

Lingkungan Biofisik dan Emisi Gas CO₂ Lahan Gambut untuk Produksi Biomassa yang Berkelanjutan

(Environmental Biophysics and CO₂ Emission in Bare Peatland for Sustainable Biomass Production)

Yudi Chadirin^{1*}, Satyanto Krido Saptomo¹, Rudiyanto¹, Kazutoshi Osawa²

(Diterima Februari 2016/Disetujui Agustus 2016)

ABSTRAK

Lingkungan biofisik lahan gambut fluktuatif dan berpengaruh terhadap emisi CO₂ tanah. Untuk itu perlu dikembangkan sistem monitoring lingkungan biofisik dan emisi CO₂ yang dapat mengukur secara kontinu sehingga dapat diketahui jumlah emisi karbon tahunan yang lebih akurat. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem monitoring lingkungan biofisik di lahan gambut dan hubungannya dengan emisi CO₂ dari lahan gambut terbuka tanpa vegetasi. Sistem pengukuran dan monitoring parameter lingkungan biofisik yang telah disusun telah dapat berfungsi dengan baik yang meliputi parameter cuaca dan lingkungan biofisik dalam tanah (suhu, kelembapan tanah, dan tinggi muka air tanah). Emisi karbon yang terukur pada lahan gambut terbuka tanpa vegetasi sebesar 62,25 ton CO₂/ha/tahun. Emisi karbon memiliki hubungan positif dengan temperatur tanah namun memiliki hubungan negatif dengan kelembapan tanah dan curah hujan.

Kata kunci: emisi CO₂, lahan gambut, lingkungan biofisik

ABSTRACT

Environmental biophysics of peatland has high fluctuating by time and its affected on soil CO₂ emission. Therefore it is necessary to develop a system for monitoring the biophysical environment and CO₂ emissions that can measure continuously to obtain accumulation annual carbon emissions more accurately. The objective of this research was to develop a monitoring system of the environmental biophysics of peatland and CO₂ emissions from bare peatlands open. The system of measurement and monitoring of environmental biophysics that have been developed have been able to function properly which includes weather parameters and soil biophysical environment (temperature, soil moisture, and groundwater levels). Carbon emission was measured on an open peat land without vegetation amounting to 62.25 tonnes of CO₂/ha/year. Carbon emissions have a positive relationship with soil temperature but has a negative relationship with soil moisture and rainfall.

Keywords: environmental biophysics, peatland, soil CO₂ emission

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki luas daratan sekitar 188,2 juta ha, terdiri dari lahan kering dan rawa. Di wilayah Asia Tenggara, Indonesia termasuk negara dengan luas lahan rawa yang terbesar, yakni luasnya sekitar 33 juta ha, 20,6 juta ha diantaranya merupakan lahan gambut. Lahan gambut tersebut sebagian besar tersebar di tiga pulau besar, yaitu Sumatera (35%), Kalimantan (32%), Papua (30%), Sulawesi (3%), dan sisanya (3%) tersebar pada areal yang sempit (Wibowo & Suyatno 1998; Wahyunto *et al.* 2005a; Wahyunto & Heryanto 2005b). Lahan gambut merupakan tanah organik yang mempunyai kandungan karbon tinggi dan salah satu sumber daya alam yang mempunyai fungsi hidrorologi.

Luas lahan gambut yang demikian besar menjadi tantangan untuk dimanfaatkan sebagai lahan pertanian untuk menghasilkan bahan pangan maupun bahan baku industri kehutanan. Melalui pengelolaan lahan gambut berkelanjutan (*sustainable peatland management*), lahan gambut dapat dikelola menjadi perkebunan kelapa sawit dan hutan tanaman industri dengan meminimalkan dampak kerusakan lingkungan. Tanaman sawit dan akasia yang ditanam di lahan gambut berfungsi sebagai penambat (*sequester*) karbon melalui proses fotosintesa dan karbon disimpan sebagai biomassa tanaman. Proses penambatan karbon melalui proses fotosintesa ini mampu mengimbangi hilangnya cadangan karbon dalam tanah yang teroksidasi menjadi emisi gas CO₂.

Disadari bahwa emisi karbon dari lahan gambut sangatlah berfluktuasi tergantung banyak faktor diantaranya iklim, tanah, dan hidrologis. Faktor-faktor lingkungan yang sangat berpengaruh terhadap besarnya emisi karbon dari lahan gambut adalah suhu dan kelembapan tanah, serta *electrical conductivity* (EC), atau daya hantar listrik (Saiz *et al.* 2007; Setia *et al.*

¹ Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor 16680.

² Departemen Teknik Lingkungan, Universitas Utsunomiya, Jepang.

* Penulis Korespondensi: E-mail: yudi@ipb.ac.id

2011). Ketiga faktor ini sangat berfluktuasi dari hari ke hari tergantung dari faktor iklim dan hidrologis sehingga berdampak pada tingginya fluktuasi emisi karbon (Hirano *et al.* 2014; Jauhiainen *et al.* 2014; Marwanto & Agus 2014). Untuk itu diperlukan usaha-usaha untuk melakukan pengukuran dan monitoring emisi CO₂ dari lahan gambut dan parameter lingkungan biofisik yang memengaruhinya. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem monitoring lingkungan biofisik di lahan gambut dan hubungannya dengan emisi CO₂ dari lahan gambut terbuka tanpa vegetasi.

METODE PENELITIAN

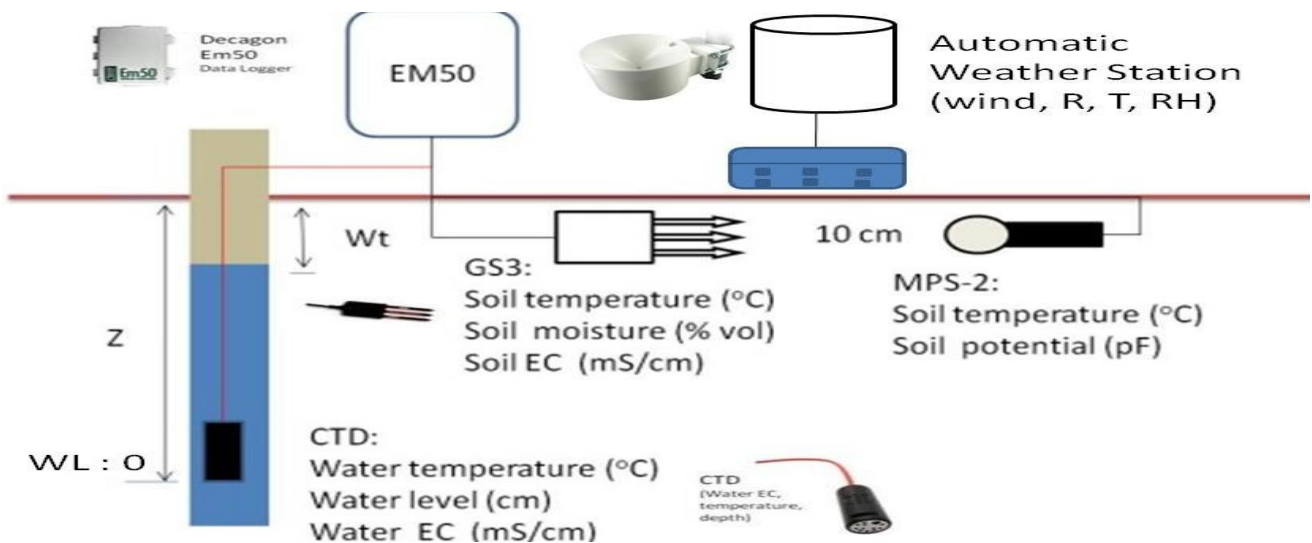
Penelitian ini dilakukan di lahan gambut terbuka (tanpa vegetasi) yang diperuntukan untuk stasiun *monitoring, reporting, dan verification* (stasiun MRV) berlokasi di Pulau Padang, Provinsi Riau. Emisi CO₂ dari lahan gambut diukur dengan menggunakan sistem otomatis pengukuran emisi CO₂ tanah Li-8100 (Licor, USA). Pada prinsipnya Licor LI-8100 terdiri dari 2 bagian, yakni *chamber* dan *analyzer control unit*. Alat pengukur emisi karbon ini diinstal pada lahan gambut terbuka yang permukaannya relatif datar. Selanjutnya Licor LI-8100 dihubungkan dengan komputer menggunakan *software* LI-8100 *automated soil CO₂ flux system* untuk dilakukan pengaturan kondisi pengukuran, yakni durasi pengukuran, interval pengukuran, dan cara penyimpanan data hasil pengukuran. Interval pengukuran diatur sehingga Licor LI-8100 akan melakukan pengukuran sebanyak 3 kali setiap jam selama 24 jam. Pada saat pengukuran dimulai, *chamber* bergerak menutupi area tanah gambut selama 3 menit. Gas CO₂ yang diemisikan oleh permukaan tanah yang tertutupi oleh *chamber* akan dialirkan ke dalam *gas analyzer control* untuk dilakukan analisa perubahan konsentrasi gas CO₂ dalam *chamber* per satuan waktu. Secara periodik setiap bulan data hasil pengukuran yang tersimpan

dalam kartu memori dipindahkan ke dalam komputer. Hasil pengukuran Licor LI-8100 berupa nilai fluks CO₂ dengan satuan $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ selama periode pengukuran. Data pengukuran ini digunakan untuk menghitung akumulasi emisi karbon selama periode pengukuran.

Pada saat yang bersamaan dilakukan pemasangan instalasi alat pengukur parameter lingkungan biofisik tanah, yakni temperatur tanah, kelembapan tanah, daya hantar listrik (EC) tanah, tinggi muka air tanah (*water level*), dan parameter cuaca seperti suhu dan kelembapan udara, radiasi matahari, dan intensitas curah hujan dengan menggunakan sensor-sensor 5-TE, CTD-10, ECRN-100, dan *automatic weather station* (AWS). Instalasi dilakukan dalam satu lokasi dengan pengukuran emisi karbon, yakni dalam stasiun cuaca mini, yang merupakan stasiun monitoring MRV. Sensor 5-TE diletakkan pada kedalaman 10 cm dibawah permukaan tanah. Pada kedalaman 10 cm dibawah permukaan tanah, diduga temperatur dan kelembapan tanah sangat berpengaruh terhadap emisi karbon, namun tidak berfluktuatif karena faktor cuaca di atas permukaan tanah. Sensor-sensor tersebut dihubungkan dengan data *logger* Decagon EM 50 guna merekam data hasil pengukuran. Pengaturan kondisi pengukuran dilakukan dengan menghubungkan data *logger* EM 50 dengan komputer menggunakan *software* ECH2O *utility*. Interval pencatatan/perekaman data dilakukan setiap 15 menit. Data hasil pengukuran digunakan untuk menjelaskan kondisi lingkungan biofisik setiap pengukuran emisi karbon dilakukan. Diagram alir sistem pengukuran dan monitoring disajikan pada Gambar 1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran parameter cuaca menunjukkan lokasi penelitian termasuk daerah beriklim panas dan lembap. Hal ini ditunjukkan dengan tingginya nilai

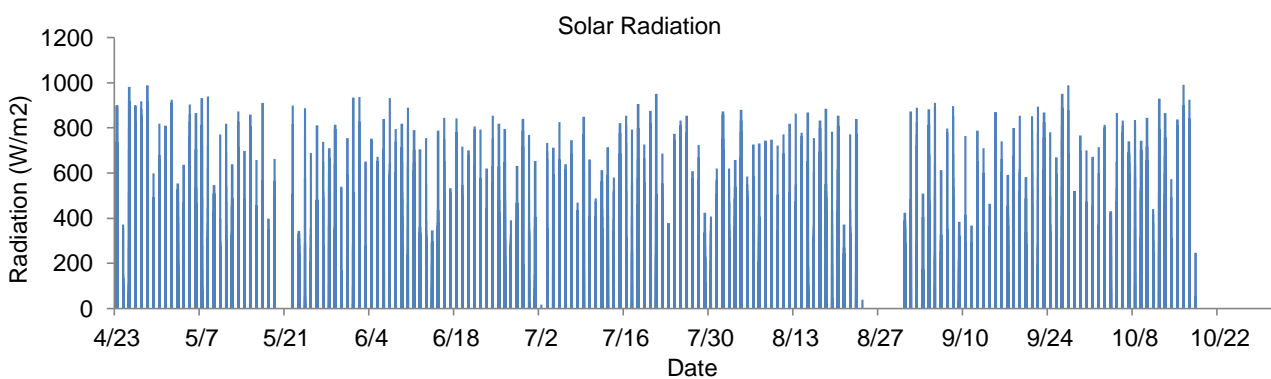


Gambar 1 Sistem pengukuran dan monitoring lingkungan biofisik.

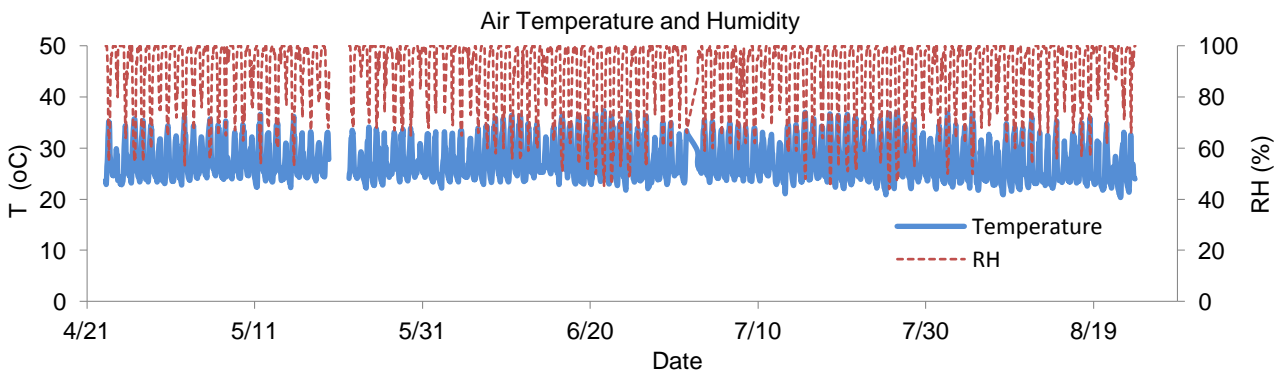
intensitas sesaat radiasi matahari yang mencapai maksimum sebesar 998 W/m^2 (Gambar 2) dan suhu udara tertinggi mencapai $37,3 \text{ }^\circ\text{C}$. Kondisi kelembapan relatif udara berfluktuatif berkisar antara 44–100% dengan kelembapan relatif udara rata-rata sebesar 88,9% (Gambar 3). Kelembapan udara cenderung rendah pada siang hari dan meningkat pada malam hari bahkan mencapai kondisi jenuh pada tengah malam hingga menjelang terbitnya matahari. Hal ini disebabkan Pulau Padang terletak di daerah beriklim tropika basah. Selain itu, lokasi penelitian yang merupakan pulau kecil dikelilingi oleh perairan Selat Malaka menyebabkan penguapan yang terjadi dari permukaan Selat Malaka meningkatkan kandungan uap air di udara. Rata-rata suhu udara di lokasi penelitian adalah $27,4 \text{ }^\circ\text{C}$

dengan suhu minimum sebesar $20,4 \text{ }^\circ\text{C}$ dan suhu maksimum sebesar $37,3 \text{ }^\circ\text{C}$ (Gambar 3).

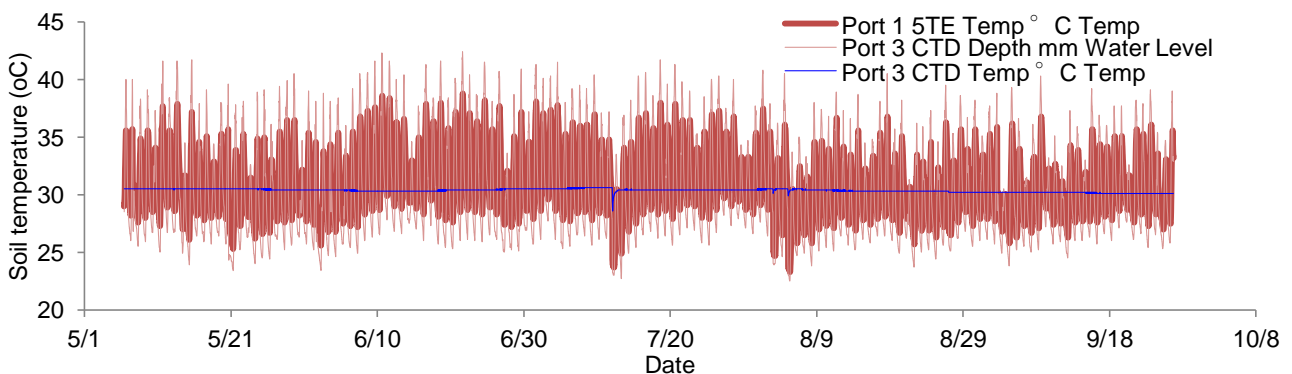
Gambar 4 menunjukkan hasil pengukuran suhu tanah pada kedalaman 10 cm. Pada kedalaman 10 cm, suhu tanah sangat berfluktuasi pada kisaran $22\text{--}42 \text{ }^\circ\text{C}$. Nilai temperatur tanah yang berfluktuasi sangat besar ini dipengaruhi oleh temperatur udara di atas permukaan tanah dan pertukaran panas dan energi dari udara ke tanah dan dari tanah ke udara melalui proses pindah panas secara konveksi. Udara panas akan diteruskan ke dalam tanah melalui lapisan-lapisan tanah dan sebagian disimpan dan diserap oleh tanah. Dengan demikian, semakin ke dalam lapisan tanah maka temperatur akan cenderung lebih stabil dibandingkan di bagian permukaan tanah. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 4, dimana



Gambar 2 Dinamika intensitas radiasi matahari.



Gambar 3 Dinamika suhu dan kelembapan udara.



Gambar 4 Dinamika suhu tanah gambut di lokasi penelitian.

temperatur tanah yang terbaca oleh sensor CTD cenderung stabil pada kisaran 30 °C. Lokasi stasiun MRV Estate Pulau Padang merupakan areal terbuka tanpa ada naungan vegetasi sehingga radiasi matahari langsung mengenai permukaan lahan gambut. Sebagian energi radiasi matahari tersebut dipantulkan kembali ke udara dan sebagian diserap oleh permukaan lahan gambut dan diteruskan ke lapisan yang lebih dalam. Hal ini menyebabkan temperatur tanah lebih tinggi dibandingkan jika areal tersebut terdapat vegetasi.

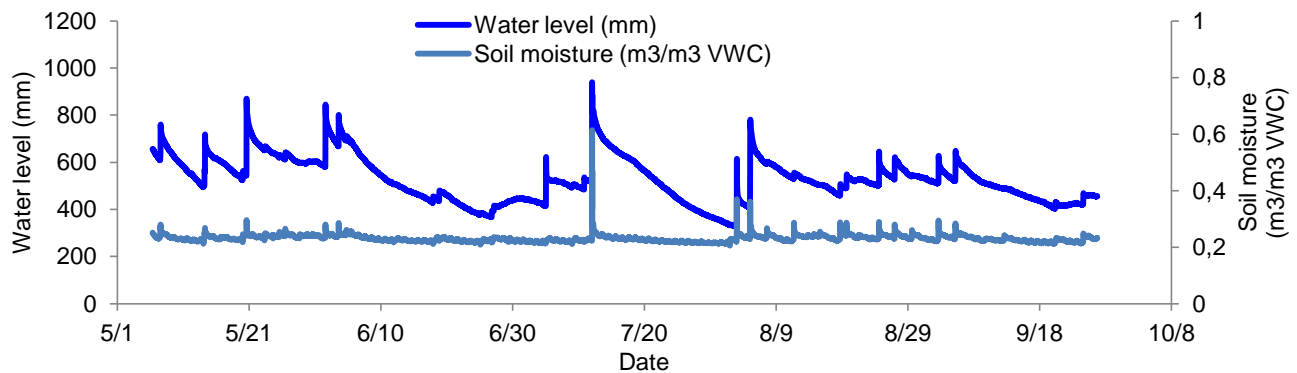
Dari hasil pengukuran, stasiun MRV Estate Padang memiliki kelembapan tanah 0,204–0,613 *volumetric water content* (m^3/m^3) dengan hisapan matriks bervariasi dari 2,032–2,964 kPa. Pada saat *water level* turun maka permukaan air dalam tanah menurun sehingga terjadi penurunan kelembapan tanah meskipun respons perubahan kelembapan tanah tidak secepat perubahan *water level*. *Water level* di stasiun MRV Estate Pulau Padang berada pada kisaran 325–941 mm dengan nilai rata-rata 526 mm (Gambar 5).

Kelembapan tanah juga dipengaruhi oleh curah hujan yang turun di lokasi stasiun MRV Pulau Padang. Berbeda halnya dengan *water level* yang memerlukan waktu untuk membuat lembap lapisan atas tanah gambut, curah hujan yang turun akan segera memengaruhi kelembapan tanah. Hujan merupakan air yang jatuh dari atas langit dan turun ke permukaan tanah. Sebagian air hujan yang jatuh di atas permukaan tanah akan mengalir ke dalam tanah dengan gaya gravitasi sehingga akan me-

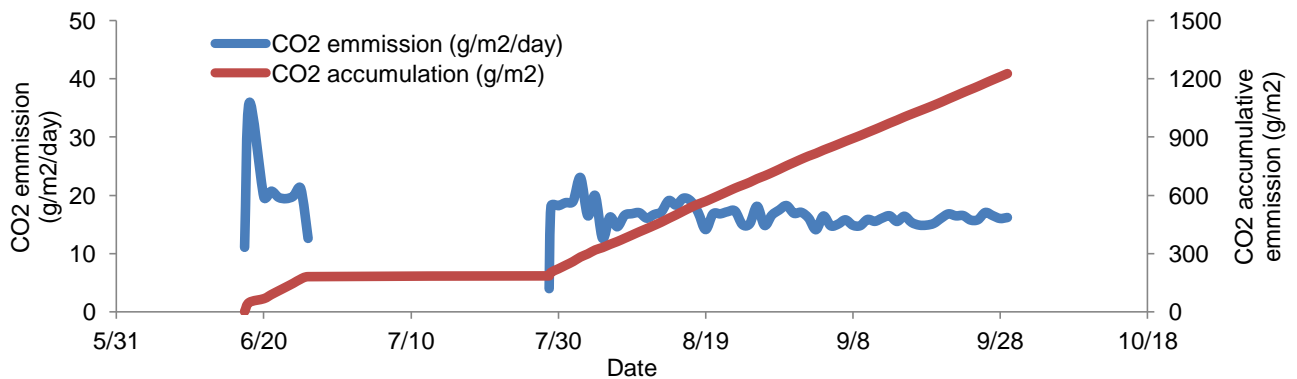
lembapkan tanah. Curah hujan yang terjadi di stasiun MRV Estate Pulau Padang tercatat yang paling tinggi adalah 13,6 mm/jam.

Hasil pengukuran menunjukkan nilai flux CO_2 lahan gambut memiliki nilai minimum sebesar 0,34 $mmol.CO_2/m^2/s$ yang terukur pada pukul 02:00 WIB tanggal 5 Agustus. Nilai temperatur dan kelembapan tanah yang terukur pada saat itu adalah 23,7 °C dan 0,310 m^3/m^3 VWC. Nilai emisi CO_2 maksimum tercapai dengan nilai emisi sebesar 7,34 $mmol.CO_2/m^2/s$ yang terukur pada pukul 04:00 WIB hari tanggal 4 Agustus. Nilai temperatur dan kelembapan tanah yang terukur pada saat itu adalah 27,3 °C dan 0,233 m^3/m^3 VWC. Hal ini menunjukkan bahwa emisi CO_2 memiliki korelasi positif terhadap temperatur tanah namun memiliki korelasi negatif terhadap kelembapan tanah. Adapun nilai emisi rata-rata sebesar 0,706 $g CO_2/m^2.h$.

Gambar 6 menunjukkan nilai emisi harian CO_2 dan akumulasinya selama periode pengukuran. Emisi CO_2 berfluktuasi seiring dengan berjalannya waktu dan nilainya bervariasi tergantung kondisi lingkungan biofisik lahan gambut, dalam hal ini kondisi temperatur dan kelembapan tanah serta curah hujan. Terjadi gangguan teknis pengukuran menyebabkan hasil pengukuran terputus seperti terlihat pada Gambar 6. Gangguan tersebut diantaranya, gangguan suplai listrik dan gangguan binatang liar yang menggigit kabel instrumen. Selama 72 hari periode pengukuran, nilai akumulasi emisi CO_2 dari lahan gambut adalah sebesar 1227,70 $g CO_2/m^2$ (12,28 ton CO_2/ha) atau 62,25 ton $CO_2/ha/thn$. Nilai ini jauh lebih



Gambar 5 Dinamika tinggi muka air tanah dan kelembapan tanah.



Gambar 6 Emisi CO_2 harian dan akumulasinya yang berasal dari lahan gambut terbuka.

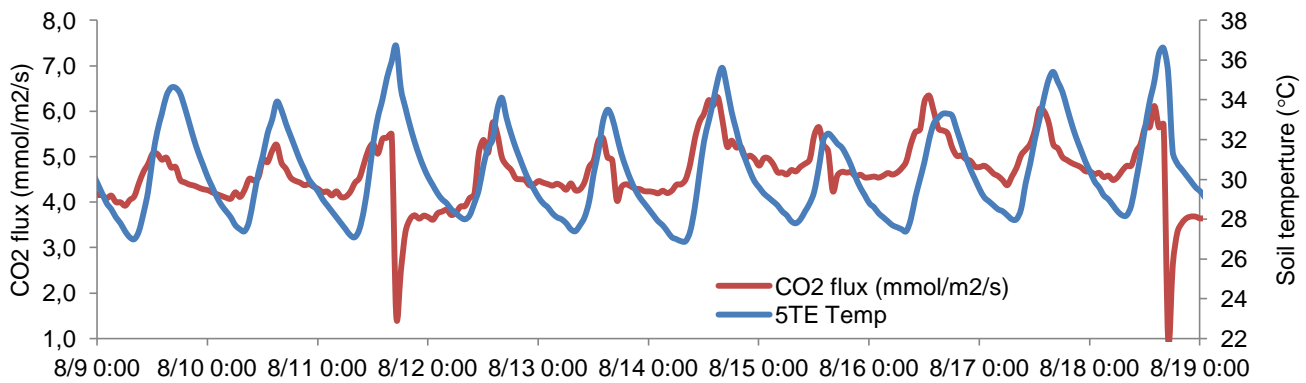
kecil dari hasil pengukuran yang dilakukan oleh Hooijer *et al.* (2006), yakni sebesar 91 ton CO₂/ha/thn atau Couwenberg dan Hooijer (2013) sebesar 66 ton CO₂/ha/thn.

Gambar 7 menunjukkan grafik dinamika emisi CO₂ dengan temperatur dan kelembapan tanah serta curah hujan. Pada Gambar 7 terlihat bentuk kurva *flux* emisi CO₂ mengikuti perubahan suhu tanah membentuk kurva sinusoidal dimana secara umum tertinggi saat siang hari dan terendah saat malam hari dengan rentang *flux* CO₂ antara 4–6 mmol/m²/s dan suhu antara 24–36 °C. Hal ini disebabkan kenaikan temperatur meningkatkan kecepatan metabolisme mikroorganisme di dalam tanah yang berperan aktif dalam proses dekomposisi bahan organik. Laju peningkatan ini akan lebih besar pada tanah yang memiliki rasio C/N tinggi (Karhu *et al.* 2014). Grafik *fluks* CO₂ juga berubah seiring dengan perubahan kondisi kelembapan tanah, namun

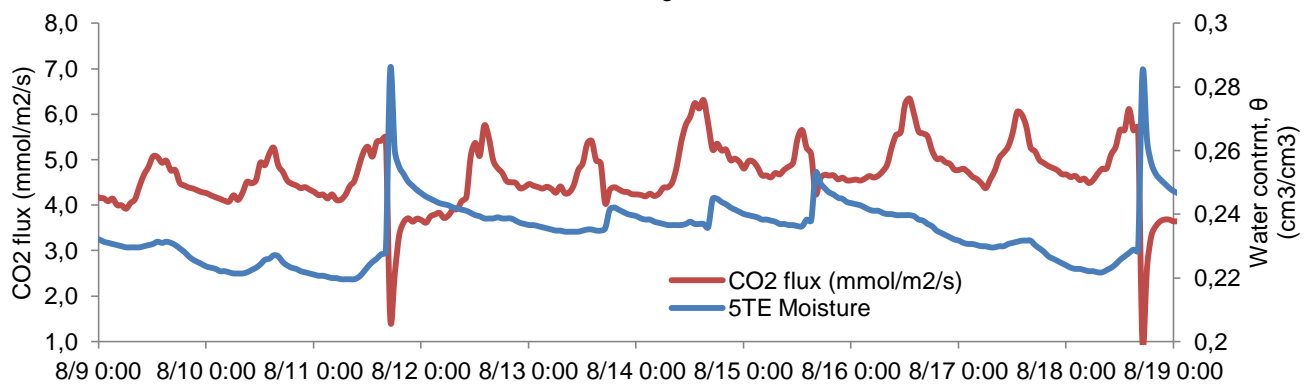
responsnya lebih lambat dibandingkan dengan perubahan *fluks* CO₂ yang diakibatkan oleh perubahan suhu tanah. Pada saat hujan terjadi, curah hujan yang turun membasahi lahan gambut dan menyebabkan peningkatan kelembapan tanah. Hal ini menyebabkan *fluks* CO₂ turun. Penurunan *flux* emisi CO₂ menjadi sekitar 1–2 mmol/m²/s terjadi secara tiba-tiba saat terjadi kenaikan kadar air tanah dari 0,23 menjadi 0,28 cm³/cm³ yang disebabkan hujan, dimana pori tanah terisi oleh air sehingga aerasi berkurang. Hasil ini sejalan dengan hasil penelitian yang diperoleh oleh Fang dan Moncrieff (2001).

KESIMPULAN

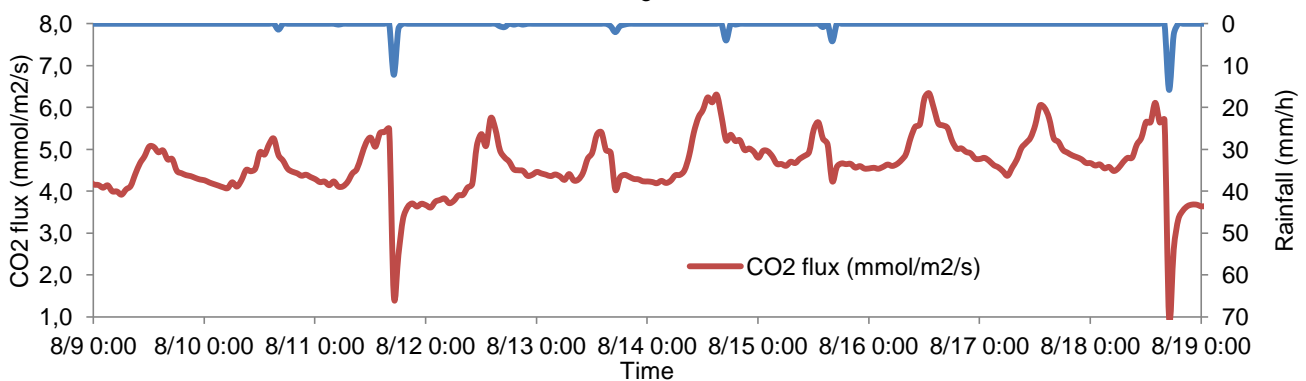
Sistem pengukuran dan monitoring parameter lingkungan biofisik yang telah disusun telah dapat



a. Emisi CO₂ dengan suhu tanah



b. Emisi CO₂ dengan kadar air tanah



c. Emisi CO₂ dengan hujan

Gambar 7 Dinamika emisi CO₂ dengan temperatur tanah (a), kelembapan tanah (b), dan curah hujan (c).

berfungsi dengan baik yang meliputi parameter cuaca dan lingkungan biofisik dalam tanah (suhu dan kelembapan tanah). Emisi karbon yang terukur pada lahan gambut terbuka tanpa vegetasi sebesar 62,25 ton CO₂/ha/thn. Emisi karbon memiliki hubungan positif dengan temperatur tanah namun memiliki hubungan negatif dengan kelembapan tanah dan curah hujan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Kementerian Ristekdikti melalui pendanaan Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi (PUPT) dengan skema Penelitian Sesuai Mandat Divisi (PUD).

DAFTAR PUSTAKA

- Couwenberg J, Hooijer A. 2013. Towards robust subsidence-based soil carbon emission factors for peat soils in south-east Asia, with special reference to oil palm plantations. *Mires and Peat*. 12: 1–13.
- Fang C, Moncrieff JB. 2001. The dependence of soil CO₂ efflux on temperature. *Soil Biology & Biochemistry*. 33(2): 155–165. <http://doi.org/bv8z36>
- Hirano T, Kusin K, Limin S, Osaki M. 2014. Carbon dioxide emissions through oxidative peat decomposition on burnt tropical peatland. *Global Change Biology*. 20(2): 555–565. <http://doi.org/bpq8>
- Hooijer A, Silvius M, Wösten H, Page S. 2006. PEAT-CO₂, Assessment of CO₂ emissions from drained peatlands in SE Asia. Delft Hydraulics Report Q3943, Delft, The Netherlands, 36 pp.
- Jauhainen J, Kerojoki O, Silvennoinen H, Limin S, Vasander H. 2014. Heterotrophic respiration in drained tropical peat is greatly affected by temperature—a passive ecosystem cooling experiment. *Environmental Research Letters*. 9(10): 1–18. <http://doi.org/bpq9>
- Karhu K, Auffret MD, Dungait JAJ, Hopkins DW, Prosser JL, Singh BK, Subke JA, Wookey PA, Agren GI, Sebastia MT, Gouriveau F, Bergkvist G, Meir P, Nottingham AT, Salinas N, Phartley IP. 2014. Temperature sensitivity of soil respiration rates enhanced by microbial community response. *Nature*. 513(7516): 81–84. <http://doi.org/f3pf6x>
- Marwanto S, Agus F. 2014. Is CO₂ flux from oil palm plantations on peatland controlled by soil moisture and/or soil and air temperatures?. *Mitigation Adaption Strategy Global Change*. 19(6): 809–819. <http://doi.org/bprb>
- Wahyunto S, Ritung S, Subagjo H. 2005a. *Sebaran Gambut dan Kandungan Karbon di Sumatra dan Kalimantan*. Bogor (ID): Wetland International Indonesia Programme.
- Wahyunto S, Heryanto B. 2005b. *Sebaran Gambut di Papua*. Bogor (ID): Wetland International Indonesia Programme.
- Wibowo P, Suyatno N. 1998. *An Overview of Indonesia Wetland Sites-II (an Update Information): Included in the Indonesia Wetland Database*. Bogor (ID): Wetlands International-Indonesia Programme dan Dirjen PHPA.
- Saiz G, Black K, Reidy B, Lopez S, Farrell EP. 2007. Assessment of soil CO₂ efflux and its components using a process-based model in a young temperate forest site. *Geoderma*. 139(1–2): 79–89. <http://doi.org/fbtgqc>
- Setia R, Marschner P, Baldock J, Chittleborough D, Verma V. 2011. Relationships between carbon dioxide emission and soil properties in salt-affected landscapes. *Soil Biology and Biochemistry*. 43(3): 667–674. <http://doi.org/bmvvdn>