- Sajarwan A. 1998.** Pengaruh Pemberian Pupuk Kandang Terhadap Laju Dekomposisi dan Perubahan Sifat Kimia Tanah Gambut Fibrist. *Tesis*. 133. Universitas Brawijaya. Malang.
- Sapek A. 2008.** Phosphate and ammonium concentrations in groundwater from peat soils in relation to the water table. *Polish Journal of Soil Science* **41**, 139–148.
- Sapek A, B Sapek, S Chrzanowski and M Urbaniak. 2009.** Nutrient mobilisation and losses related to the groundwater level in low peat soils. *International Journal of Environment and Pollution* **37**(4), 398–408.
- Strakova P, RM Niemi, C Freeman, K Peltoniemi, H Toberman, I Heiskanen, H Fritze and R Laiho. 2011.** Litter type affects the activity of aerobic decomposers in a boreal peatland more than site nutrient and water table regimes. *Biogeosciences* **8**, 2741–2755.
- Suhardjo H and IPG Widjaja-Adhi. 1977.** Chemical characteristics of the upper 30 cm of peat soils from Riau. *Proceedings ATA 106 Midterm Seminar. Peat and Podzolics Soils and Their Potential for Agriculture in Indonesia*. Bogor. 74–92. Soil Research Institute.
- Vahdat E, F Nourbakhsh and M Basiri. 2012.** Lignin content of range plant residues controls N mineralization in soil. *Soil Biology and Biochemistry* **47**, 243–246.
- Wahyunto, S Ritung, Suparto dan S Hardjo. 2005.** *Sebaran Gambut dan Kandungan Karbon di Sumatera dan Kalimantan*. 254. Wetlands International – Indonesia Programme. Bogor, Indonesia.
- Xing Y, J Bubier, T Moore, M Murphy, N Basiliko, S Wendel and C Blodau. 2011.** The fate of ¹⁵N–nitrate in a northern peatland impacted by long term experimental nitrogen, phosphorus and potassium fertilization. *Biogeochemistry* **103**, 281–296.