

Subsiden, Emisi Karbon dan Fisik Tanah Gambut Terbakar dan Tidak Terbakar di Areal Konservasi Gambut

Muhammad Nuriman^a, Tri Tiana Ahmadi Putri^b, Iswahyudi^c, Andre^d

^aJurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Tanjungpura,
muhammad.nuriman@faperta.untan.ac.id

^bPeneliti, CV. Sky Agro Energy Pontianak,

^cJurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Samudra,

^dPascasarjana, Ilmu Tanah, Universitas Tanjungpura

Abstract

Today, peatland fires cause peat soil changes and release carbon emissions. The area protected as a peat conservation area in 2019 was not spared from fire incidents, where the land is an area with maintained groundwater level and has monitoring data on groundwater level and peat thickness. The aim of this paper was to identify the subsidence, carbon emissions, and several physical properties of peat soil in burned and unburned peat conservation areas. The variables measured were hydraulic conductivity, subsidence, bulk density, water content, carbon content and carbon emissions. The number of observation plots was six plots, with three (3) unburned plots and three (3) burned plots located in the Peat Conservation Area in Ketapang Regency, West Kalimantan. The six observation plots were in peatlands with the Typic Haplohemists subgroup, and shrub land cover. The results showed that the hydraulic conductivity and carbon content in unburned and burned land were not statistically and significantly different ($P>0.05$). The values of bulk density, water content, subsidence and carbon emissions on burned land were significantly different ($P<0.05$) compared to unburned land. Subsidence in unburned locations was 1.83 ± 0.44 cm, while in burned areas it was 5.56 ± 0.84 cm. The amount of subsidence affects the amount of carbon emissions resulting from loss of peat layers, namely on unburned land it was 9.24 ± 3.13 tonnes/ha, and 35.53 ± 3.73 tonnes/ha on burned land. The results of carbon emissions from subsidence caused by land fires can be determined as a basic emission factor for these two land conditions with similar peat characteristics.

Key words : Peat Fires, Peat Conservation Areas, Physical Properties of Peat, Subsidence, Carbon Emissions

© 2024 Nuriman, Putri, Iswahyudi, Andre

PENDAHULUAN

Karakteristik gambut utama pada Areal Konservasi Gambut (AKG) adalah tergenang, atau muka air tinggi. Tanah gambut merupakan tanah yang sangat porous, dengan nilai porositas total berkisar 84-96 % (Manurung *et al.*, 2021), sehingga potensi kehilangan air sangat besar, maka ketika terjadi musim kering yang panjang, muka air tanah gambut akan turun drastis bahkan dapat mencapai lebih dari 1.2 meter (Hooijer *et al.*, 2012) sehingga rentan terhadap kebakaran.

Kejadian kebakaran di AKG mempunyai dampak terhadap perubahan dari lahan gambut tersebut. Banyak penelitian lainnya menunjukkan bahwa kebakaran lahan gambut berdampak pada sifat tanah gambut (Saharjo & Nurhayati, 2005; Page *et al.*, 2009; Agus *et al.*, 2019), terjadinya subsiden gambut (Hooijer *et al.*, 2012; Dhandapani *et al.*, 2023), dan emisi carbon gambut (Page *et al.*, 2002; Heil *et al.*, 2006; Hergoualc'h, and Verchot, 2011).

Areal konservasi gambut merupakan areal yang memiliki penjagaan tata air, dan menara api pemantauan. Tahun 2019 di

Kalimantan Barat merupakan musim kemarau panjang yang sangat kering atau dikenal dengan *El-Nino*. Aflahah, 2019 menyatakan bahwa pada saat terjadi *El-Nino*, meningkatkan jumlah titik panas secara signifikan 3 kali lipat dibandingkan tahun tanpa peristiwa *El-Nino*. Fenomena tersebut tidak luput menyebabkan terjadinya kebakaran lahan di AKG. Tulisan ini bertujuan menyampaikan besaran subsidi, emisi karbon, dan beberapa sifat fisik tanah gambut pada AKG yang terbakar dan tidak terbakar.

BAHAN DAN METODA

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan November 2019, sekitar 2 bulan pasca kebakaran lahan di AKG, yang berada di Kecamatan Nanga Tayap Kabupaten Ketapang. Berdasarkan data pengukuran tinggi muka air tanah di AKG pada bulan Januari - Juni 2019 seluruh kawasan AKG tergenang, akan tetapi pada bulan Juli-November 2019, muka air tanah berada di bawah permukaan tanah. Pada bulan Desember 2019, kawasan AKG kembali tergenang. Hal ini menunjukkan bahwa AKG memiliki empat sampai lima bulan tanpa genangan sepanjang tahun 2019 dengan puncak muka air tanah terendah pada bulan September mencapai lebih dari -40 cm, dengan maksimal mencapai -62 cm di mana kejadian kebakaran lahan terjadi di AKG. Sekitar areal AKG terdapat saluran drainase yang telah dibangun sekat kanal untuk menjaga lahan selalu basah, akan tetapi pada bulan September 2019 air di saluran mengalami kekeringan sehingga berdampak juga terhadap penurunan air tanah di lokasi AKG dan kejadian kebakaran. Putra dan Hayasaka (2011) menyatakan kedalaman muka air tanah lebih dari 40 cm di lahan gambut *Mega Rice Project* (MRP) merupakan tingkat kritis terjadinya kebakaran lahan, sehingga merekomendasikan <40 cm sebagai batas aman kedalaman muka air tanah di lahan gambut bagi pencegahan kebakaran gambut.

Jenis tanah pada enam lokasi kajian tergolong sub group *Typic Haplohemists*,

dengan tutupan lahan semak belukar, di mana sebelumnya pada tahun 2015 mengalami kebakaran hebat sehingga menghabiskan tutupan hutan. Saat pengambilan sampel di bulan November kedalaman muka air tanah di seluruh lokasi kajian < 20 cm dari permukaan tanah.

Pengamatan dan pengambilan sampel dilakukan pada enam lokasi (Gambar 1). Lokasi tersebut dikelompokkan menjadi areal terbakar dan tidak terbakar. Lokasi terbakar dengan kode T, sedangkan lokasi tak terbakar dengan kode TT.

Pengamatan Lapangan

1. Konduktivitas Hidrolik

Pengukuran konduktivitas hidrolik menggunakan metode auger-hole yang langsung diukur di lapangan. Kita memasang pipa PVC (diameter 2,2 inchi) yang dilubangi pada bagian ujung sepanjang 30 cm (Agus dan Suganda, 2006), tempat masuknya air. Pipa PVC untuk mengukur konduktivitas hidrolik tersebut dimasukkan sampai 100 cm ke dalam tanah. Berarti, konduktivitas hidrolik yang diukur pada penelitian ini pada kedalaman 70 – 100 cm.

Pembuangan air dari pipa PVC dilakukan secara manual, dengan seperangkat timba yang didesain khusus. Kemudian, pengukuran kecepatan aliran air kembali diukur dengan meteran yang dilengkapi dengan pelampung. Untuk mengurangi kesalahan percobaan, pengukuran dilakukan tiga kali per titik pengamatan. Nilai konduktivitas hidrolik dihitung menurut persamaan Van Beers (1970). Rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$K = C (H_0 - H_t) / t \quad \text{Persamaan 1}$$

Keterangan :

K = Konduktivitas hidrolik dalam kondisi jenuh (m/hari)

C = Nilai faktor C

t = Waktu yang diperlukan (detik)

H_t = Kedalaman muka air tanah dari reference pada waktu t (cm)

H₀ = Kedalaman muka air tanah pada waktu nol (cm)

Nilai faktor C tergantung pada kedalaman atau jarak antara lapisan kedap air (*impermeabilitas*)

terhadap dasar lubang (D), berikut adalah persamaanya:

Jika $D > \frac{1}{2} D_2$, maka :

$$C = \frac{4000 \frac{r}{h'}}{(20 + \frac{D_2}{r})(2 - \frac{h'}{D_2})} \quad \text{Persamaan 2}$$

Jika $D = 0$, maka :

$$C = \frac{3600 \frac{r}{h'}}{(10 + \frac{D_2}{r})(2 - \frac{h'}{D_2})} \quad \text{Persamaan 3}$$

Keterangan :

D = Jarak lapisan impermeabilitas ke dasar lubang (cm)

D_2 = Jarak dasar lubang ke muka air tanah (cm)

r = radius lubang (cm)

h' = Kedalaman rata-rata muka air tanah di dalam lubang (cm)

2. Subsiden

Pengukuran subsiden menggunakan metode perbandingan ketebalan gambut tahun 2018 dengan ketebalan gambut tahun 2019. Pengukuran ketebalan gambut menggunakan Russia peat auger pada plot koordinat yang sama di tahun 2018 dan 2019.

Analisis Laboratorium

Variabel analisis laboratorium yang kami pelajari dalam penelitian ini adalah bobot isi, kadar air volumetrik dan kadar karbon. Setiap plot pengamatan kami mengambil sampel pada dua kedalaman yaitu interval 0-25 cm dan 25-50 cm. Analisis variabel bobot isi dan kadar air pada sampel tersebut menggunakan metode kering oven dengan temperatur 105°C selama 24 jam dan volume tanah menggunakan metode Archimedes. Analisis variabel kadar karbon menggunakan metode *loss in ignition* (LOI). LOI diperoleh dari hasil pembakaran tertutup menggunakan tanur dengan temperatur 550°C, selama 5 jam. Kadar LOI merupakan gambaran dari jumlah bahan organik. Perhitungan bobot isi, kadar air volumetrik, LOI, kadar karbon dan emisi carbon dari subsiden dapat dilihat pada persamaan 4, 5, 6, 7, dan 8.

$$BI (g/cm^3) = \frac{\text{Berat Kering Tanah}}{\text{Volume Tanah}} \quad \text{Persamaan 4}$$

$$KAV (\%) = \frac{\text{Berat Basah} - \text{Berat Kering}}{\text{Volume Tanah}} \times 100 \quad \text{Persamaan 5}$$

$$LOI (\%) = \frac{\text{Berat Kering} - \text{Berat Abu}}{\text{Berat Kering}} \times 100 \quad \text{Persamaan 6}$$

$$KC (\%) = \frac{LOI}{1.72} \quad \text{Persamaan 7}$$

$$ECS (ton/ha) = KC (\%) \times BI (g/cm^3) \times S (cm) \times 100 \quad \text{Persamaan 8}$$

Keterangan :

BI : Bobot Isi; KAV : Kadar Air Volumetrik ; LOI : Loss on Ignition ; KC : Kadar Carbon; ECS : Emisi Carbon Subsiden; dan S : Subsiden;

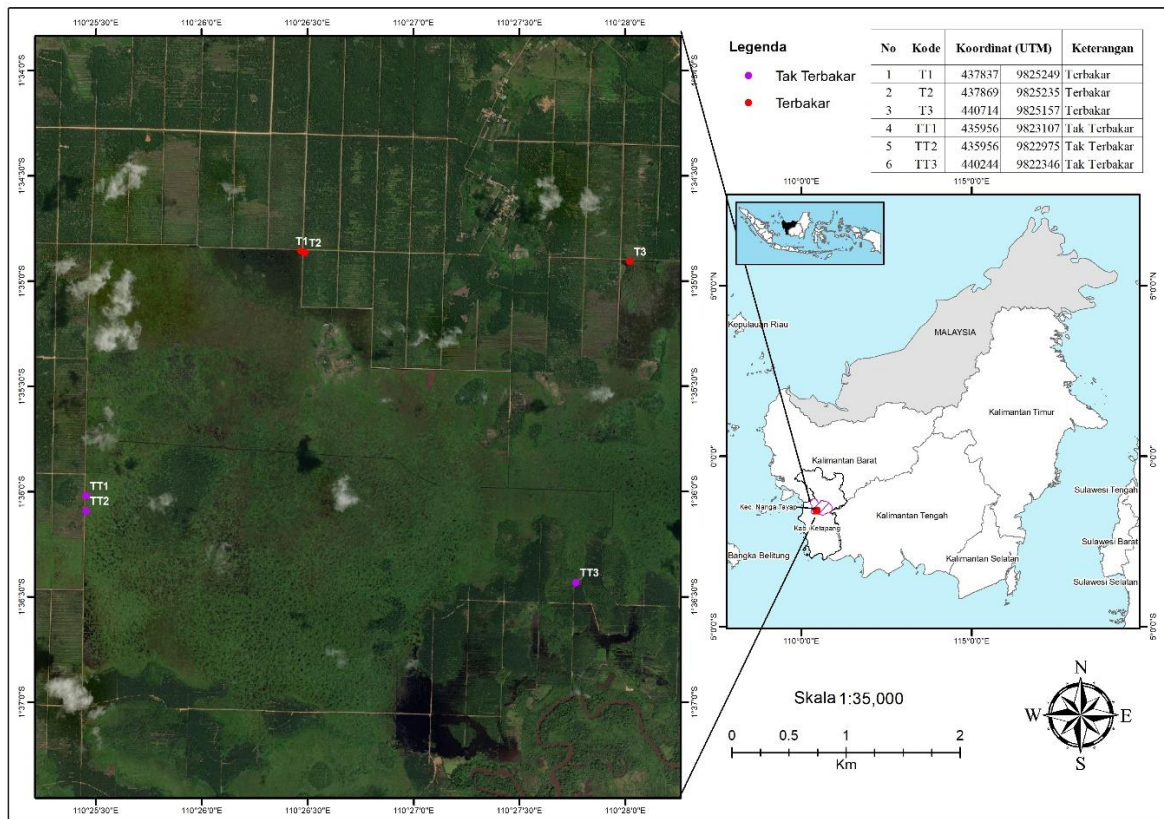
Metode Analisis

Kami menggunakan SPSS versi 17 dan bantuan *Real Statistics* untuk untuk analisis statistik. Nilai rata-rata dan standar deviasi seluruh variabel terhadap faktor kejadian kebakaran (terbakar dan tidak terbakar) diuji menggunakan uji-T *independent*. Semua variabel sebelum di uji-T *independent* terlebih dahulu dilakukan pengujian normalitas menggunakan *Shapiro-Wilk Test*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil

Hasil analisis rata-rata, standar deviasi, uji normalitas, dan uji T pada seluruh variabel dalam penelitian ini tersaji pada Tabel 1. Berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa dari seluruh data terdapat variabel kadar air pada faktor tak terbakar memiliki data tidak normal ($P < 0.05$), sedangkan variabel lainnya memiliki data yang normal ($P > 0.05$). Semua variabel yang memiliki data normal, dilakukan uji T dengan varian sama sedangkan data tidak normal dianalisis uji T varian yang tidak sama.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Tabel 1. Analisis Data Konduktivitas Hidrolik, Bobot Isi, Kadar Air, Karbon, Subsiden dan Emisi Carbon Subsiden di Lokasi Kajian

Variabel	Kondisi Lahan	Jumlah Data	Rataan	Standar Deviasi	Shapiro-Wilk Test P-Value	Uji T P-Value
Konduktivitas Hidrolik (m/hari)	Terbakar	3	0.08	0.04	0.64	0.75
	Tidak Terbakar	3	0.07	0.04	0.28	
Bobot Isi (g/cm ³)	Terbakar	6	0.12	0.01	0.74	0.04
	Tidak Terbakar	6	0.09	0.02	0.85	
Kadar Air (% Vol)	Terbakar	6	71.01	5.82	0.25	0.03
	Tidak Terbakar	6	85.22	3.62	0.03	
Kadar Carbon (%)	Terbakar	6	51.81	0.78	0.66	0.59
	Tidak Terbakar	6	52.76	2.68	0.44	
Subsiden (cm/tahun)	Terbakar	3	5.56	0.84	0.78	0.00
	Tidak Terbakar	3	1.83	0.44	0.36	
Emisi Carbon Subsiden (ton/ha)	Terbakar	3	35.53	3.73	0.34	0.00
	Tidak Terbakar	3	9.24	3.13	0.05	

Ket: P -Value < 0.05 : Berbeda nyata; P -Value < 0.01 : Berbeda sangat nyata; P -Value > 0.05 : Tidak berbeda nyata

2. Konduktivitas Hidrolik

Konduktivitas hidrolik pada lahan terbakar sebesar 0.08 ± 0.04 m/hari, sedangkan pada lahan tak terbakar sebesar 0.07 ± 0.04 m/hari. Berdasarkan hasil analisis uji T menunjukkan bahwa konduktivitas hidrolik pada dua lokasi tersebut tidak terdapat perbedaan yang nyata yaitu dengan t-hitung sebesar 0.34 dan *P-value* sebesar 0.74.

Secara keseluruhan rata-rata konduktivitas hidrolik lokasi di kajian adalah sebesar 8.99×10^{-7} m/s. Hasil ini relatif lebih besar dibandingkan dengan konduktivitas hidrolik di salah satu AKG yang berada di Katingan Kalimantan Tengah yaitu sebesar 6.92×10^{-7} m/s (Prabandini, 2016). Konduktivitas hidrolik terbesar adalah berada di tutupan lahan hutan yaitu sebesar 1.25×10^{-5} m/s (Kurnianto *et al.*, 2018).

3. Bobot Isi, Kadar Air, dan Kadar Carbon

Bobot isi dan kadar air tanah gambut yang terbakar berbeda nyata dibandingkan pada tanah gambut yang tak terbakar. Bobot isi pada lahan gambut terbakar sebesar 0.12 ± 0.01 g/cm³, sedangkan pada lahan tidak terbakar memiliki bobot isi yang lebih kecil yaitu sebesar 0.09 ± 0.02 g/cm³. Meningkatnya nilai bobot isi pada lahan terbakar disebabkan karena terjadinya proses mineralisasi berupa abu pembakaran, hal ini sejalan dengan hasil penelitian Wasis (2003); Syaufina (2008).

Kadar air pada lahan terbakar lebih rendah dibandingkan lahan tidak terbakar. Lahan terbakar sebesar 71.01 ± 5.82 %, sedangkan tidak terbakar sebesar 85.22 ± 3.62 %. Hasil ini menunjukkan bahwa kebakaran menyebabkan kadar air tanah gambut lebih rendah, dibandingkan lahan yang terbakar. Hasil ini serupa dengan penelitian sebelumnya (Rein *et al.*, 2008; Prat-Guitart *et al.*, 2016; Wasis *et al.*, 2018), walaupun kadar air pada lahan terbakar lebih rendah dibandingkan lahan tak terbakar, kadar air tersebut tergolong belum mencapai kadar air kritis sehingga masih bersifat hidrofilik, di mana berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Winarna *et al.* (2016) kadar air kritis terjadinya kondisi

hidrofobik pada tanah gambut pada saat 150-265 % gravimetrik, atau 30-48 % volumetrik.

Berbeda dengan hasil nilai kadar karbon, kejadian kebakaran tidak menyebabkan nilai kadar karbon berbeda nyata dibandingkan lahan tidak terbakar, walaupun nilai rata-rata kadar karbon di lahan terbakar lebih rendah dengan selisih 0.95 % dibandingkan lahan tidak terbakar. Beberapa penelitian memperoleh hasil, bahwa kadar karbon di gambut terbakar lebih rendah dibandingkan tidak terbakar (Wasis *et al.*, 2019; Sulaeman *et al.*, 2021).

4. Subsiden Gambut

Subsiden atau penurunan permukaan gambut disebabkan oleh pemampatan, oksidasi/dekomposisi, dan kebakaran. Proses subsiden ini dapat berjalan sendiri-sendiri atau bersamaan (Agus dan Subiksa, 2008). Subsiden di lokasi tidak terbakar sebesar 1.83 ± 0.44 cm/tahun, merupakan subsiden yang disebabkan oleh pemampatan dan oksidasi lahan gambut. Lahan terbakar memiliki nilai subsiden sebesar 5.56 ± 0.84 cm/tahun, merupakan hasil dari proses hilang dan atau turunnya lapisan gambut akibat kebakaran, oksidasi dan pemampatan. Persentase subsiden dari kejadian kebakaran meningkat 303% atau 3 kali dari kondisi tidak terbakar. Hasil yang kurang lebih sama dengan Dhandapani *et al.* (2023) yang memperoleh nilai subsiden sebesar 4.4 ± 1.2 cm/tahun di lahan gambut yang mengalami kebakaran, dan sebesar 1.8 ± 0.47 cm/tahun pada lahan gambut dengan tutupan hutan sekunder.

Hasil penelitian ini relatif lebih kecil dibandingkan Chahyahusna *et al.* (2022) pada lahan gambut yang dimanfaatkan untuk perkebunan kelapa sawit, yang memiliki saluran drainase sistem kontrol melalui sekat kanal untuk meninggikan muka air tanah, memperoleh besaran subsiden akibat oksidasi dan pemadatan sebesar 2.47 ± 0.76 cm/tahun. Hooijer *et al.* (2012) juga memperoleh hasil subsiden pada hutan alam yang berbatasan dengan drainase perkebunan sebesar 2.4 ± 1.6 cm/tahun. Besaran subsiden penelitian ini lebih kecil dibandingkan pada perkebunan kelapa sawit yang tidak memiliki saluran drainase sistem control, yaitu sebesar 5.4 ± 1.1 cm/tahun (Hooijer *et al.*, 2012),

bahkan nilai tersebut relatif sama dengan subsidi yang terjadi pada lahan terbakar dalam penelitian ini.

5. Potensi Emisi Karbon

Potensi emisi karbon yang dihitung berdasarkan subsidi gambut, bobot isi gambut, dan kandungan C-organik gambut adalah sebesar 35.52 ± 3.73 ton/ha pada lahan terbakar, dan sebesar 9.24 ± 3.13 ton/ha pada lahan tak terbakar. Secara CO₂equivalen lahan terbakar memiliki potensi emisi CO₂ sebesar 130.24/ha, dan lahan tak terbakar sebesar 33.88 t/ha.

Emisi karbon di lahan tak terbakar lebih kecil dibandingkan hasil penelitian karbon di lahan gambut untuk perkebunan yang dipublikasi oleh IPCC, (2014) yaitu sekitar 11-20 ton C/ha. Berbeda dengan emisi karbon gambut pada lahan yang terbakar, memiliki nilai jauh lebih besar dibandingkan publikasi IPCC tersebut, akan tetapi hasil ini masih relatif sama dengan penelitian Couwenberg *et al* (2010) memperoleh besaran emisi karbon potensial dari subsidi lahan gambut berkisar antara 12-36 ton/ha. Berbeda dengan hasil penelitian Rieley and Page (2008) memperoleh hasil emisi karbon dari kejadian kebakaran lahan gambut di perkebunan kelapa sawit sebesar 135 ton/ha, maka hasil penelitian ini tergolong jauh lebih rendah. Hasil pengukuran *in situ* yang dilakukan Husnain *et al* (2014) dan Putri *et al* (2016) menggunakan IRGA (*infrared gas analyzer*) memperoleh hasil lebih besar dibandingkan lahan tidak terbakar, dan lebih kecil dibandingkan lahan yang terbakar, di mana hasil penelitian mereka berkisar 35-80 ton CO₂/ha/tahun di perkebunan kelapa sawit.

KESIMPULAN

Areal Konservasi Gambut (AKG) yang sudah dikondisikan untuk terendam, pada waktu tertentu tidak luput dari penurunan muka air tanah dan mengalami kejadian kebakaran lahan. Kebakaran lahan gambut tersebut menyebabkan permukaan tanah gambut hilang, sebesar 3 kali lipat dibandingkan lahan yang tidak terbakar. Potensi emisi karbon pada AKG yang tidak terbakar lebih rendah dibandingkan emisi

karbon yang dipublikasi IPCC, dan emisi karbon gambut pada lahan terbakar berada di dalam interval hasil penelitian sebelumnya. Usaha pengelolaan lahan gambut di AKG tergolong dapat menurunkan resiko degradasi lahan gambut. Pembangunan sekat kanal, dan pemasangan alat monitor tinggi muka air, membantu dalam penjagaan muka air tanah di AKG menjadi tinggi bahkan tergenang, sehingga mampu menurunkan ancaman subsidi dan pelepasan emis karbon, dan degradasi lahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aflahah, E., Hidayati, R., Hidayat, R., and Alfahmi, F. 2019. Pendugaan hotspot sebagai indikator kebakaran hutan di Kalimantan berdasarkan faktor iklim. *Journal of Natural Resources and Environmental Management*. 9(2): 405-418.
- Agus, F., dan Suganda H. 2006. Penetapan Konduktivitas Hidrolik Tanah Dalam Keadaan Jenuh: Metode Lapang. Dalam Sifat Fisik Tanah dan Metode Analisisnya. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor.
- Agus, F., dan Subiksa, I.G.M. 2008, Lahan Gambut: Potensi untuk Pertanian dan Aspek Lingkungan. Balai penelitian Tanah dan World Agroforestry Centre (ICRAF). Bogor.
- Agus, C., Azmi, F.F., Widiyatno., Ilfana Z.R., Wulandari, D., Rachmanadi, D., Harun M.K., and Yuwati, T.W. 2019. The Impact of Forest Fire on the Biodiversity and the Soil Characteristics of Tropical Peatland. In: Leal Filho, W., Barbir, J., Preziosi, R. (eds) *Handbook of Climate Change and Biodiversity. Climate Change Management*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-98681-4_18.
- Chahyahusna, A., Baskoro, D.P.T., and Anwar, S. 2022. Subsidence and percentage of CO₂ emission from decomposition to subsidence of peatland on oil palm plantations. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, 44(2), 258–265.

- <http://doi.org/10.17503/agrivita.v44i2.3038>.
- Couwenberg, J., Dommain, R., and Joosten, H. 2010. Greenhouse gas fluxes from tropical peatlands in South-East Asia. *Glob. Change Biol.* 16 1715–32.
- Dhandapani, S., Evers, S., Boyd, D., Evans, C.D., Page, S., Parish, F., Sjögersten, S. 2023. Assessment of differences in peat physico-chemical properties, surface subsidence and GHG emissions between the major land-uses of Selangor peatlands. *CATENA*. Vol 230, 107255.
- Heil, A., Langmann, B., and Aldrian, E. 2006. Indonesian peat and vegetation fire emissions: study on factors influencing large-scale smoke haze pollution using a regional atmospheric chemistry model. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 12: 113–133.
- Hergoualc'h, K., and Verchot, L.V. 2011. Stocks and fluxes of carbon associated with land use change in Southeast Asian tropical peatlands: A review, *Global Biogeochem. Cycles*, 25, GB2001, doi:10.1029/2009GB003718.
- 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, <https://doi.org/10.5194/bg-9-1053-2012>.
- IPCC 2014. Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands, Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.G. (eds). Published: IPCC, Switzerland.
- Kurnianto, S., Selker, J.B., Kauffman., Murdiyarso., and Peterson, J.T. 2018. The influence of land-cover changes on the variability of saturated hydraulic conductivity in tropical peatlands. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. Volume 24, pages 535 – 555.
- Manurung, R., Nusantara, R.W., Umran, I., dan Warganda. 2021. Kajian Kualitas Tanah pada Lahan Gambut Terbakar di Kota Pontianak Provinsi Kalimantan Barat. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 19(3), 517-524, doi:10.14710/jil.19.3.517-524.
- Rein, G., Cleaver, N., Ashton, C., Pironi, P., and Torero, J.L. 2008. The Severity of and Smouldering Peat Fires and Damage to the Forest Soil. *Catena* 74 (3), pp. 304-309.
- Rieley, J.O., and Page, S.E. 2008. Carbon budgets under different land uses on tropical peatland. In *Proceedings of the 13th International Peat Congress*. pp. 245-249.
- Sulaeman, D., Sari E.E.N., and Westhoff, T.P. 2021. Effects of peat fires on soil chemical and physical properties: a case study in South Sumatra. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 648. 012146.
- Page, S.E., Siegert, F., Rieley, J.O., Boehm, H.V., Jaya, A., and Limin S. 2002. The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997. *NATURE*. Vol 420.
- Page, S., Hoscilo, A., Langner, A., Tansey, K., Siegert, F., Limin, S., and Rieley, J. 2009. Tropical peatland fires in Southeast Asia. In: *Tropical Fire Ecology*. Springer Praxis Books. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-77381-8_9.
- Prabandini, G. 2016. Pengukuran Konduktivitas Hidrolik Gambut Dengan Menggunakan Metode Slug Test (Studi Kasus: Katingan, Kalimantan Tengah). Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Prat-Guitart, N., Rein, G., Hadden, R.M., Belcher, C.M., Yearsley, J.M. 2016. Effects of spatial heterogeneity in moisture content on the horizontal spread of peat fires. *Science of The Total Environment*. Vol 572 : 1422-1430.
- Putra, E.I and Hayasaka, H. 2011. The effect of precipitation pattern of dry season on peat fire occurrence in Mega Rice Project area, Central Kalimantan, Indonesia. *Tropics* 19(4): 145-156.
- Putri, T.T.A., Syaufina, L., and Anshari, G.Z. 2016. Emisi Karbon Dioksida (CO₂) Rzosfer dan Non Rzosfer dari Perkebunan Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis*) pada

- Lahan Gambut Dangkal. *Jurnal Tanah dan Iklim*. Vol 40 No. 1 – 2016: 43-50.
- Saharjo, B.H and Nurhayati, A.D. 2005. Changes in chemical and physical properties of hemic peat under firebased shifting cultivation. *Tropics*. 14: 263–269.
- Syaufina L. 2008. Kebakaran Hutan dan Lahan di Indonesia. Malang (ID): Bayumedia
- Van Beers, W.F.J. 1970. The auger-hole method: a field measurement of the hydraulic conductivity of soil below the water table. Rev. ed. ILRI Bulletin 1, Wageningen, 32 p.
- Wasis, B. 2003. Dampak Kebakaran Hutan dan Lahan Terhadap Kerusakan Tanah. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*. Vol. IX No. 2 : 79-86.
- Wasis, B., Winata, B., and Marpaung, D.R. 2018. Impact of land and forest fire on soil fauna diversity in several land cover in Jambi Province, Indonesia. *BIODIVERSITAS*. 19 (2): 740-746.
- Wasis, B., Saharjo, B.H., and Putra, E.I. 2019. Impacts of peat fire on soil flora and fauna, soil properties and environmental damage in Riau Province, Indonesia. *BIODIVERSITAS*. 20 (6): 1770-1775.
- Winarna, Murtilaksono, K., Sabiham, S., Sutandi, A., and Sutarta, E.S. 2016. Hydrophobicity of Tropical Peat Soil from an Oil Palm Plantation in North Sumatra. *J. Agron.*, 15: 114-121.