

## MITIGASI EMISI GAS RUMAH KACA

### THE MITIGATION OF GREENHOUSE GASES EMISSION

Jatmiko Wahyudi  
Kantor Penelitian dan Pengembangan Kabupaten Pati  
Email: [jatmiko\\_tkuns@yahoo.com](mailto:jatmiko_tkuns@yahoo.com)

Naskah Masuk: 3 Oktober 2016    Naskah Revisi: 10 Oktober 2016    Naskah Diterima: 14 Oktober 2016

#### **ABSTRACT**

*Climate change becomes one of the most intensely critical issues over the last decade until today. Eventhough greenhouse gases (GHG) occur naturally in the atmosphere, anthropogenic is mainly responsible for increasing the greenhouse gases emission causing global warming/climate change. Actually, these gases play important roles for regulating the temperature of earth and earth atmosphere so that suitable for living things. Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) occupes more than half (76.7%) of the total GHG emission and energy supply becomes the most contributor of GHG emissions among other sectors. Climate change could lead to many environmental problems i.e., drought, floods, rising sea level, shifting weather pattern, greater variability of rainfall etc. For archipelagic country like Indonesia, the resulting sea level rise would give impact on inundation of coastal areas and increased loss of coastal habitats and ecosystem. The mitigation of GHG emissions is an option to reduce the intesity of global warming. As a part of global community, The government of Indonesia has a commitment to reduce the country's GHG emissions by 26% with national resources or up to 41% with international support from a business-as-usual baseline by 2020.*

**Keywords:** *mitigation, greenhouse gases, global warming*

#### **ABSTRAK**

*Pemanasan global menjadi salah satu isu terpenting pada abad terakhir ini. Walaupun secara alami telah ada di atmosfer bumi, aktivitas manusia diyakini memberikan kontribusi yang signifikan terhadap peningkatan emisi gas rumah kaca (GRK) penyebab pemanasan global. Karbondioksida berkontribusi sebesar 76,7% dari total emisi GRK dan sektor penyediaan energi merupakan sektor yang menghasilkan emisi GRK terbesar dibandingkan sektor-sektor lain. Perubahan iklim menyebabkan terjadinya kekeringan, banjir, kenaikan muka air laut, perubahan cuaca, ketidakmenentuan pola curah hujan dan lain-lain. Bagi negara kepulauan seperti Indonesia, kenaikan muka air laut akan menyebabkan tenggelamnya kawasan pesisir dan meningkatkan hilangnya habitat dan ekosistem kawasan pesisir. Mitigasi emisi gas rumah kaca merupakan salah satu opsi untuk mengurangi semakin meningkatnya pemanasan global. Sebagai dukungan terhadap upaya dunia untuk mengurangi emisi GRK, Pemerintah Indonesia berkomitmen untuk menurunkan emisi GRK sebesar 26% dengan usaha sendiri dan 41% dengan bantuan internasional pada tahun 2020 dari kondisi tanpa adanya rencana aksi.*

**Kata kunci:** *mitigasi, gas-gas rumah kaca, pemanasan global*

## PENDAHULUAN

Meskipun gas-gas rumah kaca (GRK) seperti Karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ), Metana ( $\text{CH}_4$ ) dan Nitrogen oksida ( $\text{N}_2\text{O}$ ) terdapat secara alami di atmosfer bumi, aktivitas manusia (*antropogenic*) telah meningkatkan konsentrasi GRK di atmosfer (IPCC, 2006). Data pada IPCC (2007a) menunjukkan pada periode tahun 1970-2004, secara global emisi GRK mengalami kenaikan sebesar 70%, dari 28,7 sampai 49 Gigaton  $\text{CO}_2$  ekuivalen ( $\text{GtCO}_2\text{-eq}$ ).

Peningkatan konsentrasi GRK di atmosfer berbanding lurus dengan peningkatan jumlah radiasi inframerah yang terjebak di atmosfer yang mendorong terjadinya pemanasan global (*global warming*). Fenomena peningkatan suhu permukaan bumi yang disebabkan oleh efek panas yang ditimbulkan oleh radiasi inframerah yang berasal dari sinar matahari yang terserap dan dipancarkan kembali ke permukaan bumi oleh GRK yang terdapat pada atmosfer bumi dikenal dengan istilah efek gas rumah kaca. *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) memperkirakan bahwa pada tahun 2100 akan terjadi kenaikan temperatur permukaan bumi rata-rata antara  $1,8^\circ\text{C}$ - $4,0^\circ\text{C}$  (IPCC, 2007b)

Pemanasan global diyakini telah memberikan dampak buruk di berbagai sektor seperti pertanian, peternakan dan pariwisata. Dampak buruk pemanasan global juga dirasakan di berbagai tempat dengan jenis dan intensitas yang berbeda-beda. Dampak pemanasan global antara lain yaitu ketidakmenentuan pola curah hujan dan musim, kenaikan tinggi permukaan air laut, kekeringan,

penurunan produktifitas di sektor pertanian dan peternakan serta peningkatan intensitas terjadinya kebakaran hutan.

Tulisan ini bertujuan untuk memberikan gambaran mengenai emisi GRK dan strategi mitigasinya. Sistematika penulisan adalah sebagai berikut : Bagian pertama atau pendahuluan akan menampilkan urgensi topik ini diangkat dalam tulisan ini. Bagian kedua berisi penjelasan mengenai jenis dan sumber GRK. Bagian ketiga akan mengulas strategi mitigasi emisi GRK. Bagian keempat atau terakhir berupa kesimpulan.

## GAS RUMAH KACA

### Jenis-jenis GRK

Gas rumah kaca adalah gas-gas di atmosfer yang memiliki kemampuan menyerap dan memancarkan kembali radiasi infra merah yang berasal dari sinar matahari. Secara alami GRK terdapat pada atmosfer bumi dan keberadaannya sangat penting bagi keberlangsungan kehidupan di bumi. Keberadaan GRK akan menjaga suhu permukaan bumi berada pada kisaran  $15^\circ\text{C}$  sementara tanpa keberadaan GRK suhu permukaan bumi akan mencapai  $-18^\circ\text{C}$  (Dhillon & Wuehlisch, 2013).

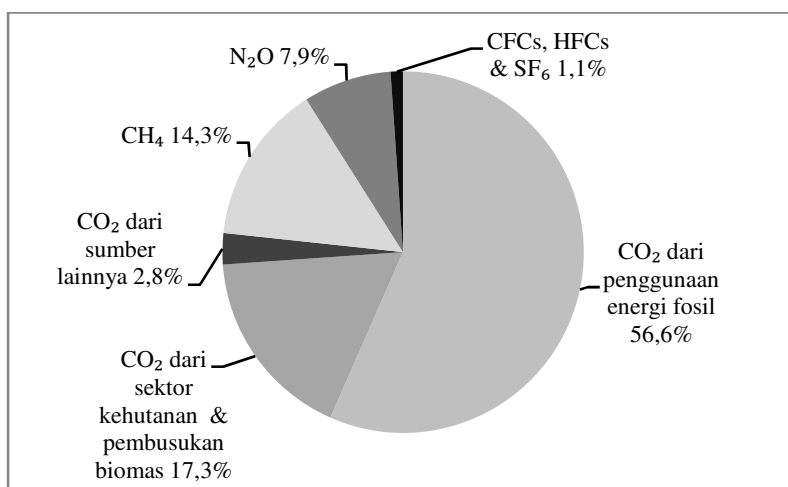
Gas-gas yang termasuk golongan GRK yaitu  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  dan gas-gas terfluorinasi (F-gas) yang meliputi kelompok *perfluorocarbon* (PFCs), kelompok *hydrofluorocarbon* (HFCs) and *sulphur hexafluoride* ( $\text{SF}_6$ ) dan senyawa-senyawa perusak lapisan ozon (IPCC, 2007b). Masing-masing GRK memiliki nilai *Global Warming Potential* (GWP) yang berbeda-beda, semakin besar nilai GWP maka akan semakin menyebabkan pemanasan global. *Global Warming Potential* adalah potensi suatu gas dalam menyebabkan pemanasan

global yang diukur secara relatif berdasarkan emisi CO<sub>2</sub> dengan nilai 1 (satu). Sebagai contoh CH<sub>4</sub> memiliki nilai GWP 21 artinya setiap unit CH<sub>4</sub> memiliki efektivitas 21 kali dibandingkan dengan CO<sub>2</sub> dalam mencegah lepasnya radiasi infra merah dari atmosfer bumi.

Meskipun nilai GWP CO<sub>2</sub> tidak besar, CO<sub>2</sub> merupakan jenis GRK yang konsentrasinya paling besar di atmosfer. Data IPCC (2007) menunjukkan bahwa pada tahun 2004 emisi CO<sub>2</sub> menyumbang 76,7% dari total emisi GRK yang diakibatkan oleh aktivitas manusia, diikuti oleh emisi CH<sub>4</sub> sebesar 14,3%,

emisi N<sub>2</sub>O sebesar 7,9% dan gas-gas lainnya hanya berkontribusi sebesar 1,1% (Gambar 1).

Emisi CH<sub>4</sub> sebagian besar berasal dari proses dekomposisi bahan-bahan organik oleh mikroba anaerob. Konsentrasi CH<sub>4</sub> mengalami peningkatan yang sangat tajam pada sepuluh tahun terakhir yaitu sebesar 1,0-1,3% per tahun yang berarti lebih besar dibandingkan kenaikan konsentrasi CO<sub>2</sub> yang hanya sebesar 0,5% per tahun (Takahashi, 2006). Beberapa data terkait dengan CH<sub>4</sub> disajikan pada Tabel 1.



**Gambar 1.**  
Bauran Emisi GRK Pada Tahun 2004  
Sumber : IPCC, 2007a

**Tabel 1.**  
Gambaran dan Beberapa Fakta Tentang CH<sub>4</sub>

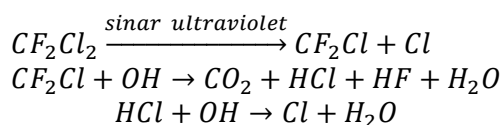
No	Fakta-fakta tentang CH <sub>4</sub>
1	CH <sub>4</sub> adalah penyebab utama kedua terjadinya pemanasan global setelah CO <sub>2</sub>
2	Kemampuan CH <sub>4</sub> dalam menjebak panas dari radiasi sinar inframerah 21 kali lebih efektif dibandingkan CO <sub>2</sub> .
3	Di atmosfer CH <sub>4</sub> baru akan terurai setelah 10-12 tahun yang berarti lebih pendek dibandingkan dengan CO <sub>2</sub> yang mencapai 120 tahun.
4	Konsentrasi CH <sub>4</sub> di atmosfer meningkat dua kali lipat dalam 2 abad terakhir.
5	Aktivitas manusia berkontribusi terhadap emisi CH <sub>4</sub> sebesar 70%

Sumber: Naqvi & Sejian, 2011

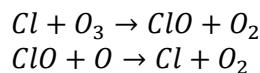
Konsentrasi N<sub>2</sub>O di atmosfer relatif kecil dibandingkan dengan konsentrasi CO<sub>2</sub> (Gambar 1), namun nilai GWP N<sub>2</sub>O sebesar 310 yang artinya kemampuan N<sub>2</sub>O dalam menjebak panas dari radiasi sinar inframerah 310 kali lebih efektif dibandingkan CO<sub>2</sub>. Selain itu, N<sub>2</sub>O memiliki *life time* yang relatif lama yaitu 114 tahun yang berarti N<sub>2</sub>O lebih lama terurai di atmosfer dibandingkan dengan CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub> (Naqvi & Sejian, 2011). Sebagian besar (64%) emisi N<sub>2</sub>O berasal dari proses alami (*natural process*) sedangkan aktivitas manusia hanya berkontribusi sebesar 36% (EPA, 2010).

Senyawa-senyawa perusak ozon (*ozon-depleting substances*) seperti kelompok CFCs dan kelompok HCFCs memiliki peran yang berbeda dalam menyebabkan pemanasan global dibandingkan jenis GRK lainnya. Senyawa-senyawa perusak ozon akan mengurangi konsentrasi ozon di atmosfer dengan jalan mendekomposisi ozon menjadi senyawa lain.

Kelompok *chlorofluorocarbon* merupakan senyawa yang paling terkenal sebagai perusak ozon. *Chlorofluorocarbon* banyak digunakan sebagai pendingin (*refrigerant*) pada lemari es maupun sebagai bahan pembakar (*propellant*) pada penggunaan aerosol. Ketika *chlorofluorocarbon* dilepaskan ke udara dan berada di atmosfer, *chlorofluorocarbon* akan bereaksi dengan sinar ultraviolet dan terdekomposisi menjadi atom atau senyawa yang lebih ringan dan lebih kecil. Mekanisme dekomposisi *chlorofluorocarbon* jenis CFC-12 (CF<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>) di atmosfer adalah sebagai berikut:

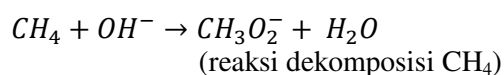
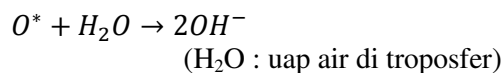
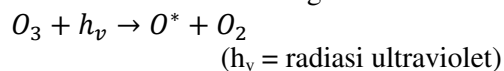


Atom Cl yang terlepas dari dekomposisi CFC-12 akan bereaksi dengan ozon dan membentuk senyawa lain. Mekanisme reaksi antara atom Cl dengan ozon (O<sub>3</sub>) adalah sebagai berikut:



Atom Cl yang dihasilkan dari reaksi chlorine monooksida (ClO) dengan oksigen bebas (O) selanjutnya akan bereaksi kembali dengan ozon.

Keberadaan ozon di atmosfer sangat penting untuk menjaga kestabilan temperatur bumi. Salah satu fungsi ozon yang terkait dengan pemanasan global adalah sebagai pengurai CH<sub>4</sub> di atmosfer. Konsentrasi CH<sub>4</sub> di atmosfer (troposfer) secara kimia akan menurun karena bereaksi dengan radikal OH<sup>-</sup>. Radikal OH<sup>-</sup> merupakan oksidator terbesar yang ada di lapisan troposfer yang berasal dari reaksi fotolisis ozon sebagai berikut:



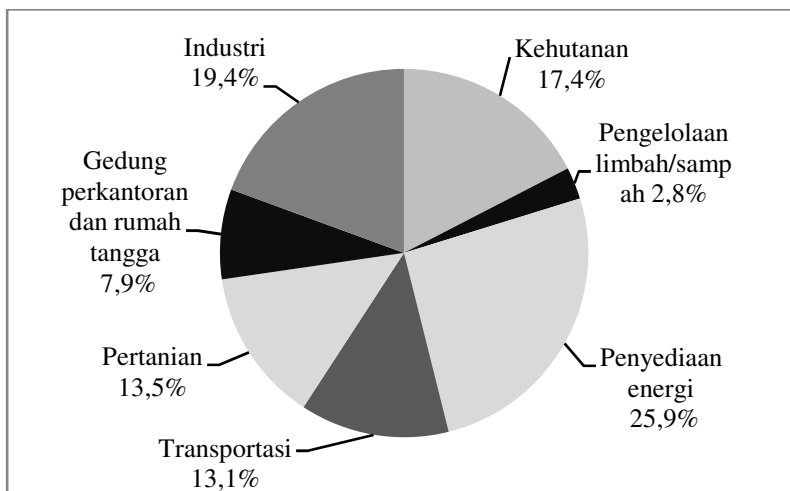
Konsentrasi CH<sub>4</sub> akan semakin menurun apabila konsentrasi OH<sup>-</sup> semakin meningkat demikian pula sebaliknya. Konsentrasi OH<sup>-</sup> di troposfer dipengaruhi oleh radiasi ultraviolet, jumlah uap air dan konsentrasi ozon (Wahyudi, 2016).

### Sumber-sumber GRK

Sektor penyediaan energi menjadi kontributor utama emisi GRK dunia (Gambar 2). Populasi dunia yang terus meningkat berbanding lurus dengan peningkatan konsumsi energi. Besarnya

emisi GRK yang dihasilkan dari sektor penyediaan energi disebabkan sebagian

besar pembangkit listrik menggunakan energi fosil.



**Gambar 2.**  
Sektor-sektor penghasil GRK pada tahun 2004  
Sumber : IPCC, 2007a

Secara global, penggunaan energi fosil untuk penyediaan energi masih sangat dominan (di atas 80%) meskipun kontribusi energi fosil mengalami penurunan yaitu dari 86% pada tahun 1970 menjadi 81% pada tahun 2004 (IPCC, 2007a). Di Indonesia, 75% kebutuhan energi berasal dari energi

yang tidak terbarukan antara lain minyak, batubara dan gas alam (Kementerian ESDM, 2010). Emisi GRK yang berasal dari aktivitas penyediaan energi pada periode 1999-2009 mengalami peningkatan yang sangat signifikan yaitu 83,7% (CO<sub>2</sub>), 71,2% (NO<sub>x</sub>) dan 85,1% (CO) (Tabel 2).

**Tabel 2.**  
Emisi GRK pada instalasi pembangkit listrik di Indonesia 1999-2009

Tahun	CO <sub>2</sub> (ton)	NO <sub>x</sub> (kg)	CO (kg)
1999	53.229.254	349.456.637	9.622.815
2000	55.281.571	363.228.572	10.011.830
2001	60.298.456	384.661.554	10.912.761
2002	66.051.720	407.180.603	12.030.448
2003	76.941.729	452.336.514	14.018.769
2004	76.098.362	442.496.138	14.004.790
2005	84.360.090	480.570.474	15.643.246
2006	91.524.338	498.815.280	16.818.474
2007	99.338.194	560.215.890	18.238.138
2008	99.156.959	570.072.214	18.325.461
2009	97.786.632	598.450.699	17.817.668

Sumber: Hasan et al, 2012

Sebagian besar (95%) emisi GRK yang berasal dari sektor transportasi

berasal dari pembakaran bahan bakar kendaraan sementara sisanya (5%)

berupa emisi F-gas yang berasal dari penggunaan *air conditioner* (AC). Apabila lebih diperinci, dari 95% emisi GRK, kontribusi CH<sub>4</sub> dan N<sub>2</sub>O sangat kecil yaitu hanya sekitar 0.1–0.3% (CH<sub>4</sub>) dan 2.0-2.8% (N<sub>2</sub>O) sedangkan sisanya ±92% berupa emisi CO<sub>2</sub> (IPCC, 2007a). Pada tahun 2004 di Indonesia, sektor transportasi berkontribusi sebesar 23% dari total emisi GRK dan berdasarkan tren pertumbuhan sektor transportasi di Indonesia, diperkirakan emisi GRK di sektor transportasi akan mengalami peningkatan dua kali lipat dalam waktu 10 tahun (DNPI, 2010)

Sektor pertanian merupakan kontributor CH<sub>4</sub> terbesar dibandingkan sektor-sektor yang lain. Emisi CH<sub>4</sub> berasal dari dekomposisi material organik pada kondisi anaerob, proses fermentasi pada sistem pencernaan hewan ruminansia (*enteric fermentation*), penanganan limbah ternak dan penggenangan sawah. Emisi N<sub>2</sub>O berasal dari penggunaan pupuk nitrogen dan aktivitas mikroba pengurai. Emisi CO<sub>2</sub> berasal dari proses pembakaran limbah pertanian maupun proses dekomposisi material organik secara aerob (Smith & Olesen, 2010).

Emisi GRK dari sektor pengelolaan limbah/sampah berupa emisi CO<sub>2</sub> akibat proses pembakaran sampah secara tradisional maupun dengan *incinerator*. Emisi CH<sub>4</sub> berasal dari proses anaerob pada sistem *landfill* pada tempat pembuangan akhir (TPA) maupun pengolahan air limbah industri. Emisi N<sub>2</sub>O berasal dari dekomposisi protein pada limbah atau sampah organik.

Pada tahun 2004, emisi GRK dari aktivitas dalam gedung perkantoran maupun rumah tangga mencapai 5 GtCO<sub>2</sub>-eq/tahun. Jumlah emisi tersebut tidak termasuk emisi GRK akibat penggunaan listrik. Sekitar 60% emisi GRK berupa CO<sub>2</sub> yang berasal dari aktivitas di dapur dan inefisiensi pada

sistem pemanas ruangan. Sekitar 30% emisi GRK berupa emisi F-gas akibat penggunaan AC dan lemari pendingin (*refrigerator*). Emisi CH<sub>4</sub> dan N<sub>2</sub>O hanya berkontribusi kecil yaitu 8% dan 2% (IPCC, 2007a).

Emisi GRK di sektor industri sebagian besar berupa emisi CO<sub>2</sub> akibat penggunaan energi fosil baik untuk pemenuhan energi maupun non energi. Oleh karena itu, emisi GRK terbesar di sektor industri dihasilkan oleh industri-industri yang mengkonsumsi energi dalam jumlah besar seperti industri logam, pupuk, kimia, kilang minyak, semen dan kertas. Di Filipina, 86% emisi CO<sub>2</sub> dari sektor industri berasal dari industri semen dan logam (Merilo, 2001). Emisi F-gas dihasilkan pada industri peleburan aluminium, pembuatan layar datar (*liquid crystal display*), industri semi konduktor dan peralatan elektronik. Emisi CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O berasal dari industri-industri kimia dan pengolahan limbah pada industri pangan (IPCC, 2007a).

Emisi GRK di sektor kehutanan sebagian besar berasal dari proses kebakaran hutan baik secara alami maupun untuk keperluan pembersihan lahan (*land clearing*). Emisi GRK di sektor kehutanan juga dihitung berdasarkan hilangnya kemampuan hutan dalam menyerap dan mengikat CO<sub>2</sub> (*carbon stock*). Pada periode 2000-2009, laju deforestasi mencapai 12,9 juta hektar per tahun yang sebagian besar bertujuan untuk alih fungsi lahan untuk keperluan pertanian, perumahan, infrastruktur dan pemenuhan industri kayu (Dhillon & Wuehlisch, 2013). Di Indonesia, pada periode 2012-2013 angka deforestasi mencapai 43.466,8 hektar untuk hutan primer dan 795.377,7 hektar untuk hutan sekunder (KLHK, 2014). Studi yang dilakukan Flavin (1989) mengenai emisi GRK di Indonesia menunjukkan emisi GRK akibat deforestasi tujuh kali lebih

besar dari pada emisi GRK akibat penggunaan energi fosil.

## **STRATEGI MITIGASI**

Mitigasi GRK merupakan bentuk intervensi manusia yang bertujuan untuk menurunkan emisi atau meningkatkan kemampuan untuk menyerap dan mengkonversi GRK. Selain bermanfaat dalam aspek lingkungan, mitigasi GRK biasanya memiliki dampak positif bagi aspek sosial dan ekonomi.

Menurut Simpson *et al.* (2008), terdapat 4 strategi utama penerapan mitigasi emisi GRK:

1. **Eliminasi**, menghindari aktivitas dan penggunaan alat-alat yang dapat menghasilkan emisi GRK, contohnya mematikan lampu saat tidak digunakan. Hambatan dari strategi ini adalah pada kesadaran masyarakat tentang perilaku hemat energi. Studi di London, Inggris menunjukkan konsumsi listrik pada sampel rumah tangga mengalami penurunan drastis ketika mereka mengetahui bahwa konsumsi listrik di rumah mereka dipantau dan menjadi sampel penelitian perilaku hemat energi oleh pemerintah (Levermore, 1985).

2. **Pengurangan**, dilakukan dengan melakukan efisiensi energi pada setiap aktivitas, contohnya pemilihan peralatan elektronik yang lebih hemat listrik. Studi di Cina menunjukkan bahwa apabila setiap kulkas yang telah habis pakai diganti dengan kulkas hemat energi maka akan tercapai penghematan energi sebesar 20% dalam 15 tahun ke depan. Namun hambatannya adalah produk hemat energi bukanlah menjadi alasan utama bagi konsumen di Cina saat membeli produk elektronik. Konsumen lebih mempertimbangkan faktor merek terkenal dan harga sebagai alasan pertama dan kedua saat membeli produk elektronik (Ma *et al.*, 2011).

3. **Substitusi**, yaitu strategi untuk mengganti teknologi atau merubah

perilaku yang menyebabkan munculnya emisi GRK yang besar dengan teknologi atau merubah perilaku yang rendah emisi. Contohnya penggunaan biogas untuk menggantikan energi fosil atau energi dari biomasa. Peralihan penggunaan kayu bakar, arang, minyak tanah dan LPG ke penggunaan biogas di Tanzania mampu mencegah terjadinya emisi GRK sebesar 5.825 kg CO<sub>2</sub>-<sub>eq</sub>/tahun/keluarga (Laramee & Davis, 2013).

4. **Offset**, yaitu strategi untuk menyerap konsentrasi GRK sehingga emisi GRK yang muncul dapat dikurangi. Contoh strategi *offset* adalah reforestasi untuk menyerap emisi karbondioksida yang ditimbulkan oleh aktivitas manusia. Studi yang dilakukan oleh Putri dan Wulandari (2015) menunjukkan tanaman damar mata kucing (*Shorea javanica*) mampu menyerap emisi CO<sub>2</sub> sebesar 124,86 ton/hektar.

## **KESIMPULAN**

Penyebab terjadinya pemanasan global masih menjadi perdebatan di kalangan para ahli dan pemimpin dunia. Sebagian dari mereka berpendapat bahwa pemanasan global merupakan peristiwa alamiah yang terjadi pada peradaban manusia. Sementara sebagian yang lain berpendapat bahwa aktivitas manusia (*anthropogenic*) telah menyebabkan terjadinya peningkatan emisi GRK yang menyebabkan pemanasan global. Namun para ahli bersepakat bahwa temperatur bumi mengalami peningkatan dan hal tersebut memberikan dampak terhadap lingkungan dan kehidupan manusia.

Dari perspektif *anthropogenic*, pencegahan (mitigasi) emisi GRK merupakan salah satu cara untuk mengurangi dampak negatif dari pemanasan global. Berbagai strategi mitigasi telah dan akan dilakukan baik melalui perubahan perilaku manusia maupun pengembangan teknologi. Secara

nasional, komitmen pemerintah Indonesia dalam menurunkan emisi GRK diwujudkan dengan diterbitkannya Peraturan Presiden (Perpres) No. 61 Tahun 2011 mengenai Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi GRK yang berisi rencana kerja untuk pelaksanaan berbagai kegiatan yang secara langsung dan tidak langsung menurunkan emisi GRK di berbagai bidang/sector sesuai dengan target pembangunan nasional.

## DAFTAR PUSTAKA

- Dewan Nasional Perubahan Iklim. 2010. *Peluang dan Kebijakan Pengurangan Emisi Sektor Transportasi*. Jakarta.
- Dhillon, R.S. & Wuehlisch, G.v. 2013. Mitigation of global warming through renewable biomass. *Biomass and bioenergy*. Vol 48. 75-89.
- Environmental Protection Agency. 2010. *Methane and Nitrous Oxide Emissions from Natural Sources*. Washington, DC.
- Flavin, C. 1989. Slowing Global Warming: A World-Wide Strategy. Paper 91, Worldwatch Institute. Washington, DC.
- Hasan, M.H., Muzammil, W.K., Mahlia, T.M.I., Jannifar, A., & Hasanuddin, I. 2012. A review on the pattern of electricity generation and emission in Indonesia from 1987 to 2009. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol 16 : 3206-3219.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K, editors. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Hayama: Institute for Global Environmental Strategies (IGES).
- .....
- ..... 2007a. *Climate Change 2007: Mitigation*. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)]. New York : Cambridge University Press.
- .....
- ..... 2007b. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutik (eds)]. New York : Cambridge University Press.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. 2010. *Handbook of energy and economic statistic of Indonesia*. Jakarta.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. 2014. *Statistik Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan*. Jakarta : Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Laramee, J and Davis, J. 2013. Economic and environmental impacts of domestic bio-digesters: Evidence from Arusha, Tanzania. *Energy for Sustainable Development*. Vol 17. 296-304
- Levermore, G.J., 1985 : Monitoring and targeting; motivation and training. Proceeding in *Energy Management Experience Conference*. Cambridge, UK. 21-30.



- Ma, G. Andrews-Speed, P. & Zhang, J.D. 2011. Study on Chinese consumer attitudes on energy-saving household appliances and government policies: based on a questionnaire survey of residents in Chongqing, China. *Energy Procedia*. Vol 5 : 445–451
- Merilo, G. A. D. 2001. Greenhouse Gas Mitigation Strategies: The Philippine Experience. Workshop on Good Practices in Policies and Measures. Copenhagen
- Naqvi, S., & Sejian, V. 2011. Global Climate Change: Role of Livestock. *Asian Journal of Agricultural Sciences*, 19-25.
- Putri, A. H. M & Wulandari, C. 2015. Potensi Penyerapan Karbon Pada Tegakan Damar Mata Kucing (*Shorea Javanica*) Di Pekon Gunung Kemala Krui Lampung Barat. *Jurnal Sylva Lestari*. Vol. 3 : 13-20.
- Simpson, M.C. Gössling, S. Scott, D. Hall, C.M. and Gladin, E. 2008. *Climate Change Adaptation and Mitigation in the Tourism Sector: Frameworks, Tools and Practices*. UNEP, University of Oxford, UNWTO, WMO: Paris.
- Smith, P & Olesen, J. E. 2010. Synergies between the mitigation of, and adaptation to, climate change in agriculture. *Journal of Agricultural Science*. Vol 148 : 543-552
- Takahashi, J. 2006. Emission of GHG from livestock production in Japan. *Proceeding International Congress Series 1293*. 13-20.
- Wahyudi, J. 2016. *The Sustainability of Biogas Production in Small-scale Dairy Farming in Pati district, Indonesia*. Thesis. Leeuwarden : The University of Twente.

### **BIODATA PENULIS**

Jatmiko Wahyudi, lahir 5 Oktober 1979 di kota Pati, Jawa Tengah. Gelar Sarjana Teknik (ST) diperoleh dari Jurusan Teknik Kimia, Universitas Sebelas Maret Surakarta. Pendidikan S2 diperoleh melalui program *double degree* di jurusan Ilmu Lingkungan Universitas Padjadjaran, Bandung dan Jurusan *Master of Environmental and Energy Management*, The University of Twente, The Netherlands. Saat ini bekerja sebagai peneliti di Kantor Penelitian dan Pengembangan Kabupaten Pati dengan kepakaran di bidang *Ecology* (lingkungan).