

# LAPORAN **AKHIR**

PENELITIAN KUALITAS  
LINGKUNGAN KEAIRAN PADA  
BADAN AIR

DSM/IP. 01.01/02.4/La-BLK/2014

PUSLITBANG SUMBER DAYA AIR

**MODEL SISTEM  
PENGURANGAN EMISI GAS RUMAH KACA DARI WADUK  
DAN RAWA GAMBUT**

**OUTPUT KEGIATAN  
PENELITIAN KUALITAS LINGKUNGAN KEAIRAN PADA BADAN AIR**



**DESEMBER, 2014**



**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM  
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN  
PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA AIR**

Jalan Ir. H. Juanda 193, Bandung 40135, Telp. (022) 2501083, 2504053, 2501554, 2500507  
Faks. (022) 2500163 . PO Box 841 . E-mail: pusat@pusair-pu.go.id . Http: //www.pusair-pu.go.id

MODEL SISTEM  
**PENGURANGAN EMISI GAS RUMAH KACA DARI WADUK  
DAN RAWA GAMBUT**

OUTPUT KEGIATAN  
PENELITIAN KUALITAS LINGKUNGAN KEAIRAN PADA BADAN AIR



**DESEMBER, 2014**



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM  
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN  
**PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA AIR**

Jalan Ir. H. Juanda 193 Bandung 40135 . Telp.: (022) 2501083, 250 4035, 2501554, 250 0507;  
Fax.: 022 - 250 0163 . PO Box 841 . E-mail: pusat@pusair-pu.go.id . Http: //www.pusair-pu.go.id



## SAMBUTAN MENTERI PEKERJAAN UMUM



Diiringi dengan rasa syukur kehadiran Allah SWT, saya menyambut baik atas disusunnya *output Model Sistem Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari Waduk dan Rawa*. Buku ini menguraikan berbagai masalah yang berkaitan dengan pengurangan emisi GRK, khususnya emisi gas metana dari waduk dan gas karbon dioksida dari daerah rawa gambut. Model sistem ini sangat bermanfaat bagi siapa saja yang berkepentingan terhadap penelitian emisi Gas Rumah Kaca dari waduk dan rawa, antara lain bagi para pemangku kepentingan, masyarakat luas, khususnya bagi para peneliti di Pusat Litbang Sumber Daya Air.

Saya berharap kiranya *output* model sistem ini dapat dijadikan sebagai acuan dalam rangka pelaksanaan penelitian emisi Gas Rumah Kaca dari waduk dan rawa, sehingga diharapkan dapat menghasilkan data emisi gas metan yang representatif dan dapat dipertanggungjawabkan.

Jakarta, Desember 2014  
Menteri Pekerjaan Umum

Dr. Ir. M. Basuki Hadimuljono, M.Sc



## SAMBUTAN KEPALA BADAN LITBANG



Berkat Rahmat Tuhan Yang Maha Esa dan kerja keras para Peneliti Balai Lingkungan Keairan - Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, telah diselesaikannya penyusunan *output Model Sistem Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari Waduk dan Rawa*. *Output* model sistem ini sangat bermanfaat terutama bagi pemangku kepentingan dan masyarakat luas yang berkepentingan dalam hal penelitian emisi Gas Rumah Kaca dari waduk dan rawa.

Kepada Peneliti Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, kami sampaikan ucapan terima kasih atas upaya penelitian ini, sehingga model sistem ini dapat dijadikan acuan yang dapat dimanfaatkan secara luas.

Jakarta, Desember 2014  
Badan Litbang Pekerjaan Umum

Ir. Waskito Pandu, M.Sc  
NIP :19560113 198503 1 001

## KATA PENGANTAR

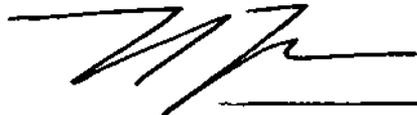
Pemanasan global yang telah banyak menimbulkan kerugian lingkungan antara lain disebabkan karena bertambahnya kadar Gas Rumah Kaca (GRK) di atmosfer. Oleh karena itu dalam rangka menjaga kelestarian lingkungan maka perlu dilakukan pengurangan emisi GRK dari berbagai sumber, termasuk dari waduk dan daerah rawa gambut.

Model Sistem Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca dari Waduk dan Rawa ini merupakan salah satu output dari kegiatan penelitian yang telah dilakukan oleh Balai Lingkungan Keairan tahun 2014 yang berjudul **Penelitian Kualitas Lingkungan Keairan Pada Badan Air**.

Buku ini menguraikan berbagai masalah yang berkaitan dengan emisi Gas Rumah Kaca, khususnya emisi gas metana dari waduk dan daerah rawa gambut serta model sistem untuk mengurangi emisi Gas Rumah Kaca tersebut. Tulisan ini disusun berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh para peneliti Pusat Litbang Sumber Daya Air serta tinjauan dari berbagai literatur.

Pada kesempatan ini, kami menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu selama penelitian dan penyusunan buku ini. Kami berharap semoga buku ini bermanfaat bagi banyak pihak.

Bandung, Desember 2014  
Kepala Pusat Litbang Sumber daya Air,



Dr. Ir. Suprpto, M. Eng

NIP.19570507 198301 1 001

W:

## **TIM PENYUSUN**

Drs. Tontowi, M. Sc  
Dra. Armaita Sutriati  
Yayu Sofia, S. Si

## **RINGKASAN**

Pemanasan global telah banyak menimbulkan dampak yang kurang baik bagi lingkungan kehidupan manusia. Pemanasan global terutama disebabkan oleh meningkatnya kadar gas rumah kaca (GRK) di atmosfer, seperti gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan gas metana ( $\text{CH}_4$ ). Gas rumah kaca dapat berasal dari berbagai sumber, baik sumber alamiah maupun sumber lain akibat kegiatan manusia. Dalam rangka pelestarian lingkungan maka perlu upaya untuk mengurangi emisi GRK dari sumbernya, seperti dari waduk maupun dari rawa gambut.

Upaya untuk mengurangi emisi GRK dari waduk dapat dilakukan dengan berbagai cara misalnya: melakukan pembersihan tanaman dan tumbuhan pada lahan bakal waduk, pembersihan tanaman dan tumbuhan liar di pinggir waduk serta menjaga kualitas air waduk tetap baik. Pada daerah rawa gambut usaha untuk mengurangi emisi GRK dapat dilakukan dengan menaikkan paras muka air tanah di daerah tersebut.

## DAFTAR ISI

	halaman
Sambutan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat .....	i
Sambutan Kepala Badan Litbang.....	ii
Kata Pengantar .....	iii
Tim Penyusun.....	iv
Ringkasan .....	v
Daftar Isi .....	Vi
Daftar Gambar.....	vii
Daftar Tabel .....	viii
Daftar Istilah.....	ix
Daftar Singkatan.....	x
<b>BAB 1: PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
<b>BAB 2: KAJIAN LITERATUR.....</b>	<b>2</b>
2.1 Gas Rumah Kaca Dan Pemanasan Global.....	2
2.2 Sifat Gas Metana Dan Sumbernya.....	4
2.3 Emisi Gas Metana Dari Waduk.....	5
2.4 Emisi Gas Karbon Dioksida Pada Rawa Gambut .....	7
<b>BAB 3: PENGUKURAN EMISI GAS RUMAH KACA DAN PERCOBAAN DI LABORATORIUM.....</b>	<b>8</b>
3.1 Cara Pengukuran Emisi GRK.....	8
3.2 Pengukuran Emisi GRK di Lapangan.....	10
3.3 Percobaan di Laboratorium.....	17
<b>BAB 4: DESAIN MODEL SISTEM PENGURANGAN EMISI GAS RUMAH KACA DARI WADUK DAN RAWA GAMBUT.....</b>	<b>18</b>
4.1 Desain Model Sistem Pengurangan Emisi GRK.....	18
4.2 Pengurangan Emisi GRK pada Waduk.....	18
4.3 Pengurangan GRK pada Rawa Gambut.....	21
<b>BAB 5: PENUTUP.....</b>	<b>22</b>
Daftar pustaka .....	23
Lampiran .....	

## DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 1: Ilustrasi Efek GRK yang Menyebabkan Pemanasan Global.....	3
Gambar 2: Proses Pengukuran Emisi GRK dengan Alat Gas Chromatograf.....	9
Gambar 3: Foto Alat Fluxmeter.....	9
Gambar 4. Skema Lokasi Pengukuran Emisi GRK di Daerah Rawa Gambut Sei.Ahas.....	16
Gambar 5: Foto Percobaan untuk Mengetahui Potensi Emisi Gas Metana dari Penguraian Biomasa.....	17
Gambar 6: Desain Model Sistem Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca dari Waduk dan Rawa Gambut.....	18
Gambar 7: <i>Canal Blocking</i> yang di Bangun di Saluran Rawa.....	21

## DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 1: Hasil Pengukuran Emisi Gas Metana di Waduk Pacal (Mei 2014).....	10
Tabel 2: Hasil Pengukuran Emisi Gas Metana di Waduk Pacal (September 2014) .....	10
Tabel 3: Hasil Pengukuran Emisi Gas Metana di Waduk Saguling.....	11
Tabel 4: Hasil Pengukuran Emisi Gas Metana di Waduk Cirata.....	12
Tabel 5: Hasil Pengukuran Emisi Gas Metana di Waduk Jatiluhur.....	13
Tabel 6: Hasil Pengukuran Emisi Gas Metana di Waduk Kedungombo.....	13
Tabel 7: Hasil Pengukuran Emisi Gas Metana di Waduk Gajahmungkur.....	14
Tabel 8: Hasil Pengukuran Emisi Gas Metana di Waduk Riam Kanan.....	15
Tabel 9: Hasil Pengukuran Emisi Karbon di Sekitar Bendung 1.....	16
Tabel 10: Hasil Pengukuran Emisi Karbon di Sekitar Bendung 2.....	16

## **DAFTAR ISTILAH**

Anaerob	Kekurangan oksigen.
<i>Scientific Errors</i>	Kesalahan ilmiah.
Fluxmeter	Alat untuk mengukur emisi Gas Rumah Kaca.

## DAFTAR SINGKATAN

GWP	<i>Global Warming Potensial</i>
GRK	Gas Rumah Kaca
IPCC	<i>Intergovernmental Panel On Climate Change</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IPAL	Instalasi Pengolah Air Limbah
COD	<i>Chemical Oxygen Demand</i>
SRI	<i>System Of Rice Intensification</i>

## BAB 1 PENDAHULUAN

Pemanasan global merupakan masalah yang sangat penting yang harus ditangani karena telah berdampak negatif terhadap kehidupan manusia, seperti terjadinya perubahan iklim yang sangat ekstrim di bumi, terganggunya hutan dan ekosistem, serta kenaikan permukaan air laut. Pemanasan global terjadi terutama disebabkan karena bertambahnya kadar gas rumah kaca (GRK) di atmosfer. GRK terdiri dari berbagai macam jenis gas, antara lain: metana ( $\text{CH}_4$ ), karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), nitrogen oksida ( $\text{N}_2\text{O}$ ), dan gas-gas industri yang mengandung fluor hidrofluorocarbons (HFC), perfluorocarbons (PFC) dan sulfur hexafluoride ( $\text{SF}_6$ ).

Dari berbagai jenis GRK tersebut, gas metana perlu mendapat perhatian yang serius karena gas ini mempunyai nilai *Global Warming Potensial* (GWP) 21, artinya setiap satuan berat gas metana berpotensi memanaskan bumi 21 kali lebih besar dari satuan berat gas karbon dioksida (IPCC, 2006). Selain menimbulkan efek pemanasan yang lebih besar, gas metana juga tidak dapat terserap oleh klorofil tumbuh-tumbuhan sehingga lebih stabil di atmosfer dibanding gas karbon dioksida yang dapat terserap oleh tumbuhan melalui proses fotosintesa.

Sumber gas metana dapat bersifat alamiah seperti yang teremisi dari rawa dan daerah geothermal. Gas metana juga berasal dari aktifitas manusia seperti usaha peternakan, pertanian, penambangan dan pemakaian bahan bakar. Secara global, usaha peternakan merupakan sumber gas metana terbesar yang bersumber dari kegiatan manusia.

Selain dari sumber-sumber tersebut, terdapat anggapan juga bahwa waduk di negara tropis merupakan sumber metana yang cukup besar dan merupakan penyebab pemanasan global yang potensial. Anggapan ini masih kontroversial dan menimbulkan banyak perdebatan. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Pusat Litbang Sumber Daya Air tahun 2012, untuk seluruh Indonesia ternyata waduk bukan merupakan sumber emisi gas metana yang potensial. Bahkan secara umum jumlahnya relatif sedikit dibandingkan dengan sumber-sumber lainnya seperti rawa, tanaman padi ataupun dari sektor persampahan. Meskipun waduk bukan merupakan sumber utama emisi gas metana, tetapi dalam usaha menaggulangi pemanasan global dan juga perubahan iklim, maka perlu dilakukan upaya agar gas metana yang teremisi dari waduk ke atmosfer dapat dikurangi.

Tujuan dari model sistem ini adalah mengurangi emisi GRK khususnya gas metana dari waduk dan gas karbon dioksida dari daerah rawa gambut. Pengurangan ini dilakukan dengan mengurangi biomasa yang akan terendam dan memperbaiki kualitas air waduk, sedangkan untuk daerah rawa gambut dilakukan dengan menaikkan paras muka air tanah.

Manfaat dari pengurangan GRK dari waduk dan rawa gambut ini adalah agar pemanasan global dapat dikendalikan sehingga dampak negatifnya terhadap lingkungan dapat dikurangi. Ruang lingkup model sistem ini adalah pengurangan emisi gas metana pada waduk dan pengurangan emisi gas karbon dioksida pada daerah rawa gambut.

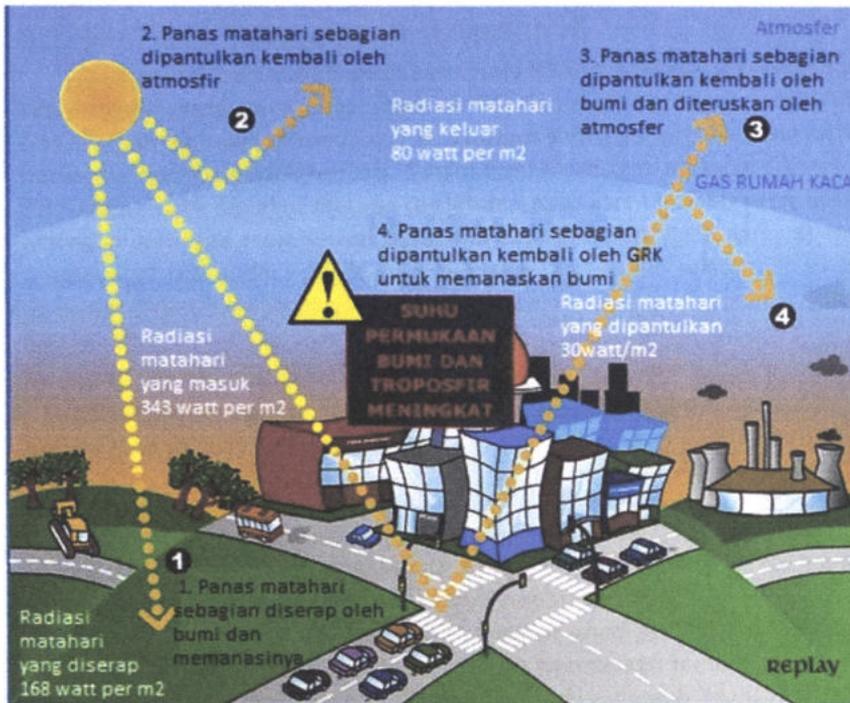
## **BAB 2**

### **KAJIAN LITERATUR**

#### **2.1 GAS RUMAH KACA DAN PEMANASAN GLOBAL**

Gas Rumah Kaca (GRK) adalah gas yang terkandung dalam atmosfer baik alami maupun antropogenik, yang menyerap dan memancarkan kembali radiasi inframerah. Para pakar lingkungan berpendapat bahwa meningkatnya kadar GRK ini merupakan penyebab utama terjadinya gejala pemanasan global di planet bumi ini.

Mengapa gas tersebut dikenal sebagai gas rumah kaca (GRK)? Hal ini disebabkan karena terdapatnya gas ini di atmosfer akan memberi efek kenaikan temperatur mirip seperti efek dalam rumah kaca, ruangan khusus yang terbuat dari kaca yang biasanya dipergunakan dalam usaha budidaya tanaman. Pada rumah kaca, atap atau dinding dari rumah kaca tersebut dapat dilewati cahaya matahari yang mempunyai gelombang panjang, dan selanjutnya cahaya matahari tersebut masuk ke dalam rumah kaca. Oleh permukaan tanah cahaya matahari tersebut dipantulkan kembali dalam bentuk sinar infra merah yang panas. Sinar infra merah yang panas ini tidak dapat menembus atap atau dinding kaca sehingga menaikkan temperatur di dalam ruangan rumah kaca tersebut. Keadaan yang sama terjadi di atmosfer bumi. Cahaya matahari yang dipancarkan ke bumi sebagian diserap oleh permukaan bumi dan sebagian dipantulkan kembali dalam bentuk sinar infra merah yang panas. Pada kondisi normal sinar infra merah yang panas ini sebagian besar akan kembali ke luar angkasa. Namun, meningkatnya kadar GRK di atmosfer telah menghalangi terlepasnya sinar panas dari bumi tersebut ke luar angkasa, yang kemudian dipantulkan kembali sehingga menaikkan temperatur di atmosfer dan terjadilah pemanasan global (Gambar 1).



Sumber: <http://zeithmind.blogspot.com/2010/07/efek-rumah-kaca.html>

Gambar 1: Ilustrasi Efek GRK yang menyebabkan pemanasan global

Gas rumah kaca atau GRK terdiri dari berbagai macam gas yang semuanya dapat meningkatkan temperatur atmosfer bumi. Protokol Kyoto menargetkan enam jenis GRK yaitu karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>), nitrogen oksida (N<sub>2</sub>O), dan tiga jenis gas industri yaitu yang mengandung fluor hydrofluorocarbons (HFC), perfluorocarbons (PFC) dan sulfur hexafluoride (SF<sub>6</sub>) (United Nation, 1997). Dari keenam jenis GRK tersebut, gas metana merupakan gas yang cukup menarik untuk diteliti, terutama bagi negara agraris dan tropis seperti Indonesia. Hal ini disebabkan karena gas metana dapat terbentuk secara alamiah misalnya pada daerah lahan basah atau *wetland* seperti daerah rawa, waduk serta sawah pertanian, yang banyak terdapat di Indonesia.

Dibandingkan dengan gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), gas metana dapat menimbulkan pemanasan global yang lebih besar. Gas metana mempunyai nilai *Global Warming Potensial* (GWP) 21 artinya, setiap molekul metana berpotensi memanaskan bumi 21 kali lipat dari molekul karbon dioksida. Ini adalah perhitungan dengan batasan jangka waktu 100 tahun (IPCC, 2006). Selain menimbulkan efek pemanasan yang lebih besar, gas metana juga tidak dapat terserap oleh klorofil dari tumbuh-tumbuhan sehingga lebih stabil di atmosfer dibanding gas karbon dioksida yang dapat terserap oleh tanaman atau hutan melalui proses fotosintesa. Gas-gas lain seperti N<sub>2</sub>O, HFC, PFC dan SF<sub>6</sub> meskipun mempunyai nilai GWP yang cukup besar, tetapi kadarnya sangat sedikit di atmosfer sehingga relatif tidak menyimpan potensi besar untuk menimbulkan efek pemanasan global. Gas-gas ini umumnya dihasilkan oleh proses industri.

## 2.2 SIFAT GAS METANA DAN SUMBERNYA

Gas metana merupakan salah satu jenis GRK yang penting karena mempunyai nilai Global Warming Potensial yang tinggi (sebesar 21) dan tidak dapat terserap oleh tumbuh-tumbuhan. Gas metana merupakan senyawa hidrokarbon paling sederhana yang berbentuk gas yang tidak berwarna dan juga tidak berbau. Dalam ilmu kimia, gas metana dikenal dengan rumus kimia  $CH_4$  artinya satu molekul metana terdiri dari satu atom karbon yang berikatan dengan 4 atom hidrogen sehingga mempunyai berat molekul 16. Sifat fisika dari gas metana ini antara lain mempunyai titik didih  $-161^{\circ}C$  dan kelarutan dalam air sekitar 28-30 mg/L pada tekanan 1 atmosfer (West Virginia Department of Health and Human Resources, 2006).

### Sumber Gas Metana (US- EPA, 2010)

Secara umum sumber gas metana dapat dibagi menjadi 2 golongan yaitu: sumber alamiah dan sumber akibat kegiatan manusia.

#### Sumber alamiah

Jumlah emisi gas metana ke atmosfer yang berasal dari sumber alamiah pada saat ini mencapai 208 juta ton per tahunnya. Sumber alamiah tersebut antara lain berasal dari lahan basah, emisi geologis, danau dan tumbuh-tumbuhan.

Lahan basah (*wetland*) merupakan sumber emisi gas metana alamiah terbesar. Luas lahan basah meliputi sekitar 5 persen dari seluruh permukaan bumi, terdiri dari daerah-daerah yang drainasenya tidak baik seperti daerah rawa dan daerah tropis lainnya yang banyak curah hujannya.

Emisi geologis merupakan emisi gas metana yang keluar secara alamiah dari permukaan bumi. Emisi gas metana dari permukaan bumi ini kadang-kadang keluar melalui "*macroseepage*" dimana gas keluar dalam jumlah yang relatif besar di suatu lokasi. Gas metana dapat juga keluar dari perut bumi melalui gunung-gunung berapi yang masih aktif atau di daerah geothermal. Lokasi keluarnya gas metana dari perut bumi ini dapat pula terjadi di daratan atau di laut di bawah permukaan air.

Danau merupakan suatu badan air yang terbentuk secara alamiah dan dibedakan dengan waduk yang dianggap buatan manusia. Dalam pembahasan tentang sumber gas rumah kaca, waduk tidak dimasukkan dalam kelompok sumber alamiah melainkan kelompok yang diakibatkan oleh kegiatan manusia (*anthropogenic*). Gas metana pada danau terbentuk di dasar danau akibat aktifitas mikroorganisme *methanogens* dalam kondisi anaerobik (kekurangan oksigen).

Tumbuh-tumbuhan sudah lama diketahui dapat berfungsi sebagai media transportasi gas metana dari tanah atau sedimen dasar ke atmosfer. Penelitian terbaru menyimpulkan bahwa tumbuh-tumbuhan itu sendiri juga dapat menghasilkan gas metana. Pada tahun 2006 dilaporkan bahwa tumbuh-tumbuhan mengeluarkan gas gas metana melalui proses yang masih belum jelas pada kondisi kekurangan oksigen. Perkiraan besarnya emisi gas metana dari tumbuh-tumbuhan masih sulit diprediksi, diperkirakan berkisar antara 20 sampai 60 juta ton per tahunnya. Peneliti lain memperkirakan metana yang berasal dari tumbuh-tumbuhan ini mencapai sepertiga dari seluruh gas metana yang dihasilkan secara alamiah. Jika pendapat yang terakhir ini benar, maka perkiraan jumlah emisi gas metana yang berasal dari lahan basah selama ini dianggap terlalu besar (Keppler F, et al .2006).

## Sumber Akibat Kegiatan Manusia

Jumlah emisi gas metana yang berasal dari kegiatan manusia diperkirakan lebih banyak dibandingkan dengan yang berasal dari alamiah. Jumlah emisi gas metana yang berasal dari kegiatan manusia ini diperkirakan mencapai 320 juta ton per tahunnya, dibandingkan dengan 208 juta ton pertahunnya dari sumber alamiah. Menurut Badan Perlindungan Lingkungan Amerika Serikat, sumber gas metana yang diakibatkan oleh kegiatan manusia terutama berasal dari kegiatan penambangan dan pemakaian bahan bakar, kegiatan peternakan serta tempat pembuangan sampah.

Gas metana selalu dijumpai pada lokasi-lokasi penambangan bahan bakar fosil. Gas metana ini akan keluar apabila bahan bakar fosil, baik batubara, minyak ataupun berupa gas ditambang dari perut bumi. Selain pada saat proses penambangan, gas metana juga teremis ke atmosfer pada saat pemrosesan, transportasi, dan pemakaian bahan bakar fosil.

Secara global, usaha peternakan merupakan sumber gas metana terbesar yang bersumber dari kegiatan manusia, sedangkan di Amerika merupakan sumber terbesar ketiga. Sebenarnya dengan manajemen yang baik emisi gas metana ke atmosfer dari usaha peternakan ini dapat dikurangi dan bahkan gas metana yang dihasilkan dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar.

Tempat pembuangan sampah merupakan tempat terdapatnya bahan organik dalam jumlah yang cukup besar. Oleh karena sampah yang dibuang ke lokasi pembuangan tersebut terus menumpuk maka terjadilah tumpukan sampah yang makin lama makin tinggi. Tumpukan sampah yang mengandung bahan organik di lapisan bawah akhirnya mengalami keadaan kekurangan oksigen (*anaerobik*) dan terjadilah proses dekomposisi yang menghasilkan gas metana.

## 2.3 EMISI GAS METANA DARI WADUK

### Emisi Gas Metana dari Waduk yang Masih Kontroversial

Pada tahun-tahun terakhir ini ada anggapan bahwa waduk di negara-negara tropis merupakan sumber metana yang cukup besar dan merupakan penyebab pemanasan global yang potensial. Namun, anggapan ini masih bersifat kontroversial dan menimbulkan banyak perdebatan. Sebagian peneliti menyatakan bahwa waduk dan bendungan merupakan sumber gas metana yang cukup besar dan berpotensi menimbulkan pemanasan global. Namun sebagian peneliti lainnya kurang setuju dengan pendapat tersebut dan menganggap pernyataan tersebut suatu kesalahan dan hanya berdasarkan asumsi- asumsi yang belum tentu benar.

Philip Fearnside, peneliti lain dari *National Institute for Research* di Amazon berpendapat bahwa apabila gas-gas yang teremis dari hidropower yang besar di Brasil diperhitungkan, maka bendungan dan waduk tersebut merupakan penyebab pemanasan global yang lebih besar dibandingkan pembakaran bahan bakar fosil untuk menghasilkan energi yang sama.

Pendapat Philip Fearnside tersebut ditentang oleh Luis Pinguelli Rosa dari *Federal University of Rio de Janeiro* yang menyatakan bahwa telah terjadi "kesalahan ilmiah" (*scientific errors*). Peneliti ini mengatakan bahwa perhitungan yang dilakukan oleh Fearnside berdasarkan data dari bendungan Petit Saut di Guyana yang baru dibangun sehingga emisi metananya pada tingkatan yang paling tinggi.

Manager dari *Hydropower Research-The Electric Power Research Institute* di Washington, Doug Dixon mengatakan bahwa masalah emisi gas rumah kaca dari waduk ini memang masih merupakan hal yang kontroversi, dimana terdapat peneliti-peneliti dari kedua pihak yang saling bertentangan. Karena masih bersifat kontroversi ini maka Danny Cullenward dan David Victor peneliti dari Stanford University menghimbau dilakukannya penelitian tentang masalah ini.

Dalam Konferensi Perubahan Iklim yang diselenggarakan oleh Perserikatan Bangsa Bangsa di Kenya tahun 2006, Patrick McCully, direktur eksekutif dari *International Rivers Network* yang berbasis di Berkeley, California mengusulkan agar *The Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) melakukan penelitian tentang emisi gas metana dari waduk dan bendungan di berbagai negara. (International Rivers. 2007; MED India, 2007; Fearnside, 2007; Lima, I,B, et al. 2008).

Mengingat hal tersebut di atas, Indonesia yang merupakan negara tropis dan mempunyai banyak waduk serta bendungan sudah seharusnya melakukan pemantauan emisi gas metana yang ditimbulkan oleh waduk dan bendungan sehingga dapat memberikan sumbangan input dan data untuk menyelesaikan permasalahan tersebut.

### **Proses Pembentukan Gas Metana pada Waduk**

Waduk merupakan tampungan air yang sangat besar yang dibangun untuk berbagai tujuan misalnya mengurangi banjir, suplai air irigasi, sarana rekreasi dan juga pembangkit tenaga listrik. Air pada waduk tersebut telah menggenangi kawasan lahan yang cukup luas, dimana terdapat hutan, sawah dan ladang yang merupakan sumber bahan-bahan organik. Bahan organik yang terendam di dasar bendungan ini dalam kondisi kekurangan oksigen (*anaerob*) dan dengan bantuan mikroorganisme *methanogens* akan membusuk dan terurai menghasilkan gas metana (EAWAG, 2010). Gas metana yang terbentuk mula-mula akan larut di dalam air. Apabila gas metana yang terbentuk cukup besar, maka gas metana yang terlarut akan melewati batas kejenuhannya sehingga akan teremisi ke udara.

Pembentukan gas metana pada waduk dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain: kondisi lahan sebelum diairi, kondisi kualitas air waduknya dan juga kondisi fisik waduknya sendiri. Apabila lahan bakal waduk sebelum diairi mengandung banyak bahan-bahan organik baik di dalam tanahnya maupun di atas tanahnya yang berupa tanam-tanaman, maka potensi terbentuknya gas metana akan lebih besar jika dibandingkan lahan yang sedikit mengandung bahan-bahan organik. Demikian pula kondisi kualitas airnya. Kualitas air yang jelek biasanya mengandung banyak bahan organik dan kadar oksigennya kecil, suatu keadaan yang sangat memungkinkan terbentuknya gas metana.

Keadaan fisik waduk juga mempengaruhi emisi gas metana ke udara. Waduk yang dalam, kondisi air di dasarnya umumnya kekurangan oksigen sehingga kemungkinan terjadinya gas metana sangat besar. Sebaliknya pada waduk yang dangkal, apalagi jika kualitas airnya cukup baik, maka kondisi air di dasar waduk tidak anaerob (masih mengandung oksigen) sehingga kemungkinan terbentuknya gas metana menjadi kecil.

### **Sumber Gas Metana pada Waduk**

Pada waduk terdapat 2 (dua) sumber utama emisi gas metana yaitu pada air waduk dan dasar waduk.

Air waduk berpotensi menghasilkan emisi gas metana karena air waduk selain mengandung unsur-unsur anorganik, juga mengandung bahan organik yang merupakan bahan pembentuk gas metana. Bahan organik dalam air waduk dapat berasal dari limbah yang masuk ke dalam waduk atau dapat berasal dari proses pembusukan tanaman, bangkai binatang dan bahan organik lainnya yang terdapat di dalam waduk. Apabila kondisi air waduk sangat buruk sehingga tidak ada lagi oksigen di dalamnya, maka akan terjadi proses penguraian bahan organik secara anaerobic yang menghasilkan gas metana.

Selain dari air waduk, potensi terjadinya gas metana pada waduk terjadi pada dasar

waduknya. Potensi terjadinya gas metana dari dasar waduk ini lebih besar dibandingkan dengan potensi dari air waduknya. Hal ini disebabkan karena pada dasar waduk terdapat bahan organik yang lebih banyak dibanding dalam airnya. Bahan organik pada dasar waduk berasal dari tanaman dan tumbuhan yang terendam air pada saat penggenangan waduk. Kadar oksigen di dasar waduk juga lebih sedikit dibanding di atasnya sehingga kemungkinan terjadinya gas metana menjadi besar.

#### **Peraturan Presiden Nomor 61 Tahun 2011.**

Peraturan Presiden Nomor 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca merupakan peraturan yang mengatur rencana kerja secara nasional maupun daerah untuk pelaksanaan berbagai kegiatan yang secara langsung dan tidak langsung menurunkan emisi gas rumah kaca sesuai dengan target pembangunan nasional dan daerah.

Dalam Lampiran Peraturan Presiden tersebut disebutkan kegiatan pendukung rencana aksi nasional penurunan emisi gas rumah kaca tersebut serta penanggungjawabnya yang ditugaskan kepada berbagai kementerian. Kementerian Pekerjaan Umum antara lain diberi tanggungjawab pada kegiatan penelitian emisi GRK di waduk.

#### **2.4 EMISI GAS KARBON DIOKSIDA PADA RAWA GAMBUT**

Lahan rawa gambut merupakan lahan yang banyak sekali menyimpan unsur karbon. Di daerah kutub, lahan gambut mengandung karbon per hektarnya rata-rata 3,5 kali lebih banyak dibandingkan dengan di tanah mineral; sedangkan di daerah tropis lebih banyak lagi, sekitar 10 kali lebih banyak. Karbon merupakan unsur utama yang membentuk gas karbon dioksida dan juga gas metana yang keduanya merupakan gas rumah kaca. Biasanya dalam keadaan yang normal, unsur karbon di daerah rawa gambut ini berada di bawah air sehingga relatif stabil. Pengeringan di daerah rawa bergambut, misalnya untuk pertanian, dapat menyebabkan karbon organik terkena udara dan mengalami penguraian sehingga menghasilkan gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang teremisi ke udara. Selain itu, peningkatan suhu karena penghapusan tutupan vegetasi seperti tutupan hutan, juga dapat meningkatkan emisi karbon dioksida dari lahan rawa gambut (Silvius, 2014).

#### **Proyek Lahan Gambut (PLG) Sejuta Hektar.**

Pada tahun 1995, Pemerintah Indonesia memulai suatu proyek besar yang dinamakan Proyek Pengembangan Lahan Gambut Sejuta Hektar. Proyek ini bertujuan mengubah lahan rawa gambut seluas satu juta hektar menjadi lahan untuk penanaman padi. Melalui proyek ini telah dibangun ribuan kilometer saluran air sehingga telah mengakibatkan kerusakan lahan dan hutan di kawasan tersebut karena kekeringan dan kebakaran (Euroconsult et al, 2008).

Kebakaran di lahan rawa gambut merupakan degradasi paling parah di kawasan eks-PLG dan menyebabkan terjadinya kabut asap yang berkepanjangan yang sangat merugikan baik dari segi kesehatan, segi ekonomi maupun lingkungan. kerusakan hutan rawa gambut telah menyebabkan rawa gambut Indonesia menjadi sumber emisi GRK terbesar dengan kontribusi sebesar 45% dari total emisi Indonesia, dan kontribusinya menjadi lebih besar lagi, menjadi 65 - 70% pada saat musim kemarau panjang dan terjadi kebakaran gambut (Government of Indonesia, World Bank, 2011). Studi emisi CO<sub>2</sub> akibat kebakaran lahan gambut di Indonesia pada tahun 1997 memperkirakan 810 sampai 2.470 juta ton karbon hilang (yaitu 3000 sampai dengan 9000 Mton emisi CO<sub>2</sub>) untuk satu kejadian, atau 15% sampai dengan 40% dari emisi bahan bakar fosil di tahun itu (Page et al, 2002).

## BAB 3

### PENGUKURAN EMISI GAS RUMAH KACA DAN PERCOBAAN DI LABORATORIUM

#### 3.1 Cara Pengukuran Emisi GRK

##### Prinsip Pengukuran Emisi GRK

Prinsip pengukuran emisi GRK adalah dengan mengukur pertambahan kadar GRK dalam sungkup ("chamber") yang terapung di permukaan air waduk per satuan waktu. Sungkup tersebut mempunyai volume dan luas permukaan tertentu sehingga dari pertambahan kadar per satuan waktu yang terukur dapat dihitung besarnya emisi gas metana yang terjadi.

Besarnya emisi GRK pada suatu lokasi dapat dihitung berdasarkan kenaikan kadar metana dalam sungkup per satuan waktu, volume serta luas permukaan sungkup. Secara umum rumus perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\text{Emisi GRK (g/m}^2\text{.hari)} = \frac{dC}{dT} \times \frac{V}{A}$$

Keterangan : dC : Kenaikan kadar GRK (g/m<sup>3</sup>)

dT : waktu kenaikan kadar GRK (hari)

V : Volume sungkup (m<sup>3</sup>)

A : Luas permukaan sungkup (m<sup>2</sup>)

Besarnya total emisi GRK dapat diperoleh dengan mengalikan hasil pengukuran emisi rata-rata dari sejumlah titik lokasi (g/m<sup>2</sup>/hari) dengan luas area (m<sup>2</sup>) sehingga diperoleh satuan g/hari atau satuan yang setara.

##### Pengukuran dengan Alat Chromatograf

Pengukuran emisi GRK dengan alat chromatograf biasanya dilakukan dengan dengan cara tidak langsung, artinya dilakukan pengambilan contoh gas di lapangan, kemudian contoh tersebut dibawa ke laboratorium untuk diperiksa dengan alat chromatograf.

Pengambilan contoh dilakukan dengan alat suntik melalui sungkup yang terapung di permukaan waduk yang diketahui volume dan diameternya. Pengambilan contoh ini dilakukan dalam interval waktu tertentu misalnya 5, 10, 15, 20, 25, 30 menit sejak tutup sungkup dipasang.

Contoh-contoh gas dalam alat suntik tersebut ditutup rapat dan segera dibawa ke laboratorium untuk diperiksa dengan alat chromatograf. Proses pengukuran emisi gas metana dengan alat chromatograf ini dapat dilihat pada Gambar 3.

Berdasarkan hasil pengukuran kadar gas metana yang diperoleh kemudian dapat dihitung besar emisinya dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Emisi GRK (g/m}^2\text{.hari)} = \frac{dC}{dT} \times \frac{V}{A}$$

Keterangan : dC : Kenaikan kadar GRK (g/m<sup>3</sup>)  
dT : waktu kenaikan kadar GRK (hari)  
V : Volume sungkup (m<sup>3</sup>)  
A : Luas permukaan sungkup (m<sup>2</sup>)



Pengambilan contoh gas di waduk



Contoh dalam alat penyuntik

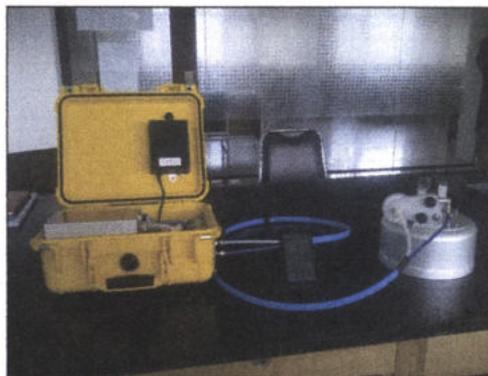


Pemeriksaan dengan alat chromatograf

Gambar 2: Proses Pengukuran Emisi GRK dengan Alat Gas Chromatograf

### Pengukuran dengan Alat Fluxmeter

Pengukuran emisi GRK dari waduk dengan alat fluxmeter dapat dilakukan langsung di lapangan. Prinsip alat ini adalah kombinasi metode sungkup (chamber) dan pengukuran menggunakan metode penyerapan sinar infrared. Keuntungan alat ini adalah dapat dibawa ke lapangan sehingga kemungkinan kesalahan yang disebabkan perlakuan contoh dapat diminimalkan. Selain itu alat ini dilengkapi dengan GPS (Global Positioning System) serta piranti lunak untuk menghitung besarnya emisi GRK di suatu lokasi. Alat fluxmeter untuk mengukur emisi GRK dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3: Foto Alat Fluxmeter

### 3.2 Pengukuran Emisi GRK di Lapangan

Pada tahun 2014 pengukuran dilakukan di waduk Pacal di Jawa Timur yang belum pernah dilakukan pengukuran. Selain itu juga dilakukan pengukuran di Waduk Saguling, Waduk Cirata dan Waduk Jatiluhur yang merupakan waduk-waduk besar di Jawa Barat, serta Waduk Kedungombo dan Waduk Gajahmungkur yang merupakan waduk-waduk besar di Jawa Tengah.

#### Waduk Pacal

Pengukuran emisi gas metana di Waduk Pacal tahun 2014 ini dilakukan pada bulan Mei (musim penghujan) dan bulan September (musim kemarau). Hasil pengukuran ini masing-masing dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1: Hasil Pengukuran Emisi Gas Metana di Waduk Pacal (Mei 2014)

Nomor Lokasi	Koordinat		Emisi metana (g/m <sup>2</sup> /hari)
	Bujur Timur	Lintang Selatan	
1	111.87098	-7.36328	3.4627
2	111.87173	-7.37168	9.2782
3	111.87255	-7.37780	2.1760
4	111.87346	-7.38100	0.5842
5	111.87080	-7.38456	0.5394
6	111.87166	-7.37942	0.0000
7	111.86826	-7.37754	0.8258
8	111.86951	-7.37210	1.8622
9	111.86557	-7.36723	0.1509
10	111.86831	-7.36557	0.5805
Rata-rata			1.9460

Tabel 2: Hasil Pengukuran Emisi Gas Metana di Waduk Pacal (September 2014)

Nomor Lokasi	Koordinat		Emisi metana (g/m <sup>2</sup> /hari)
	Bujur Timur	Lintang Selatan	
1	111.8704	-7.36357	6.1248
2	111.8692	-7.36476	26.6720
3	111.8688	-7.36585	1.3502
4	111.8687	-7.36816	0.0000
5	111.8697	-7.36927	1.4221
6	111.8705	-7.37077	3.1632
7	111.8707	-7.37246	2.1968
8	111.8725	-7.37164	0.0000
9	111.8717	-7.36871	0.0000
10	111.8727	-7.36646	10.7728
11	111.8709	-7.36597	1.0693
12	111.8705	-7.36432	4.7040
Rata-rata			4.7896

Dari kedua pengukuran yang telah dilakukan terlihat bahwa hasil pengukuran yang diperoleh pada bulan September (musim kemarau) lebih besar dibandingkan hasil pengukuran pada bulan Mei (musim penghujan). Hasil seperti banyak diperoleh pada pengukuran di waduk yang lain. Pada umumnya hasil rata-rata pengukuran pada musim kemarau menunjukkan nilai yang lebih besar. Hal ini mungkin disebabkan karena pada waktu musim penghujan muka air

waduk lebih tinggi dibandingkan dengan muka airnya pada waktu musim kemarau sehingga gas metana yang terbentuk di dasar waduk lebih sulit untuk teremisi ke atmosfer.

Dari kedua pengukuran yang dilakukan pada musim penghujan dan kemarau diperoleh nilai rata-rata emisi gas metana pada Waduk Pacal sebesar 3,3678 g/m<sup>2</sup>/hari.

### Waduk Saguling

Hasil pengukuran emisi gas metana di Waduk Saguling tahun 2014 ini dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3: Hasil Pengukuran Emisi Gas Metana di Waduk Saguling

Nomor Lokasi	Koordinat		Emisi metana (g/m <sup>2</sup> /hari)
	Bujur Timur	Lintang Selatan	
1	107.43869	-6.90024	8.4112
2	107.44011	-6.89148	3.3872
3	107.44982	-6.88855	1.6192
4	107.44114	-6.88881	18.0480
5	107.43565	-6.89029	1.5658
6	107.43673	-6.89477	1.4674
7	107.43180	-6.90138	1.3192
8	107.42549	-6.90437	0.5867
9	107.41451	-6.90738	0.0000
10	107.39757	-6.92019	0.8624
11	107.39034	-6.91494	0.0000
12	107.37498	-6.91672	0.3835
13	107.38946	-6.92113	1.5056
14	107.40590	-6.92129	3.0624
15	107.41507	-6.93298	0.2110
16	107.41995	-6.93315	1.2069
17	107.43141	-6.94235	38.8800
18	107.40571	-6.91639	14.8000
19	107.41053	-6.90548	2.5968
20	107.42494	-6.90482	16.0800
21	107.44160	-6.90514	99.3600
22	107.44689	-6.90706	26.8640
23	107.44557	-6.90501	29.4560
Rata-rata			11.8119

Dibandingkan dengan emisi tahun 2012 yang besarnya rata-rata 1,183 g/m<sup>2</sup>/hari, emisi gas metana dari Waduk Saguling pada pengukuran tahun 2014 ini terlihat jauh lebih besar. Selain karena pengukuran di musim kemarau, yang biasanya memang lebih besar dibandingkan emisinya pada musim penghujan, emisi gas metana pada waduk memang sangat berfluktuasi dipengaruhi oleh beberapa faktor lainnya seperti lokasi dan juga kondisi kualitas airnya. Lokasi pengukuran pada kesempatan ini cukup banyak dan mewakili semua bagian dari waduk.

### Waduk Cirata

Hasil pengukuran emisi gas metana di Waduk Cirata tahun 2014 ini dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4: Hasil Pengukuran Emisi Gas Metana di Waduk Cirata

Nomor Lokasi	Koordinat		Emisi metana (g/m <sup>2</sup> /hari)
	Bujur Timur	Lintang Selatan	
1	107.3242	-6.71681	1.6576
2	107.3077	-6.72381	0.0000
3	107.2907	-6.72111	0.1893
4	107.2787	-6.73581	0.0415
5	107.2847	-6.75181	1.6576
6	107.2807	-6.76381	2.5360
7	107.2817	-6.77381	2.5968
8	107.2927	-6.78381	2.9200
9	107.2887	-6.77781	0.6698
10	107.2907	-6.76981	1.4971
11	107.2927	-6.76081	0.0000
12	107.2947	-6.75181	0.0543
13	107.2957	-6.74381	1.0115
14	107.3007	-6.74381	1.1394
15	107.3057	-6.74681	1.2222
16	107.3237	-6.75581	0.5024
17	107.3287	-6.74881	0.3256
18	107.3127	-6.72781	0.6918
19	107.3267	-6.72281	3.8272
20	107.3347	-6.71581	1.3421
21	107.3397	-6.70281	12.0912
22	107.3487	-6.69681	0.3254
	RATA-RATA		1.6499

Dibandingkan dengan emisi tahun 2012 yang besarnya rata-rata 0,619 g/m<sup>2</sup>/hari, emisi gas metana dari Waduk Cirata pada pengukuran tahun 2014 ini yang dilakukan pada saat musim kemarau terlihat jauh lebih besar. Selain karena pengukuran di musim kemarau, yang biasanya memang lebih besar dibandingkan emisinya pada musim penghujan, emisi gas metana pada waduk memang sangat berfluktuasi dipengaruhi oleh beberapa faktor lainnya seperti lokasi dan juga kondisi kualitas airnya.

### Waduk Jatiluhur

Hasil pengukuran emisi gas metana di Waduk Jatiluhur tahun 2014 ini dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5: Hasil Pengukuran Emisi Gas Metana di Waduk Jatiluhur

Nomor Lokasi	Koordinat		Emisi metana (g/m <sup>2</sup> /hari)
	Bujur Timur	Lintang Selatan	
1	107.390176	-6.52724	0.5947
2	107.373092	-6.51887	1.1181
3	107.357011	-6.51214	0.8016
4	107.333815	-6.50436	0.0000
5	107.317573	-6.50214	0.4443
6	107.325206	-6.51875	0.0000
7	107.324235	-6.52958	0.0000
8	107.308752	-6.5327	0.0000
9	107.29132	-6.55644	1.3749
10	107.295165	-6.56496	0.3904
11	107.292435	-6.57777	0.0970
12	107.301462	-6.56828	0.6683
13	107.315319	-6.55359	0.0000
14	107.338798	-6.54564	0.0000
15	107.370195	-6.55109	0.0000
16	107.37819	-6.54606	0.0000
17	107.386929	-6.53965	0.0952
Rata-rata			0.3285

Dibandingkan dengan emisi tahun 2012 yang besarnya rata-rata 0,411 g/m<sup>2</sup>/hari, emisi gas metana dari Waduk Jatiluhur pada pengukuran tahun 2014 ini terlihat lebih kecil. Besarnya emisi gas metana di waduk memang sangat berfluktuasi tergantung pada beberapa faktor misalnya kondisi di dasar waduk, lokasi pengukuran, tinggi air waduk, temperatur air waduk dan sebagainya. Kemungkinan data pengukuran emisi gas metana pada tahun 2014 lebih kecil karena permukaan air waduk yang lebih tinggi.

### Waduk Kedungombo

Hasil pengukuran emisi gas metana di Waduk Kedungombo tahun 2014 ini dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6: Hasil Pengukuran Emisi Gas Metana di Waduk Kedungombo

Nomor Lokasi	Koordinat		Emisi metana (g/m <sup>2</sup> /hari)
	Bujur Timur	Lintang Selatan	
1	110.817728	-7.256697	5.9867
2	110.822293	-7.255597	6.1102
3	110.825615	-7.25423	6.2020
4	110.830728	-7.260603	6.3228
5	110.826576	-7.271697	6.4261
6	110.824127	-7.278222	6.5361
7	110.819342	-7.289546	6.6483
8	110.800277	-7.266661	6.7628
9	110.810806	-7.261111	6.8694
10	110.824195	-7.262188	6.9850
11	110.833092	-7.263012	7.0924
12	110.840575	-7.265581	7.2043
13	110.836209	-7.25789	7.3174
14	110.834398	-7.254177	7.4039
15	110.829608	-7.249953	7.5207
16	110.830059	-7.252541	7.6009
Rata-rata			6.8118

Dibandingkan dengan emisi tahun 2012 yang besarnya rata-rata 2,098 g/m<sup>2</sup>/hari, emisi gas metana dari Waduk Kedungombo pada pengukuran tahun 2014 ini terlihat lebih besar. Besarnya emisi gas metana di waduk memang sangat berfluktuasi tergantung pada beberapa faktor misalnya kondisi di dasar waduk, lokasi pengukuran, tinggi air waduk, temperatur air waduk dan sebagainya. Kemungkinan data pengukuran emisi gas metana pada tahun 2014 lebih besar karena lokasi pengukuran pada tahun 2014 ini lebih menyeluruh meliputi 16 lokasi di bagian tengah dan pinggir waduk, sementara pada pengukuran tahun 2012 lokasi pengukuran sangat terbatas hanya 6 lokasi saja.

### Waduk Gajahmungkur

Hasil pengukuran emisi gas metana di Waduk Gajahmungkur tahun 2014 ini dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7: Hasil Pengukuran Emisi Gas Metana di Waduk Gajahmungkur

Nomor Lokasi	Koordinat		Emisi metana (g/m <sup>2</sup> /hari)
	Bujur Timur	Lintang Selatan	
1	110.911693	-7.861194	7.8101
2	110.903935	-7.876197	0.5795
3	110.896452	-7.885916	0.0000
4	110.887828	-7.893237	0.0000
5	110.882564	-7.896447	1.7803
6	110.885698	-7.903655	0.2115
7	110.891678	-7.915006	0.0490
8	110.891808	-7.930941	1.0816
9	110.894978	-7.937823	1.6514
10	110.894074	-7.92562	0.0000
11	110.898958	-7.915085	0.8766
12	110.901223	-7.902087	0.0000
13	110.907073	-7.8901	0.1757
14	110.911745	-7.878406	0.0000
15	110.920282	-7.875086	9.3930
16	110.920282	-7.875086	9.3930
17	110.918555	-7.866268	25.4128
18	110.924988	-7.842956	0.9048
19	110.919789	-7.847999	6.1659
20	110.914397	-7.857476	0.4906
Rata-rata			3.2988

Dibandingkan dengan emisi tahun 2012 yang besarnya rata-rata 1,146 g/m<sup>2</sup>/hari, emisi gas metana dari Waduk Gajahmungkur pada pengukuran tahun 2014 ini terlihat lebih besar. Besarnya emisi gas metana di waduk memang sangat berfluktuasi tergantung pada beberapa faktor misalnya kondisi di dasar waduk, lokasi pengukuran, tinggi air waduk, temperatur air waduk dan sebagainya. Kemungkinan data pengukuran emisi gas metana pada tahun 2014 lebih besar karena lokasi pengukuran pada tahun 2014 ini lebih menyeluruh meliputi bagian tengah dan pinggir waduk, sementara pada pengukuran tahun 2012 lokasi pengukuran terutama di bagian tengah saja.

## Waduk Riam Kanan

Hasil pengukuran emisi gas metana di Waduk Riam tahun 2014 ini dapat dilihat pada Tabel 8.

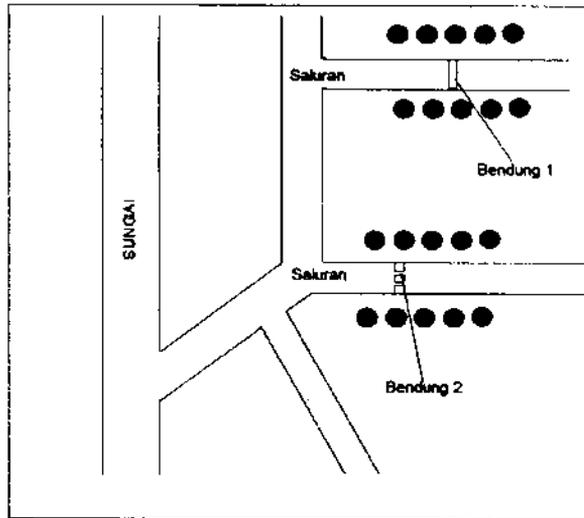
Tabel 8: Hasil Pengukuran Emisi Gas Metana di Waduk Riam Kanan

Nomor Lokasi	Koordinat		Emisi metana (g/m <sup>2</sup> /hari)
	Lintang Selatan	Lintang Selatan	
1	115.0143	-3.5209	50.224
2	115.0257	-3.5313	4.222
3	115.0358	-3.5340	0.000
4	115.0477	-3.5216	0.000
5	115.0513	-3.5160	1.454
6	115.0576	-3.5222	0.746
7	115.0663	-3.5253	3.032
8	115.0413	-3.5268	0.028
9	115.0727	-3.5370	0.028
10	115.0735	-3.5474	4.056
11	115.0676	-3.5588	0.495
12	115.0607	-3.5497	3.438
13	115.0530	-3.5337	1.505
14	115.0307	-3.5367	0.000
15	115.0175	-3.5420	0.164
16	115.0176	-3.5248	0.000
17	115.0137	-3.5212	0.137
18	115.0123	-3.5237	17.920
19	115.0093	-3.5193	0.000
20	115.0104	-3.5195	0.000
Rata-rata			4.372

Dibandingkan dengan emisi metana dari waduk-waduk lainnya, emisi gas metana di Waduk Riam Kanan relatif besar, rata-rata sebesar 4,372 g/m<sup>2</sup>/hari. Besarnya emisi gas metana di waduk ini mungkin disebabkan karena pembusukan sisa-sisa tumbuhan yang kurang dibersihkan pada waktu penggenangan. Dari pengamatan pada waduk tersebut masih banyak terlihat adanya sisa-sisa tumbuhan yang masih berdiri dan muncul di permukaan waduk. Terdapatnya sisa tumbuhan ini sangat mempengaruhi besarnya emisi gas metana yang terbentuk pada waduk tersebut.

## Pengukuran Emisi GRK di Daerah Rawa Gambut

Pengukuran emisi gas rumah kaca di daerah rawa gambut dilakukan di daerah penelitian Balai Rawa di Desa Sei Ahas. Titik pengukuran di sekitar 2 bendung yang ada di saluran tersebut, masing-masing 5 lokasi disebelah kiri dan 5 lokasi disebelah Bendung 1; serta 5 lokasi disebelah kiri dan 5 lokasi disebelah kanan Bendung 2. (Gambar 4).



Gambar 4: Skema lokasi pengukuran emisi GRK di daerah rawa gambut Sei Ahas

Hasil pengukuran emisi karbon yang telah dilakukan di daerah saluran rawa dapat pada Tabel 9 dan Tabel 10.

Tabel 9: Hasil pengukuran emisi karbon di sekitar Bendung 1

Titik Pengukuran	Bujur Timur	Lintang Selatan	EMISI METANA (g/m <sup>2</sup> /hr)	EMISI CO <sub>2</sub> (g/m <sup>2</sup> /hr)
1	114.418572	-2.305169	1.116	9.244
2	114.418662	-2.305196	0.000	147.488
3	114.418725	-2.305176	4.282	41.426
4	114.418800	-2.305237	1.060	48.004
5	114.418873	-2.305328	0.918	17.578
6	114.418883	-2.305364	4.138	8.202
7	114.418805	-2.305387	0.000	787.160
8	114.418711	-2.305394	4.747	26.743
9	114.418876	-2.305385	1.675	389.444
10	114.418899	-2.305193	1.654	21.916
			1.959	149.721

Tabel 10: Hasil pengukuran emisi karbon di sekitar Bendung 2

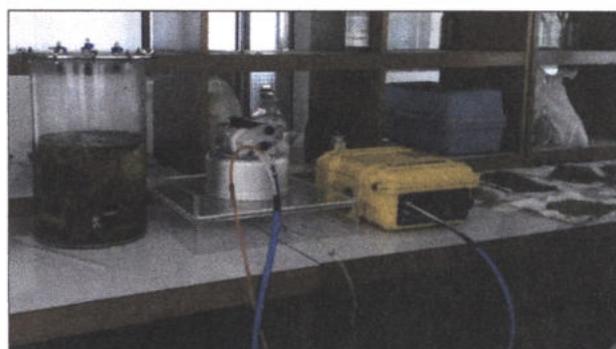
Titik Pengukuran	Bujur Timur	Lintang Selatan	EMISI METANA (g/m <sup>2</sup> /hr)	EMISI CO <sub>2</sub> (g/m <sup>2</sup> /hr)
11	114.422271	-2.328059	1.674	878.240
12	114.422319	-2.328028	6.930	0.293
13	114.422322	-2.327991	1.952	2.162
14	114.422326	-2.328012	0.000	1345.960
15	114.422279	-2.328063	1.666	11.726
16	114.422193	-2.327829	3.283	84.964
17	114.422265	-2.327783	5.398	30.386
18	114.422291	-2.327777	3.139	870.760
19	114.422384	-2.327809	0.000	175.428
20	114.422446	-2.327801	1.658	2535.720
			2.570	593.564

Hasil pengukuran emisi gas rumah kaca pada kesempatan ini dapat dijadikan data dasar dalam penelitian untuk menaikkan permukaan air tanah di sekitar lokasi tersebut, yaitu dengan dibangunnya bendungan di saluran tersebut.

### 3.3 Percobaan di Laboratorium

Percobaan dilakukan untuk mengetahui potensi emisi gas metana yang disebabkan oleh penguraian biomasa yang terdiri dari unsur tanaman dan tumbuhan.

Percobaan dilaksanakan dengan menggunakan suatu bejana tertutup berkapasitas 17 L (diameter 24 cm dan tinggi 36 cm). Bejana tersebut diisi air yang mengandung bakteri *anaerobic* sebanyak 10 L. Selanjutnya ke dalam bejana dimasukkan biomasa yang terdiri dari bagian-bagian tanaman seperti cabang, ranting dan daun sebanyak 100 gram berat kering (lihat Gambar 5).



Gambar 5: Foto Percobaan untuk Mengetahui Potensi Emisi Gas Metana dari Penguraian Biomasa

Ke dalam bejana tersebut dialirkan gas nitrogen untuk menghilangkan oksigen sehingga keadaan di dalam bejana menjadi anaerobik atau kekurangan oksigen. Akhirnya reaktor ditutup rapat-rapat dan ditunggu sampai terjadinya proses penguraian biomasa menghasilkan gas metana. Percobaan ini menggambarkan keadaan di dasar waduk apabila biomasa terendam dalam air dan keadaannya *anaerob* atau kekurangan oksigen. Setelah satu bulan dilakukan pengukuran GRK yang terjadi. Hasil pengukuran menunjukkan adanya emisi gas metana sebesar 2,19 mol/m<sup>2</sup>/hari atau 35 g/m<sup>2</sup>/hari.

Percobaan ini menggambarkan pengaruh biomasa yang terendam dan terurai dalam air waduk yang dapat menyebabkan terjadinya emisi gas metana. Makin banyak biomasa yang terendam dan terurai pada dasar waduk makin banyak emisi gas metana yang akan terjadi, sebaliknya makin sedikit biomasa yang terendam dan terurai pada dasar waduk makin sedikit emisi gas metana yang terjadi. Dengan demikian untuk mengurangi emisi gas metana pada waduk, salah satu cara adalah dengan mengurangi biomasa seperti tumbuhan dan sisa tanaman yang ada dipinggir waduk yang akan terendam pada saat air waduk mengalami kenaikan.

## BAB 4

### DESAIN MODEL SISTEM

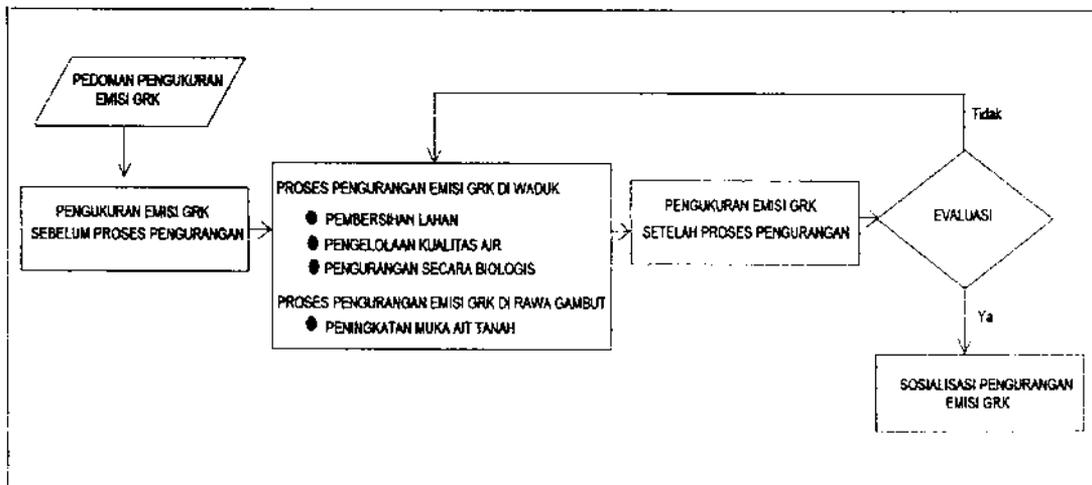
### PENGURANGAN EMISI GAS RUMAH KACA DARI WADUK DAN RAWA GAMBUT

#### 4.1 Desain Model Sistem Pengurangan Emisi GRK

Seperti telah diterangkan sebelumnya bahwa untuk lokasi waduk jenis GRK yang dibahas adalah gas metana. Gas metana dari waduk terbentuk karena proses penguraian bahan organik oleh mikroorganisme *metanogenic* dalam kondisi kekurangan oksigen (*anaerobic*). Untuk mengurangi emisi gas metana dari waduk ini dapat dilakukan beberapa cara antara lain pembersihan lahan, pengelolaan kualitas air dan pengurangan secara biologis.

Untuk daerah rawa gambut jenis GRK yang dibahas adalah gas karbon dioksida. Gas karbon dioksida dapat terbentuk karena penguraian bahan organik dalam kondisi terdapatnya oksigen (*aerobic*). Usaha untuk mengurangi emisi gas karbon dioksida ini dapat dilakukan dengan menaikkan muka air tanah di daerah tersebut.

Desain model sistem untuk mengurangi emisi GRK dari waduk dan rawa gambut dapat digambarkan seperti pada Gambar 6.



Gambar 6: Desain Model Sistem Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca dari Waduk dan Rawa Gambut

#### 4.2 Pengurangan Emisi GRK pada Waduk

Meskipun waduk bukan merupakan sumber utama emisi gas metana, tetapi dalam usaha mengurangi emisi GRK, perlu dilakukan upaya agar gas metana yang teremisi dari waduk dapat dikurangi. Upaya untuk mengurangi emisi gas metana dari waduk dapat dilakukan dengan berbagai cara, diantaranya pembersihan lahan, pengelolaan kualitas air dan usaha secara biologis.

## Pembersihan Lahan

GRK jenis metana maupun karbon dioksida terbentuk karena proses penguraian bahan organik oleh mikroorganisme. Gas metana terbentuk dalam suasana tidak adanya oksigen (*anaerobic*), sedangkan karbon dioksida terbentuk dalam suasana terdapatnya oksigen (*aerobic*). Oleh karena itu maka untuk mengurangi potensi terbentuknya GRK dari waduk dapat dilakukan dengan mengurangi bahan organik sebagai bahan bakunya. Bahan organik pada waduk dapat berasal dari berbagai sumber diantaranya tanaman atau tumbuhan yang membusuk. Dengan membersihkan tanaman dan tumbuhan yang akan terendam dalam air waduk maka potensi terjadinya emisi GRK dapat dikurangi.

Proses pembersihan tanaman dan tumbuhan ini dapat dilakukan pada lahan bakal waduk yang akan digenangi dan juga pada waduk yang sudah tergenang.

## Pembersihan Tanaman Pada Waduk yang Akan Digenangi

Usaha untuk mengurangi emisi GRK dari waduk dapat dimulai ketika waduk masih belum digenangi. Untuk mengurangi emisi GRK pada waduk yang akan digenangi maka sebelum dilakukan penggenangan, lahan bakal waduk tersebut perlu dibersihkan. Pembersihan dapat dilakukan dengan mengeluarkan sebanyak mungkin biomassa atau sumber karbon yang terdapat dalam lahan bakal waduk seperti pohon, batang, ranting dan daun. Biomasa dari tanaman yang berupa daun, ranting, cabang dan batang merupakan zat organik dan sumber karbon. Apabila tanaman tidak dibersihkan maka setelah waduk digenangi, biomas dari tanaman tersebut akan mengalami proses penguraian. Dalam penguraiannya dibutuhkan banyak oksigen, sehingga terjadi kondisi kekurangan oksigen (*anaerob*). Kondisi yang *anaerob* di dasar waduk dan banyaknya biomassa menyebabkan terbentuknya metana. Dengan membersihkan lahan bakal waduk dari tanaman dan tumbuhan sebelum digenangi maka kemungkinan terjadinya emisi gas metana juga dapat dikurangi.

Pembersihan lahan bakal waduk dengan pembakaran biomassa sebaiknya tidak dilakukan karena pada proses pembakaran akan dihasilkan gas karbon dioksida yang merupakan salah satu jenis GRK. Sisa pembakaran yang akan terendam di dasar waduk juga akan menghasilkan gas metana jika dalam keadaan *anaerob*.

## Pembersihan Tanaman Pada Waduk yang Sudah Tergenang.

Beberapa waduk di Indonesia pada waktu musim kemarau airnya sangat surut sehingga waduk dijadikan tempat menanam tanaman semusim ( jagung, padi, dll). Sebagai contoh adalah di Waduk Wonogiri. Pada musim kemarau karena airnya surut maka di pinggir waduk ini menjadi tanah kering dan tidak berair dan dimanfaatkan oleh para penggarap untuk lahan menanam jagung. Untuk mengurangi emisi GRK, maka setelah panen semua sisa tanaman harus dibersihkan dari areal waduk.

Selain tanaman semusim yang memang ditanam oleh para penggarap di pinggir waduk pada waktu musim kemarau, sumber biomasa pada waduk juga berasal dari tanaman liar yang tumbuh di pinggir waduk pada saat air waduknya surut. Tanaman liar di pinggir waduk ini juga harus dibersihkan sebelum air waduk naik dan merendam tanaman liar tersebut. Dengan usaha seperti ini maka biomasa yang terendam dan mengurai menjadi gas metana dapat dikurangi.

Sumber karbon lainnya dapat berasal dari tanaman liar lain yang banyak terdapat pada waduk seperti eceng gondok. Tanaman liar ini apabila mati akan membusuk kemudian tenggelam ke dasar waduk dan akhirnya terurai menghasilkan gas metana. Untuk mengurangi potensi terjadinya emisi gas metana, tanaman liar seperti eceng gondok ini juga perlu dibersihkan.

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan terbukti bahwa terdapatnya biomasa yang berupa tanaman dan sisa tumbuhan yang terendam dalam air akan terurai dan dapat menyebabkan terjadinya emisi gas metana. Makin banyak biomasa yang terendam dan terurai pada dasar waduk makin banyak emisi gas metana yang akan terjadi, sebaliknya makin sedikit biomasa yang terendam dan terurai pada dasar waduk makin sedikit emisi gas metana yang terjadi. Dengan demikian untuk mengurangi emisi gas metana pada waduk, salah satu cara adalah dengan mengurangi biomasa seperti tumbuhan dan sisa tanaman yang ada dipinggir waduk yang akan terendam pada saat air waduk mengalami kenaikan.

## Pengelolaan Kualitas Air

Cara lain untuk mengurangi potensi terjadinya emisi GRK adalah dengan pengelolaan kualitas air waduk. Pengelolaan kualitas air dimaksudkan agar kualitas air waduk mengandung sedikit bahan pencemar terutama bahan pencemar organik dan mempunyai oksigennya yang tinggi. Sedikitnya bahan pencemar, terutama bahan pencemar organik dan terdapatnya cukup oksigen menyebabkan gas metana sulit terbentuk sehingga emisinya juga dapat berkurang.

## Pengurangan Bahan Pencemar Organik Dalam Air Waduk

Untuk mengurangi bahan pencemar organik dalam air waduk dapat dilakukan dengan mengurangi bahan organik dalam air sungai yang masuk ke waduk. Proses pengurangan bahan organik dalam air sungai ini dapat dilakukan dengan membangun instalasi pengolahan air limbah (IPAL) pada sumber pencemarannya, misalnya di daerah kawasan industri, permukiman dan peternakan. Metode yang digunakan dapat digunakan metoda fisika, kimia, fisika-kimia atau kolam oksidasi, *wet land* bergantung dari industri dan beban pencemarannya.

Pengurangan bahan pencemar organik pada air waduk juga dapat dilakukan dengan pengaturan usaha jaring apung. Selama ini waduk juga banyak dimanfaatkan oleh penduduk sebagai sarana budidaya perikanan melalui sistem perikanan jaring apung. Pemanfaatan waduk sebagai sarana perikanan melalui sistem jaring apung harus diatur sehingga tidak menimbulkan dampak yang merugikan. Salah satu dampak yang merugikan akibat pemanfaatan waduk sebagai sarana perikanan jaring apung adalah adanya sisa pakan ikan yang jatuh ke dasar waduk. Pakan ikan yang diberikan tidak semuanya dikonsumsi oleh ikan, akan tetapi sebagian jatuh ke dasar waduk. Selain pakan ikan yang tidak dikonsumsi, kotoran ikan (*faeces*) akan menambah pencemaran di dasar waduk sehingga makin lama makin terakumulasi dan akhirnya akan mengurangi kadar oksigen di dalam air di dasar waduk. Apabila kadar oksigen dalam air di dasar waduk habis terjadilah kondisi *anaerobic*, yang menyebabkan proses penguraian bahan organik menjadi gas metana. Oleh karena itu maka salah satu cara untuk mengurangi emisi gas metana dari waduk dapat dilakukan melalui pengaturan sistem perikanan jaring terapung.

Pengelolaan kualitas air waduk yang baik dapat mengurangi emisi GRK karena berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan ternyata terdapat hubungan antara banyaknya bahan pencemar organik, COD (*Chemical Oxygen Demand*), dengan emisi gas metana yang ditimbulkan. Penelitian hubungan antara COD dengan emisi gas metana tersebut dilakukan tahun 2008 di Malaysia. Dari penelitian tersebut terlihat bahwa setiap pengurangan satu kilogram COD akan dapat mengurangi 237 gram gas metana (Zakarya, et al, 2008).

## Proses Aerasi.

Usaha untuk mengurangi emisi gas metana dapat juga dilakukan dengan proses reaerasi. Seperti diketahui proses pembentukan gas metana hanya terjadi dalam keadaan *anaerobic* (kekurangan oksigen). Dengan demikian maka penambahan kadar oksigen ke dalam air waduk akan mengurangi potensi terjadinya gas metana. Penambahan kadar oksigen dalam air waduk dapat dilakukan melalui proses reaerasi, terutama untuk waduk yang tidak terlalu dalam. Proses reaerasi ini dapat dilakukan menggunakan pompa.

## Proses Biologi

Upaya mengurangi emisi gas metana secara biologi banyak dilakukan pada lahan padi di sawah dengan sistem budidaya yang disebut dengan *System of Rice Intensification* (SRI). Pola budidaya padi tersebut bertujuan untuk mengurangi pemberian air pada lahan sawah. Karena diketahui, dengan kondisi air terbatas, produksi gas metana oleh mikroba *anaerob* berkurang.

Usaha mengurangi emisi metana secara biologi dilakukan juga oleh seorang peneliti dari Puslit Biologi LIPI di Cibinong dengan mencari mikroba yang berperan dalam melepaskan metana ke atmosfer dan yang mengoksidasi metana. Mikroba yang berperan menghasilkan metana adalah mikroba *metanogen* yang *anaerob* atau bekerja dalam kondisi tanpa udara. Sebaliknya mikroba pesaingnya, yaitu *metanotropik* mengonsumsi atau mengoksidasi gas metana, menjadi metanol. Dengan demikian maka untuk mengurangi emisi gas metana perlu usaha untuk menstimulasi pertumbuhan mikroba *metanotropik* tersebut misalnya dengan menambahkan gipsium (Yuni, 2010).

### 4.3 Pengurangan Emisi GRK pada Rawa Gambut.

Usaha untuk mengurangi emisi GRK pada lahan rawa gambut dapat dilakukan dengan cara-cara sebagai berikut (Delf Hydraulics, 2006):

- Konservasi hutan dan mengurangi drainasi pada hutan rawa
- Restorasi sistem hidrologi lahan gambut yang terdegradasi dan hutan rawa gambut atau tutupan vegetasi lain secara berkelanjutan
- Pengelolaan air yang baik pada tanaman lahan rawa gambut.

Upaya pengelolaan air yang baik pada lahan rawa gambut dapat dilakukan dengan pengurangan drainase pada lahan gambut. Hal tersebut misalnya dapat dilaksanakan dengan pembangunan prasarana "*canal blocking*" pada saluran-saluran air (Gambar 7). Dengan dibangunnya "*canal blocking*" tersebut maka paras air pada saluran akan mengalami kenaikan dan selanjutnya akan mengakibatkan kenaikan paras air di lahan gambut. Selanjutnya naiknya paras air di daerah rawa gambut akan diikuti turunnya emisi GRK di daerah tersebut. (Triadi Budi et.al 2014).



Gambar 7: *Canal blocking* yang dibangun di saluran rawa

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

Berdasarkan pengukuran di lapangan terlihat bahwa emisi gas metana pada waduk sangat berfluktuasi.

Pada umumnya emisi gas metana pada musim kemarau, lebih besar dibandingkan emisinya pada musim penghujan.

Percobaan di laboratorium menunjukkan bahwa biomasa (tanaman) yang terendam dapat menyebabkan terjadinya emisi gas metana.

Pengurangan emisi GRK dari waduk dapat dilakukan dengan beberapa cara antara lain: melakukan pembersihan tanaman dan tumbuhan, menjaga kualitas air waduk tetap baik dan pengurangan secara biologi.

Pengurangan emisi GRK dari daerah rawa gambut dapat dilakukan dengan menaikkan paras muka air di daerah rawa gambut.

Untuk mengatasi dampak negatif dari perubahan iklim disarankan agar para pemangku kebijakan berusaha untuk mendukung langkah-langkah untuk mengurangi emisi GRK dari sumbernya.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Budi Triadi, Maruddin F. M., Indra S.P., Haryo I., Muhammad G, (2014), *Dampak Pengendalian Air Dalam Rangka Mengurangi Kecepatan Subsiden Dan Besaran Emisi Karbon Pada Lahan Gambut Dangkal (Kawasan Penyangga Budidaya Terbatas)*, Kolokium Puslitbang Sumber Daya Air, 2014.
2. Delft Hydraulics, 2006, *PEAT-CO2, Assessment of CO2 emissions from drained peatlands in SE Asia*, Report R&D projects Q3943 / Q3684 / Q4142, 1st edition.
3. EAWAG, 2010: *Reservoirs: A neglected source of methane emissions*, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (EAWAG).
4. Euroconsult Mott MacDonald and Deltares - Delft Hydraulics, Oktober 2008, *Rencana Induk Rehabilitasi dan Revitalisasi Kawasan Eks Proyek Pengembangan Lahan Gambut di Kalimantan Tengah*, Ringkasan Laporan Utama.
5. Fearnside, P.M, (2007), *Why Hydropower is Not Clean Energy*.<http://scitizen.com/future-energies>.
6. Government of Indonesia and World Bank, May 2011, *Water Management for Climate Change Mitigation and Adaptive Development in the Lowlands – WACLIMAD*, Technical Assistance - Consultancy Services, Wasap Grant Number: Tf 056597, Working Paper – 5, Lowland Regulation: Resources Base Perspective.
7. <http://pertaniansehat.or.id/includes/mysql.php> .
8. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006, *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories vol 5: Waste*
9. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007, *Fourth Assessment Report: Climate Change 2007*.
10. International Rivers. 2007. *Myth of large hydro being clean shattered (again) India's dams largest methane emitters among the world's dams*.  
[http://w.w.w.internationalrivers.org/files/India\\_Dams\\_Methane\\_Emissions\\_PR180507.pdf](http://w.w.w.internationalrivers.org/files/India_Dams_Methane_Emissions_PR180507.pdf)
11. Keppler F, et al .2006., *Methane emissions from terrestrial plants under aerobic conditions*, Nature 439, 187-191.
12. Lima, I,B, et al. 2008. *Methane Emissions from Large Dams as Renewable Energy Resources: A Developing Nation Perspective* ,
13. *Mitigation and adaptation strategies for global change Journal*, Vol.13  
MED India, 2007, *Capture-and-Burn-Methane-in-Dams-a-New-Proposition-to-Counter-Global-Warming*. <http://www.medindia.net/news/>.
14. Page, S. E., Siegert, F., Rieley, J. O., Boehm, H. D. V., Jaya, A., and Limin, S., 2002, *The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997*, Nature, 420, 61–65, 2002.
15. Presiden RI, 2011, Peraturan Presiden RI Nomor 61 Tahun 2011 Tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca.
16. Pusat Litbang SDA, 2012, *Potensi dan Emisi Gas Rumah Kaca di waduk, Output kegiatan Pengelolaan Basis Data dan Sistem Informasi Sumber Daya Air Bidang Lingkungan Keairan*, Pusat Litbang sumber Daya Air, Bandung .
17. Silvius, M., 2014, *Carbon emissions from peatlands*, Programme Head Climate-Smart Land Use [wetlands.org](http://www.wetlands.org).  
<http://www.wetlands.org/Whatarewetlands/Peatlands/Carbonemissionsfrompeatlands/tabid/2738/>

18. United Nation, 1997, Framework Convention on Climate Change, [http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/items/2830.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php).
19. US-EPA.2010. Methane and Nitrous Oxide Emissions From Natural Sources, United States Environmental Protection Agency, Office of Atmospheric Programs (6207J), 1200 Pennsylvania Ave,, NW, Washington, DC 20460.
20. US- EPA, (2011), *Ruminant Livestock*, United States Environmental Protection Agency. <http://EPA-Ruminant.Livestock.Home.htm>.
21. US- EPA, 2010, *Methane and Nitrous Oxide Emissions From Natural Sources, United States Environmental Protection Agency, Office of Atmospheric Programs (6207J), 1200 Pennsylvania Ave, NW, Washington DC 20460*.
22. WWVDHHR (West Virginia Department of Health and Human Resources), 2006, *Methane in West Virginia Ground Water*, 2006. <http://pubs.usgs.gov/fs/2006/3011/>.
23. Yuni Ekawati, 2010. BIOPROSES - Jurusan Baru Melumat Metana.
24. Zeithmind. 2010. Efek rumah Kaca <http://zeithmind.blogspot.com/2010/07/efek-rumah-kaca.html>
25. Zakarya,I.A.,HA Tajaradin,I.Abustan dan N.Ismail, (2008), *Relationship between Methana Production and Chemical Oxygen Demand (COD) in Anaerobic Digestion of Food Waste*.



