

**PENANGKAPAN GAS METANA DI LAHAN RAWA GAMBUT
UNTUK MENCEGAH KEBAKARAN HUTAN DAN ENERGI TERBARUKAN
DI KALIMANTAN BARAT**

Muhammad Hatta¹⁾ dan Sulakhudin²⁾

¹⁾ BPTP Kalimantan Barat, Jl. Budi Utomo No 45 Pontianak

*²⁾ Dosen Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Tanjungpura
email : muhattani@yahoo.com*

ABSTRACT

Tropical peat lands play an important role in the global C cycle as a store of more than 70 Gt of carbon. A very large amount of carbon makes the tropical peat lands as a major source of methane (CH₄) atmosphere. CH₄ emissions from peat lands ranged from 100 to 231 Tg CH₄ per year. CH₄ is a gas that can be recovered and used for energy sources. The study aimed to identify the existence and potential of methane to prevent forest fires on peat land as well as utilizing renewable energy sources. The study was conducted in the village Sepuk Laut, Sub District Sungai Kakap, Kubu Raya District, West Kalimantan Province. Catcher gas was using ceramic-based traps on fuel with a temperature of 1050 °C. Methane gas in a village Sepuk Laut near the river mouth was greater emissions. Utilization of methane was as a renewable energy to reduce global warming and fires in peat swamp forest. Utilization of methane gas is properly does not damage and pollute the surrounding environment.

Keyword: Global warming, methane, peatlands, renewable energy.

ABSTRAK

Lahan gambut tropical memainkan peranan penting dalam siklus C global sebagai sumber lebih dari 70 Gt karbon. Jumlah karbon yang sangat besar menjadikan lahan gambut tropical sebagai sumber utama gas metana (CH₄) atmosfer. Emisi CH₄ dari lahan gambut sebesar 100 sampai 231 Tg CH₄ per tahun. CH₄ dalam gas dapat diperbaiki dan digunakan sebagai sumber energy. Penelitian bertujuan untuk mengidentifikasi keberadaan dan potensi gas methan untuk mencegah kebakaran hutan pada lahan gambut berkaitan dengan sumber energy yang dapat diperbaharui. Penelitian dilakukan di Desa Sepuk Laut, Kecamatan Sungai Kakap, Kabupaten Kubu Raya, Provinsi Kalimantan Barat. Gas metana ditangkap dengan menggunakan perangkap keramik berbahan bakar pada temperature 1050 °C. Gas metana di Desa Sepuk Laut yang dekat dengan sungai bulan merupakan emisi yang lebih besar. Penggunaan gas metana sebagai energy yang dapat diperbaharui untuk menurunkan penghangatan global dan kebakaran di hutan rawa gambut. Penggunaan gas metana sebaiknya tidak menyebabkan kerusakan dan pencemaran lingkungan.

Keyword: energi yang dapat diperbaharui, lahan gambut, metana, penghangatan global,

PENDAHULUAN

Luas lahan gambut tropis berkisar antara 33-49 juta ha atau 8% dari total lahan gambut dunia yang luasnya mencapai 386-409 juta ha. Pada kondisi alami, lahan gambut berperan sangat penting dalam siklus karbon (C) global dan sebagai

penyimpan karbon atmosfer dalam jangka panjang (Gorham, 1991). Gambut tropis menyimpan lebih dari 70 Gt karbon, atau hampir 20% dari jumlah karbon pada lahan gambut global (Maltby dan Immerzi, 1993). Jumlah karbon yang besar tersebut menjadikan lahan gambut tropis sebagai sumber utama dari gas metana (CH₄)

atmosfer (Bartlett and Harriss, 1993). Dlugokencky *et al.*, (2009) melaporkan bahwa pada tahun 1990 dan tahun pertama abad ke-21 konsentrasi CH₄ di atmosfer melambat menjadi hampir nol, namun pada tahun 2007 dan 2008 konsentrasinya meningkat sangat tinggi. Menurut Denman *et al.*, (2007), emisi CH₄ dari lahan gambut berkisar antara 100 sampai 231 Tg CH₄ per tahun atau seperlima total emisi global CH₄ yang berkisar antara 503 – 610 Tg CH₄ per tahun.

Metana (CH₄) merupakan gas yang dapat diperbaharui dan dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif. Saat ini CH₄ digunakan di seluruh dunia sebagai sumber bahan bakar (BBM) dan industri. Eksplorasi dan penggunaan CH₄ telah membantu dalam mendorong pembangunan ekonomi berkelanjutan dan telah lama sebagai energi alternatif dengan emisi karbonnya yang lebih rendah dari pada batubara dan minyak (Demirbas, 2010). Ada beberapa keuntungan penggunaan CH₄ sebagai sumber energi yaitu ; 1) CH₄ merupakan sumber energi baru yang bersih, hasil pembakaran akan menghasilkan air (H₂O) dan karbon dioksida (CO₂). Air dan karbon dioksida selanjutnya dibutuhkan oleh tanaman untuk menghasilkan energi melalui fotosintesis, 2) CH₄ mempunyai daya bakar yang tinggi yaitu sekitar 802 kJ/mol dengan menghasilkan CO₂ relatif sedikit per unit panas, dan 3) penggunaan CH₄ sebagai sumber energi akan menurunkan konsentrasi CH₄ di atmosfer, sehingga dapat mengurangi pemanasan global.

Potensi CH₄ yang sangat besar sebagai sumber energi dapat digunakan sebagai bahan pengganti bahan bakar fosil. Emisi CH₄ dari tanah gambut ke atmosfer tergantung pada tingkat produksi CH₄ dan konsumsi serta kemampuan tanah dan tanaman untuk mentransportasikan gas ke permukaan. Tiga faktor utama yang mengontrol emisi CH₄ dari lahan gambut adalah tinggi permukaan air tanah (Bartlett

dan Harriss, 1993), suhu (Nyakanen *et al.*, 1995.), dan sifat kimia gambut seperti pH dan konsentrasi nitrogen (Mosier *et al.*, 1991). Variabilitas proses dan aliran CH₄ telah menjadi subjek penelitian selama beberapa dekade yang lalu, namun masih belum dipahami dengan baik. Dua aspek yang harus dipertimbangkan dalam mengamati variasi aliran CH₄ dari lapisan tanah ke atmosfer adalah pertama, mikroba yang membentuk dan mengoksidasi CH₄ di dalam tanah. Kedua, mekanisme yang menyalurkan gas CH₄ ke atmosfer (Van Huissteden *et al.*, 2005).

Di Kalimantan Barat luas lahan gambut berkisar 1,73 juta ha dengan kandungan karbon 3,6 juta ton (Wahyunto *et al.*, 2004). Jumlah karbon yang sangat besar tersebut sebagai sumber utama CH₄ yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan dan pengganti bahan bakar minyak dan industri. Delta Kapuas kompleks di Kalimantan Barat ditumbuhi hutan mangrove dewasa yang masih terjaga, disusun oleh sedimen berupa lempung dan pasir hitam serta endapan gambut. Jenis lempung dan pasir hitam berbau busuk (H₂S), rembesan gas permukaan, bentuk lapisan sedimen bawah permukaan yang unik berdasarkan data geolistrik, dan contoh sedimen dan gas dari bor inti mengindikasikan adanya kandungan gas CH₄.

Seperti diketahui di lahan gambut juga sering sebagai akibat terjadinya kebakaran hutan. Hal ini disebabkan tingginya kandungan karbon dan besarnya karbon yang dilepaskan pada saat terjadinya kebakaran hutan gambut. Peristiwa terbakarnya kebakaran hutan gambut di Kalimantan pada tahun 1997, suatu kejadian yang tidak menolak kemungkinan akan terjadi lagi apabila tidak diwaspadai dengan cermat dan secara dini. Oleh karena itu lahan gambut yang banyak mengandung gas CH₄ yang potensial terhadap bahaya kebakaran harus dapat dikelola dengan cermat. Laju pembentukan CH₄ pada gambut

menunjukkan bahwa keragaman tinggi muka air tanah dan distribusi gelembung-gelembung CH₄ menentukan distribusi CH₄ terlarut. Hasil penelitian Duval & Goodwin (2000) menunjukkan bahwa produksi metana paling tinggi pada kedalaman tanah gambut antara 60–100 cm. Pencarian keberadaan CH₄ di lahan gambut diperlukan usaha pemetaan dan eksplorasi CH₄ sehingga dapat diketahui letak spasial dan potensi CH₄ di lahan gambut. Data tentang keberadaan dan potensi CH₄ dan upaya penangkapan gas CH₄ di lahan gambut guna mencegah kebakaran hutan dan dapat dimanfaatkan sebagai energi terbarukan menjadi sangat penting untuk dilakukan dan dapat sebagai pengganti bahan bakar minyak (BBM) dan dimanfaatkan untuk industri.

METODOLOGI

Alat Penangkap Gas

Penangkap gas metana menggunakan perangkat berbahan dasar keramik yang di bakar dengan suhu 1050 °C. Bahan keramik terbuat dari komposisi matrik clay (Feldspar 26%, Kaolin / China clay 27% , dan Ball clay 14%) serta filler (Flint/kwarsa 33%). Sampel gas yang dikeluarkan dari tanah rawa gambut diambil dengan menggunakan alat penangkap gas (Gambar 1). Perangkat keramik berguna

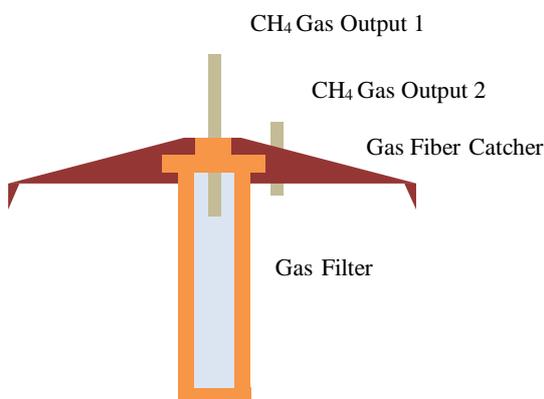


Figure 1. CH₄ Gas Equipment the design of

untuk memisahkan cairan dan gas, diharapkan karena berat jenis gas lebih ringan maka gas akan bergerak keatas.

Alat Penyaring Gas

Gas-gas yang terkandung perlu dilakukan penyaringan terlebih dahulu dengan menggunakan arang aktif dan zeolite dengan menggunakan alat penyaring gas (Gambar 2). Penggunaan alat penyaring gas hasil rekayasa BPPT Kimia **LIPI Jogjakarta** diharapkan dapat menangkap gas CH₄ mendekati murni dan dapat dimanfaatkan sebagai energy alternative untuk pengganti bahan bakar minyak dan industri.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Keramik pada Alat Penangkap CH₄

Keramik pada temperatur sinter ; 900 °C, 1000 °C, dan 1100 °C, berada di luar batas grafik upper-lower bound, sedangkan pada temperatur sinter 1200 °C berada di dalam upper-lower bound. Semakin tinggi temperatur sintering mengakibatkan berkurangnya porositas dan memperbesar luasan ikatan permukaan antar partikel. Ikatan antar partikel keramik pada temperatur sinter 900 °C, 1000°C, dan 1100°C, belum terbentuk secara sempurna karena masih berada di luar batas grafik upper-lower bound (Gambar 3, 4, dan 5).

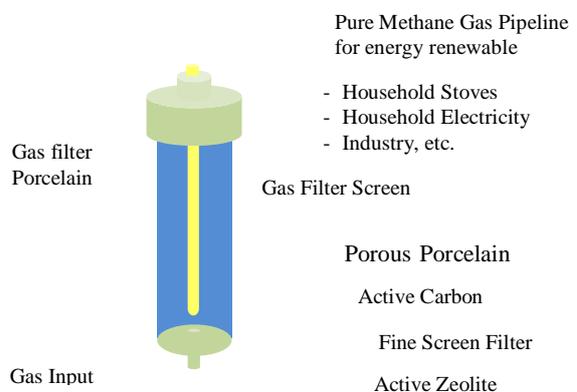


Figure 2. CH₄ Gas Filter the design of Tool

Gambar 3 dan 4 menunjukkan masih banyak dan rongga (porositas) penggabungan luasan permukaan ikatan antar partikel, menunjukkan tidak terjadi ikatan antar permukaan partikel yang sempurna.

Pada gambar 5 menunjukkan porositas semakin berkurang. Semakin tinggi temperatur sintering mengakibatkan berkurangnya porositas dan semakin besar luasan ikatan permukaan antar partikel.

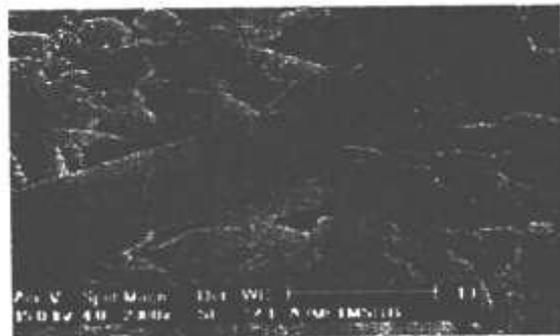
Pada Gambar 6 jumlah porositas semakin berkurang lagi, hal ini menunjukkan penggabungan partikel semakin rapat, dan semakin luas permukaan ikatan antar partikel. Ikatan antar partikel keramik pada temperatur sinter 1200 °C terbentuk semakin sempurna karena sudah

berada di dalam batas grafik upper-lower bound. Volume kontraksi sampel antara dimensi silinder sebelum dan sesudah proses sintering berturut-turut untuk temperatur 900 °C, 1000 °C, 1100 °C, dan 1200 °C adalah; 3,34 %, 4,69 %, 6,28 % dan 7,19 %.

Ikatan antar partikel keramik pada temperatur sinter ; 900 °C, 1000 °C, dan 1100 °C, belum terbentuk secara sempurna karena masih berada di luar batas grafik upper-lower bound. Keramik pada temperatur sinter 1200 °C berada di dalam grafik upper-lower bound, menunjukkan terjadi ikatan antar permukaan yang sempurna dengan nilai tegangan 63,8 Mpa, regangan 2,1% dan besar modulus elastisitas 3,308 Gpa.



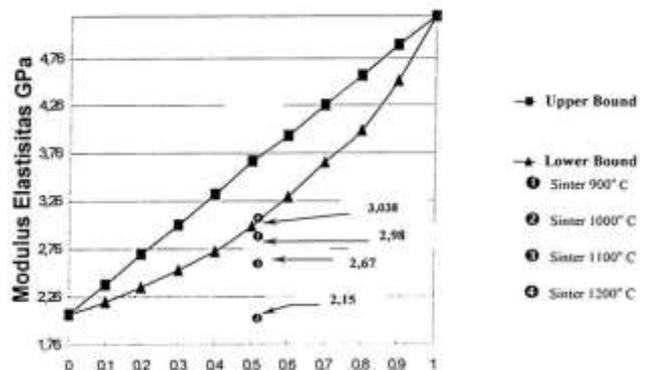
Gambar 3. Foto SEM pembesaran 7000x untuk temperatur sinter 900 °C.



Gambar 4. Foto SEM pembesaran 7000x untuk temperatur sinter 1000 °C



Gambar 5. Foto SEM pembesaran 7000x untuk temperatur sinter 1100°C



Gambar 6. Grafik upper-lower bound dengan modulus elastisitas keramik untuk variasi temperatur sintering

Karakteristik Lahan Gambut dan Gas CH₄ di Lokasi Penelitian

Pulau Sepuk Laut merupakan bagian dari Delta Kapuas. Delta ini merupakan delta aktif yang dibentuk dalam lingkungan tropik yang sangat dipengaruhi oleh sungai dan gelombang laut. Delta Kapuas termasuk tipe morfologi berbentuk kipas simetri yang terdiri atas beberapa pulau. Pulau-pulau tersebut dipisahkan oleh cabang-cabang sungai Kapuas Besar dan kanal pasang-surut (*tidal channel*) dengan sebagian besar dasar sungai dan kanal berupa endapan lumpur. Sedimen yang tersebar luas di kawasan Muara Kakap berupa endapan hasil rombakan dari batuan yang berumur lebih tua (alufial). Endapan ini terdiri atas material lepas seperti kerikil, pasir, debu, lempung, dan endapan kepingan kayu dan gambut (Sanyoto dkk. 1993).

Kawasan Sepuk Laut mempunyai sedimen organik cukup tebal, kondisi hutan mangrovenya masih terjaga dengan baik. Pohon mangrove ini merupakan bagian dari ekosistem pesisir yang diduga ada kaitannya dengan keberadaan gas CH₄ di kawasan ini. Rembesan gas sebagai indikasi sumber gas CH₄ ditemukan di sejumlah tempat di kawasan Sepuk Laut.

Hasil pengamatan emisi gas di Desa Sepuk Laut (Tabel 1) menunjukkan bahwa gelembung gas muncul di banyak tempat saat air pasang. Penyelidikan pendahuluan yang dilakukan oleh Tim Muara Kakap (2006) bahwa gas yang terdapat di desa Sepuk Laut merupakan gas CH₄. Pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa di beberapa tempat telah digunakan

oleh penduduk sebagai sumber gas untuk kompor. Berdasarkan pengamatan di lapangan dan informasi penduduk setempat ditemukan tiga sumber gas yang cukup besar yaitu di sekitar Sepuk Laut 1 (0,5 km dari muara), Sepuk Laut 2 (1 km dari muara) dan Sepuk Laut 3 (2 km dari muara).

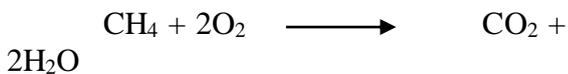
Hasil pengukuran menunjukkan bahwa emisi gas di sekitar Sepuk Laut 1 dan Sepuk Laut 2 lebih tinggi dari pada di sekitar Sepuk Laut 3. Hal ini disebabkan jarak lubang gas di sekitar Sepuk Laut 3 lebih jauh dari lubang gas di sekitar Sepuk Laut 1 dan Sepuk Laut 2. Jarak yang lebih dekat memungkinkan daerah tersebut dalam keadaan terendam saat pasang maupun surut, sedangkan di daerah sekitar Sepuk Laut 3 terendam hanya pada saat pasang. Dengan keadaan terendam lebih lama maka akan tercipta suasana anaerob yang lebih lama. Suasana anaerob yang lebih lama, pembentukan gas CH₄ akan lebih banyak karena mikrobia metanogen membentuk CH₄ dalam suasana anaerob. Karakteristik gas CH₄ yang berasal dari lahan rawa gambut Desa Sepuk Laut dan keadaan tanah disekitarnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Nilai pH tanah di sekitar lubang gas menunjukkan bahwa semakin dekat laut pH tanahnya semakin rendah (Tabel 1). Nilai pH yang rendah menyebabkan tanahnya lebih masam. Penyebab kemasaman ini berasal dari unsur sulfur yang terkandung dalam gas. Sulfur yang dikeluarkan akan bereaksi dengan air akan membentuk asam sulfat (H₂SO₄) sehingga semakin banyak gas yang dikeluarkan maka akan semakin banyak asam sulfat yang terbentuk dan semakin masam tanahnya.

Tabel 1. Karakteristik Gas CH₄ di Sekitar Desa Sepuk Laut.

Lokasi	pH tanah di sekitar lubang gas				Emisi gas (ml/ menit)
	Timur	Barat	Utara	Selatan	
Sepuk Laut 1 (0,5 km dari muara)	5,70	5,87	5,83	5,33	598,00
Sepuk Laut 2 (1km dari muara)	5,50	5,90	5,60	5,60	400,00
Sepuk Laut 3 (2 km dari muara)	5,63	6,03	5,63	5,73	176,50

Pemanfaatan gas di Desa Sepuk Laut menimbulkan kekhawatiran terjadi kebakaran, jika gas diambil akan terjadi amblesan tanah-tanah hunian dan ladang masyarakat bahkan pulau, pencemaran terhadap perairan yang akan mengurangi produk perikanan, terakhir khawatir gas di bawa ke luar daerah sehingga masyarakat setempat tidak menikmati. Kekhawatiran masyarakat sebenarnya tidak perlu terjadi karena pemanfaatan gas CH₄ justru mempunyai beberapa keuntungan. Pertama, pemanfaatan CH₄ akan mengurangi efek pemanasan global karena CH₄ dari lahan rawa jika tidak dimanfaatkan justru akan meningkatkan dan mempercepat pemanasan global. Gas CH₄ mempunyai daya rusak 21 – 23 kali dari pengaruh kerusakan oleh CO₂ terhadap peningkatan suhu oleh efek gas rumah kaca (Lelieveld and Crutzen, 1992). Kedua, gas CH₄ yang dijadikan sumber energi (dibakar) maka akan terjadi reaksi seperti persamaan berikut ini.



Hasil pembakaran gas CH₄ adalah karbon dioksida dan air, kedua unsur ini dibutuhkan tanaman dalam proses fotosintesis untuk membentuk karbohidrat yang berguna sebagai sumber energi dan menyusun organ-organ tanaman seperti batang, dahan dan akar tanaman. Ketiga pemanfaatan CH₄ akan mengurangi resiko kebakaran hutan gambut pada musim kemarau karena CH₄ merupakan gas yang mudah terbakar. Abdullah *et al.*, (2002) menyatakan pelepasan gas CH₄ telah diketahui dapat memicu terjadinya kebakaran.

Selain itu, pemanfaatan CH₄ tidak menyebabkan lahan rawa gambut mengalami subsidence (penurunan) karena ruangan yang ditinggalkan dapat diimbangi oleh pelonggokan bahan organik di permukaan lahan gambut di daerah tropis basah mencapai 21 ton/ha/tahun. Di samping itu sulfur yang keluar bersama CH₄

tidak menyebabkan tanah menjadi sangat masam karena asam sulfat yang terbentuk tidak akan terakumulasi. Asam sulfat setiap hari akan terus berkurang karena terbawa air pasang surut.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa Gas CH₄ di desa Sepuk Laut semakin dekat muara emisinya semakin besar. Pemanfaatan gas CH₄ sebagai energi terbarukan dapat mengurangi pemanasan global dan kebakaran hutan di lahan rawa gambut. Pemanfaatan gas CH₄ dengan benar tidak merusak dan mencemari lingkungan sekitarnya.

Saran

Berdasarkan hasil yang telah dicapai dari penelitian ini maka pada masa mendatang dapat dilakukan penelitian tentang cara penampungan dan distribusi gas dengan cermat sehingga dapat mengurangi efek samping yang timbul akibat pemanfaatan gas CH₄ di desa Sepuk Laut. Dengan demikian prospek pemanfaatan gas metan lahan rawa gambut untuk sumber energi bagi masyarakat sekitarnya dapat diupaya dengan aman dan berbiaya rendah. Disamping itu perlu sosialisasi ke masyarakat tentang keuntungan dan keamanan pemanfaatan gas CH₄ wilayah tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M.J., M.R. Ibrahim, & A.R. Abdul Rahim. 2002. *The Influence Of Forest Fire In Peninsular Malaysia: History, Root Causes, Prevention, And Control*. Makalah disajikan pada *Workshop on Prevention and Control of Fire in Peatlands*, 19–21 March 2002, Kuala Lumpur, Malaysia, 14 h.
- Balai Besar Sumberdaya Lahan Pertanian. 2006. *Karakteristik dan Pengelolaan Lahan Rawa*. Badan Litbang Pertanian, Jakarta. 301 h.
- Bartlett, K.B. and R. Harris. 1993. *Review And Assessment Of Methane Emissions From Wetlands*. *Chemosphere* 26, pp. 261–320

- Denman, K. L., Chidthaisong, A., Ciais, P., Cox, P. M., Dickinson, R. E., Hauglustaine, D., Heinze, C., Holland, E., Jacob, D., Lohmann, U., Ramachandran, S., da Silvas Dias, P. L., Wofsy, S. C. and Zhang, X. 2007. *Couplings Between Changes In The Climate System And Biochemistry*. In S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Cambridge University Press, Cambridge, pp499–587.
- Demirbas, A. 2010. *Methane Gas Hydrate*. In *Green Energy and Technology*. Springer-Verlag London Limited. 186 + ix.
- Dlugokencky, E. J., Bruhwiler, L., White, J. W. C., Emmons, L. K., Novelli, P. C., Montzka, S. A., Masarie, K. A., Lang, P. M., Crotwell, A. M., Miller, J. B. and Gatti, L. V. 2009. *Observational Constraints On Recent Increases In The Atmospheric CH₄ Burden*. *Geophysical Research Letters*, vol 36, L18803, doi:10.1029/2009GL039780
- Duval, B. and S. Goodwin. 2000 *Methane Production And Release From Two New England Peatlands*. *Int. Microbiol.* 3 pp. 89–95.
- Flessa, H., R. Ruser, P. Dörsch, T. Kamp, M.A. Jimenez, J.C. Munchb, F. Beese. 2002. *Integrated Evaluation Of Greenhouse Gas Emissions (CO₂, CH₄, N₂O) From Two Farming Systems In Southern Germany Agriculture*. *Ecosystems and Environment* 91: 175–189.
- Garcia, J. L., Patel, B. K. C. and Ollivier, B. 2000. *Taxonomic, Phylogenetic, And Ecological Diversity Of Methanogenic Archaea*. *Anaerobe*. 6(4): 205–226.
- Gorham, E., 1991. *Northern Peatlands: Role In The Carbon Cycle And Probable Responses To Climatic Warming*. *Ecol. Appl.* 1, 182–195.
- Kurnain, A. 2005., *Dampak Kegiatan Pertanian Dan Kebakaran Atas Watak Gambut Ombrogen*. Disertasi. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 315 h.
- Lelieveld, J., Crutzen, P. J. and Dentener, F. J. 1998. *Changing Concentration, Lifetime And Climate Forcing Of Atmospheric Methane*. *Tellus B*. 50(2): 128–150.
- Maltby, E & Immirzi, C.P. 1993. *Carbon Dynamics In Peatlands And Other Wetland Soils - Regional And Global Perspectives*. *Chemosphere*, 27 (6), pp 999 - 1023.
- Melling, L. R. Hatano and K.J. Goh., 2005. *Methane Fluxes From Three Ecosystems In Tropical Peatland Of Sarawak, Malaysia*. *Soil Biol. Biochem.* 37, pp. 1445–1453.v
- Mosier, A., Schimel, D., Valentine, D., Bronson, K., Parton, W., 1991. *Methane And Nitrous Oxide Fluxes In Native, Fertilized And Cultivated Grasslands*. *Nature* 350, 330–332.
- Murdiyarmo, D. U. Rosalina, K. Hairah, L. Muslihat, I. N. N. Suryadiputra dan A. Jaya., 2004. *Petunjuk Lapangan: Pendugaan Cadangan Karbon pada Lahan Gambut*. Wetlands International-Indonesia Programme. Bogor. vi + 32.
- Neuzil, S.G., 1997. *Onset And Rate Of Peat And Carbon Accumulation In Four Domed Ombrogenous Peat Deposit In Indonesia*. In *Biodiversity and Sustainability of Tropical Peatlands*. Samara Publishing Ltd, pp. 55–72
- Nyakanen, H., Alm, J., Lang, K., Silvola, J., Martikainen, P.J., 1995. *Emissions Of CH₄, N₂O And CO₂ From A Virgin Fen And A Fen Drained For Grassland In Finland*. *J. Biogeogr.* 22, 351–357.
- Page, S.E., J.O. Rieley, H.D.V. Böhm, F. Siegert, & N.Z. Muhamad., 2000. *Impact Of The 1997 Fires On The Peatlands Of Central Kalimantan, Indonesia*. dalam: L. Rochefort, & J.Y. Daigle (eds.), *Sustaining our Peatlands, Proceedings of the 11th International Peat Congress. Québec City, Canada, h. 962–970*
- Sanyoto, P., dan Pieters, P.E., 1993. *Peta Geologi Lembar Pontianak / Nangataman, Kalimantan, Pulitbang Geologi (P3G)*, Australian Geological Survey Organisation (AGSO).
- Tim Muara Kakap, 2006. *Eksplorasi prospektif Gas Biogenik Kelautan Perairan Muara Kakap dan Sekitarnya, Kalimantan Barat*. Puslitbang Geologi Kelautan (P3GL).
- Van Huissteden, J., Maximov, T.C., Dolman, A.J., 2005. *High methane flux from an arctic floodplain (Indigirka lowlands, eastern Siberia)*. *J. Geophys. Res.-Biogeosci.* 110, doi:10.1029/2005JG000010.
- Wahlen, M. 1993. *The global methane cycle*, *Annual Review of Earth and Planetary Science*, vol 21, pp407–426
- Wahyunto, S. Ritung dan H. Subagjo., 2004. *Peta Sebaran Lahan Gambut, Luas dan Kandungan Karbon di Kalimantan / Map of Peatland Distribution Area and Carbon Content in Kalimantan 2000 – 2002*. Wetlands International - Indonesia Programme & Wildlife Habitat Canada (WHC).

