

METODE ESTIMASI KONSENTRASI GAS RUMAH KACA WAKTU LAMPAU (PALEOKLIMATOLOGI)

Lilik S. Supriatin, Sri K. Prabotosari, dan Indah Susanti

Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer, LAPAN

Pos-el: lilik_lapan@yahoo.com

Abstract

It has been estimated greenhouse gas (GHG) concentrations of CO₂ and CH₄ in 1900 in Indonesia. Estimation GHG concentrations is done because of the difficulty of knowing a large concentration of GHG in the past. Knowledge of the concentration of GHG in 1900 are part of the climate change and to analyze the history of climate change. The method used is a statistical analysis using software Powersim Constructor 2.5. The results of the estimation of concentration of GHG in Indonesia in 1900 was 219.79 ppm for CO₂ and CH₄ amounted to 971.42 ppb. If these results are compared with CO₂ concentration measurement of paleoclimatology (ice cores) in Maona Loa (Hawaii) correlation coefficient of 0.95, while the concentration of CH₄ has a correlation coefficient of 0.98 with the results of measurements of the location and the same method as the concentration of CO₂. If the results of the model compared to the global CO₂ concentration from NOAA satellites and a 0.99 correlation coefficient for the concentration of CH₄ was $r = 0.97$. Based on correlation test between output model with satellite data and correlation test between output model with observation data (in situ) to produce positive correlation coefficient (r) of which greater than 0.5, then the model with use Powersim can be recommended to estimate past CO₂ and CH₄ concentration.

Keywords : estimation, statistic, CO₂, CH₄, paleoclimatology.

Abstrak

Telah dilakukan estimasi konsentrasi Gas Rumah Kaca (GRK) jenis CO₂ dan CH₄ pada tahun 1900 di Indonesia. Estimasi konsentrasi GRK ini dilakukan karena sulitnya mengetahui besar konsentrasi GRK pada masa lampau. Pengetahuan konsentrasi GRK tahun 1900 merupakan bagian dari perubahan iklim dan untuk menganalisis sejarah perubahan iklim di masa lalu. Metode yang digunakan adalah analisis statistika dengan menggunakan perangkat lunak Powersim Constructor 2.5. Hasil dari estimasi konsentrasi GRK tahun 1900 di Indonesia untuk CO₂ adalah 219,79 ppm dan CH₄ sebesar 971,42 ppb. Jika hasil ini dibandingkan dengan konsentrasi CO₂ dari pengukuran secara paleoklimatologi (*ice cores*) di Maona Loa (Hawaii) diperoleh koefisien korelasi 0,95, sedangkan untuk konsentrasi CH₄ memiliki koefisien korelasi 0,98 dengan hasil pengukuran dari lokasi dan metode yang sama dengan konsentrasi CO₂. Jika hasil dari model dibandingkan dengan konsentrasi CO₂ global dari satelit NOAA diperoleh koefisien korelasi 0,99 dan untuk konsentrasi CH₄ adalah 0,97. Berdasarkan uji korelasi antara luaran model dengan data satelit dan uji korelasi antara luaran model dengan data observasi menghasilkan koefisien korelasi yang semuanya menghasilkan r positif dan lebih besar dari 0,5, maka model dengan menggunakan Powersim disarankan dapat digunakan untuk mengestimasi konsentrasi CO₂ dan CH₄ masa lampau.

Kata Kunci : estimasi, statistik, CO₂, CH₄, paleoklimatologi

1. PENDAHULUAN

Penelitian untuk mengetahui konsentrasi GRK ketika teknologi pengukuran dan teknologi satelit belum menjangkau adalah hambatan utama penelitian tentang GRK. Saat ini penelitian tentang GRK semakin berkembang. Hal ini disebabkan selain kemajuan teknologi pemantauan dengan satelit juga disebabkan konsentrasi GRK yang semakin hari semakin meningkat dengan potensi dampak degradasi lingkungan yang sangat mengkhawatirkan. Konsentrasi CH₄ memiliki laju peningkatan 1% per tahun.¹

Satelit buatan manusia pertama yang mengorbit ruang angkasa baru berhasil dilakukan pada tahun 1957, yaitu ketika Uni Soviet meluncurkan satelit Sputnik I. Observasi komposisi atmosfer dengan menggunakan satelit baru dimulai pada tahun 1979 yaitu ketika satelit TOMs mengorbit untuk mengamati konsentrasi ozon (O₃).

Gas-gas seperti CH₄ (metana), CO₂ (karbondioksida), dan N₂O (dinitrogen monooksida) adalah GRK utama yang berpotensi mengakibatkan pemanasan global dan berakibat terjadinya perubahan iklim.^{2,3} Masing-masing jenis GRK memiliki indeks rasio potensi pemanasan global yang disebut *Global Warming Potential* (GWP) terhadap CO₂. Nilai GWP ini berubah semakin kecil menurut waktu. Metana memiliki GWP 23 kali lebih besar daripada CO₂, sementara N₂O memiliki GWP 310 kali dibandingkan dengan CO₂.³ Metana juga lebih efektif menyerap radiasi gelombang panjang infra merah 30% lebih besar daripada CO₂.⁴

Mengingat konsentrasi GRK yang semakin meningkat dan dampak yang ditimbulkan, maka pengukuran konsentrasi GRK menjadi bagian penting dari penelitian tentang perubahan iklim. Ketersediaan dan kelengkapan data konsentrasi GRK sangat diperlukan pada tahap awal suatu penelitian atau kajian tentang perubahan iklim. Kondisi yang sama dengan data konsentrasi GRK pada tahun-tahun sebelumnya (tahun 1900) di Indonesia juga sangat sukar diperoleh. Pengukuran konsentrasi dan estimasi emisi GRK di Indonesia baru dimulai sekitar tahun 1990-an.

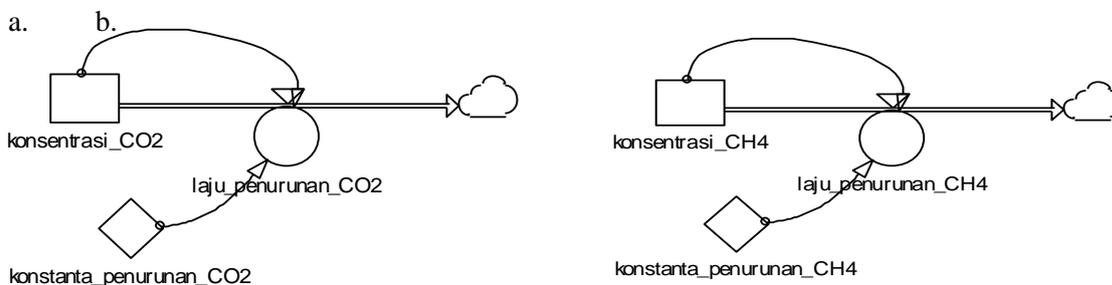
Penelitian atau kajian perubahan iklim menurut alur waktu dapat dibagi menjadi dua. Penelitian perubahan iklim alur mundur dan penelitian perubahan iklim alur maju. Perubahan iklim alur waktu mundur sering disebut paleoklimatologi. Paleoklimatologi adalah ilmu mengenai perubahan iklim yang terjadi dalam seluruh rentang sejarah bumi.⁵ Beberapa metode atau teknik paleoklimatologi antara lain analisis *tree rings icecore*, dan fosil.⁶ Kajian perubahan iklim alur waktu maju beberapa tahun ke depan disebut dengan proyeksi.⁷

Pada makalah ini untuk mengetahui konsentrasi GRK waktu lampau tidak akan menggunakan metode paleoklimatologi, tetapi berdasarkan simulasi mundur dengan menggunakan *software Powersim Constructor 2.5*. Oleh karena itu dilakukan kajian estimasi konsentrasi CO₂ dan CH₄ pada tahun 1900 di Indonesia yang diperlukan untuk menjawab pertanyaan penelitian pertama “berapa besar konsentrasi CO₂ dan CH₄ pada tahun 1900?” dan pertanyaan penelitian ke dua “apakah terjadi kenaikan konsentrasi GRK dari dulu hingga kini?”. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui dan menganalisis konsentrasi CO₂ dan CH₄ pada tahun 1900 di Indonesia. Manfaat dari penelitian ini adalah memperkenalkan dan dapat menambah satu metode estimasi GRK waktu lampau dengan menggunakan data *time series* dan *software Powersim Constructor 2.5*.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini terdiri dari tiga tahap. Pertama, mengoleksi data sekunder berupa data *time series* konsentrasi CO₂ bulanan (2002-2011) dan CH₄ bulanan (2002-2014). Data bersumber dari satelit AQUA dengan sensor *Atmospheric Infrared sounders* (AIRS). Lokasi penelitian adalah Indonesia dengan koordinat geografis 6⁰LU – 11⁰LS dan 95⁰BT – 141⁰BT.

Pengolahan data dilakukan dengan membuat ukuran pemusatan (rata-rata tahunan) dan laju peningkatan konsentrasi CO₂ dan CH₄ setiap tahun. Kedua, membuat model statistik dari kedua konsentrasi GRK dan menjalankan model dengan *software Powersim Constructor 2.5*. Ketiga, menganalisis dan membandingkan antara luaran model statistik dengan observasi.

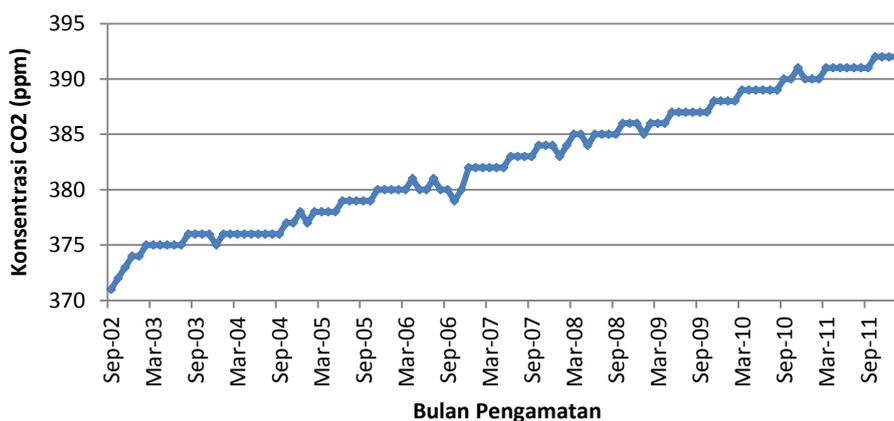


Gambar 1. Diagram alir dalam Powersim: (a) konsentrasi CO₂, (b) konsentrasi CH₄

Sebelum menjalankan model dengan Powersim terdapat tiga asumsi yang digunakan yaitu pertama laju peningkatan konsentrasi CO₂ dan CH₄ adalah konstan (tetap). Kedua selama rentang waktu yang dikaji tidak ada kebijakan yang menurunkan atau memitigasi GRK (CO₂ dan CH₄). Ketiga, selama rentang waktu yang dikaji tidak terdapat kejadian erupsi gunung api yang mengeluarkan polutan udara sehingga dapat menurunkan konsentrasi GRK. Alur kerja dalam Powersim dapat dilihat pada Gambar 1.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 2 menyajikan data *time series* konsentrasi GRK jenis CO₂ periode September 2002 sampai dengan Desember 2011 di Indonesia hasil dari observasi satelit.



Gambar 2. *Time Series* Konsentrasi CO₂ Bulanan Di Indonesia

Berdasarkan Gambar 2 dapat diketahui bahwa konsentrasi CO₂ setiap tahunnya cenderung semakin meningkat. Kondisi ini terjadi disebabkan sumber pengemisi CO₂ semakin banyak jumlah dan intensitasnya, sementara perosot (*sinker*) semakin sedikit. Industrialisasi, peningkatan jumlah

kendaraan bermotor, peningkatan populasi dengan kegiatan domestiknya, dan kebakaran hutan serta lahan, perubahan tata guna lahan adalah sumber-sumber antropogenik pengemisi CO₂.

Laut dan lahan terbuka adalah perosot CO₂. Kondisi saat ini perosot CO₂ malahan mengalami penyempitan luasnya. Reklamasi laut untuk dijadikan daratan, kerusakan terumbu karang dalam laut, perubahan penutup permukaan lahan dari tanah menjadi aspal atau beton turut meningkatkan emisi CO₂.⁵ Berdasarkan data *time series* pada Gambar 2 dapat dihitung konsentrasi CO₂ tahunan. Tabel 1 menyajikan data konsentrasi tahunan CO₂.

Tabel 1. Konsentrasi CO₂ Tahunan

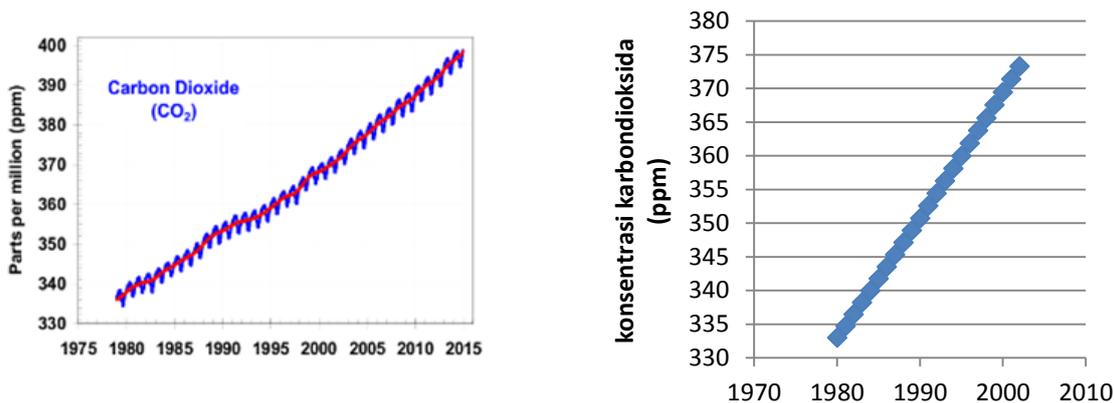
No	Tahun	Konsentrasi CO ₂ (ppm)
1.	2003	375,25
2.	2004	376,33
3.	2005	378,67
4.	2006	380,25
5.	2007	382,83
6.	2008	384,92
7.	2009	386,75
8.	2010	389,25
9.	2011	391,08

Berdasarkan Tabel 1 dapat dihitung rata-rata prosentase laju peningkatan konsentrasi CO₂ per tahun. Hasil penghitungan diperoleh bahwa rata-rata prosentase laju peningkatan konsentrasi CO₂ per tahun adalah 0,518%/tahun atau setara dengan 0,01 ppm/tahun. Nilai rata-rata prosentase laju peningkatan konsentrasi CO₂ per tahun ini akan diinput sebagai konstanta penurunan konsentrasi CO₂ dalam *software* yang akan dipergunakan.

Software Powersim Constructor 2.5 sebenarnya dipergunakan hanya untuk memprediksi ke depan (waktu yang akan datang), tetapi oleh peneliti dimodifikasi diagram alirnya sehingga dapat untuk mengetahui konsentrasi CO₂ waktu sangat lampau (mengestimasi mundur) dengan menggunakan data saat ini.

Hasil *running software* dengan input data rata-rata konsentrasi CO₂ tahun 2003 sebagai *initial value* sebesar 375,25 ppm dan nilai rata-rata prosentase laju peningkatan konsentrasi CO₂ per tahun 0,518% menghasilkan konsentrasi CO₂ pada tahun 1900 adalah sebesar 219,79 ppm.

Hasil dari menjalankan *software Powersim* ini, kemudian dibandingkan dengan data konsentrasi CO₂ global dari The NOAA Annual GHG Index –AGGI 2015 (tahun 1980-2015). Data dari NOAA ini adalah data observasi yang bersumber dari satelit. Digunakannya data dari NOAA sebagai pembanding disebabkan tidak tersedianya data konsentrasi CO₂ untuk Indonesia periode tahun 1980 – 2002.

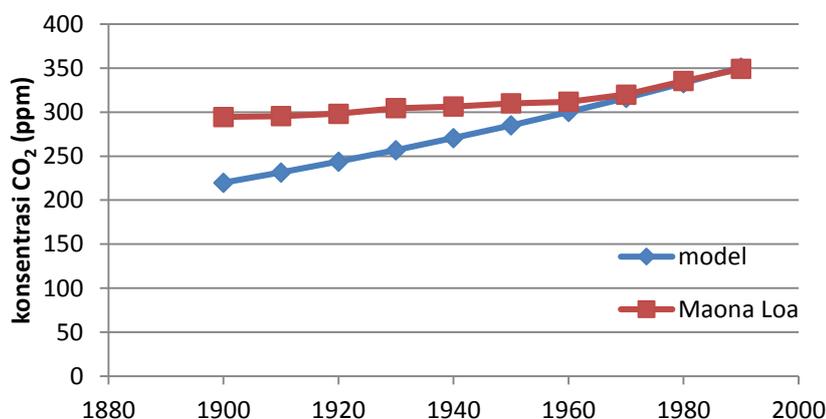


Gambar 3. Perbandingan antara konsentrasi CO₂: observasi dari NOAA⁸ (kiri) dan hasil model (kanan).

Berdasarkan Gambar 3 dapat diketahui dua hal. Pertama bahwa kedua pola konsentrasi CO₂ (baik CO₂ global maupun konsentrasi CO₂ Indonesia) memiliki pola yang sama, yaitu semakin hari konsentrasi CO₂ semakin cenderung meningkat. Kedua, hasil pemantauan estimasi dari satelit (global) lebih besar daripada konsentrasi CO₂ hasil estimasi (model) dengan menggunakan *software* Powersim. Hal ini dapat terjadi disebabkan konsentrasi CO₂ global adalah berasal atau bersumber dari lokasi yang lebih luas daripada konsentrasi CO₂ hasil estimasi *software* yang hanya dari satu sumber lokasi yaitu Indonesia saja.

Jika dihitung koefisien korelasi antara konsentrasi CO₂ global dengan konsentrasi CO₂ hasil estimasi menghasilkan $r = 0,99$. Hal ini menunjukkan bahwa estimasi dengan menggunakan laju peningkatan rata-rata konsentrasi CO₂ per tahun periode 2003-2011 dapat digunakan untuk mengestimasi konsentrasi CO₂ pada waktu sangat lampau (tahun 1900).

Pada penelitian ini konsentrasi CO₂ hasil luaran model tahun 1900 juga akan dibandingkan dengan data observasi hasil paleoklimatologi yaitu CO₂ yang tertangkap pada *ice cores* di Maona Loa, Hawaii. Berdasarkan data paleoklimatologi, konsentrasi CO₂ pada tahun 1900 adalah 294,55 ppm. Gambar 4 menyajikan konsentrasi CO₂ hasil model dan observasi (paleoklimatologi) di Maona Loa, Hawaii.



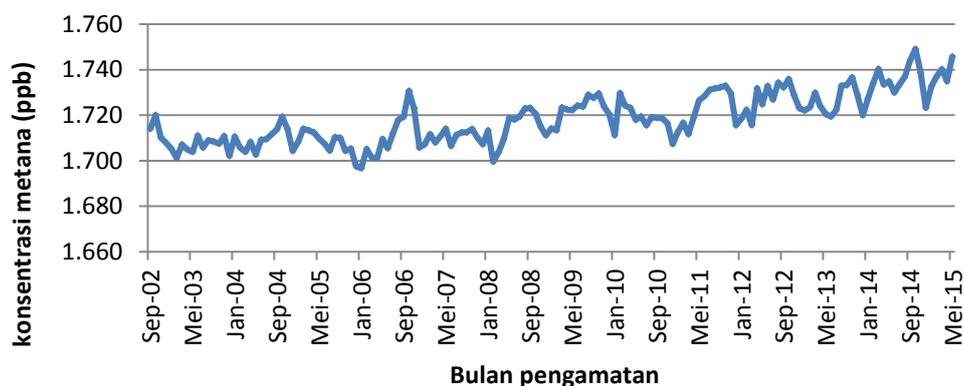
Gambar 4. Konsentrasi CO₂ antara observasi (lokasi Maona Loa) dengan model (Indonesia)

Berdasarkan Gambar 4 dapat diketahui bahwa pertama kedua jenis konsentrasi CO₂ memiliki pola yang semakin waktu bertambah, maka semakin meningkat. Analisis korelasi antara luaran model dengan observasi menghasilkan koefisien korelasi (r) sebesar 0,95.

Kedua, sekitar tahun 1970, kedua jenis besarnya konsentrasi CO₂ berhimpit dan kenaikan konsentrasi CO₂ di Indonesia memiliki tren kenaikan yang lebih tinggi daripada di Maona Loa, Hawaii. Hal ini terjadi dapat saja disebabkan industrialisasi di bidang pertanian yang banyak mengemisikan CO₂. Pada 1 April 1969 pemerintahan Orde Baru mencanangkan dimulainya program PELITA (Pembangunan Lima Tahun) I sampai dengan 31 Maret 1974. Program PELITA I adalah menitikberatkan pada pembangunan sektor pertanian dan industri yang mendukung sektor pertanian (pembangunan pabrik pupuk dan pabrik insektisida). Sementara Indonesia terus membangun dalam sektor industrialisasi, Maona Loa, Hawaii tetap menjadi daerah bersih sehingga trend kenaikan konsentrasi CO₂ di Maona Loa, Hawaii lebih lambat daripada di Indonesia.

Ketiga, konsentrasi CO₂ Indonesia tahun 1900 hasil luaran model (219,79 ppm) lebih kecil daripada konsentrasi CO₂ tahun 1900 berdasarkan paleoklimatologi 294,55 ppm.^{9,10} Kondisi ini disebabkan pada tahun 1900 kegiatan antropogenik di Indonesia juga dapat dikatakan masih belum banyak melepaskan emisi CO₂. Konsentrasi CO₂ di atmosfer berasal dari emisi CO₂ yang dihasilkan baik secara alami maupun antropogenik. Emisi CO₂ yang dihasilkan rakyat Indonesia waktu itu hanya sebatas berasal dari kegiatan domestik rumah tangga (memasak dengan menggunakan kayu bakar) dan pertanian (pembakaran jerami padi sisa panen).

Gambar 5 menyajikan data *time series* konsentrasi GRK jenis CH₄ periode September 2002 sampai dengan Maret 2015 di Indonesia hasil dari observasi satelit.



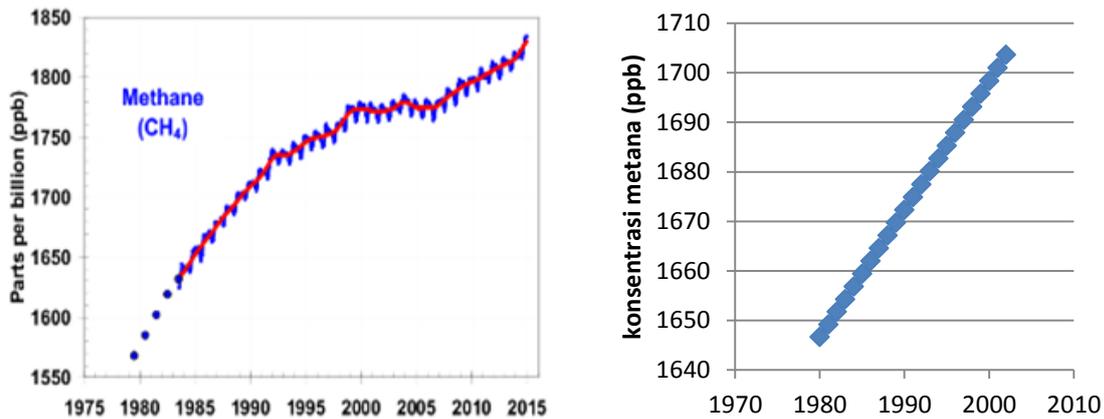
Gambar 5. *Time series* konsentrasi metana (CH₄) bulanan di Indonesia

Berdasarkan data *time series* pada Gambar 5 dapat dihitung konsentrasi CH₄ tahunan. Tabel 2 menyajikan data konsentrasi tahunan CH₄. Berdasarkan Tabel 2 dapat dihitung rata-rata prosentase laju peningkatan konsentrasi CH₄ per tahun. Hasil perhitungan diperoleh bahwa rata-rata prosentase laju peningkatan konsentrasi CH₄ per tahun adalah 0,1545%. Nilai rata-rata prosentase laju peningkatan konsentrasi CH₄ per tahun akan diinput sebagai konstanta penurunan konsentrasi CH₄ dalam *software* yang akan dipergunakan.

Hasil *running software* dengan input data rata-rata konsentrasi CH₄ tahun 2003 sebagai *initial value* sebesar 1706,25 ppb dan nilai rata-rata prosentase laju peningkatan konsentrasi CH₄ per tahun 0,1545% menghasilkan konsentrasi CH₄ pada tahun 1900 adalah sekitar 1455,05 ppb. Komparasi antara hasil estimasi konsentrasi CH₄ ini dengan konsentrasi global CH₄ dari *The NOAA Annual GHG Index –AGGI 2015*⁸ disajikan pada Gambar 6.

Tabel 2. Konsentrasi CH₄ Tahunan

No	Tahun	Konsentrasi CH ₄ (ppb)
1.	2003	1706,25
2.	2004	1709,42
3.	2005	1707,92
4.	2006	1710,67
5.	2007	1710,42
6.	2008	1714,67
7.	2009	1722,75
8.	2010	1718,50
9.	2011	1724,17
10.	2012	1727,25
11.	2013	1726,08
12.	2014	1735,42

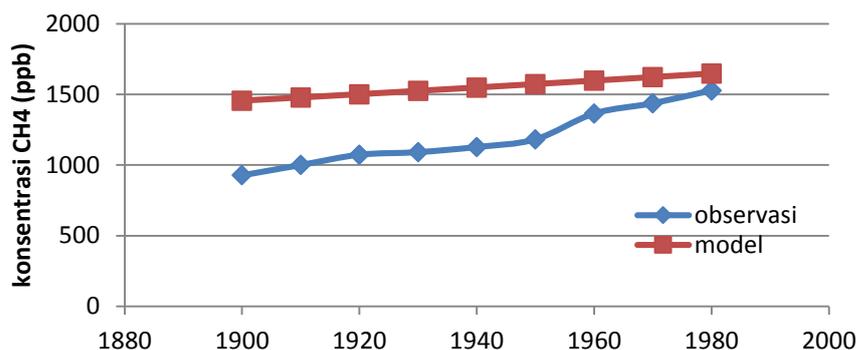


Gambar 6. Perbandingan antara konsentrasi CH₄: observasi dari NOAA⁸ (kiri) dan hasil model (kanan).

Berdasarkan Gambar 6 dapat diketahui dua hal. Pertama bahwa kedua pola konsentrasi CH₄ (baik CH₄ global maupun konsentrasi CH₄ di Indonesia) memiliki pola yang sama, yaitu semakin hari konsentrasi CH₄ semakin cenderung meningkat. Kedua, hasil pemantauan estimasi konsentrasi global CH₄ dari satelit lebih kecil daripada konsentrasi CH₄ hasil estimasi.

Jika dihitung koefisien korelasi antara konsentrasi CH₄ global dengan konsentrasi CH₄ hasil estimasi menghasilkan $r = 0,97$. Hal ini menunjukkan bahwa estimasi dengan menggunakan laju peningkatan rata-rata konsentrasi CH₄ per tahun periode 2003-2014 dapat digunakan untuk mengestimasi konsentrasi CH₄ pada tahun 1980-2015.

Pada penelitian ini konsentrasi CH₄ hasil luaran model tahun 1900 juga akan dibandingkan dengan data observasi hasil paleoklimatologi yaitu CH₄ yang tertangkap pada *ice cores*. Berdasarkan data paleoklimatologi, konsentrasi CH₄ pada tahun 1900 adalah 971,42 ppb. Gambar 7 menyajikan konsentrasi CH₄ hasil pengukuran paleoklimatologi.



Gambar 7. Perbandingan konsentrasi CH₄

Jika dibandingkan antara konsentrasi CH₄ Indonesia tahun 1900 hasil luaran model (1455,05 ppb) dengan konsentrasi CH₄ tahun 1900 berdasarkan paleoklimatologi (971,42 ppb) hasil pengukuran *ice cores* di Maona Loa, Hawaii. Konsentrasi CH₄ hasil luaran model lebih besar daripada pendekatan paleoklimatologi. Kondisi ini dapat saja disebabkan sebagian besar masyarakat Indonesia bekerja sebagai petani yang mayoritas menanam padi dan memiliki hewan ternak. *Intergovernmental Panel On Climate Change* (IPCC)¹¹ menyatakan bahwa secara global besarnya emisi CH₄ sumber alami berasal dari lahan basah 72%, rayap 13%, laut 6%, dan lainnya 9% serta sumber antropogenik yang terdiri dari pertanian padi sawah 16%, peternakan hewan besar 23%, gas alam 26%, pembakaran biomassa 11%, dan limbah 24%.

Sedangkan wilayah Maona Loa (kepulauan Hawaii) lebih didominasi oleh wilayah lautan yang tidak menghasilkan CH₄. Budidaya tanaman padi adalah salah satu sumber emisi CH₄ terlebih pada zaman dahulu yang dipergunakan adalah varietas padi berumur panjang yang memiliki emisi CH₄ lebih besar daripada varietas padi berumur pendek seperti yang dipergunakan saat ini.¹² Tabel 3 menyajikan umur varietas padi pada tiga periode waktu.

Tabel 3. Umur varietas padi selama tiga periode waktu

No	Periode tahun	Rata-rata umur varietas padi (hari)
1.	1940 - 1965	144
2.	1966 - 1998	125
3	1999 - 2009	117

Sumber: Balai Besar Penelitian Padi Subang, Jawa Barat¹³

Berdasarkan Tabel 3 dapat diketahui bahwa semakin hari, umur rata-rata varietas padi yang ditanam petani semakin pendek. Hal ini tidak begitu saja menunjukkan emisi CH₄ yang dilepaskan pertanian padi sawah semakin rendah. Kondisi ini disebabkan dengan semakin pendeknya umur varietas padi, petani dapat menanam tiga kali tanam padi dalam setahun serta dengan teknologi irigasi mengakibatkan emisi CH₄ yang dilepaskan akan lebih tinggi daripada penggunaan varietas padi yang berumur panjang (waktu dahulu) dengan jenis sawah tadah hujan. Setyanto¹⁴ menyatakan, sawah irigasi lebih besar melepaskan emisi CH₄ daripada sawah tadah hujan. Ditambahkan oleh Setyanto¹⁴ pertanian padi sawah irigasi melepaskan emisi CH₄ sebesar 71- 217 mg/m²/hari sedangkan pertanian padi sawah tadah hujan menghasilkan 19-123 mg/m²/hari CH₄.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi dengan menggunakan *software Powersim Constructor 2.5* dapat diketahui konsentrasi CO₂ pada tahun 1900 adalah sebesar 219,79 ppm dan konsentrasi CH₄ pada tahun 1900 adalah 971,42 ppb. Jika hasil ini dibandingkan dengan konsentrasi CO₂ dari pengukuran secara paleoklimatologi (*ice cores*) di Maona Loa (Hawaii) diperoleh koefisien korelasi 0,95, sedangkan untuk konsentrasi CH₄ memiliki koefisien korelasi 0,98.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada Balai Besar Penelitian Padi di Subang, Jawa Barat atas data umur varietas padi yang diberikan dan Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer, LAPAN yang telah mendanai penelitian ini. Penelitian ini merupakan bagian dari Program Penelitian Tahun Anggaran 2015. Tak lupa terima kasih penulis ucapkan untuk para *reviewer* seminar nasional sains atmosfer tahun 2016 ini (Drs. Sri Kaloka Prabotosari, Prof. Dr. Eddy Hermawan, Dr. Teguh Harjana, Dr. Laras Tursilowati, Dr. Dadang Subarna, dan Dra. Sumaryati, MT) atas bimbingan dan sarannya.

DAFTAR PUSTAKA

- ¹Cicerone, R. J. and R. S. Oremland, 1988. Biogeochemical aspect of atmospheric methane Global. *Biogeochem, Cycles* 2.
- ²Ritchie, D. A., C. Edwards, R. Mc. Donald, J. C. Murrell, 1997. Detection of methanogens and methanotrophs in natural environments, *Global Change Biology.*, 3, 339-350.
- ³Solomon, S. and Qin D., 2007, *Intergovernmental Panel on Climate Change 2007: The physical science basis. In: Contribution of Working Group I to the fourth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.
- ⁴Jaatinen, K., C. Knief, P. F. Dunfield, K. Yrjala, and H. Fritze, 2004. Methanotrophic Bacteria in Boreal Forest Soil After Fire, *FEMS Microbiology Ecology* 50, 195-201.
- ⁵Bryant, E., 1997. *Climate Process and Change*. London : Cambridge University Press.
- ⁶Rataq, M. A., 1999. *Dampak Variabilitas Matahari terhadap Vegetasi: Tree rings*, Prosiding Lokakarya Program Iklim Nasional Terpadu, 7 September 1999. LAPAN, Jakarta
- ⁷Trewartha, G. T dan L. H. Horn, 1995. *Pengantar Iklim*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- ⁸National Oceanic and Atmospheric Administration, 2015. The NOAA Annual Green House Gases index, AGGI.
- ⁹UNEP, 1991. Environmental Data Report 1989-1990, Basil Blackwell, Oxford.
- ¹⁰Graves, J and D.Reavey, 1996. Global Environmental Change Plants, Animals & Communities, Longman, England.
- ¹¹Houghton, J.T., L. Meira Filho, J. Bruce, H. Lee, B. Callander, E. Haites, N. Harris and K. Maskell, 1995, Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate Change 1994*, Eds. 399 pp. Cambridge University Press, Cambridge, U. K).
- ¹²Supriatin, L. S., 2014. *Sistem Pertanian Padi Sawah Berkelanjutan Pada Iklim Tropika Basah*. Disertasi, Program Studi Ilmu Lingkungan, Program Pasca Sarjana. Jakarta : Universitas Indonesia
- ¹³Balai Besar Penelitian Padi, 2013. Varietas Padi di Indonesia, Badan Litbang Pertanian, Subang.
- ¹⁴Setyanto, P., 1994. Penelitian Emisi CH₄ di Kebun Percobaan Jakenan, Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, Pati, Jawa Tengah.