

# POTENSI CURAH HUJAN DALAM MENGURANGI EMISI CH<sub>4</sub> (METANA)

Lilik S. Supriatin

Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer  
Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional  
Jl. Dr. Djundjuna 133 Bandung 40173 Indonesia  
e-mail: lilik\_lapan@yahoo.com

## RINGKASAN

Tulisan ini mengulas potensi curah hujan untuk mengurangi emisi CH<sub>4</sub>. Selama ini hujan baru diketahui perannya hanya sebagai pencuci dan pelarut SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, dan CO<sub>2</sub>. Ternyata hujan secara tidak langsung berperan juga menurunkan emisi CH<sub>4</sub>. Hujan menurunkan emisi CH<sub>4</sub> melalui dua cara, pertama, butir air hujan dan energi kinetik air hujan dapat mendifusikan gas oksigen dari atmosfer ke badan air. Kedua, setiap air hujan juga terkandung oksigen terlarut di dalamnya. Suhu air hujan yang lebih rendah daripada suhu air di badan air mengandung konsentrasi oksigen terlarut yang lebih tinggi. Adanya hujan yang mengandung oksigen terlarut dapat mengubah kondisi badan air yang semula *anaerob* (tanpa oksigen) menjadi *aerob* (adanya oksigen). Metana (CH<sub>4</sub>) yang dibentuk oleh bakteri metanogen pada kondisi badan air yang *anaerob*, maka CH<sub>4</sub> tidak akan dihasilkan oleh bakteri metanogen pada kondisi media badan air yang *aerob*. Walaupun curah hujan dapat mengurangi emisi CH<sub>4</sub>, bukan berarti tidak diperlukan lagi tindakan mitigasi untuk mengurangi emisi CH<sub>4</sub>. Potensi curah hujan dalam mengurangi emisi CH<sub>4</sub> dapat digunakan sebagai bentuk adaptasi pola tanam padi sawah dengan melakukan musim tanam pada musim penghujan sehingga dihasilkan emisi CH<sub>4</sub> yang rendah.

## 1 PENDAHULUAN

Sampai saat ini curah hujan atau dikenal dengan hujan baru diketahui perannya hanya sebagai pembawa polutan udara dari lingkungan atmosfer ke permukaan bumi. Selain sebagai pembawa polutan udara, hujan juga diketahui berperan sebagai pelarut gas rumah kaca jenis CO<sub>2</sub> (karbon dioksida). Menurut Budiwati *et al.* (2010) hujan dapat mencuci polutan udara (*wash out*) yang berupa SO<sub>2</sub> (sulfur dioksida) dan NO<sub>2</sub> (nitrogen dioksida) serta CO<sub>2</sub> (karbon dioksida) yang terdapat dalam atmosfer. Budiwati *et al.* (2010) juga menambahkan bahwa curah hujan dengan intensitas tinggi (hujan lebat) akan lebih sedikit membersihkan, mencuci, dan melarutkan polutan udara, sedangkan hujan dengan intensitas rendah (gerimis) akan lebih banyak membersihkan, mencuci, dan melarutkan polutan udara.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, sampai saat ini curah hujan hanya diketahui sebagai pelarut dan pencuci polutan udara SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> serta CO<sub>2</sub> (gas rumah kaca). Bagaimana interaksi antara curah hujan dengan jenis gas rumah kaca lain seperti CH<sub>4</sub> (metana)? Apakah hujan memiliki peran yang sama sebagai pelarut dan pencuci CH<sub>4</sub> seperti CO<sub>2</sub>? Kedua pertanyaan tersebut akan coba dijawab melalui tulisan ini.

Indonesia memiliki curah hujan relatif tinggi setiap tahun. Berdasarkan data, curah hujan yang terjadi di Indonesia tepatnya di daerah Kayuwatu (Sulawesi Utara) dapat mencapai 3988 mm dengan hari hujan tertinggi adalah 276 hari (Statistik Lingkungan Hidup Indonesia, 2012). Artinya, hanya sembilan hari dalam satu tahun yang tidak turun hujan dan jika dirata-ratakan intensitas curah hujan dapat mencapai 14 mm/hari selama satu tahun.

Berdasarkan data di atas diketahui bahwa curah hujan di Indonesia cukup tinggi. Menurut Dewan Nasional Perubahan Iklim (2010) sektor pertanian menduduki emisi gas rumah kaca tertinggi ketiga di Indonesia setelah perubahan tata guna lahan dan gambut. Penurunan emisi  $\text{CH}_4$  sangat diperlukan sebab  $\text{CH}_4$  adalah gas rumah kaca yang berpotensi besar dalam menaikkan suhu bumi (pemanasan global).

Tujuan dari penulisan ini adalah menganalisis dan menginformasikan potensi dari curah hujan dalam mempengaruhi emisi  $\text{CH}_4$ . Pendekatan yang digunakan untuk mengetahui potensi dari curah hujan dalam mempengaruhi emisi  $\text{CH}_4$  adalah analisis aspek fisika dan kimia dari curah hujan terhadap proses pembentukan  $\text{CH}_4$ .

## 2 INDONESIA PENGHASIL HUJAN TERBESAR DI DUNIA

Indonesia yang 2/3 wilayahnya berupa perairan (laut) dan terletak di sekitar equator adalah kawasan yang diduga penghasil awan dan hujan terbesar di dunia (Sipayung dan Risyanto, 2014). Hal ini disebabkan adanya gabungan dari tiga kekuatan besar, pertama adalah luas lautan. Kedua adalah letak geografis. Ketiga, Indonesia dilalui oleh dua jalur gunung api dunia yaitu sirkum Mediterania dan sirkum Pasifik.

Luas wilayah laut Indonesia dipandang memiliki dua aspek potensi dalam menghasilkan hujan yaitu aspek fisika dan aspek biokimia. Aspek fisika berhubungan dengan laut sebagai wadah air yang menghasilkan uap air sebagai bahan baku terjadinya hujan. Luasnya lautan adalah sumber penghasil uap air yang melimpah (hasil evaporasi) dan berpotensi sebagai awan-awan penghasil hujan.

Aspek biokimia terkait dengan banyaknya jenis organisme hidup yang menghasilkan *dimethyl sulphide* (DMS). Senyawa DMS termasuk golongan

sulfat, sedangkan sulfat sendiri adalah aerosol yang berfungsi sebagai inti kondensasi.

Senyawa DMS dihasilkan oleh sebagian besar *phytoplankton* yang hidup pada lapisan atas permukaan laut dan dilepas ke atmosfer dalam bentuk gas. *Phytoplankton* adalah tumbuhan yang berukuran kecil dan dapat berfotosintesis. Salah satu jenisnya adalah ganggang. Berbagai jenis ganggang menghasilkan jumlah DMS yang berbeda. Ganggang mampu menghasilkan dan mentransfer sekitar 27 - 56 juta ton sulfur/tahun dalam bentuk DMS ke atmosfer (Bryant, 1997).

Jika *phytoplankton* mati, maka senyawa dimetil sulphonio propionate (DMSP) dengan rumus kimia  $(\text{CH}_3)_2\text{S}^+(\text{CH}_2)_2\text{COO}^-$  yang terkandung dalam *phytoplankton* akan terurai menjadi senyawa DMS ( $\text{C}(\text{CH}_3)_2\text{S}$ ). Senyawa DMS dengan reaksi tertentu bersama  $\text{OH}^-$  dan  $\text{NO}_3^-$  menghasilkan gas sulfat dan partikel asam metanosulfat (MSA = metanosulfat acid). Kedua zat ini yaitu asam sulfat dan MSA adalah inti kondensasi yang dapat menghasilkan awan jenis stratus dan altostratus di atas laut (Bryant, 1997).

Pendapat lain dari Meszaros (1981) menyatakan bahwa laut pedalaman (seperti selat) di belahan bumi selatan (BBS) mengemisikan zat kimia berupa aerosol yang komposisinya sekitar 75-95% terdiri dari  $\text{NaCl}$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , dan campuran *sea salt* (campuran garam-garam dari laut). Jika laut yang terletak di pedalaman saja menghasilkan aerosol yang berjumlah besar, maka terlebih lagi laut lepas seperti yang dimiliki Indonesia tentunya akan menghasilkan aerosol dan inti kondensasi yang lebih melimpah lagi dan berperan menghasilkan hujan yang berlimpah pula (Meszaros, 1981).

Aerosol adalah inti kondensasi untuk pembentukan awan sehingga berukuran besar dan turun sebagai hujan. Tanpa adanya inti kondensasi di atmosfer, butir air hujan akan sulit

terbentuk di dalam awan. C. R. Wilson dalam Pawitan (1989) melakukan pengamatan melalui percobaannya dengan menggunakan kotak model seperti awan. Hasilnya, Wilson telah membuktikan bahwa debu-debu halus berperan penting dalam pembentukan butiran awan atau es. Sarah debu ini selanjutnya disebut dengan inti pengembunan (inti kondensasi).

Sumber aerosol dan komposisinya secara global adalah debu sebagai hasil dari hembusan angin sebesar 20%, garam dari air laut yang terpercik bersama gelombang laut sebanyak 40%, abu sebagai hasil dari kebakaran hutan 10%, dan sisanya berasal dari partikel asap sebagai hasil dari kegiatan industri 5% (Rogers, 1979 dalam Rozari, 1991). Berdasarkan komposisi dan sumber aerosol tersebut, maka laut adalah penyumbang aerosol terbesar.

Potensi kekuatan kedua adalah letak geografis akan mengakibatkan Indonesia mendapatkan radiasi matahari yang melimpah dengan lama penyinaran yang besarnya konstan (12 jam/hari) sepanjang tahun. Intensitas radiasi matahari dan lama penyinaran ini akan memberikan energi panas untuk terjadinya proses penguapan (dari sumber air laut menjadi uap air di atmosfer) dan fotosintesis yang berkelanjutan untuk *phytoplankton* dalam menghasilkan senyawa sulfat jenis DMS.

Potensi kekuatan ketiga adalah Indonesia sebagai *ring of fire* karena tereletak di pertemuan dua rangkaian jalur pegunungan dunia yaitu sirkum Mediterania dan sirkum Pasifik. Sirkum Pasifik di Indonesia terpecah menjadi dua. Sirkum Pasifik yang satu melalui Halmahera dan pulau-pulau di sebelah barat Halmahera. Sementara lainnya melalui jalur dari Sulawesi Utara ke kepulauan Sangihe Talaud terus berlanjut ke Mindanao di Filipina. Sirkum Mediterania melalui Sumatera, Jawa, pulau-pulau di Nusa Tenggara, dan berakhir di Laut Banda. Oleh

karena itu kawasan Indonesia memiliki sekitar 127 gunung berapi aktif (Wikipedia, 2015).

Sebagian besar gunung berapi yang meletus akan melepaskan zat-zat seperti uap air ( $H_2O$ ), gas hidrogen ( $H_2$ ),  $CO_2$ , karbon monooksida ( $CO$ ), sulfur dioksida ( $SO_2$ ), asam sulfida ( $H_2S$ ), asam klorida ( $HCl$ ), dan asam fluorida ( $HF$ ). Berdasarkan zat-zat yang dilepaskan oleh gunung api yang meletus, maka dapat diketahui pada setiap letusan gunung api terdapat katalis berupa aerosol sulfat ( $SO_2$ ,  $H_2S$ ) dan  $CO$  serta uap air sebagai bahan baku terjadinya hujan. Letusan gunung El Chichon (Mexico, 1982) atau gunung Pinatubo (Filipina, 1991) mengakibatkan efek pendinginan pada bumi selama beberapa tahun karena banyaknya aerosol sulfat yang terekspos ke atmosfer. Perbedaan antara aerosol yang dilepaskan oleh laut dengan gunung api adalah berdasarkan waktu pelepasan, jenis senyawa sulfat yang dilepaskan, dan dampaknya. Aerosol yang dilepaskan oleh laut adalah kontinyu dari jenis DMS dan berpengaruh pada iklim, sedangkan aerosol dari gunung api bersifat temporer (sewaktu-waktu) ketika terdapat kejadian gunung meletus, jenisnya adalah  $H_2S$  dan  $SO_2$ , serta pengaruhnya pada variabilitas cuaca. Baik aerosol dari laut dan gunung api, keduanya sebagai inti kondensasi yang mempercepat pembentukan awan-awan hujan.

### 3 ASPEK FISIKA DAN KIMIA CURAH HUJAN DALAM MENGURANGI EMISI $CH_4$

Curah hujan yang jatuh di permukaan memiliki tiga aspek yaitu fisika, kimia, dan biologi. Aspek fisika dari curah hujan mencakup tinggi hujan (jeluk hujan), lama hujan, suhu air hujan, intensitas hujan, ukuran butir hujan, dan energi kinetik air hujan.

Aspek kimia dari curah hujan adalah bahwa air hujan mengandung unsur-unsur atau senyawa kimia yang

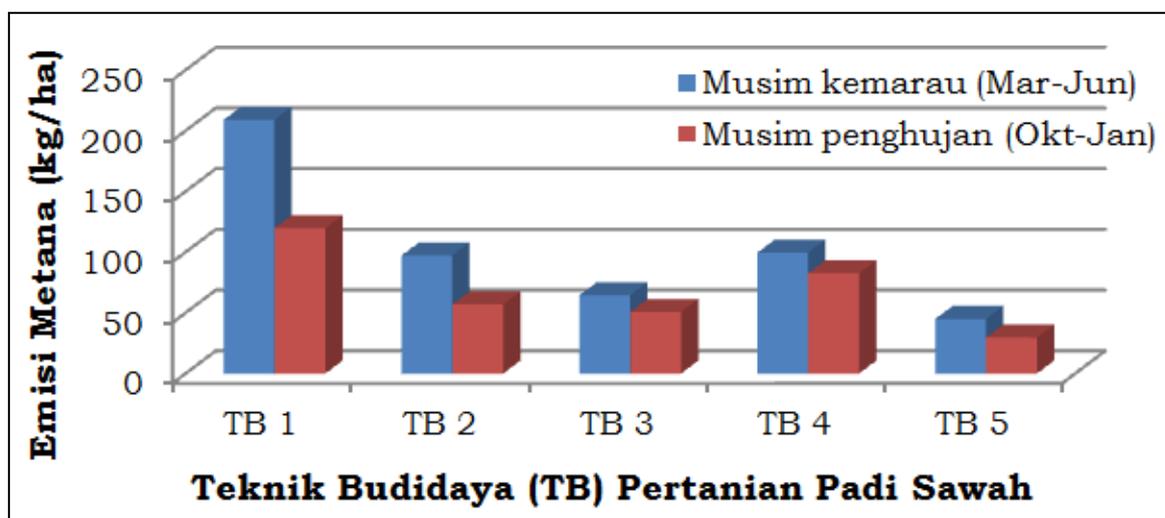
akan terlarut bersama air hujan yang jatuh ke permukaan. Unsur-unsur atau senyawa kimia ini berasal dari komposisi alami atmosfer sendiri dan yang dihasilkan dari kegiatan manusia maupun kegiatan alami di bumi. Atmosfer bumi secara alami mengandung lima komponen kimia terbesar yaitu gas nitrogen ( $N_2$ ) sebesar 78%, oksigen ( $O_2$ ) 21%, uap air ( $H_2O$ ) berkisar antara 0-4% (bergantung dan dipengaruhi oleh musim setempat), argon (Ar) 0,93%, dan  $CO_2$ (0,03 %). Sementara gas neon (Ne), helium (He), metana ( $CH_4$ ), krypton (Kr), nitrous oksida ( $N_2O$ ), hidrogen (H), dan ozon ( $O_3$ ) hanya menempati porsi sangat kecil pada atmosfer bumi (Pawitan, 1989).

Aspek biologi dari curah hujan adalah hujan yang jatuh di permukaan juga membawa mikro organisme. Air hujan yang pertama kali turun setelah beberapa lama tidak turun hujan akan banyak membawa mikro organisme (bakteri) dan senyawa kimia terlarut yang bersifat *pathogen* (membahayakan tubuh).

Berdasarkan analisis pembentukan  $CH_4$ , aspek biologi dari curah hujan tidak terlibat dalam pembentukan  $CH_4$ . Hal ini disebabkan bakteri penghasil  $CH_4$  adalah bakteri metanogenik yang hanya dapat hidup dalam kondisi tergenang dalam air dengan persyaratan

media tumbuh pH berkisar antara 6-8, *anaerob* (tanpa adanya oksigen), terdapat bahan organik, dan suhu 30-40°C. Berdasarkan persyaratan tersebut, tidak mungkin jika bakteri metanogenik sebagai penghasil  $CH_4$  di atmosfer. Hal ini disebabkan suhu dalam awan yang sangat rendah yang tidak memungkinkan bakteri jenis metanogenik dapat hidup. Jadi  $CH_4$  yang terdapat dalam atmosfer bumi berasal dari sumber alami di bumi (lahan basah 72%, rayap 13%, laut 6%, dan lainnya 9%) dan kegiatan antropogenik (pertanian padi sawah 16%, peternakan hewan besar 23%, gas alam 26%, pembakaran biomassa 11%, dan limbah 24%) (IPCC, 1995).

Setyanto dan Suharsih (2005) menyatakan bahwa emisi  $CH_4$  dipengaruhi oleh turunnya hujan, tetapi keduanya tidak menjelaskan bagaimana mekanisme dari curah hujan dalam menurunkan emisi  $CH_4$ . Oleh karena itu melalui tulisan ini dan berdasarkan penelitian sebelumnya Suharsih *et al.* (1999) dan Suharsih *et al.* (2000) akan menjelaskan bagaimana mekanisme dari curah hujan dalam menurunkan emisi  $CH_4$ . Gambar 3-1 akan menyajikan emisi  $CH_4$  dari pertanian padi sawah pada beberapa teknik budidaya saat musim penghujan dan musim kemarau untuk lokasi Pati.



Gambar 3-1: Emisi  $CH_4$  pada dua musim (Sumber: Suharsih *et al.* (1999), Suharsih *et al.* (2000))

Berdasarkan Gambar 3-1, dapat diketahui bahwa emisi  $\text{CH}_4$  pada musim hujan lebih kecil daripada musim kemarau. Hal ini tampak tidak saja pada satu teknik budidaya padi, tetapi untuk kelima teknik budidaya padi. Besarnya emisi  $\text{CH}_4$  pada musim penghujan lebih kecil daripada musim kemarau. Hal ini menunjukkan bahwa hujan atau musim hujan berpotensi menurunkan emisi  $\text{CH}_4$ . Mengapa kondisi ini dapat terjadi akan dijelaskan oleh Gambar 3-2 yang menyajikan mekanisme curah hujan dalam mempengaruhi (menurunkan) emisi  $\text{CH}_4$ .

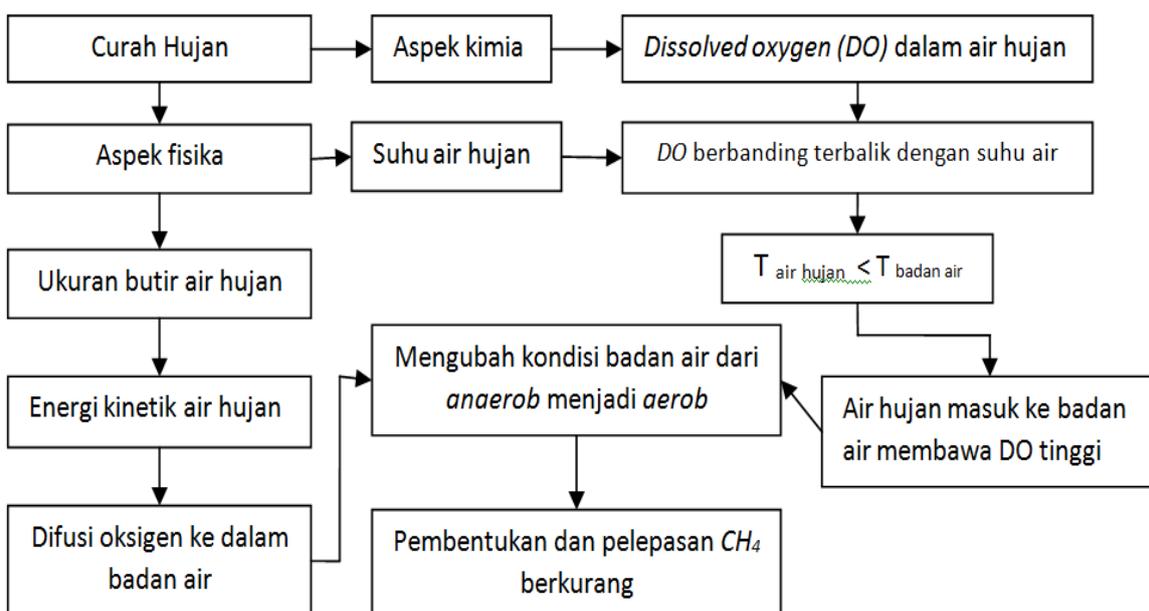
Berdasarkan Gambar 3-2 dapat dijelaskan bahwa aspek fisika dari curah hujan yang berpengaruh pada emisi  $\text{CH}_4$  adalah ukuran butir air hujan, energi kinetik dari air hujan, dan suhu air hujan. Air hujan yang jatuh di permukaan badan air tergenang dengan energi kinetiknya akan membuat seperti pori kecil pada permukaan badan air. Pori kecil ini sebanding dengan diameter butir hujan yang jatuh di permukaan. Melalui pori kecil ini gas oksigen ( $\text{O}_2$ ) akan berdifusi ke dalam badan air dan air hujan akan masuk juga ke dalam

badan air tersebut. Air hujan yang masuk ke dalam badan air juga membawa oksigen terlarut.

Oksigen terlarut dalam air dapat berasal dari difusi oksigen dari atmosfer ke badan air, air hujan yang masuk ke dalam badan air, hasil fotosintesis tumbuhan air, dan air sungai yang mengalir ke badan air tersebut. Oksigen terlarut dalam badan air ini akan memiliki keterkaitan dengan suhu air hujan.

Difusi oksigen ke dalam badan air akan meningkatkan konsentrasi oksigen terlarut dalam air. Kondisi badan air tergenang yang sebelum hujan turun adalah *anaerob*, maka saat dan setelah hujan turun kondisi badan air tergenang akan menjadi *aerob*. Pada kondisi *aerob*, bakteri metanogen tidak dapat bekerja menghasilkan  $\text{CH}_4$  sehingga emisi  $\text{CH}_4$  berkurang.

Aspek fisik kedua dari curah hujan yang dapat mempengaruhi menurunkan emisi  $\text{CH}_4$  adalah suhu air hujan. Suhu air hujan adalah lebih rendah daripada suhu air normal di permukaan bumi (air tawar pada badan air). Hal ini disebabkan air hujan berasal dari proses kondensasi (pengembunan).



Gambar 3-2: Mekanisme curah hujan dalam menurunkan emisi  $\text{CH}_4$

Tabel 3-1: TEKINAN UDARA, KETINGGIAN, DAN SUHU (T) ATMOSFER BAKU

Tekanan Udara (mb)	Ketinggian (m dpl)	T (°C)
1013,25	0	15
1000	110	14,3
900	990	8,6
800	1950	2,3
700	3010	-4,6
<b>600</b>	<b>4200</b>	<b>-12,3</b>
500	5570	-21,2
400	7180	-31,7
300	9160	-44,5
226,5	11000	-56,6

Sumber: Iribane dan Godson (1973) dalam Pawitan (1989)

Saat (titik) uap air berubah menjadi air disebut dengan titik embun. Besarnya titik embun adalah di bawah 0 °C. Butiran-butiran air akan berkumpul dalam awan. Jika gaya berat awan (*down draft*) lebih besar daripada gaya angkat ke atas (*up draft*) oleh udara, maka butiran titik air dalam awan akan turun sebagai hujan. Tabel 3-1 menyajikan hubungan antara tekanan udara, ketinggian dari permukaan laut, dan suhu.

Berdasarkan Tabel 3-1 dapat diketahui jika pengembunan mulai terjadi pada ketinggian 4200 m, maka suhu air akan mencapai -12,3°C. Ketinggian ketika uap air mulai mengembun (berubah menjadi air) disebut *lifting condensation level* (LCL). Semakin naik ketinggian, maka suhu semakin rendah dan oksigen yang terlarut dalam air hujan akan semakin tinggi. Semakin rendah suhu air hujan, maka semakin tinggi konsentrasi oksigen terlarut dalam air hujan. Pernyataan serupa diungkapkan oleh Odum (1995) yang menyatakan bahwa besarnya oksigen terlarut dalam air berbanding terbalik dengan suhu.

Aspek kimia dari curah hujan yang dapat menurunkan emisi CH<sub>4</sub> adalah adanya oksigen terlarut (*dissolved oxygen*) dalam air hujan. Samiaji *et al.* (2000) dari hasil penelitiannya menyatakan bahwa komposisi kimia dalam air hujan

mencakup SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (ion sulfat), Cl<sup>-</sup> (ion Cl), NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (ion nitrat), CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup> (ion asetat), F<sup>+</sup> (ion fluor), Br<sup>+</sup> (ion brom), HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (ion bikarbonat). Hal ini membuktikan bahwa dalam air hujan juga terdapat oksigen terlarut (O<sub>2</sub>) yang masih terikat dalam bentuk ion. Konsentrasi oksigen terlarut dalam air hujan lebih tinggi daripada konsentrasi oksigen terlarut dalam badan air.

Air hujan yang membawa konsentrasi oksigen terlarut yang relatif tinggi dan jatuh pada badan air tergenang akan dapat mengubah kondisi badan air yang semula *anaerob* menjadi *aerob*. Kondisi badan air yang *aerob* akan menghentikan kerja dari bakteri metanogenik dalam menghasilkan CH<sub>4</sub>. Jadi difusi oksigen ke dalam badan air karena energi kinetik air hujan, suhu air hujan, dan oksigen terlarut dalam air hujan adalah tiga komponen yang dapat mengurangi pembentukan dan pelepasan emisi CH<sub>4</sub>.

#### 4 PENUTUP

Curah hujan berperan secara langsung mengurangi polutan udara berupa SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, dan debu serta gas rumah kaca jenis CO<sub>2</sub> dengan cara mencuci (*wash out*) dan melarutkannya, tetapi curah hujan secara tidak langsung juga berperan mengurangi emisi gas rumah kaca jenis CH<sub>4</sub>. Curah hujan secara tidak langsung mengurangi emisi CH<sub>4</sub> dengan dua cara. Pertama,

butir air hujan dan energi kinetik air hujan adalah tenaga untuk dapat mendifusikan gas oksigen ( $O_2$ ) dari atmosfer ke dalam badan air dan memasukan air hujan yang membawa oksigen terlarut ke dalam badan air. Kedua, suhu air hujan yang lebih rendah membawa konsentrasi oksigen terlarut yang lebih tinggi daripada konsentrasi oksigen dalam badan air. Kedua cara tersebut akan mengubah kondisi badan air tergenang yang semula *anaerob* (tanpa oksigen) menjadi kondisi *aerob* (banyak oksigen). Pada kondisi badan air *aerob*, bakteri metanogenik sebagai penghasil  $CH_4$  tidak dapat bekerja sehingga emisi  $CH_4$  berkurang.

Walaupun curah hujan berperan mengurangi emisi  $CH_4$  secara alami, tetapi bukan berarti tidak diperlukan lagi tindakan mitigasi untuk mengurangi emisi  $CH_4$ . Hal ini mengingat  $CH_4$  adalah gas rumah kaca yang berpotensi besar merusak lapisan ozon dan mengakibatkan pemanasan global. Tindakan mitigasi dan besarnya potensi curah hujan Indonesia dapat disinergikan untuk mengurangi emisi  $CH_4$ . Potensi curah hujan Indonesia dalam menurunkan emisi  $CH_4$  dapat digunakan sebagai bentuk adaptasi dari pola tanam padi sawah dengan melakukan musim tanam pada musim penghujan sehingga dihasilkan emisi  $CH_4$  minimum. Potensi curah hujan Indonesia pun harus diperhitungkan untuk meningkatkan posisi tawar Indonesia dalam perdagangan karbon (*carbon trading*).

### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian di Jakenan Pati, Jawa Tengah atas data emisi  $CH_4$  yang diberikan.

### DAFTAR RUJUKAN

Badan Pusat Statistik, 2012. *Statistik Lingkungan Hidup Indonesia 2012*, BPS, Jakarta.

- Bryant, E., 1997. *Climate Process and Change*, Cambridge University Press, London.
- Budiwati, T, Afif B, Wiwiek S, Asri I, 2010. *Analisis Korelasi Pearson Untuk Unsur-Unsur Kimia Air Hujan Di Bandung*, J. Sains Dirgantara, 7, 100-112.
- Dewan Nasional Perubahan Iklim, 2010. *Kurva Biaya (Cost Curve) Pengurangan Gas Rumah Kaca di Indonesia*, DNPI, Jakarta, 58 halaman.
- Intergovernmental Panel on Climate Change*, 1995, *Climate Change 1994*, 399 pp. Cambridge University Press, Cambridge, U. K.
- Meszaros, E., 1981. *Atmospheric Chemistry Fundamental Aspects*, Elsevier Scinetific Publishing Company, 119-120.
- Odum, E, P, 1995. *Dasar-Dasar Ekologi*, edisi ke tiga, Yogyakarta, UGM Press.
- Pawitan, H., 1989. *Termodinamika Atmosfer*, PAU Ilmu Hayat, IPB Press, Bogor.
- Rozari, M. B., 1991. *Diktat Klimatologi Dasar*, Jurusan Geomet, FMIPA, IPB, Bogor.
- Samiaji, T., Rosalina N., Iis S., 2000. *Keasaman Dan Komposisi Kimia Air Hujan Di Jakarta Tahun 1993-1995*, Majalah Lapan, Vol. 2, No. 2, April 2000, Lapan, Jakarta.
- Setyanto, P., Suharsih, 2005. *Mitigasi Gas Metana dari Lahan Sawah*, Laporan Tahunan Loka Penelitian Tanaman Pangan Jakenan, Pati, Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Sipayung, S. B. dan Risyanto, 2014. *Distribusi Frekuensi Tipe Awan Cumulonimbus (CB) Di Indonesia Dari Pengamatan Satelit MTSAT*, Seminar Nasional Sains Atmosfer Dan Antariksa Tahun 2014, Belum Dipublikasikan.
- Suharsih, P. Setyanto, A. K. Makarim, 1999. *Emisi Gas Metan Dari Lahan Sawah Akibat Pengaturan Air Tanaman Padi*, dalam Risalah Seminar Hasil Penelitian Emisi Gas Rumah Kaca Dan Peningkatan Produktivitas Padi Di Lahan Sawah, Bogor, 24 April 1999, Puslitbang Tanaman Pangan, Balitbang Pertanian, Bogor.

Suharsih, P. Setyanto, A. K. Makarim, 2000.  
*Pengaruh Pengelolaan Air Terhadap Emisi Gas CH<sub>4</sub> Pada Lahan Sawah di Jakenan, Jawa Tengah*, dalam Proseding Seminar Nasional Budi Daya Tanaman Pangan Berwawasan

Lingkungan, Jakenan, 7 Maret 2000, Puslitbang Tanaman Pangan, Balitbang Pertanian, Bogor.

Wikipedia, 2015. Daftar Gunung Berapi Di Indonesia, id. [wikipedia.org/wiki/ Daftar\\_gunung\\_berapi\\_di\\_Indonesia](http://wikipedia.org/wiki/Daftar_gunung_berapi_di_Indonesia).