

Emisi CO₂ dan CH₄ dan Konsentrasi Asam-Asam Fenolat di Bawah Pengaruh Beberapa Perlakuan Pestisida di Lahan Sawah Gambut Pasang Surut

CO₂ and CH₄ Emissions and Phenolic Acids Concentrations as Affected by Several Pesticide Treatments in a Tidal Swamp Rice Field

Maulia A. Susanti*¹, Supiandi Sabiham², Syaiful Anwar², Dadang³, dan Irsal Las⁴

¹ Mahasiswa Pasca Sarjana Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, IPB, Bogor; dan Peneliti Badan Litbang Pertanian di Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa, Jl. Kebun Karet, Loktabat Utara, Banjarbaru 70712

² Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Jl. Meranti Kampus IPB Darmaga, Bogor

³ Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Jl. Meranti Kampus IPB Darmaga, Bogor

⁴ Peneliti Badan Litbang Pertanian di Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan dan Pertanian, Jl. Tentara Pelajar No. 12, Bogor 16114

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima: 1 Mei 2014

Disetujui: 18 Agustus 2014

Katakunci:

Emisi CO₂ dan CH₄

Pertanaman padi

Pestisida

Asam-asam fenolat

Gambut pasang surut

Keywords:

CO₂ and CH₄ emissions

Rice field

Pesticides

Phenolic acids

Tidal peat swamp

Abstrak. Lahan sawah rawa gambut menghasilkan emisi karbon dioksida (CO₂) dan metan (CH₄). Penggunaan input pertanian seperti pestisida diduga dapat mempengaruhi emisi CO₂ dan CH₄. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pestisida terhadap emisi CO₂ dan CH₄ serta konsentrasi asam-asam fenolat pada lahan sawah gambut pasang surut. Penelitian dilakukan menggunakan rancangan acak kelompok (RAK) dengan tiga ulangan, dilaksanakan pada musim kemarau tahun 2012 dan musim hujan 2012/2013 di lahan gambut dangkal pasang surut 'tipe B', Kalimantan Tengah. Perlakuan terdiri atas tiga jenis pestisida yaitu herbisida *paraquat dichlorida* (1,1'-dimethyl-4,4'-bipyridinium dichloride), insektisida *fenobucarb* (2-(1-methylpropyl) phenylmethyl Carbamate), dan fungisida *difenoconazole* (1-[2-[4-(chlorophenoxy)-2-chlorophenyl]-4-methy). Perlakuan disusun sebagai berikut: P0 (tanpa perlakuan pestisida/kontrol), P1 (herbisida *paraquat* pada saat olah tanah), P2 (insektisida *fenobucarb* setiap minggu), P3 (insektisida *fenobucarb* setiap dua minggu), P4 (fungisida *difenoconazole* setiap minggu), P5 (fungisida *difenoconazole* setiap dua minggu). Perlakuan P2 dan P4 memberikan nilai emisi CO₂ terendah dibandingkan dengan perlakuan lainnya baik pada musim hujan maupun musim kemarau. Konsentrasi asam fenolat terukur lebih tinggi pada perlakuan P2 dan P4. Mekanisme penekanan emisi oleh pestisida diduga karena pengikatan CO₂ dan CH₄ oleh senyawa fenol hasil degradasi pestisida pada proses hidroksilasi, selain juga karena ikatan yang terjadi antara asam-asam organik dengan pestisida.

Abstract. Peat swamp paddy fields emit carbon dioxide (CO₂) and methane (CH₄). Agricultural inputs such as pesticides may mitigate CO₂ and CH₄ emissions. The objective of this study was to analyze the effects of pesticides on CO₂ and CH₄ emissions and phenolic acids concentration in rice paddy cultivation in tidal peat swamp. This study was conducted using a randomized complete block design (RCBD) with three replications, conducted in the dry season of 2012 and wet season of 2012/2013 in the 'type B' shallow tidal peatland in Central Kalimantan. Three types of pesticides; paraquat herbicides, fenobucarb insecticides and difenoconazole fungicides, were used as treatments. The treatments consisted of: P0 (without pesticide treatment), P1 (paraquat herbicide applied during land preparation), P2 (fenobucarb insecticide, weekly application), P3 (fenobucarb insecticide fortnightly application), P4 (difenoconazole fungicide, weekly application) and P5 (Difenoconazole fungicide, fortnightly application). The result showed that P2 and P4 caused the lowest CO₂ emissions both in the wet and dry seasons. Concentrations of phenolic acids under these two treatments were the highest. Suppression mechanism of CO₂ and CH₄ emissions appear to be associated with the binding of CO₂ and CH₄ by phenolic acids resulted from pesticide degradation in the hydroxylation process.

* Corresponding author: liya_balitra@yahoo.com

Pendahuluan

Lahan gambut merupakan salah satu lahan sub-optimal yang potensial untuk dikembangkan sebagai lahan pertanian. Namun pengembangan lahan gambut untuk pertanian dihadapkan pada beberapa masalah, antara lain; keringkahan sifat fisika dan kimia apabila terusik, potensial terhadap jangkitan penyakit (virulensi) dan perkembangan organisme pengganggu tanaman (OPT; gulma, hama, dan penyakit tanaman) yang tinggi (Noor 2001), serta adanya kandungan asam-asam organik yang tinggi sebagai hasil dekomposisi lignin (Sabiham 2010). Asam-asam organik menjadi salah satu sumber pelepasan CO₂ dan CH₄ karena tingginya konsentrasi dari golongan karboksil (-COOH) dan metoksil (-OCH₃). COOH akan terurai secara sempurna menjadi CO₂ dan CH₄ melalui peristiwa oksidasi reduksi (Van der Gon and Neue 1995).

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan OPT adalah penggunaan pestisida. Diperkirakan 80 persen pestisida yang diaplikasikan pada pertanaman padi akan jatuh ke tanah dan hanya sekitar 20% yang mengenai organisme pengganggu tanaman (Said 1994). Pestisida yang jatuh ke tanah selanjutnya akan masuk ke dalam tanah, menguap atau tercuci oleh aliran air sebagai sumber polutan. Pestisida yang masuk ke dalam tanah akan membentuk ikatan kimia yang stabil dengan asam organik (Fortin 2003). Stevenson (1976) mengemukakan dua mekanisme untuk proses pembentukan ikatan kimia yang stabil antara pestisida dengan bahan organik, yaitu (1) residu pestisida dapat langsung menempel pada bagian reaktif dari permukaan koloid organik oleh ikatan kimia, dan (2) selama proses humifikasi residu pestisida dapat masuk ke dalam struktur asam humat dan asam fulfat yang baru terbentuk. Hal itu dimungkinkan karena bahan organik tanah memiliki susunan kelompok fungsional kimia (seperti hidrosil, karboksil, fenolik, dan amina) yang dapat berinteraksi dengan pestisida (Young *et al.* 1992). Ikatan kimia yang terjadi antara pestisida dan bahan organik akan meningkatkan kemantapannya di dalam tanah, namun berada dalam bentuk yang tidak berbahaya bagi lingkungan (Khan 1978).

Beberapa hasil penelitian mengenai gas rumah kaca (GRK) menunjukkan bahwa pestisida mampu menekan emisi CO₂ dan CH₄. Penelitian yang berkaitan dengan pengaruh bahan kimia pestisida terhadap emisi CO₂ dan CH₄ telah dilakukan di lahan mineral, seperti telah dilaporkan oleh Sahrawat (2004) bahwa bahan-bahan kimia termasuk pestisida dapat menghambat metanogenesis dan nitrifikasi-denitrifikasi. Setyanto dan Burhan (2009) pada penelitiannya di lahan sawah irigasi melaporkan bahwa pengolahan tanah yang dilakukan dengan cara tanpa olah tanah dengan pemberian 2 kg

bahan aktif paraquat per hektar memberikan hasil emisi terendah. Poniman *et al.* (2011) pada penelitian di laboratorium dan rumah kaca pada tanah mineral, melaporkan bahwa herbisida paraquat dan bioinsektisida azadiractin efektif menekan emisi metana dengan hasil gabah yang tidak berbeda nyata dan pada percobaan inkubasi, herbisida paraquat mampu menekan emisi CH₄ 93,97%.

Informasi mengenai pengaruh dari pestisida terhadap emisi gas rumah kaca (GRK) di pertanaman padi lahan gambut masih sangat terbatas dan harus terus dicari jawabannya. Oleh karena itu penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian-penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan masalah penggunaan pestisida terhadap emisi karbon di lahan sawah agar penggunaan pestisida di lahan gambut tidak menyebabkan penurunan kualitas lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh pestisida terhadap emisi CO₂ dan CH₄ dan kaitannya dengan konsentrasi asam-asam fenolat pada pertanaman padi di lahan gambut.

Bahan dan Metode

Tempat dan waktu penelitian

Penelitian dilaksanakan pada dua musim tanam yaitu musim kemarau (MK) April-Agustus 2012 dan musim hujan (MH) Oktober 2012-Maret 2013 pada lahan gambut dangkal pasang surut tipe luapan B di Desa Kanamit Jaya, Kecamatan Maluku, Kabupaten Pulang Pisau, Provinsi Kalimantan Tengah.

Bahan penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah tiga jenis pestisida, yaitu herbisida *paraquat dichlorida* (1,1'-dimethyl-4,4'-bipyridinium dichloride), insektisida *fenobucarb* (2-(1-methylpropyl)phenylmethyl Carbamate), dan fungisida *difenokonazole* (1-[2-[4-(chlorophenoxy)-2-chlorophenyl]-4-methyl). Padi varietas INPARA 5, kapur pertanian (CaCO₃), pupuk urea, SP-36, dan KCl. Plastik mulsa, pintu air, piezometer, tabung infiltrasi, sungkup dengan ukuran lebar 50 cm, panjang 50 cm, dan tinggi 100 cm yang dilengkapi dengan kipas angin (12 V DC) dan termometer batang, sungkup dengan ukuran lebar 17 cm, panjang 50 cm, dan tinggi 35 cm yang dilengkapi dengan thermometer batang tanpa kipas angin, kromatografi gas CP-4900 Micro-GC, *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) SHIMADZU 20A.

Rancangan penelitian

Perlakuan disusun dalam Rancangan Acak Kelompok (RAK) satu faktor dengan enam perlakuan, yaitu; tanpa aplikasi pestisida (P0), aplikasi herbisida *paraquat*

diklorida pada saat olah tanah (P1), aplikasi insektisida *fenobucarb* setiap minggu (P2), aplikasi insektisida *fenobucarb* setiap dua minggu (P3), aplikasi fungisida *difenoconazole* setiap minggu (P4), dan aplikasi fungisida *difenoconazole* setiap dua minggu (P5). Perlakuan diulang sebanyak tiga kali. Petak percobaan berukuran 4 x 5 m. Untuk menghindari gerakan lateral air, sekat plastik dipasang hingga kedalaman 40 dan 20 cm ke atas untuk setiap petakan.

Herbisida berbahan aktif *paraquat dichlorida* diaplikasikan dengan cara disemprotkan pada gulma di petak-petak perlakuan tiga minggu sebelum tanam dengan dosis 3 l ha⁻¹ atau 6 ml per petak. Selanjutnya dilakukan olah tanah ringan dengan menggunakan cangkul dan ditaburkan kapur dengan dosis 2 t ha⁻¹ pada dua minggu sebelum tanam. Bibit padi varietas INPARA 5 yang berumur 20 hari setelah semai ditanam dengan sistem Jajar Legowo 4:1 sebanyak 2 bibit per rumpun dengan jarak 20 cm (jarak antar barisan) x 10 cm (jarak dalam barisan) x 40 cm (jarak lorong). Tanaman padi dipupuk dengan urea 250 kg ha⁻¹ (7 dan 30 hari setelah tanam/HST), SP-36 135 kg ha⁻¹ (7 HST), dan KCl 100 kg ha⁻¹ (7 HST). Petak-petak tanaman yang mendapat perlakuan insektisida disemprot dengan insektisida *fenobucarb* dengan dosis 1 l ha⁻¹ atau 2 ml per petak. Pada petak perlakuan fungisida, fungisida *difenoconazole* diaplikasikan dengan dosis 0,5 l ha⁻¹ atau 1 ml per petak. Penyemprotan dimulai pada saat tanaman padi berumur 7 HST. Memasuki masa pembungaan (70 HST), aplikasi pestisida dihentikan untuk meminimalkan gangguan terhadap proses pembungaan dan dilanjutkan kembali setelah masa pembungaan berlalu (85 HST) sampai tanaman mendekati bernas (105 HST).

Pengukuran emisi karbon

Emisi karbon yang diamati adalah emisi gas CO₂ dan CH₄, yang diukur dengan metode sungkup tertutup (*closed chamber technique*) yang diadopsi dari *International Atomic Energy Agency* (IAEA) (1992). Sungkup yang digunakan terbuat dari *flexyglass* berukuran lebar 50 cm, panjang 50 cm, dan tinggi 100 cm yang dilengkapi dengan kipas angin (12 V DC) untuk mengaduk udara dalam sungkup dan termometer batang untuk mengukur suhu udara dalam sungkup. Sungkup diletakkan melingkupi empat rumpun tanaman padi untuk mengukur net emisi dari tanah dan tanaman. Sungkup yang lebih kecil berukuran lebar 17 cm, panjang 50 cm, dan tinggi 35 cm yang dilengkapi dengan termometer batang tanpa kipas angin diletakkan di lorong antar tanaman padi untuk mengukur emisi dari tanah. Dua bentuk pengukuran emisi ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh pestisida terhadap emisi CO₂ dan CH₄ yang dilepaskan dari tanah dan emisi CO₂ dan CH₄ yang dilepaskan dari tanah dan

tanaman, karena sebagian besar pestisida akan jatuh ke tanah.

Sampel gas diambil pada beberapa fase pertumbuhan tanaman, yaitu 0 HST (sebelum perlakuan pestisida), 30, 60, dan 90 HST. Pengambilan gas dilakukan pada pagi hari antara pukul 06.00-08.00. Gas diambil dengan menggunakan jarum suntik (*syringe*) berukuran 10 ml dengan interval waktu 3, 6, 9, 12, 15, dan 18 menit. Pada saat yang sama diukur suhu dalam sungkup, redoks potensial (Eh), kemasaman tanah (pH), suhu tanah dan ketinggian air (*water table*) pada masing-masing petakan.

Sampel gas dianalisis di laboratorium GRK menggunakan kromatografi gas CP-4900 Micro-GC yang dilengkapi dengan *Flame Ionization Detector* (FID) untuk menganalisis konsentrasi gas CH₄, dan *Thermal Conductivity Detector* (TCD) untuk menganalisis gas CO₂. Perhitungan fluks pada setiap perlakuan menggunakan persamaan yang diadopsi dari IAEA (1992) sebagai berikut:

$$E = \frac{Bm}{V_m} \times \frac{\delta C_{sp}}{\delta t} \times \frac{V}{A} \times \frac{273,200}{T+273,2}$$

dimana:

E = Emisi CO₂ atau CH₄ (mg. m⁻².menit⁻¹)

V = Volume sungkup (m³)

A = Luas dasar sungkup (m²)

T = Suhu udara rata-rata di dalam sungkup (°C)

$\frac{\delta C_{sp}}{\delta t}$ = Laju perubahan konsentrasi gas CH₄ atau CO₂ (ppm menit⁻¹)

Bm = Berat molekul gas CH₄ (16) atau CO₂ (44) dalam kondisi standar

V_m = Volume gas pada kondisi stp (*standard temperature and pressure*) yaitu 22,41 liter pada 23°K

Pengukuran asam fenolat

Analisa asam organik dilakukan pada tiap petak percobaan bersamaan dengan pengambilan sampel gas CO₂ dan CH₄ dengan menggunakan metode Angeles (2006). Sampel gambut basah sebanyak 5 gram ditambahkan aquades sebanyak 25 ml lalu dikocok pada shaker selama 30 menit. Selanjutnya sampel disentrifusi dengan kecepatan 3.000 rpm selama 60 menit. Sebanyak 20 ml supernatan disaring menggunakan 0.45µm milipore filter. Analisis difokuskan pada pengukuran konsentrasi asam *ferulat*, *sinapat*, *p-kumarat*, *vanilat*, *siringat* dan *p-hidroksibenzoat* dengan menggunakan metode pemisahan partisi menggunakan *reversed-phase column* C₁₈ (µBondapakTM 2.9x300 mm) dan UV detektor dengan lampu-D2 pada gelombang 280 nm. *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) SHIMADZU 20A digunakan untuk menentukan konsentrasi derivat asam-

asam fenolat dengan membandingkan area sampel yang dihasilkan dengan area standar.

Hasil dan Pembahasan

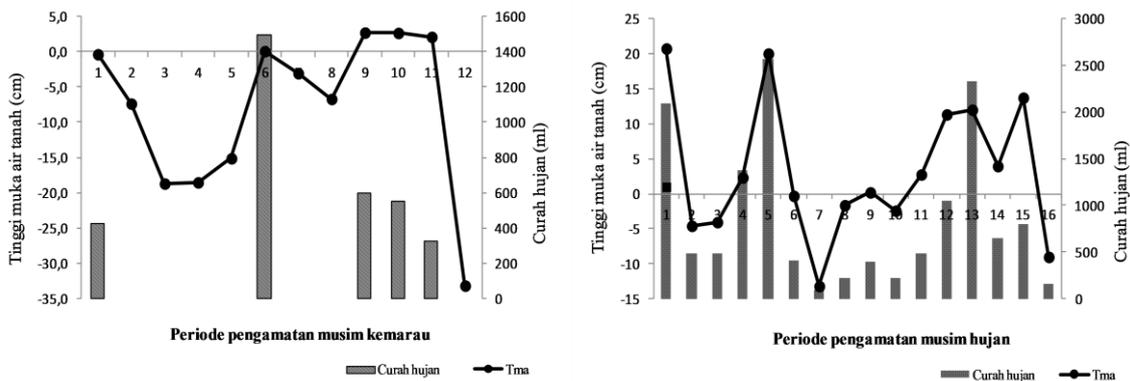
Hasil pengukuran terhadap emisi CO₂ dan CH₄ menunjukkan bahwa emisi CO₂ terukur pada musim kemarau dan musim hujan, sedangkan CH₄ hanya terukur pada musim hujan. Emisi CO₂ pada musim kemarau terukur lebih tinggi dari emisi CO₂ pada musim hujan. Kondisi ini berhubungan erat dengan perubahan tinggi muka air tanah. Tinggi muka air tanah pada musim kemarau yang sangat rendah meningkatkan ketersediaan O₂ di dalam tanah dan mempercepat proses mineralisasi C-organik sehingga gambut menghasilkan lebih banyak CO₂. Pada musim hujan terjadi perubahan lingkungan yaitu curah hujan yang bertambah dan menyebabkan lahan tergenangi air sehingga cukup untuk menghasilkan CH₄ (Gambar 1).

Selama pengukuran emisi pada kedua musim tanam, petak-petak dengan perlakuan pestisida (P1, P2, P3, P4, P5) menekan emisi CO₂ dan CH₄ dibandingkan dengan kontrol (P0) (Tabel 1). Secara statistik perlakuan pestisida berpengaruh nyata terhadap emisi CO₂ pada taraf 5% ($p < 0,05$), namun tidak berpengaruh terhadap emisi CH₄. Perlakuan P2 dan P4 memiliki nilai emisi CO₂ terendah dibandingkan dengan perlakuan lainnya baik pada musim hujan maupun musim kemarau. Sementara itu, konsentrasi asam fenolat terukur lebih tinggi pada semua perlakuan pestisida dengan konsentrasi tertinggi dihasilkan oleh perlakuan P2 dan P4. Analisis statistik menunjukkan bahwa perlakuan pestisida berpengaruh nyata terhadap konsentrasi asam fenolat, pada taraf 5% ($p < 0,05$) pada kedua musim tanam (Tabel 1).

Sebagian besar pestisida akan jatuh ke tanah pada saat diaplikasikan. Pada tanah-tanah pertanian yang mengandung bahan organik yang tinggi, residu pestisida

akan sangat tinggi karena bahan organik akan mengikat pestisida sehingga persistensinya lebih mantap dan akan menghambat proses penguapan pestisida (Stevenson 1994). Sebagian besar molekul pestisida adalah non-ionik, non-polar dan hidropobik yang mudah diserap oleh bahan organik (Harrad 1996). Tingginya konsentrasi fenolat ini diduga terjadi akibat penguraian pestisida menjadi senyawa fenol oleh mikroba. Marianna (2004) melaporkan bahwa fenol di tanah dapat berasal dari transformasi pestisida seperti 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D), 4-chloro-2-methylphenoxyacetic acid (MCPA), 2,4,5-trichloro-phenoxyacetic acid (2,4,5-T), 2-buthyl-4,6-dinitrophenol (Dinoseb). Pada proses selanjutnya senyawa fenol ini akan mengikat CO₂ atau CH₄ melalui proses hidroksilasi-C dan menghasilkan senyawa fenolat (Linde 1994).

Sejalan dengan pernyataan di atas, hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan P2 dan P4 memiliki nilai emisi CO₂ dan CH₄ terendah dengan konsentrasi asam fenolat tertinggi pada kedua musim tanam. *Fenobucarb* (P2) adalah insektisida nonionik dari golongan karbamat, yang tidak secara signifikan membentuk ionisasi pada lingkungan yang berair atau sistem tanah (Stevenson 1994). Pestisida ini tidak stabil dan berumur pendek di lingkungan, mudah terdegradasi oleh cahaya matahari, teroksidasi, dan terhidrolisis secara kimiawi serta proses mikrobial (Alexander 2001). *Difenoconazole* (P4) termasuk dalam golongan pestisida ionik yang mampu melakukan ionisasi dengan koloid organik tanah. Fungisida ini memiliki gugus substitusi yang berlaku seperti gugus fungsional. Gugus ini akan membentuk ikatan dengan asam-asam fenolat (Stevenson 1994). Perombakan pestisida di dalam tanah dapat diklasifikasikan melalui proses kimia dan biologi yang dipengaruhi oleh faktor fisik pada proses yang sangat kompleks (Rita *et al.* 2011). Faktor utama yang mempengaruhi perombakan pestisida adalah degradasi



Gambar 1. Tinggi muka air tanah (Tma) dan curah hujan pada musim kemarau dan musim hujan di lahan gambut pasang surut

Figure 1. Soil water level and rain intensity in dry and rainy seasons of freshwater peatlands

Tabel 1. Emisi CO₂ dan CH₄ serta konsentrasi asam fenolat pada pertanian padi di lahan gambut pasang surut Kalimantan Tengah MK 2012 dan MH 2012/2013

Table 1. CO₂, CH₄ emissions and phenolic acids concentration in tidal peatswamp rice field of Central Kalimantan in the dry season (2012) and the rainy season (2012/2013)

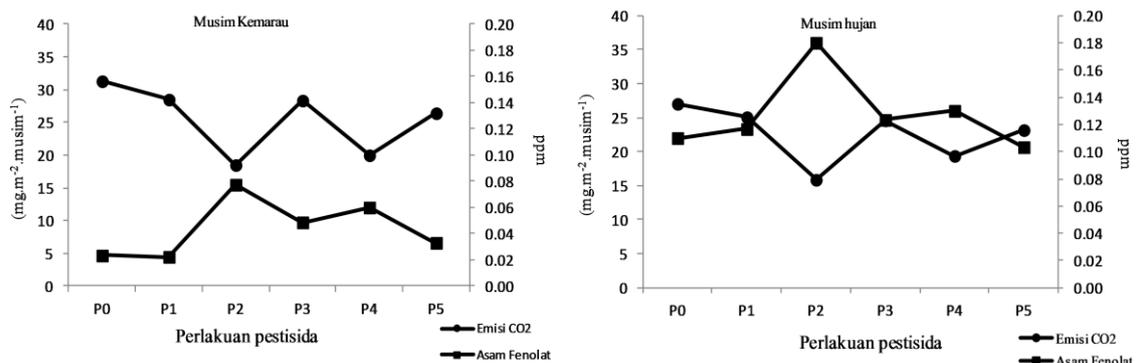
Perlakuan pestisida	Musim kemarau			Musim hujan					
	Emisi CO ₂		Asam fenolat	Emisi CO ₂		Emisi CH ₄		Asam fenolat	
	Tanah	Tanah & tanaman		Tanah	Tanah & tanaman	Tanah	Tanah & tanaman		
 mg m ⁻² musim ⁻¹		ppm mg m ⁻² musim ⁻¹					ppm
Kontrol (P0)	31,28b	59,88c	0,02a	27,03c	55,90c	0,80	0,04	0,11a	
<i>Paraquat</i> (P1)	28,47b	57,24c	0,02a	25,07c	51,99c	0,45	0,02	0,12a	
<i>Fenobucarb</i> setiap minggu (P2)	18,48a	39,24a	0,08c	15,87a	33,36a	0,30	0,02	0,18b	
<i>Fenobucarb</i> setiap 2 minggu (P3)	28,32b	48,58b	0,05b	24,60c	45,32b	0,17	0,01	0,12a	
<i>Difenoconazole</i> setiap minggu (P4)	19,97a	41,83a	0,06b	19,38ab	36,92a	0,09	0,01	0,13a	
<i>Difenoconazole</i> setiap 2 minggu (P5)	26,39b	51,29b	0,03a	23,17bc	45,17b	0,54	0,54	0,10a	

oleh mikroba (Edward 1973), proses dekomposisi kimiawi hanya akan terjadi apabila tidak terdapat biota tanah (Rita *et al.* 2011). Selain itu tingginya kandungan bahan organik pada tanah gambut diduga meningkatkan proses dekomposisi kedua jenis pestisida itu. Seperti dilaporkan oleh Morrill *et al.* (1982), terdapat korelasi positif antara peningkatan bahan organik dan tingkat degradasi dari pestisida DDT, diazinon, diuron, dan parathion. Peningkatan degradasi pestisida ini terjadi karena bahan organik tanah bertindak sebagai ko-metabolit dan kemampuannya untuk mensuplai nutrisi bagi mikroba dan sebagai sumber energi (Morrill *et al.* 1982). Pada penelitian ini, penurunan emisi CO₂ dan CH₄ terjadi sebagai proses degradasi pestisida oleh mikroba tanah melalui proses hidroksilasi-C. Rendahnya emisi rata-rata CO₂ dan CH₄ pada semua musim tanam dan tingginya konsentrasi asam-asam fenolat mendukung asumsi ini seperti yang tergambar pada Gambar 2.

Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa pada penggunaan bahan aktif yang sama tetapi dengan frekuensi aplikasi yang berbeda (P2 dan P3 maupun P4 dan P5) menghasilkan tingkat emisi yang berbeda. Seperti yang

ditunjukkan pada perlakuan P3 dan P5 (perlakuan pestisida *fenobucarp* dan *difenoconazole* yang diaplikasi setiap dua minggu) menghasilkan emisi yang lebih tinggi dari P2 dan P4 (Gambar 2). Semakin sering pestisida diaplikasikan, maka konsentrasi pestisida di dalam tanah akan meningkat. Khan (1976) melaporkan bahwa semakin tinggi dosis aplikasi pestisida pada tanah organik mengakibatkan semakin tingginya akumulasi dan persistensi pestisida di dalam tanah, sehingga degradasi pestisida akan meningkat. Hal ini sejalan dengan pendapat Morrill *et al.* (1982) bahwa degradasi pestisida diantaranya dipengaruhi oleh aplikasi dan dosisnya. Konsentrasi asam fenolat akan meningkat seiring peningkatan proses degradasi pestisida. Hal ini akan meningkatkan jumlah CO₂ dan CH₄ yang diikat oleh asam-asam fenolat, sehingga emisi CO₂ dan CH₄ menjadi rendah.

Perlakuan P1 yaitu herbisida *paraquat* yang diaplikasikan saat olah tanah memperlihatkan hasil yang tidak berbeda dengan kontrol (P0). *Paraquat* adalah golongan herbisida kationik yang memiliki afinitas pengikatan melalui berbagai cara, seperti pengikatan



Gambar 2. Emisi CO₂ dengan konsentrasi asam fenolat (ppm) di lahan gambut pasang surut pada musim hujan dan musim kemarau

Figure 2. CO₂ emission and Phenolic acids concentration in tidal peatswamp in rainy and dry seasons

secara fisik, ikatan hidrogen, pertukaran ion dan protonasi. *Paraquat*, yang menjadi divalen, memiliki potensi untuk bereaksi dengan lebih dari satu sisi muatan negatif pada koloid humus tanah, misalnya melalui dua ion COO^- (Stevenson 1994). Pestisida yang diserap oleh bahan organik tanah dapat bersifat permanen dan menghasilkan ikatan residu yang dapat mempengaruhi proses biokimia (Fortin 2003). Pada penelitian ini nilai emisi dan konsentrasi asam fenolat pada perlakuan *paraquat* (P1) sama dengan P0 karena *paraquat* hanya diaplikasikan satu kali yaitu pada tiga minggu sebelum tanam dengan dosis 3 l ha⁻¹, sehingga diduga konsentrasinya di tanah menjadi sangat rendah dan mempengaruhi penyerapannya oleh bahan organik. Jumlah *paraquat* yang diserap oleh bahan organik tanah sangat berkaitan erat dengan jumlah bahan aktif *paraquat* di dalam larutan tanah (Khan 1978). Namun pada penelitian lain dengan dosis *paraquat* yang jauh lebih tinggi seperti penelitian Setyanto dan Burhan (2009) yang menggunakan bahan aktif 2 kg ha⁻¹ setara dengan herbisida 8 l ha⁻¹ dilaporkan mampu menekan emisi CH₄ pada lahan sawah irigasi.

Kesimpulan

1. Perlakuan pestisida secara umum menurunkan emisi CO₂ dan CH₄ pada kedua musim tanam dari lahan sawah gambut pasang surut, baik pada musim kemarau maupun musim hujan.
2. Insektisida *fenobucarb* dan fungisida *difenoconazole* yang digunakan dalam penelitian ini mampu menekan emisi CO₂ dan CH₄ lebih besar dari pada perlakuan herbisida *paraquat*. Insektisida *fenobucarb* dan fungisida *difenoconazole* yang diaplikasikan tiap minggu mampu menekan emisi CO₂ dan CH₄ lebih besar daripada insektisida *fenobucarb* dan fungisida *difenoconazole* yang diaplikasikan setiap dua minggu.
3. Penurunan emisi CO₂ dan CH₄ oleh pestisida diduga terjadi akibat pengikatan CO₂ dan CH₄ pada saat proses penguraian pestisida menjadi asam fenolat oleh mikroba melalui proses hidroksilasi-C.

Daftar Pustaka

Alexander, M. 2001. Aging, bioavailability and overestimation of risk from environmental pollutants. *Environ. Sci Technol.* 34(20):4259-4265.

Angeles O.R., S.E. Johnson, and R.J. Buresh. 2006. Soil solution sampling for organic acid in rice paddy soil. *Soil Sci. Soc. Am J.* 70:48-56.

Fortin, J. 2003. Fate of Pesticides in Organic Soils In Organic Soils and Peat Materials for Sustainable Agriculture. Edited by L.E. Parent and P. Ilnicki. CRC Press. New York. Pp 161-184.

Harrad, S.J. 1996. The environmental behaviour of toxic organic chemicals. Pp 367-392. *In Pollution, Cause, Effects and Control* (Ed. R.M. Harrison, 3rd Edition). The Royal Society of Chemistry, Cambridge.

International Atomic Energy Agency (IAEA). 1992. Manual on Measurement of Methane and Nitrous Oxide Emission from Agricultural. Vienna.

Khan, S.U. 1978. The interaction of organic matter with pesticides. Pp 137-171. *In M. Schnitzer dan S.U. Khan (Eds.) Soil Organic Matter.* Elsevier Scientific Publishing Company. New York.

Khan, S.U., A. Belanger, E.J. Hogue, H.A. Hamilton, and S.P. Mathur. 1976. Residues of paraquat and linuron in an organic soil and their uptake by onions, lettuce and carrots. *Can. J. Soil Sci.*, 56:407-412.

Linde, C.D. 1994. Physico-Chemical Properties and Environmental Fate of Pesticide. Environmental Hazards Assessment Program State of California. Environmental Protection Agency. Department of Pesticide Regulation and Pest Management Branch. 1020 N street, Sacramento, California.

Marianna, C. 2004. Sources and transformations of chlorophenols in the natural environment. *Science of the Total Environment* (322):21-39.

Morrill, L.G., B.C. Mahilum, and S.H. Mohiuddin. 1982. Organic Compounds in Soils: Sorption, Degradation and Persistent. Ann Arbor Science Publishers, Inc. Michigan. P 326.

Noor, M. 2001. Pertanian Lahan Gambut: Potensi dan Kendala. Penerbit Kanisius. Jakarta.

Poniman, A., Ichwan, Indratin, E.S. Harsanti, A. Hervani, E. Yulianingsih, C.O. Handayani, T. Andriyani, A. dan Wihardjaka. 2011. Laporan Hasil Penelitian Program Intensif Riset Terapan. Balai Penelitian Lingkungan Pertanian.

Rita, F., I. Czinkota, and L. Tolner. 2011. Pesticide-soil interaction. Pp 439-462. *In Pesticides in the Modern World-Pesticides Use and Management.* Edited by Margarita Stoytcheva. <http://www.intechopen/book/pesticide-in-the-modern-world-pesticide-use-and-management/pesticide-soil-interaction>.

Sabiham, S. 2010. Properties of Indonesian Peat in Relation to the Chemistry of Carbon Emission. Pp 205-216. *In Proc. of Int. Workshop on Evaluation and Sustainable Management of Soil Carbon Sequestration in Asian Countries.* Bogor, Indonesia.

Sa'id, E.G. 1994. Dampak negatif pestisida, sebuah catatan bagi kita semua. *Agrotek.* 2(1):71-72.

Sahrawat, K.L. 2004. Nitrification inhibitors for controlling methane emission from submerged rice soils. *Current Science* 87(8):1084-1087.

Setyanto, P. and H. Burhan. 2009. The effect of water regime and soil management on methane emission reduction from rice field. *Jurnal Irigasi* 4(2).

Stevenson. 1994. Humus Chemistry. Genesis, Composition, Reaction. Second edition. John Wiley and Sons, Inc.

Van der Gon, H.A.C.D. and H.U. Neue. 1995. Influence of organic matter incorporation on the methane emission from wetland rice field. *Global Biogeochem. Cycles* 9:11-22.

Young, R.N., A.M.O. Mohamed, and B.P. Warkentin. 1992. Principle of Contaminant Transport in Soils. Elsevier, Amsterdam.