DAMPAK DINAMIKA MUKA AIR TANAH PADA BESARAN DAN LAJU EMISI CARBON DI LAHAN RAWA GAMBUT TROPIKA

THE IMPACT OF GROUND WATER DYNAMICS ON CARBON EMISSION RATE OF TROPICAL SWAMP DEPOSIT

L. Budi Triadi [1)] Fengky F. Adjie [2)] Yudi Lasmana [3)]

[1)3)] Puslitbang Sumber Daya Air, Jl.Ir. H. Juanda No.193 Bandung
[2)] Universitas Palangkaraya, Jl. Yos Sudarso, Jekan Raya, Palangkaraya, Kalimantan Tengah
e-mail: buditriadi@yahoo.com

Diterima: Desember 2017; Direvisi: Januari 2018; Disetujui: Mei 2018

ABSTRAK

Pembukaan lahan gambut yang didahului dengan pembuatan saluran-saluran (drainase) akan menyebabkan turunnya muka air tanah, hal ini akan memacu laju dekomposisi bahan organik dan pada akhirnya gambut menjadi rentan terbakar dan teremisi. Oleh karena itu pengetahuan laju emisi carbon sangat penting untuk perencanaan sistem drainase, dalam rangka memelihara kelestarian gambut. Metode ilmiah yang digunakan meliputi: perhitungan sebaran ketebalan/kedalaman gambut, volume gambut kering, volume gambut teroksidasi, berat C gambut kering dan CO_2 equivalent. Laju emisi karbon (C) dihitung berdasarkan emisi karbon (C) dan waktu subsiden. Selanjutnya laju emisi C (Mton CO_2/tahun) dihitung berdasarkan 4 (empat) buah konsep pemodelan/skenario, yaitu: kondisi aktual/eksisting, perkebunan, bendung (canal blocking), bendung (canal blocking) dan dengan penghutanan kembali. Kegiatan ini dilakukan di Sei Ahas, Kapuas, Kalimantan Tengah dan Sungai Buluh, Tanjung Jabung Timur, Jambi. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa perubahan tata guna lahan akan sangat berpengaruh terhadap perubahan elevasi muka air tanah gambut yang turut serta memacu peningkatan emisi C ke atmosfer.

Kata kunci: *Gambut, penggunaan lahan, muka air tanah, emisi C*

ABSTRACT

Drainage of peatlands will lower the water table, decompose the organics matter and increases the fire risk. Therefore knowledge of C emission rate is very important for drainage system planning, in order to preserve peat. Scientific methods that used in this study: calculation of thickness/ depth of the peat, peat volume, oxidized peat volume, C dry peat weight and CO_2 equivalent. The rate of emission C is calculated on the basis of emission C and subsidence time. Furthermore, the emission rate C (Mton CO_2/ yr) is calculated based on 4 (four) model/ scenario concepts, i.e: actual/ existing condition, plantation, canal blocking and canal blocking with reforestation. This activity was conducted in Sei Ahas, Kapuas, Central Kalimantan and Sungai Buluh, Tanjung Jabung Timur, Jambi. Based on research, it was found that land use change will greatly affect the change of ground water level of peat that contributes to increases the emission of C to the atmosphere.

Keywords: *Peat, land use, ground water table, carbon emission*

PENDAHULUAN

Ekosistem hutan rawa gambut tropika adalah tempat yang paling efisien untuk menangkap dan menyimpan cadangan karbon (C), dimana sekitar 207.000 km^2 lahan gambut berada di Indonesia yang tersebar di beberapa pulau besar (Page *et al*., 2008). Dalam beberapa tahun terakhir keberadaan ekosistem rawa, terutama lahan gambut, menjadi salah satu fokus perhatian dunia karena dianggap memiliki kontribusi besar terhadap pemanasan global akibat perubahan iklim. Perubahan tutupan lahan gambut Indonesia yang terjadi secara cepat dapat menimbulkan implikasi nasional dan global yang cukup berarti (Sumarga, E. *et al*., 2016). Saat ini Indonesia menjadi sumber emisi Gas Rumah Kaca (GRK) terbesar dengan kontribusi dari lahan gambut sebesar 45% dari total emisi Indonesia, dan kontribusinya menjadi lebih besar lagi menjadi 65 - 70% pada saat musim kemarau panjang yang menyebabkan terjadinya kebakaran gambut (Government of Indonesia, World Bank, May 2011). Namun, gambut sendiri merupakan salah satu komponen dari total bahan bakar lahan gambut dan berpotensi mengakibatkan kebakaran berulang selama bertahun-tahun (Konecny et al., 2016). Oleh karena itu komitment Pemerintah Indonesia yang dituangkan dalam dokumen *Intended Nationally Determined Contribution* (INDC), 2015 berjanji menurunkan 29% emisi GRK dibawah skenario *business as usual* (BAU) dengan tambahan 12% dengan bantuan internasional pada tahun 2030, dimana target penurunan ini setara dengan 0,848 Giga ton CO_2equivalent dan 1.119 Giga ton CO_2equivalent (Institute for Essential Services Reform (IESR), 2015).

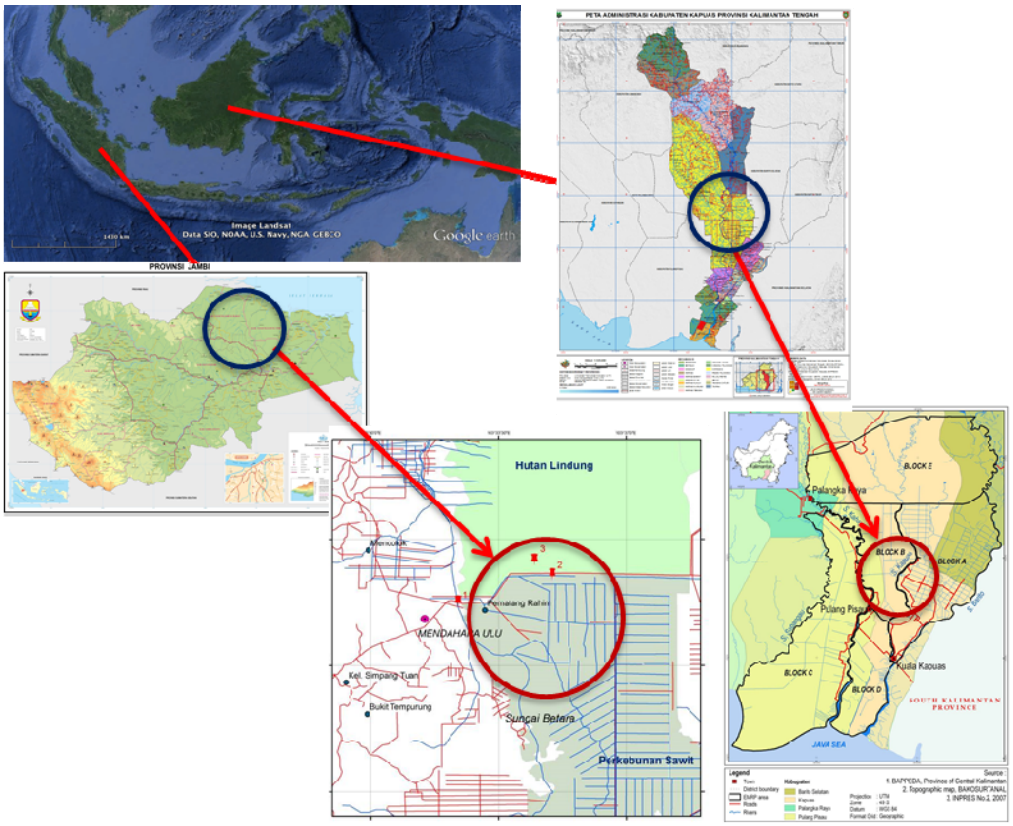
Alasan ilmiah yang menjadi dasar dilaksanakannya penelitian ini, yaitu: ekosistem gambut bersifat rentan, upaya reklamasi lahan gambut menyebabkan perubahan sifat tanah dan peningkatan emisi karbon (C) ke atmosfer. Hal ini dipacu oleh peningkatan oksidasi gambut sebagai akibat perubahan lahan untuk pertanian, terutama perkebunan, yaitu kelapa sawit dan akasia yang terus berlanjut (Gunarso *et al.,* 2013).

Penelitian ini dilaksanakan di Sei Ahas, Kecamatan Mentangai, Kabupaten Kapuas, Provinsi Kalimantan Tengah (111° BT dan 0° 45’ LU - 3° 30’ LS) dan di Sungai Buluh, Tanjung Jabung Timur, Jambi (0° 53’ - 1° 41’ LS dan 103° 23 - 104° 31’ BT). Sei Ahas, Kalimantan Tengah terletak di tepi Sungai Kapuas dan merupakan areal gambut relatif dangkal dengan kedalaman < 3 m, tetapi semakin jauh dari sungai kedalaman gambut bisa mencapai > 3 m. Lokasi ini merupakan salah satu wilayah eks Proyek Lahan Gambut (PLG) 1 juta ha yang dikembangkan tahun 1995 - 1998, yaitu berada di sebelah barat Blok A. Saat musim kemarau gambut di Sei Ahas sering mengalami kebakaran, namun di musim hujan mengalami banjir akibat drainase berlebih (*over drainage*) dan subsiden.

Sementara itu Sungai Buluh, Kabupaten Tanjung Jabung Timur, Provinsi Jambi mempunyai luas 5.445 km^2 dan berada pada ketinggian antara 1 - 5 m dpl. Potensi gambut di Kabupaten Tanjung Jabung Timur tersebar di 2 (dua) Kecamatan yaitu Kecamatan Mendahara dan Kecamatan Dendang. Dari hasil penyelidikan diketahui bahwa tebal gambut di daerah ini berkisar antara 5 - 13 m. Sebagian besar lokasi ini telah dikonversi menjadi lahan perkebunan akasia dan kelapa sawit dengan kondisi topografi umumnya dataran rendah (0 – 3 m muka air laut rerata), yaitu rawa/gambut dengan dialiri pasang surut air laut.

Konversi lahan gambut sebagai lahan pertanian dan perkebunan menyebabkan perubahan letak (turunnya) muka air tanah pada kedua lokasi ini sehingga meningkatkan proses oksidasi gambut, yang pada akhirnya meningkatkan emisi karbon (C) ke atmosfer sebagai implikasi dari dekomposisi bahan organik. Penelitian ini dilaksanakan selama 4 (empat) bulan, yaitu bulan Juni – September 2015 (musim kemarau). Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak dinamika muka air tanah di lahan gambut terhadap besaran, laju dan waktu emisi C ke atmosfer. Ketinggian muka air tanah gambut sangat bergantung pada jenis perlakuan yang diterapkan pada lahan tersebut, sebagai contoh pembangunan bendung atau penghutanan kembali akan menaikkan muka air tanah sehingga terjadi penurunan besaran emisi karbon. Bersamaan dengan itu laju emisi C ke atmosfer yang berasal dari tanah gambut juga semakin melambat dengan adanya perlakuan terhadap lahan eksisting, yang secara langsung juga memperbaiki kondisi hidrologi ekosistem lahan gambut. Kedua hal tersebut di atas akan dibuktikan dalam kegiatan penelitian ini.



Gambar 1 Peta Lokasi Penelitian Sei Ahas, Kalimantan Tengah dan Sungai Buluh, Jambi

KAJIAN PUSTAKA

Lahan gambut memiliki potensi yang sangat besar dalam peningkatan emisi C atau yang disebut juga emisi GRK yang disebabkan oleh meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca (*green houses gases*), yaitu karbondioksida (CO_2), methane (CH_4) dan Nitrogenoksida (N_2O). Salah satu penyebab terjadinya peningkatan GRK adalah pemanfaatan hutan dan lahan gambut dengan pembuatan drainase yang kurang bijaksana (Jauhiainen et al., 2005). Gambut terdiri dari sekitar 90% air, oleh karena itu selain menyebabkan pelepasan air yang lebih cepat dan berpotensi meningkatkan risiko banjir di hilir, drainase juga menyebabkan pemadatan gambut, menyebabkan penurunan biasanya antara 1 dan 1,5 m pada tahun-tahun pertama setelah drainase. Selanjutnya, gambut yang dikeringkan akan mengoksidasi, menyebabkan penurunan karena hilangnya bahan organik sebesar 3 sampai 5 cm per tahun (Couwenberg dan Hooijer, 2013 ; Farmer *et al*., 2014). Drainase gambut menyebabkan emisi CO_2 tinggi; dalam keadaan terdegradasi lahan gambut yang dikeringkan dan tidak dikonversi menjadi pertanian, terjadi kehilangan karbon hingga 463 Mg (megagram) C / ha dalam 15 tahun pertama setelah drainase (Hooijer *et al*., 2014). Emisi lebih tinggi terjadi di daerah pertanian yang memiliki elevasi muka air lebih rendah. Degradasi hutan gambut juga menyebabkan sekitar 50% peningkatan *run-off* karbon organik fluvial (Moore *et al*., 2013). Proses ini terjadi pada gambut di seluruh dunia dan telah dijelaskan dalam berbagai publikasi (Pronger *et al*., 2014). Dalam jangka panjang, drainase ini akan mengubah cadangan karbon ke emisi GRK (Food and Agiculture Organization of the United Nations, 2014). Untuk itu perlu pemahaman yang lebih baik mengenai emisi dari drainase kanal di lahan gambut (Kementerian Lingkungan

Hidup dan Kehutanan, 2015). Estimasi keseluruhan kehilangan C dan emisi CO_2 dari lahan gambut yang didrainase (pertanian) berkisar antara 40 t CO_2/ha/th - 60 t CO2/ha/th (Murdiyarso et al., 2010; Hergoualc'h dan Verchot, 2011) pada kedalaman muka air tanah 0,7 m.

Selain itu, kurangnya vegetasi tanaman yang tumbuh di atas gambut juga menyebabkan CO_2 yang dihasilkan oleh respirasi tanah langsung dilepas ke atmosfer, tanpa terjadi proses fotosintesis oleh tanaman untuk mengubah CO_2 menjadi karbonat dan melepaskan oksigen ke atmosfer. Akibat dari kerusakan lahan (degradasi) gambut yang menyebabkan lahan terbuka serta vegetasi tanaman hilang akibat terbakar, akan menyebabkan fungsi hutan di lahan gambut yang sebelumnya sebagai penyerap C, berubah menjadi pelepas C ke atmosfer. Studi emisi CO_2 akibat kebakaran lahan gambut di Indonesia tahun 1997 (Page et al., 2002) memberikan angka 810 - 2.470 juta ton C hilang (yaitu 3000 - 9000 Mega ton emisi CO_2) untuk satu kejadian, atau 15% sampai dengan 40% dari emisi bahan bakar fosil di tahun itu, yang berkontribusi pada peningkatan konsentrasi CO_2 global tahunan terbesar di atmosfer sejak pencatatannya yang dimulai pada tahun 1957 (Page et al., 2002). Selain itu hasil penelitian yang dilakukan oleh Balai Rawa (2012) di daerah Sei Ahas, Kalimantan Tengah emisi C dari gambut di atas muka air sungai selama musim kemarau adalah 4,55 Mton (kandungan karbon 50 %) dan emisi C untuk gambut di atas muka air banjir musim hujan sebesar 3,96 Mega ton (kandungan karbon 50 %). Saat ini di daerah Asia Tenggara, kecepatan kehilangan C diketahui turut berkontribusi terhadap peningkatan emisi gas rumah kaca (Hooijer et al., 2010; Couwenberg et al., 2010; Murdiyarso et al., 2010).

Emisi karbon (C) sangat ditentukan oleh kedalaman muka air tanah, dengan demikian pemanfaatan gambut untuk pertanian/perkebunan harus dilakukan dengan hati-hati karena menurut Limin (2005) jika lahan gambut dibuka untuk pertanian/perkebunan pasti diikuti dengan pembuatan saluran drainase agar zona perakaran tanaman bebas dari jenuh air. Penurunan permukaan air tanah akan memperluas ruang oksidasi, dimana aktivitas mikroorganisme tanah menjadi lebih giat dalam melakukan proses dekomposisi yang menghasilkan diantaranya CO_2. Hasil penelitian dari Hooijer *et al*., 2010, 2014; Couwenberg *et al*., 2010) menjelaskan terdapat hubungan tinggi muka air tanah dan emisi, termasuk juga biomassa hutan dan kebakaran. Hubungan yang didapatkan oleh Jauhiainen et al. (2012) didasarkan pada pengukuran CO2 flux harian di lahan perkebunan Akasia yang sama yang dilakukan oleh Hooijer et al. (2012). Jauhiainen et al. (2005, 2008) menemukan bahwa total emisi CO2 dari lahan gambut tropis basah sangat rendah pada kondisi jenuh air pada musim penghujan dan meningkat naik saat air tanah turun pada saat musim kemarau. Selain itu juga menurut Hirano et al. (2014) bahwa peningkatan emisi karbon atau dekomposisi gambut oksidatif pada kondisi air tanah rendah adalah karena penebalan zona tanah tak jenuh dan hasil dari peningkatan aerasi. Dari hasil penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh Triadi *et al*. (2013), pengaturan muka air tanah dengan cara membangun tabat dan penghutanan kembali dapat mengurangi laju emisi C dari lahan gambut tersebut.

Peningkatan pengetahuan dan pemahaman tentang sumber daya lahan gambut tropis menjadi sangat penting mengingat pesatnya laju pembangunan yang ada sekarang ini, khususnya di Asia Tenggara. Berdasarkan hasil estimasi, ±29 Gt C di lepas ke atmosfer yang dihasilkan dari lahan gambut akibat oksidasi dan kebakaran lahan selama beberapa dekade (Page et al., 2011). Kemudian dengan mempertimbangkan skala emisi C yang akan di lepas ke atmosfer yang berasal dari gambut itu sendiri akibat kegiatan deforestasi atau degradasi, lahan gambut tropis menjadi urutan yang utama dibanding dengan yang berasal dari biomassa yang ada di atasnya (Page et al., 2011).

Hasil yang didapat oleh Page *et al*. (2009), mempertegas bahwa lahan gambut tropis mempunyai kandungan C yang sangat besar dari semua ekosistem terrestrial yang ada. Oleh karena itu, diperlukan kebijakan untuk mencegah agar tidak terjadi deforestasi dan degradasi lahan gambut dikemudian hari dengan melakukan rehabilitasi gambut (Page *et al*., 2009). Selanjutnya perlu diketahui bahwa pelepasan C ke atmosfer dari lahan gambut juga dipengaruhi oleh kondisi fisik tanah, antara lain: berat volume (BV), atau bulk density, yaitu masa fase padat tanah (Ms) dibagi dengan volume total tanah (Vt). Volume total tanah adalah jumlah volume dari fase padat dan pori tanah dalam keadaan utuh

seperti di lapangan. Untuk mudahnya berat volume (BV) atau bulk density (BD) dapat diartikan sebagai berat per satuan volume atau g/cm^3 (Hanafiah, 2005). Nilai berat volume (BV) atau BD (bulk density) tanah gambut umumnya berkisar antara 0,03 - 0,3 g/cm^3. Namun demikian, dalam suatu profil gambut kadang-kadang ditemukan bagian yang hampir berisi air saja dengan BV < 0,01 g/cm^3, kondisi ini terutama terjadi pada tanah hutan. Sebaliknya, nilai berat volume lapisan permukaan tanah gambut yang sudah digunakan untuk pertanian selama bertahun-tahun dapat meningkat mencapai 0,3 - 0,4 g/cm^3 (saprik).

METODOLOGI

Rancangan penelitian yang digunakan adalah melakukan pengukuran kedalaman gambut, perhitungan volume gambut, pengambilan sampel tanah dan pengukuran letak muka air tanah pada berbagai kondisi eksisting lahan. Selain itu dilakukan pengambilan sampel tanah (*undisturbe*d) menggunakan ring sampel, dan selanjutnya dianalisa di laboratorium untuk mendapatkan parameter tanah yang diperlukan dalam analisis perhitungan emisi C. Data hasil pengukuran dan analisa laboratorium, kemudian dianalisis lebih lanjut dengan menggunakan persamaan empiris Hooijer et al. (2012) untuk mendapatkan besaran, laju dan waktu emisi C.

Sementara itu metode yang digunakan meliputi: studi pustaka, pengumpulan data sekunder dan primer (topografi lahan, kedalaman gambut, dinamika muka air tanah, luasan areal penelitian, pengikatan elevasi) yang disertai dengan pemasangan instrumen pemantau dinamika muka air tanah *(dipwells)* serta pengambilan sampel tanah gambut.

Pengukuran Kedalaman/ Ketebalan Gambut

Pengukuran kedalaman gambut dilakukan dengan cara mengebor tanah gambut dengan bor gambut sampai ke batas tanah keras atau tanah mineral. Pengukuran kedalaman/ketebalan gambut di Sei Ahas, Kapuas, Kalimantan Tengah dilakukan sebanyak 26 (dua puluh enam) lubang/titik bor. Di Sungai Buluh, Jambi kegiatan pemboran hanya dapat dilakukan terbatas pada 15 (lima belas) lubang/titik bor karena kesulitan akses. Alat bor dan proses pemboran disajikan pada Gambar 2**.**

Instrumen Dipwell dan Pengukuran Muka Air Tanah (*Water Table*)

Instrumen *dipwell* menggunakan pipa PVC yang dibalut dengan kawat kasa (untuk mencegah butiran tanah masuk ke dalam pipa), ditutup dengan penutup pada ujung atasnya dan ditanam ke dalam tanah gambut. Kemudian instrumen ini ditanam sampai dengan kedalaman tanah keras (tanah mineral). Bentuk peralatan *Dipwel* dan teknik pengamatan muka air tanah disajikan pada **Gambar 3**.

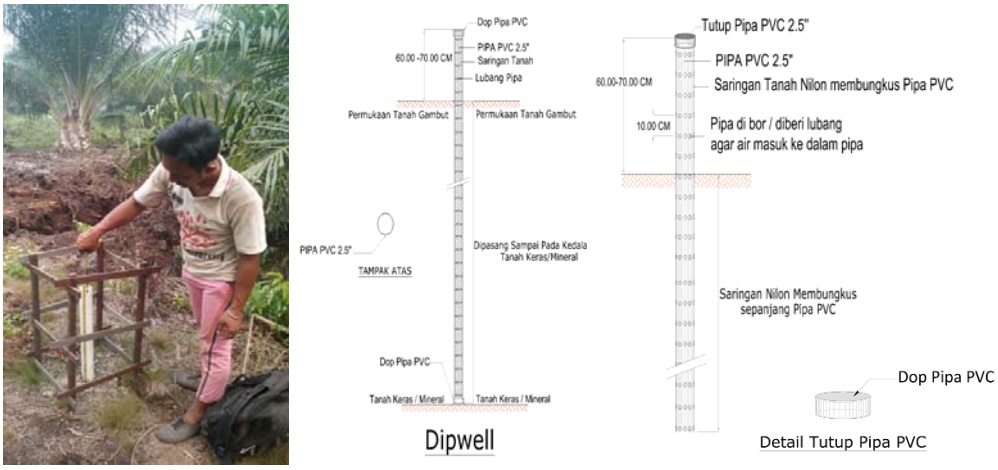
Montoring dinamika muka air tanah telah dilakukan baik pada Sei Ahas maupun di Sungai Buluh. Pada Sei Ahas, akibat banyaknya instrumen yang hilang, maka monitoring hanya dilakukan pada 5 (lima) titik monitoring, sebanyak 2 kali monitoring dan di Sungai Buluh dilakukan pengukuran pada 15 (lima belas) titik monitoring.

Pengambilan Sampel Tanah di Lapangan dan Pengukuran Berat Volume/ Berat/ Bobot Isi

Dalam studi ini digunakan data yang diperoleh dari analisis sampel tanah utuh (*undisturbed*) untuk memperoleh data berat/bobot isi tanah gambut. Ring sampel/contoh digunakan untuk pengambilan contoh pada lapisan permukaan gambut yang matang dan tidak jenuh air. Sampel tanah dengan metode *undisturbed* diperoleh dengan membuat sumur gali ukuran 1 m x 1,5 m X 3 m. **Gambar 4** memperlihatkan sumur uji dan letak pengambilan sampel di lapangan.

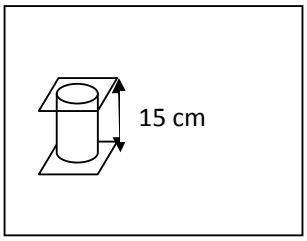
Sampel tanah gambut diambil pada tiap kedalaman kelipatan 10 cm dalam arah vertikal pada tiap sisi pengambilan (Gambar 4). Tabung pengambilan sampel terbuat dari *stainless steels* yang berukuran tinggi 15 cm dan berdiameter 10 cm serta penutup dari bahan triplek (lihat Gambar 5).

Gambar 2 Alat Bor Gambut dan Proses Pemboran Tanah Gambut



Gambar 3 Peralatan *Dipwells* untuk Mengamati Fluktuasi Muka Air Tanah Gambut

Gambar 4 Kegiatan Pembuatan Sumur Uji dan Dimensi Sumur Uji Pengambilan Sampel



Gambar 5 Tabung Silinder/Ring Sampel untuk Pengambilan Sampel Tanah Gambut

Sampel tanah gambut yang diambil dari lokasi penelitian selanjutnya dianalisa di Laboratorium Universitas Jambi (UNJAM) dan di Laboratorium Balai Penelitian Lahan Pertanian Rawa, Banjarmasin (BALITTRA). Dari hasil analisa laboratorium, selanjutnya diperoleh nilai Baerat Volume (BV) atau BD (*Bulk Density*) sebagai berikut :

$$BV = \frac{\text{Beratkering (g)}}{\text{Volume (cm}^3\text{)}} \quad \text{.....} \quad (1)$$

Emisi C dan Laju Emisi C

Dalam penelitian ini, volume gambut dihitung dengan berdasarkan peta elevasi yang dihasilkan dari pengolahan citra satelit (LIDAR), dimana sensor menggunakan teknologi laser (Kalimantan Forests and Climate Partnership, 2014) dan data sebaran ketebalan gambut. Data sebaran ketebalan gambut di sekitar lokasi studi diperoleh dari Puslitanak (1992), KFCP (2011), dan Balai Rawa (2011-2012). Pada kegiatan penelitian ini, volume gambut diartikan sebagai volume gambut keadaan kering yang berada di atas muka air tanah (Triadi *et al*., 2013). Selanjutnya untuk kemudahan, perhitungan menggunakan perangkat lunak GIS (Quantum GIS).

Perhitungan untuk volume gambut yang teroksidasi didapat dengan mengalikan ketebalan gambut di atas muka air tanah dengan persentase volume gambut yang teroksidasi (80% untuk Sei Ahas) dan luas keseluruhan area (Couwenberg, J., and Hooijer, A. 2013, Triadi *et al*., 2013).

Perhitungan deposit karbon dari total gambut kering dapat dilakukan dengan mengalikan volume gambut yang teroksidasi dengan berat volume dan faktor kandungan C yaitu 50-55% (Hooijer *et al*., 2012), yang selanjutnya deposit karbon dapat dikonversi menjadi emisi CO_2 equivalent dengan faktor 3,66.

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas, uraian diatas dapat dituliskan dalam persamaan (2).

Sementara itu laju emisi CO_2 equivalent dapat dihitung dengan cara membagi emisi CO_2 e quivalent dengan waktu penurunan gambut (persamaan 3).

Dalam hal ini, waktu penurunan permukaan tanah gambut (*subsidence*) diperoleh dari ketebalan gambut dibagi dengan laju penurunan permukaan tanah gambut (Triadi *et al*., 2015). Dari hasil perhitungan tersebut, terdapat hubungan antara laju emisi C yang akan dilepas ke atmosfer sejalan dengan proses oksidasi bahan organik yang disebabkan oleh turunnya muka air tanah (*water table*) di lahan gambut.

Selanjutnya untuk mendapatkan gambaran laju emisi C yang dilepas ke atamosfer (Mton CO_2/tahun) untuk berbagai intervensi pengelolaan lahan, maka dibuatlah konsep pemodelan/skenario. Dalam penelitian ini digunakan 4 (empat) buah konsep pemodelan/skenario, yaitu: kondisi aktual/eksisting, perkebunan, *canal blocking*, dan *canal blocking* dengan penghutanan kembali.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kedalaman/Ketebalan Gambut

Dari hasil pengukuran kedalaman gambut diperoleh data kedalaman gambut di Sei Ahas berkisar 0,32 - 6,74 m (dangkal – sangat dalam). Sedangkan di Sungai Buluh bervariasi dari 1,67 - 4,25 m (sedang – sangat dalam). Kedalaman terdangkal berada di kawasan perkebunan kelapa sawit, sementara kedalaman gambut terdalam berada di

kawasan HTI (Hutan Tanaman Industri - Perkebunan Akasia). Kedalaman pada setiap bentang lahan sangat tergantung pada: 1) proses penimbunan yaitu jenis tanaman yang tumbuh, kerapatan tanaman dan lama pertumbuhan tanaman sejak terjadinya cekungan tersebut, 2) proses kecepatan perombakan/dekomposisi gambut, 3) proses kebakaran gambut, dan 4) perilaku manusia terhadap lahan gambut.

Kedalaman Muka Air Tanah (*Water Table*)

Hasil pengukuran di lapangan menunjukkan rata-rata kedalaman muka air tanah rata-rata di Sei Ahas = 36,10 cm (musim kemarau, 10 – 11 Juni 2015) dari permukaan tanah gambut. Sementara itu di Sungai Buluh diperoleh, rata-rata kedalaman muka air tanah = 101,87 cm (musim kemarau, 26 Juli – 2 Agustus 2015).

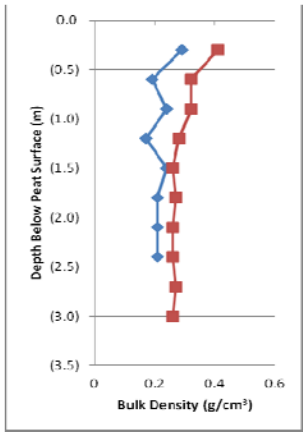
Dari data di atas terlihat kedalaman muka air tanah di daerah Sungai Buluh lebih dalam letaknya dari pada Sei Ahas. Hal ini dikarenakan daerah Sungai Buluh telah digunakan sebagai areal perkebunan kelapa sawit, sedangkan Sei Ahas masih merupakan lokasi hutan yang terdegradasi. Selain itu Sungai Buluh memiliki berat volume gambut yang lebih rendah dari Sei Ahas. Hal ini menandakan tingkat dekomposisi gambut yang masih rendah, dimana bila dilakukan pengeringan maka secara cepat pula air keluar dari gambut sebagai akibat pori-pori yang berukuran besar (*porous* atau sarang). Sebagai tambahan sifat gambut yang awalnya menyerap air tinggi (*hidrofilik*) menjadi bersifat menolak air (*hidrofobik*), apalagi jika gambut tersebut sudah mengalami proses kering tak balik (*irreversible drying*) akibat pengeringan /drainase yang sangat ekstrim.

Berat Volume atau *Bulk Density*

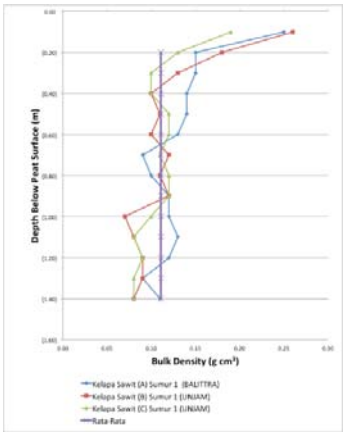
Dari hasil analisa laboratorium tanah Balai Riset dan Standarisasi Industri, Badan Pengkajian Kebijakan Iklim dan Mutu Industri, Banjar Baru, Kalimantan Selatan yang dilakukan pada tahun 2014 diperoleh gambaran nilai BV (*Bulk Density*) rata-rata Sei Ahas sebesar 0,24 g/cm^3. Sedangkan hasil analisis Laboratorium Universitas Jambi menunjukkan rata-rata nilai BV di Sungai Buluh 0,15 g/cm^3. Dari data ini terlihat bahwa nilai BV di Sungai Buluh lebih rendah dibandingkan dengan nilai BV di Sei Ahas, sesuai dengan uraian di atas (pada Kedalaman/Ketebalan Gambut) hal ini dikarenakan bahan penyusunnya gambutnya belum terdekomposisi lanjut (*woody*). Hasil lengkap analisa laboratorium disajikan pada **Gambar 6.**

Emisi CO_2 equivalent = 80 % Volume x Berat Volume x Kandungan Karbon x 3,66..... (2)

$$\text{Laju Emisi CO2 per Tahun}\left(\frac{\text{ton}}{\text{tahun}}\right) = \frac{\text{Emisi CO2 equivalent (ton)}}{\text{Waktu Penurunan Permukaan Tanah (tahun)}} \quad \text{..... (3)}$$



Sei Ahas, Kalimantan Tengah



Sungai Buluh, Jambi

Gambar 6 Berat Volume (*Bulk Density*) di Sei Ahas dan Sungai Buluh

Emisi C

Hasil perhitungan emisi CO_2 keseluruhan yang telah dilakukan di Sei. Ahas (10 – 11 Juni 2015) adalah 2.728.367ton CO_2 dimana laju emisi CO_2 nya adalah 167.518 ton CO_2/tahun. Sedangkan, emisi CO_2 dari gambut di atas muka air tanah saat musim kemarau, adalah 239.620 ton CO_2 dimana laju emisi CO^2 nya adalah 17.189 ton CO_2/tahun. Untuk jelasnya dapat dilihat pada **Tabel 1 – 7**.

Sedangkan di lokasi Sungai Buluh (26 Juli – 2 Agustus 2015) emisi CO2 gambut keseluruhan, adalah 24,195,697 ton CO_2 dimana laju emisi CO_2 nya adalah 1,336,778 ton CO_2/tahun. Sedangkan emisi CO_2 dari gambut di atas muka air tanah saat musim kemarau adalah 8,970,268 ton CO_2 dimana laju emisi CO_2 nya adalah 579,100 ton CO_2/tahun. Untuk jelasnya dapat dilihat pada Tabel 8 – 14.

Tabel 1 Hasil perhitungan volume gambut kering di Sei Ahas, Kalimantan Tengah (10 – 11 Juni 2015).

Uraian	Volume Gambut (m^3)
Volume gambut kering keseluruhan	16.880.788
Volume gambut kering di atas muka air tanah musim kemarau	1.482.565

Tabel 2 Hasil perhitungan volume gambut kering yang teroksidasi di Sei Ahas, Kalimantan Tengah (10 – 11 Juni 2015)

Uraian	Volume Gambut Teroksidasi (m^3)
Volume gambut kering teroksidasi keseluruhan	13.504.630
Volume gambut kering teroksidasi di atas muka air tanah musim kemarau	1.186.052

Tabel 3 Hasil perhitungan berat gambut kering teroksidasi di Sei Ahas, Kalimantan Tengah (10 – 11 Juni 2015)

Uraian	Berat Gambut Kering Teroksidasi (ton)
Berat gambut kering keseluruhan	3.241.111
Berat gambut kering di atas muka air tanah musim kemarau	284.652

Tabel 4 Hasil perhitungan berat C gambut di Sei Ahas, Kalimantan Tengah (10 – 11 Juni 2015)

Uraian	Berat Karbon Gambut (ton)
Berat karbon gambut keseluruhan	745.456
Berat karbon gambut di atas muka air tanah musim kemarau	65.470

Tabel 5 Hasil perhitungan emisi CO_2 di Sei Ahas, Kalimantan Tengah (10 – 11 Juni 2015)

Uraian	Emisi Karbon Dioksida (ton CO_2)
Emisi karbon dioksida gambut keseluruhan	2.728.367
Emisi karbon dioksida gambut di atas muka air tanah musim kemarau	239.620

Tabel 6 Hasil perhitungan emisi CO_2 dalam 1 ha lahan di Sei Ahas, Kalimantan Tengah (10 – 11 Juni 2015)

Uraian	Emisi Karbon Dioksida (ton CO_2/ha)
Emisi karbon dioksida gambut keseluruhan	6.648
Emisi karbon dioksida gambut di atas muka air tanah musim kemarau	584

Tabel 7 Hasil perhitungan emisi CO_2 dan laju emisi CO_2 di Sei Ahas, Kalimantan Tengah (10 – 11 Juni 2016)

Uraian	Emisi CO_2-Kandungan C-organik 23% (ton CO_2)	Laju emisi CO_2-Kandungan C-organik 23% (ton CO_2/tahun)
Gambut Keseluruhan	2.728.368	167.518
Gambut di atas Muka Air Tanah Musim Kemarau	239.620	17.189

Tabel 8 Hasil perhitungan volume gambut kering di Sungai Buluh, Jambi (26 Juli – 2 Agustus 2015)

Uraian	Volume Gambut (m^3)
Volume gambut kering keseluruhan	112.739.199
Volume gambut kering di atas muka air tanah musim kemarau	41.786.792

Tabel 9 Hasil perhitungan volume gambut kering teroksidasi di Sungai Buluh, Jambi (26 Juli – 2 Agustus 2015)

Uraian	Volume Gambut Kering Teroksidasi (m^3)
Volume gambut kering teroksidasi keseluruhan	90.191.359
Volume gambut kering teroksidasi di atas muka air tanah musim kemarau	33.429.434

Tabel 10 Hasil perhitungan berat gambut kering teroksidasi di Sungai Buluh, Jambi (26 Juli – 2 Agustus 2015).

Uraian	Berat Gambut Kering Teroksidasi (ton)
Berat gambut kering keseluruhan	12.085.642
Berat gambut kering di atas muka air tanah musim kemarau	4.479.544

Tabel 11 Hasil perhitungan berat C gambut di Sungai Buluh, Jambi (26 Juli – 2 Agustus 2016)

Uraian	Volume Gambut (ton)
berat kandungan karbon gambut keseluruhan	6.610.846
berat kandungan karbon gambut di atas muka air tanah musim kemarau	2.450.893

Tabel 12 Hasil perhitungan emisi CO_2 saat musim kemarau di Sungai Buluh, Jambi (26 Juli – 2 Agustus 2015).

Uraian	Emisi Karbon Dioksida (ton CO_2)
Emisi karbon dioksida gambut keseluruhan	24.195.697
Emisi karbon dioksida gambut di atas muka air tanah musim kemarau	8.970.268

Tabel 13 Hasil perhitungan emisi CO_2 saat musim kemarau dalam 1 ha lahan di Sungai Buluh, Jambi (26 Juli – 2 Agustus 2015).

Uraian	Emisi Karbon Dioksida (ton CO_2/ha)
Emisi karbondioksida gambut keseluruhan	5.899
Emisi karbondioksida gambut di atas muka air tanah musim kemarau	2.187

Tabel 14 Hasil perhitungan emisi CO_2 dan laju emisi CO_2 di Sungai Buluh, Jambi (26 Juli – 2 Agustus 2016)

Uraian	Emisi CO_2-Kandungan C-organik 54.7% (ton CO_2)	Laju emisi CO_2-Kandungan C-organik 54.7% (ton CO_2/tahun)
Gambut Keseluruhan	24.195.697	1.336.778
Gambut di atas Muka Air Tanah Musim Kemarau	8.970.268	579.100

Berdasarkan hasil perhitungan emisi CO_2 di atas (Tabel 7 dan 14), emisi CO_2 pada lokasi Sungai Buluh lebih besar bila dibandingkan dengan Sei Ahas. Hal ini disebabkan karena kondisi hidrologi yang berbeda dikedua lokasi tersebut. Seperti telah diuraikan di atas (pada Kedalaman/ Ketebalan Gambut), kedalaman muka air tanah di Sungai Buluh lebih dalam letaknya dari Sei Ahas, karena Sungai Buluh telah digunakan sebagai areal perkebunan kelapa sawit. Sedangkan Sei Ahas masih merupakan lokasi hutan yang terdegradasi. Dengan demikian, emisi CO_2 berkorelasi positif dengan kedalaman muka air tanah, dimana makin dalam muka air tanah maka emisi CO_2 makin besar.

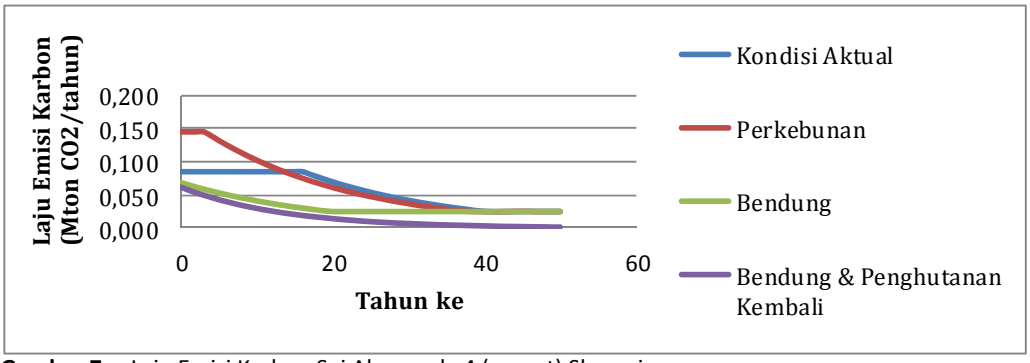
Selain itu tingkat dekomposisi bahan organik (gambut) dapat dilihat dengan nilai berat volume (BV), dimana BV di Sungai Buluh, Jambi lebih rendah dibandingkan dengan BV di Sei Ahas, Kalimantan Tengah. Sebagaimana telah disinggung di atas, hal ini menandakan bahwa dekomposisi gambut di Sei Ahas, Kalimantan Tengah relatif lebih lanjut bila dibandingkan dengan Sungai Buluh, Jambi sehingga mempengaruhi kondisi fisik tanah gambut di daerah ini. Air tanah akan mudah bergerak atau hilang baik secara lateral maupun vertikal, bila lahan tersebut (dengan nilai BV rendah) didrainase untuk berbagai keperluan. Dalam hal ini kemampuan gambut dalam menyimpan atau menyerap air sangat ditentukan oleh kondisi pori-pori tanah. Kemampuan gambut yang tinggi dalam menyimpan air antara lain ditentukan oleh porositas gambut yang bisa mencapai 95%. Dimana pada tingkat kematangan gambut yang rendah, gambut lebih banyak terdapat pori makro, sehingga begitu didrainase maka air tanah akan cepat sekali hilang.

Selanjutnya, mendukung hasil di atas, menurut Stockwell et al., 2014 ; 2015, emisi sampel gambut dari Sumatra sangat berbeda dengan emisi rata - rata yang dihasilkan dari sampel gambut Kalimantan.

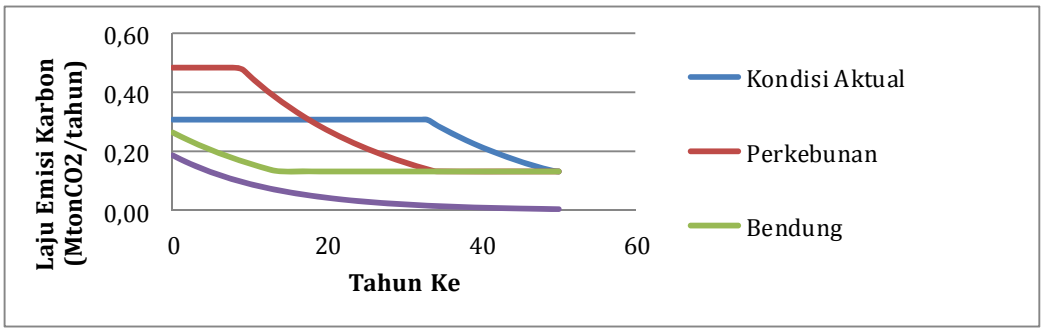
Proyeksi Laju Emisi C

Hasil perhitungngan analisis proyeksi laju emisi CO_2 dari tahun ke-0 sampai tahun ke-50 di lokasi Sei Ahas adalah pada kondisi aktual (0.085 – 0.025 Mton CO_2/tahun), bila dikembangkan sebagai lahan perkebunan (0.145 – 0.025 Mton CO_2/tahun), kondisi bila ada *canal blocking* (0.068 – 0.025 Mton CO_2/tahun), dan bila ada *canal blocking* dan penghutanan kembali (0.062 – 0.002 Mton CO_2/tahun). Untuk lebih jelasnya, hasil perhitungan lengkap disajikan pada Gambar 7. Selanjutnya dari hasil perhitungan terlihat bahwa laju emisi C pada kondisi bila ada *canal blocking* dan penghutanan kembali lebih rendah bila dibandingkan dengan kondisi lahan dikembangkan sebagai perkebunan, atau kondisi aktual/eksisting atau pada kondisi bila ada *canal blocking* saja.

Selanjutnya hasil analisis proyeksi laju emisi C pada lokasi Sungai Buluh (Tabel 16 dan Gambar 8) pada 4 (empat) skenario dari tahun ke – 0 sampai dengan tahun ke – 50 adalah pada kondisi aktual/eksisting (0.308 – 0.132 Mton CO_2/tahun), bila dikembangkan sebagai lahan perkebunan (0.484 – 0.132 Mton CO_2/tahun), kondisi bila ada *canal blocking* (0.264 – 0.132 Mton CO_2/tahun), dan kondisi bila ada *canal blocking* dan penghutanan kembali (0.187 – 0.005 Mton CO_2/tahun). Berdasarkan nilai laju emisi di Gambar 8, diperoleh perilaku yang cenderung sama dengan Sei Ahas, yaitu bila ada *canal blocking* dan penghutanan kembali lebih rendah dibandingkan dengan kondisi eksisting, atau kondisi bila dikembangkan sebagai lahan perkebunan, atau kondisi ada *canal blocking* saja.



Gambar 7 Laju Emisi Karbon Sei Ahas pada 4 (empat) Skenario



Gambar 8 Laju Emisi Karbon Sungai Buluh pada 4 (empat) Skenario

Jika dibandingkan nilai proyeksi laju emisi C selama 50 tahun untuk semua kondisi di Sei Ahas dan Sungai Buluh menunjukan laju emisi Sei Ahas lebih rendah dari Sungai Buluh. Hal ini sesuai dengan hasil emisi yang dipengaruhi oleh kedalaman muka air tanah dan nilai BV sebagaimana telah diuraikan sebelumnya pada Bab ini. Di samping itu terlihat perilaku kedua laju emisi menunjukan kecenderungan yang sama. Dimana Lahan yang digunakan sebagai perkebunan menunjukan laju emisi yang lebih besar dari pada semua kondisi lahan yang lain.

KESIMPULAN

Kedalaman muka air tanah rata-rata di Sei Ahas lebih tinggi dari Sungai Buluh, karena Sungai Buluh telah digunakan sebagai areal perkebunan kelapa sawit, sedangkan Sei Ahas masih merupakan lokasi hutan yang terdegradasi. Selain itu Sungai Buluh memiliki berat volume (BV) gambut yang lebih rendah dari Sei Ahas. Emisi CO_2 di Sei Ahas lebih rendah dibandingkan dengan Sungai Buluh. Perbedaan ini disebabkan karena kondisi hidrologi yang berbeda dikedua lokasi tersebut. Pertama karena kedalaman muka air tanah di Sungai Buluh lebih dalam letaknya dari Sei Ahas, dan kedua nilai BV di Sungai Buluh lebih rendah dari nilai BV di Sei Ahas.

Dinamika muka air tanah lahan gambut sangat berpengaruh terhadap besaran, laju dan waktu emisi C. Muka air tanah yang tinggi akan menghasilkan besaran dan laju emisi C yang kecil, dan sebaliknya. Dari keempat skenario, disimpulkan bahwa dengan dibangunnya bendung (*canal blocking*) dan penghutanan kembali menghasilkan besaran dan laju emisi C yang terendah. Laju emisi CO_2 selama 50 tahun di Sei Ahas pada semua kondisi lebih rendah dibandingkan dengan lokasi Sungai Buluh. Hal ini sesuai dengan kesimpulan nomor 2 dan 3. Ketinggian muka air tanah gambut sangat bergantung pada jenis perlakuan yang diterapkan dan laju emisi juga semakin melambat dengan adanya perlakuan, yang secara langsung juga memperbaiki kondisi hidrologi ekosistem lahan gambut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Balai Litbang Rawa atas ijin penggunaan informasi, data serta bahan-bahan dan kepada seluruh Tim Kegiatan Penelitian yang telah melakukan pengamatan/ pengukuran di lapangan dan elaborasi data. Penghargaan yang tinggi kami berikan kepada Bapak Dr. Ir. Asmadi Saad (Universitas Jambi) yang banyak memberikan dukungan dan masukkan serta semua pihak yang telah mendukung sehingga makalah ini dapat tersusun.

DAFTAR PUSTAKA

Couwenberg J, Dommain R, and Joosten H., 2010. Greenhouse gas fluxes from tropical peatlands in South East Asia, *Global Change Biology*, 16, 1715–1732.

Couwenberg, J., and Hooijer, A., 2013. Towards robust subsidence-based soil carbon emission factors fro peat soils in south-east Asia, with special reference to oil palm plantations. *Mires and Peat*, Volume 12 (2013), Article 01, 1-13. ISSN 1819-745X.

Farmer, J., R. Matthews, P. Smith, and J. U. Smith, 2014. The tropical peatland plantation-carbon assessment tool: estimating CO2 emissions from tropical peat soils under plantations. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 19 (6):863-885. http://dx.doi.org/10.1007/s11027-013-9517-4

Food and Agiculture Organization of the United Nations, 2014. Towards climate-responsible peatlands management. *Mitigation of climate change in agriculture* series 9, ISBN 978-92-5-108546-2 (print)E-ISBN 978-92-5-108547-9 (PDF), www.fao.org/publication, Rome.

Government of Indonesia, World Bank. May 2011. *Water management for climate change mitigation and adaptive development in the lowlands – WACLIMAD*, Technical assistance - Consultancy services, Wasap grant No. Tf 056597, Working paper – 5, Lowland regulation: resources base perspective.

Gunarso, P., M. E. Hartoyo, F. Agus, and T. J. Killeen. 2013. *Oil palm and land use change in Indonesia, Malaysia and Papua New Guinea*. The Technical Panels of the 2nd Greenhouse Gas Working Group of the Roundtable on Sustainable Palm Oil (RSPO). RSPO, Kuala Lumpur, Malaysia.

Hanafiah K.A. 2005. *Dasar-Dasar ilmu tanah*. Jakarta. Divisi Buku Perguruan Tinggi. PT. Raja Grafindo Persada.

Hergoualc'h and Verchot L.V., 2011. Stocks and fluxes of carbon associated with land use change in Southeast Asian tropical peatlands: A review. *Global biogeochemical cycles Journal*. Vol. 25. Issue 2. DOI: 10.1029/2009GB003718.

Hirano, T., K. Kusin, S. Limin, and M. Osaki, 2014. Carbon dioxide emissions through oxidative peat decomposition on a burnt tropical peatland. *Global Change Biology* 20, 555–565, doi: 10.1111/gcb.12296.

Hooijer A, Page S, Canadell J.G, Silvius M, Kwadijk J, Wösten H, and Jauhiainen J, 2010. Current and future CO2 emissions from drained peatlands in Southeast Asia, *Biogeosciences*, 7, 1505–1514, doi:10.5194/bg-7-1505-2010.

Hooijer A, Page S, Jauhiainen J, Lee W.A, Lu X.X, Idris A, and Anshari G., 2012. Subsidence and carbon loss in drained tropical peatlands. *Biogeosciences*, 9, 1053-1071.

Hooijer, A., R. Vernimmen, I. Nasrul, S.E. Page, P. Navratil, G. Applegate, and N. Mawdsley. 2014. *Determining subsidence and carbon emission due to biological oxidation in degraded tropical peatlands 15 years after drainage, in relation to land cover and water table depth*. A summary of KFCP research results for practitioners, Scientific Report.

Institute for Essential Services Reform (IESR). 2015. A Brief Analysis of Indonesia's Intended Nationally Determined Contribution (INDC), https://www.google.co.id/?gws_rd=cr&ei=_EZDWcCEBsLxvgSoxIqYCQ#q=intended+nationally+determined+contributions+indonesia (akses, 15 Juni 2017)

Jauhiainen J, Takahashi H, Heikkinen J.E.P, Martikainen P.J, and Vasander H., 2005. Carbon fluxes from a tropical peat swamp forest floor. *Global Change Biology*, 11, 1788 - 1797.

Jauhiainen J, S. Limin, S. Silvennoinen, and H. Vasander, 2008. Carbon dioxide and methane in drained tropical peat before and after hydrological restoration. *Ecology*, 89 (12): 3503 - 3514.

Jauhiainen J, Hooijer A, and Page SE., 2012. Carbon dioxide emissions from an Acaciaplantation on peatland in Sumatra, Indonesia. *Biogeosciences*,9, 617– 630.

Kalimantan Forests and Climate Partnership (KFCP). May 2014. *Carbon Emission from Drained and Degraded Peatland in Indonesia and Emission Factors for Measureement Reporting and Verification (MRF) of Peatland Greenhouse Gas Emission*, Scientific Report. A Summary of KFCP Research Results for Practitioners.

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2015. *Inventarisasi Nasional Emisi dan Serapan Gas Rumah Kaca di Hutan dan Lahan Gambut Indonesia*, Indonesian National Carbon Accounting System (INCAS), Penerbit Badan Penelitian Pengembangan dan Inovasi, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Kampus Badan Penelitian Pengembangan dan Inovasi.

Konecny, K., Ballhorn, U., Navratil, P., Jubanski, J., Page, S. E., Tansey, K., Hooijer, A. A., Vernimmen, R., and Siegert, F., 2016. Variable carbon losses from recurrent fires in drained tropical peatlands, *Global Change Biology*, 22, 1469–1480, 2016.

Limin, SH, Saman, TN, Adi Jaya, and S. Alim, 2005. Giving full responsibility for local community as one way for fire management in Central Kalimantan: the TSA concept. Proceeding of *The International Symposium and Workshop on Tropical Peatland* "Restoration and Wise Use of Tropical Peatland: Problems of Biodiversity, Fire, Poverty and Water Management. Palangka Raya.

Moore, S., C. D. Evans, S. E. Page, M. H. Garnett, T. G. Jones, C. Freeman, A. Hooijer, A. J. Witshire, S. H. Limin, and V. Gauci, 2013. Deep instability of deforested tropical peatlands revealed by fluvial organic carbon fluxes. *Nature* 493:660-664. http://dx.doi.org/10.1038/nature11818

Murdiyarso D, Hergoualch K, and Verchot L.V., 2010. Opportunities for reducing greenhouse gas emissions in tropical peatlands, Proceedings of *The National Academy Science of he , United States of America,* 107, 19655–19660.

Page S.E, S. Siegert, J.O. Rieley, H.D.V. Boehm, A. Jaya, and S.H. Limin, 2002. The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997. *Nature,* 420:61 – 65.

Page SE, C.J. Banks, J.O. Rieley, and R. Wust, 2008. Extent, significance and vulnerability of the tropical peatlands carbon pools; past, present, and the future prospect. Proceedings of *the 13th International Peat Congress.* After wise use – the future of peatlands. Vol. 1. Tullamore, Ireland. C. Farrel and Feehan (Eds.). 240-244. International Peat Society.

Page S.E, Hoscilo A, and Jauhiainen J et al., 2009. Ecological restoration of tropical peatlands in Southeast Asia. *Ecosystems*, 12, 888-905.

Page S.E, Rieley J.O, and Christopher J. Banks, 2011. Global and regional importance of the tropical peatland carbon pool, *Global Change Biology*, 17, 798-818.

Pronger, J., L. A. Schipper, R. B. Hill, D. I. Campbell, and M. McLeod, 2014. Subsidence rates of drained agricultural peatlands in New Zealand and the relationship with time since drainage. *Journal of Environmental Quality* 43:1442-1449. http://dx.doi.org/10.2134/jeq2013.12.0505

Sumarga, E., L. Hein, A. Hooijer, and R. Vernimmen, 2016. Hydrological and economic effects of oil palm cultivation in Indonesian peatlands. *Journal of Ecology and Society* 21(2):52. http://dx.doi.org/10.5751/ES-08490-210252

Sumarga, E., and L. Hein, 2016. Benefits and costs of oil palm expansion in Central Kalimantan, Indonesia, under different policy scenarios. *Journal of Regional Environmental Change* 16(4):1011-1021.http://dx.doi.org/10.1007/s10113-015-0815-0

Stockwell, C. E., Yokelson, R. J., Kreidenweis, S. M., Robinson, A. L., DeMott, P. J., Sullivan, R. C., Reardon, J., Ryan, K. C., Griffith, D.W. T., and Stevens, L., 2014. Trace gas emissions from combustion of peat, crop residue, domestic biofuels, grasses, and other fuels: configuration and Fourier transform infrared (FTIR) component of the fourth Fire Lab at Missoula Experiment (FLAME 4), *Atmos. Chem. Phys.,* 14, 9727–9754, doi:10.5194/acp-14-9727-2014.

Stockwell, C. E., Veres, P. R., Williams, J., and Yokelson, R. J., 2015. Characterization of biomass burning emissions from cooking fires, peat, crop residue, and other fuels with high-resolution proton-transfer-reaction time-of-flight mass spectrometry, *Atmos. Chem. Phys.,* 15, 845–865, doi:10.5194/acp-15-845-2015, 2015.

Triadi L.B *et. al*., 2013. Hydraulic intervention impact on subsidence and carbon emissions in peatland as a disaster mitigation effort (Case study : Sei Ahas - Central Kalimantan), Proceeding of *the 4th HATHI International Seminar*, 6 – 8 September 2013, Yogyakarta.

Triadi L. B., and Marpaung, M.F., 2015. Dampak Pengendalian Air Dalam Rangka Mengurangi Kecepatan Laju Subsiden Dan Besaran Emisi Karbon Pada Lahan Gambut Dangkal, Prosiding *PIT XXXII HATHI*, 9 – 11 Oktober 2015, Malang.