

**EMISI GAS RUMAH KACA (GRK) DARI PEMBAKARAN TERBUKA SAMPAH
RUMAH TANGGA MENGGUNAKAN MODEL IPCC**

**GREENHOUSE GASES EMISSIONS FROM MUNICIPAL SOLID WASTE
BURNING USING IPCC MODEL**

Jatmiko Wahyudi
Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kabupaten Pati
Jl. Raya Pati-Kudus Km. 4 Pati 59163. Jawa Tengah
Email : jatmiko.mil@gmail.com

Naskah Masuk: 25 Maret 2019

Naskah Revisi: 15 April 2019

Naskah Diterima: 30 April 2019

ABSTRACT

Open burning is one of methods to manage municipal solid waste in particular in rural areas. On one hand, open burning is easy and cheap for waste management to eliminate waste. On the other hand, burning of waste causes adverse impacts on the environment and health. One of the negative impacts of open burning is greenhouse gas (GHG) emission causing global warming. This study aimed to calculate and to compare GHG emissions from open burning of MSW in Pati Regency using Tier 1 and Tier 2 of IPCC method. Primary data was obtained through focus group discussions while secondary data was obtained through literature studies. The results showed that GHG emissions from waste combustion in Pati Regency based on Tier 1 and Tier 2 calculations indicating an increase during the period 2013-2017. The average of GHG emissions which is calculated by using Tier 1 is 5.18 GgCO_{2eq}/year. This means it is lower than the average GHG emissions which are calculated by Tier 2, namely 33.86 GgCO_{2eq} / year.

Keywords: *greenhouse gas emissions, municipal solid waste, open burning*

ABSTRAK

Pembakaran sampah secara terbuka merupakan salah satu alternatif pengelolaan sampah yang banyak dipilih oleh masyarakat khususnya perdesaan. Di satu sisi, pembakaran sampah merupakan metode pengelolaan sampah yang mudah dan murah untuk menghilangkan sampah. Di sisi lain, pembakaran sampah memberikan dampak negatif bagi lingkungan dan kesehatan. Salah satu dampak negatif pembakaran sampah adalah munculnya emisi gas rumah kaca yang menyebabkan terjadinya pemanasan global. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung dan membandingkan emisi GRK dari pembakaran sampah permukiman di Kabupaten Pati menggunakan metode yang dikembangkan oleh IPCC dengan 2 tingkat ketelitian yang berbeda yaitu Tier 1 dan Tier 2. Data primer diperoleh melalui pelaksanaan diskusi kelompok terfokus sedangkan data sekunder diperoleh melalui studi literatur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa emisi GRK dari pembakaran sampah di Kabupaten Pati berdasarkan perhitungan Tier 1 dan Tier 2 menunjukkan peningkatan selama periode 2013-2017. Emisi GRK rata-rata yang dihitung dengan Tier 1 sebesar 5,18 GgCO_{2eq}/tahun. Hal ini berarti lebih rendah dibandingkan dengan rerata emisi GRK yang dihitung dengan Tier 2 yaitu sebesar 33,86 GgCO_{2eq}/tahun.

Kata kunci: *emisi gas rumah kaca, pembakaran terbuka, sampah permukiman*

PENDAHULUAN

Pengelolaan sampah merupakan salah satu sumber emisi gas rumah kaca (GRK). Pengelolaan sampah memberikan kontribusi sebesar 4% dari total emisi GRK dunia (Papageorgiou et al, 2009). Di Indonesia, emisi GRK yang dihasilkan dari sektor

pengelolaan sampah dan limbah mencapai 3% dari total emisi GRK (Purwanta, 2009).

Metode pengelolaan sampah dan jumlah timbulan sampah merupakan dua faktor yang sangat berpengaruh terhadap jumlah emisi GRK. Jumlah timbulan sampah di Indonesia terus mengalami peningkatan dengan cepat

dari tahun ke tahun sebagai akibat dari terjadinya pertumbuhan ekonomi, perubahan pola konsumsi, dan peningkatan populasi. Secara nasional, emisi GRK dari sektor pengelolaan sampah terus mengalami peningkatan dan berbanding lurus dengan peningkatan timbulan sampah (Bappenas, 2010).

Pembakaran sampah terbuka (*open burning*) merupakan salah satu cara pengelolaan sampah yang masih banyak ditemui di Indonesia terutama di perdesaan. Di satu sisi, pembakaran sampah merupakan cara yang efektif untuk menghilangkan timbulan sampah dan bakteri patogen. Selain karena murah, mudah, dan tersedianya lahan untuk membakar sampah, metode pembakaran sampah dipilih oleh masyarakat di perdesaan karena layanan pengangkutan sampah dari pemerintah tidak menjangkau perdesaan sehingga pengelolaan sampah dilakukan sendiri oleh masyarakat.

Namun di sisi lain, pembakaran sampah menyebabkan terjadinya emisi GRK dan pencemaran udara yang memberikan dampak negatif bagi lingkungan dan kesehatan. Senyawa-senyawa berbahaya yang dihasilkan dari pembakaran terbuka antara lain CO, CO₂, CH₄, NO_x, SO₂, senyawa *volatile organic compound* (VOC), *Particulate Matter*_{2.5} (PM_{2.5}), PM₁₀ (Das, dkk., 2018). Gas CH₄, CO₂ dan N₂O dikategorikan sebagai gas-gas rumah kaca yang menyebabkan terjadinya pemanasan global. Material-material lainnya memberikan dampak buruk bagi kesehatan dalam jangka pendek maupun jangka panjang.

Beberapa studi yang mengkaji emisi GRK yang dihasilkan dari pembakaran sampah rumah tangga telah dilakukan. Bestar (2012) memprediksi beban total emisi GRK yang dihasilkan dari pembakaran sampah terbuka di Kota Depok dengan menggunakan data faktor emisi dari dua sumber yang berbeda yaitu faktor emisi dari US. EPA dan Swesty & Yudison. Prabowo, dkk., (2017), memperkirakan emisi GRK dari pembakaran sampah terbuka dengan menggunakan metode yang dikembangkan oleh IPCC 2006.

Prabowo, dkk., (2017) dalam studinya melakukan perhitungan dengan satu Tier IPCC untuk menduga emisi GRK skema *Business As Usual* (BAU) sebagai dasar formulasi strategi mitigasi emisi GRK. Chaerul, dkk., (2016) melakukan studi tentang pendugaan emisi GRK yang dihasilkan dari tiga model pengelolaan sampah yaitu pembakaran terbuka, penimbunan di TPA dan pengomposan.

Studi mengenai penghitungan emisi GRK dari pembakaran terbuka dengan menggunakan dan membandingkan dua tingkat ketelitian (Tier) belum banyak dilakukan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis emisi GRK dari pembakaran sampah dengan menggunakan tingkat ketelitian yang berbeda yaitu Tier 1 dan Tier 2 untuk dibandingkan hasilnya.

TINJAUAN PUSTAKA

Gas Rumah Kaca

Gas rumah kaca (GRK) adalah gas yang terdapat di atmosfer dan memiliki sifat menyerap dan memancarkan radiasi infra merah yang berasal dari sinar matahari. GRK terbentuk secara alami maupun terbentuk akibat aktivitas manusia (*anthropogenic*). Panas yang dikandung infra merah dan terperangkap dalam GRK mengakibatkan terjadinya peningkatan suhu permukaan bumi dan selanjutnya menyebabkan terjadinya perubahan iklim (Wahyudi, 2016).

Gas-gas yang memiliki sifat memiliki sifat GRK antara lain adalah karbon dioksida (CO₂), nitrogen oksida (N₂O), metana (CH₄), gas-gas terflorinasi (HFCs, PFCs dan SF₆), kelompok aldehid, ozon (O₃) dan uap air (Uyigue, dkk., 2010). *The Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) dalam kajian dan laporannya hanya berfokus pada 4 jenis GRK yaitu CO₂, N₂O, CH₄, dan gas-gas terflorinasi (HFCs, PFCs dan SF₆) (IPCC, 2006). IPCC merupakan organisasi antar pemerintah yang menjadi anggota Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) yang berfungsi untuk membahas isu-isu perubahan iklim.

Gas Rumah Kaca dari Pengelolaan Sampah

Sebagian besar emisi GRK dari pengelolaan sampah berupa emisi CH_4 , CO_2 dan N_2O (IPCC, 2006). Emisi CH_4 dihasilkan dari proses perombakan secara anaerob. Emisi CO_2 dihasilkan dari proses perombakan secara anaerob dan aerob. Proses perombakan aerob terjadi pada sampah lapisan atas yang kontak dengan udara bebas (Bakas, dkk., 2017). Emisi Gas N_2O terbentuk dalam jumlah kecil sebagai hasil dari proses perombakan protein yang terkandung dalam sampah (Addinsyah & Herumurti, 2017).

Emisi CH_4 , CO_2 dan N_2O dihasilkan dari proses pengelolaan sampah di TPA dengan gas CH_4 sebagai kontributor utama. Model pengelolaan sampah di TPA dengan cara ditimbun (*dumping*) menyebabkan sebagian besar perombakan sampah terjadi pada kondisi anaerob yang menghasilkan gas CH_4 . Pengelolaan sampah di TPA hanya menghasilkan emisi CO_2 dan N_2O dalam jumlah yang kecil (IPCC, 2006).

Bagi para pengambil kebijakan, emisi GRK menjadi indikator untuk menilai kinerja sistem pengelolaan sampah di suatu daerah atau negara. Semakin tinggi emisi GRK yang dihasilkan dari sektor pengelolaan sampah menunjukkan sistem pengelolaan sampah belum berjalan dengan baik. Emisi GRK yang tinggi menunjukkan hanya sedikit material dari sampah yang dapat terambil atau dimanfaatkan (*recovery*) (Bakas, dkk., 2017).

Sebagai contoh adalah timbulan CH_4 yang berasal dari proses dekomposisi anaerob material organik pada sampah di TPA. Pada sistem pengelolaan sampah yang baik, jumlah emisi CH_4 diminimalisir dengan dua cara yaitu mengurangi jumlah sampah yang dikirim ke TPA dan mengelola gas CH_4 yang telah terbentuk (*landfill gas*). Mengurangi jumlah sampah yang masuk ke TPA dapat dilakukan dengan penerapan konsep 3R (*Reduce, Reuse & Recycle*). Berbagai studi menunjukkan, penerapan 3R dalam pengelolaan sampah permukiman mampu mengurangi jumlah sampah yang dikirim ke TPA dan pada

akhirnya mengurangi emisi GRK di TPA (Sabella, dkk., 2018; Addinsyah & Herumurti, 2017; Pramestyawati & Warmadewanthi, 2013).

Pengelolaan gas CH_4 dilakukan dengan mengubah gas CH_4 menjadi CO_2 melalui proses pembakaran. Gas CO_2 memiliki nilai *Global Warming Potential* (GWP) yang jauh lebih rendah dari gas CH_4 . Gas CH_4 memiliki nilai GWP 21 yang artinya setiap unit CH_4 memiliki potensi menyebabkan pemanasan global 21 kali lipat dibandingkan dengan CO_2 yang digunakan sebagai gas pembanding. Selain itu, gas CO_2 dapat dikonversi menjadi O_2 melalui proses fotosintesis pada tumbuhan. Pembakaran CH_4 (*landfill gas*) dapat dilakukan dengan model *flare* maupun dengan konsep *waste to energy* (*WtE*). Model *flare* dilakukan dengan cara membakar gas CH_4 yang keluar dari pipa-pipa yang dipasang pada tempat penimbunan sampah. Konsep *WtE* dilakukan dengan menggunakan gas CH_4 sebagai bahan bakar untuk memasak, diambil panasnya (*heat*) maupun untuk membangkitkan listrik (Kustiasih, dkk., 2014).

Sampah

Pengertian sampah menurut Undang-Undang No. 18 Tahun 2008 yaitu sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat. Lebih lanjut, UU No 18 Tahun 2008 mengkategorikan sampah menjadi 3 jenis yaitu sampah rumah tangga, sampah sejenis rumah tangga dan sampah spesifik.

Sampah yang menjadi lingkup pada penelitian ini mengacu pada pengertian sampah permukiman atau sampah perkotaan yang diacu dari IPCC. Menurut IPCC (2006), sampah permukiman/perkotaan (*municipal solid waste*) adalah sampah yang pengelolannya menjadi tanggung jawab pemerintah. Terminologi sampah permukiman digunakan untuk membedakan dengan sampah industri (*industrial waste*), sampah berbahaya (*hazardous waste*) dan sampah medis (*clinical waste*).

Jenis sampah yang dikategorikan sebagai sampah permukiman antara lain sampah

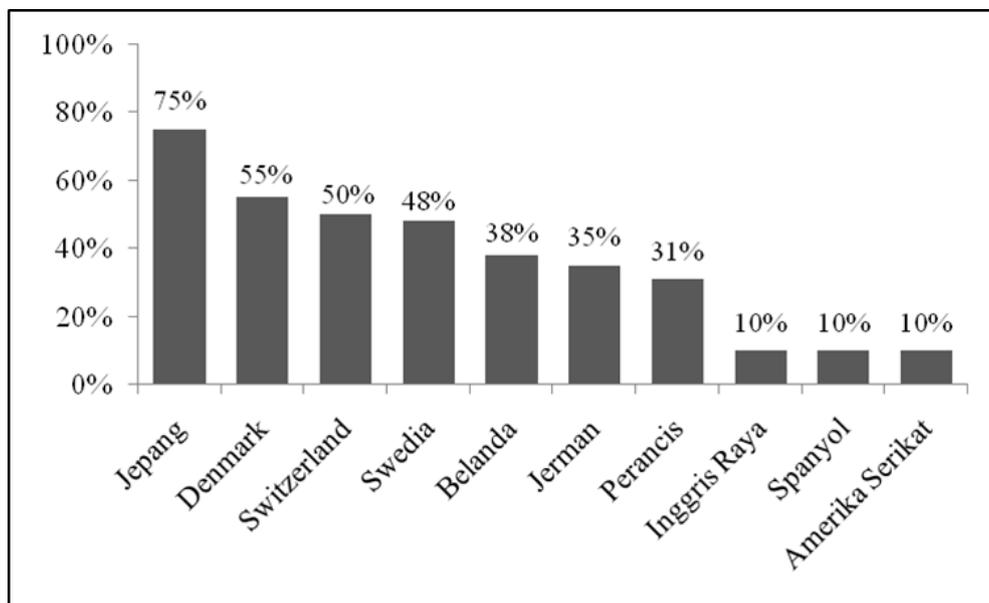
rumah tangga, sampah halaman rumah/taman, sampah pasar, pertokoan dan perkantoran, sampah di jalan raya, sampah rumah tangga berukuran besar misalnya lemari, kasur dan kursi (IPCC, 2006; Rada & Cioca, 2017). Berdasarkan sumbernya, sebagian besar sampah permukiman di negara berkembang seperti Indonesia berasal dari rumah tangga (55–80%), diikuti oleh pasar dan pertokoan (10–30%) (Abdel-Shafy & Mansour, 2018).

Jumlah sampah permukiman di Indonesia mengalami peningkatan 2-3% per tahun sebagai akibat dari terjadinya peningkatan populasi dan pertumbuhan ekonomi (Wijayanti & Suryani, 2015; Wahyudi & Novitasari, 2018). Pertumbuhan ekonomi dan kemakmuran suatu negara juga mempengaruhi komposisi sampah permukiman. Pada negara-negara dengan pendapatan perkapita yang rendah, persentase sampah organik mencapai sekitar 64% sedangkan pada negara dengan tingkat pendapatan per kapita yang tinggi, persentase sampah organik dapat mencapai hanya sekitar 28% yang berarti jauh lebih rendah dibandingkan dengan persentase sampah organik di negara berkembang (Laohalidanond, dkk., 2018).

Pembakaran Sampah

Tujuan utama dari penerapan sistem pengelolaan sampah adalah untuk mengurangi keberadaan timbulan sampah yang dihasilkan oleh masyarakat. Pembakaran sampah merupakan salah satu alternatif pengelolaan sampah rumah tangga. Kelebihan dari metode pembakaran sampah adalah kemampuannya dalam mengeliminasi sampah dalam jumlah yang besar dalam waktu yang relatif singkat. Metode pembakaran sampah tidak hanya dilakukan di negara berkembang namun juga dilakukan di negara maju dengan tujuan dan pilihan teknologi yang berbeda (Jouhara, dkk., 2017).

Di Jepang, lebih dari 75% sampah rumah tangga dibakar di instalasi-instalasi pembakaran sampah (insinerator). Capaian ini menempatkan Jepang sebagai negara dengan tingkat pembakaran sampah (*incineration rate*) tertinggi di dunia (Gambar 1). Tingginya produksi sampah rumah tangga serta sulitnya mencari lahan untuk tempat pembuangan akhir sampah merupakan alasan utama negara maju memilih insinerator sebagai teknologi pengolah sampah. Insinerator dengan suhu pembakaran lebih dari 800°C mampu mereduksi volume sampah 90% dari volume



Gambar 1.
Perbandingan Tingkat Insinerasi Sampah Beberapa Negara
Sumber : Ikeda (2017); Bakas, et al. (2017)

awal (Albores, et al., 2016). Bahkan teknologi terbaru yang diterapkan pada insinerator di Jepang mampu mengurangi volume sampah hingga 97,5% (Wahyudi & Novitasari, 2018).

Selain itu, panas yang dihasilkan dari pembakaran sampah di insinerator dapat dikonversi menjadi energi baik panas maupun listrik. Kementerian Lingkungan Jepang (2016) menyatakan bahwa total energi yang dibangkitkan dari seluruh insinerator di Jepang mencapai 1.934 Mega Watt (MW). Untuk mengoperasikan insinerator secara efektif, maka sampah yang masuk insinerator telah melalui proses pemilahan dan persyaratan tertentu. Pengoperasian yang efektif artinya adalah insinerator mampu menghasilkan energi yang tinggi dan emisi yang rendah dengan basis volume sampah yang sama. Material yang sulit atau tidak bisa terbakar seperti kaca, besi, keramik dan tanah harus dipisahkan dari sampah yang akan dikirim ke insinerator. Oleh karena itu, negara yang mengoperasikan insinerator pada umumnya telah menerapkan sistem pengelolaan sampah yang baik yang ditandai dengan adanya pemilahan dan jadwal pengangkutan sampah (transportasi) yang baik.

Insinerator dilengkapi dengan sistem pembersihan gas hasil pembakaran (*flue gas cleaning system*) sehingga emisi yang dihasilkan memenuhi persyaratan lingkungan. Keberadaan sistem pembersihan gas buang tersebut menyebabkan pembangunan dan pengoperasian insinerator membutuhkan biaya yang sangat besar sehingga negara berkembang dengan kemampuan finansial terbatas kesulitan untuk menerapkan teknologi tersebut (Wahyudi & Novitasari, 2018).

Di negara berkembang, pembakaran sampah dilakukan dengan metode yang lebih murah dan mudah yaitu sistem pembakaran terbuka (*open burning*). Pembakaran sampah terbuka diartikan sebagai pembakaran berbagai jenis sampah tanpa ada pemilahan sampah dan tanpa pengendalian suplai udara sehingga pembakaran berjalan tidak secara efektif dan menghasilkan asap dan emisi

lainnya secara tidak terkendali. Emisi gas-gas rumah kaca maupun bahan pencemar udara seperti dioksin dan logam berat yang dihasilkan pada pembakaran terbuka jauh lebih tinggi dibandingkan dengan pembakaran pada insinerator (Jouhara, dkk., 2017).

Pembakaran sampah terbuka umumnya dilakukan oleh masyarakat secara individu maupun berkelompok. Hal ini berbeda dengan kondisi di negara yang mengoperasikan insinerator dimana operator insinerasi adalah pemerintah ataupun swasta yang diberi izin oleh pemerintah dengan pengawasan yang ketat. Polusi udara yang disebabkan aktivitas pembakaran terbuka dapat menyebabkan iritasi pada mata dan infeksi saluran pernapasan (Das, dkk., 2018). Dalam jangka panjang, material berbahaya yang dihasilkan dari pembakaran terbuka dapat memicu terjadinya penyakit kanker, penyakit jantung, keterbelakangan mental dan penyimpangan genetik (Jouhara, dkk., 2017). Di negara maju, pembakaran terbuka dilarang dan dikategorikan sebagai tindakan yang ilegal.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan dengan metode *on desk study*. Data primer diperoleh melalui diskusi kelompok terfokus (FGD) dengan perwakilan instansi terkait di Kabupaten Pati yaitu Badan Perencanaan Pembangunan Daerah, Badan Pengelolaan Keuangan dan Aset Daerah, Dinas Lingkungan Hidup, Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang serta Dinas Perdagangan dan Perindustrian. Melalui FGD diperoleh data mengenai pengelolaan sampah di Kabupaten Pati. Data sekunder yang terdiri atas: 1) data jumlah penduduk Kabupaten Pati 2013-2017 dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Pati; 2) data nilai tetapan dari IPCC Tahun 2006; dan 3) data sistem penanganan sampah Kabupaten Pati yang diterbitkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Kemen PUPR).

Meskipun banyak gas yang dapat dikategorikan sebagai GRK, IPCC (2006)

menganggap hanya tiga jenis GRK yaitu CO₂, N₂O, dan CH₄ yang relevan dan terkait dengan aktivitas pembakaran sampah terbuka. Oleh karena itu, IPCC (2006) hanya menyediakan formula penghitungan emisi CO₂, N₂O, dan CH₄. Lebih lanjut, penghitungan estimasi emisi GRK dari pembakaran sampah terbuka dapat dilakukan dengan 3 tingkat ketelitian (Tier) yang berbeda yaitu Tier 1, Tier 2 dan Tier 3 disesuaikan dengan ketersediaan data aktifitas yang dimiliki di suatu wilayah. Penelitian ini menggunakan dua skenario yang berbeda untuk dibandingkan hasilnya yaitu Tier 1 dan Tier 2. Penghitungan dengan Tier 1 digunakan apabila suatu wilayah tidak memiliki data persampahan yang riil sehingga semua data menggunakan nilai tetapan yang telah tersedia dalam IPCC. Apabila data lapangan tersedia maka Tier yang lebih tinggi misalnya Tier 2 lebih tepat digunakan untuk meminimalisir tingkat ketidakpastian (Purwanta, 2019). Data yang digunakan untuk Tier 2 diperoleh berdasarkan survei pengelolaan sampah rumah tangga yang dilakukan Kementerian PUPR antara lain komposisi sampah rumah tangga, produksi sampah per kapita dan fraksi sampah rumah tangga yang dibakar.

Estimasi emisi GRK dari pembakaran sampah rumah tangga Tier1 dan Tier 2 dihitung dengan menggunakan persamaan yang sama (Persamaan 1-3). Emisi CO₂ dari pembakaran sampah dihitung dengan Persamaan 1.

$$CO_2 = MSW \cdot \sum_j (WF_j \cdot dm_j \cdot CF_j \cdot FCF_j \cdot OF_j) \cdot 44/12 \dots(1)$$

Keterangan:

- CO₂ = emisi CO₂ dari pembakaran sampah (GgCO₂/tahun)
- MSW = total timbulan sampah rumah tangga yang dibakar (Gg/tahun)
- WF_j = fraksi jumlah sampah jenis j terhadap MSW.
- dm_i- = fraksi berat kering sampah jenis j terhadap MSW yang dibakar

- CF_j = fraksi karbon pada sampah jenis j pada kondisi kering.
 - FCF_j = fraksi fosil karbon pada total karbon pada sampah jenis j.
 - OF_j = faktor oksidasi, 58% untuk pembakaran terbuka
 - 44/12 = faktor konversi dari C ke CO₂
- Nilai dm_j, CF_j, dan FCF_j diperoleh dari IPCC (2006) sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1.
Nilai tetapan (*default*)dm, CF dan FCF

Jenis sampah	dm _i	CF _i	FCF _i
Kertas	90	46	1
Tekstil	80	50	20
Sampah pangan	40	38	-
Kayu	85	50	-
Sampah daun	40	49	0
Kulit/karet	84	67	20
Plastik	100	75	100
Logam	100	NA	NA
Kaca	100	NA	NA
Lain-lain	90	3	100

Sumber : IPCC (2006)

Emisi CH₄ dari pembakaran sampah dihitung dengan Persamaan 2

$$CH_4 = \sum(IW \cdot EF) \cdot 10^{-6} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

- CH₄ = emisi CH₄ dari pembakaran sampah (GgCH₄/tahun)
- IW = total sampah yang dibakar (Gg/tahun)
- EF = faktor emisi CH₄ (kgCH₄/Gg sampah)
- 10⁻⁶ = faktor konversi dari kg ke Gg.

Emisi N₂O dari pembakaran sampah dihitung dengan Persamaan 3.

$$NO_2 = \sum(IW \cdot EF) \cdot 10^{-6} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

- N₂O = emisi N₂O dari pembakaran sampah (GgN₂O/tahun)
- IW = total sampah yang dibakar (Gg/tahun)
- EF_i = faktor emisi N₂O (kgN₂O/Gg sampah)
- 10⁻⁶ = faktor konversi dari kg ke Gg.

Total timbunan sampah rumah tangga merupakan hasil kali dari jumlah penduduk dengan produksi sampah per kapita. Pada Tier 1, nilai tetapan untuk produksi sampah per kapita sebesar 0,28 ton/orang/tahun sedangkan untuk Tier 2, nilai produksi sampah per kapita sebesar 0,16 ton/orang/tahun.

Pada Tier 1, jumlah sampah yang dibakar merupakan hasil perkalian antara total timbunan sampah dengan fraksi sampah rumah tangga yang dibakar. Pada Tier 2, jumlah sampah rumah tangga yang dibakar dihitung menggunakan Persamaan 4.

$$MSW_B = P \cdot P_{frac} \cdot MSW_P \cdot B_{frac} \cdot 365 \cdot 10^{-6} \dots(4)$$

Keterangan:

MSW_B = total jumlah sampah rumah tangga yang dibakar (Gg/tahun)

P = populasi (jiwa)

P_{frac} = fraksi populasi yang membakar sampah (fraksi)

MSW_P = produksi sampah per kapita (kg/orang/hari).

B_{frac} = fraksi sampah yang dibakar terhadap sampah yang dikelola dengan cara lain (*default value* = 0,6)

365 = jumlah hari dalam satu tahun

10^{-6} = faktor konversi dari kg ke Gg.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil perhitungan sebagaimana tersaji pada Tabel 2, dapat dilihat bahwa emisi CO₂, N₂O, dan CH₄ pada Tier 1 lebih rendah dibandingkan dengan emisi 3 jenis GRK tersebut pada Tier 2. Emisi GRK

yang dihitung dengan Tier 1 maupun Tier 2 mengalami peningkatan selama periode 2013-2017. Emisi CO₂ memberikan kontribusi terbesar terhadap total emisi GRK dibandingkan dengan emisi N₂O, dan CH₄ baik dihitung dengan Tier 1 maupun Tier 2. Analisis secara lebih rinci terhadap masing-masing Tier serta perbandingan hasil perhitungan Tier 1 dan Tier 2 akan disampaikan pada bagian selanjutnya.

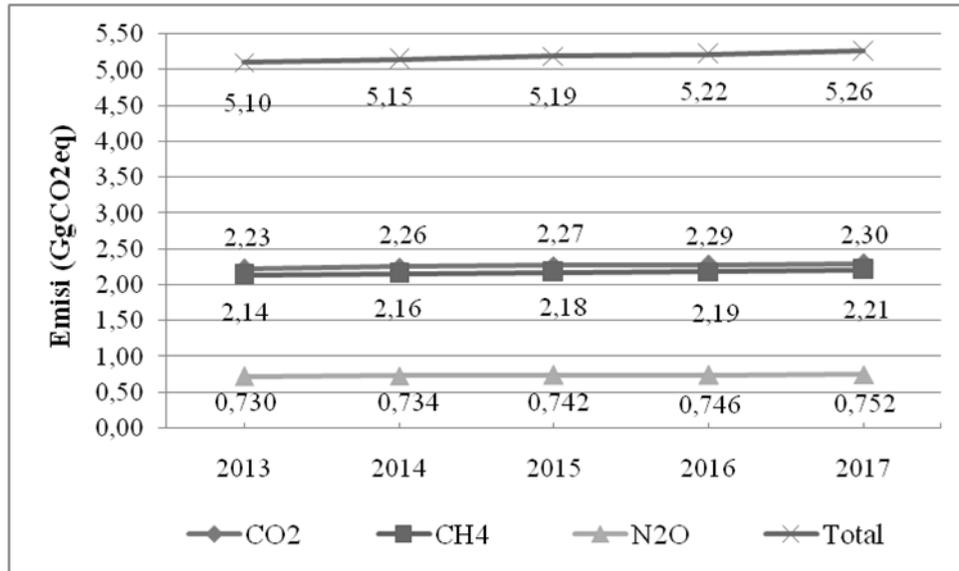
Tier 1

Emisi GRK baik total maupun pada emisi 3 jenis GRK yaitu CO₂, CH₄ dan N₂O terus mengalami peningkatan selama periode 2013-2017 (Gambar 1). Emisi GRK akibat aktivitas pembakaran sampah di Kabupaten Pati mengalami peningkatan 0,77% per tahun dengan rerata emisi GRK 5,18 GgCO_{2eq}/tahun. Rerata emisi CO₂, CH₄ dan N₂O dalam satuan GgCO_{2eq}/tahun selama periode 2013-2017 berturut-turut sebesar 2,27; 2,17 dan 0,74.

Gas CO₂ merupakan GRK yang paling banyak dihasilkan dari aktivitas pembakaran sampah. Rerata kontribusi emisi CO₂ sebesar 43,77% dari total emisi GRK, diikuti oleh emisi CH₄ dengan rerata 41,94% dan emisi N₂O sebesar 14,29%. Karakteristik kontribusi emisi CO₂, CH₄ dan N₂O terhadap emisi total emisi GRK di Kabupaten Pati tidak jauh berbeda dengan karakteristik pada hal yang sama untuk Propinsi Jawa Tengah. Pada periode yang sama (2013-2017), rerata kontribusi emisi CO₂, CH₄ dan N₂O terhadap total emisi GRK berturut-turut sebesar 43,81%, 43,78% dan 12,41% (Prabowo, dkk., 2017).

Tabel 2.
Emisi GRK Tier 1 dan Tier 2 (GgCO_{2eq}/tahun)

Tahun	CO ₂		CH ₄		N ₂ O		Total	
	Tier 1	Tier 2	Tier 1	Tier 2	Tier 1	Tier 2	Tier 1	Tier 2
2013	2,23	19,66	2,14	10,16	0,730	3,46	5,10	33,28
2014	2,26	19,93	2,16	10,25	0,734	3,49	5,15	33,67
2015	2,27	20,05	2,18	10,34	0,742	3,52	5,19	33,91
2016	2,29	20,16	2,19	10,40	0,746	3,54	5,22	34,11
2017	2,30	20,27	2,21	10,48	0,752	3,57	5,26	34,32



Gambar 1.
Estimasi emisi GRK dengan default data IPCC

Tier 2

Peningkatan emisi GRK selama periode penelitian juga ditemui pada skenario 2 dengan persentase yang sama 0,77% per tahun dengan rerata emisi 33,86 GgCO_{2eq}/tahun (Gambar 2). Peningkatan emisi GRK terbesar terjadi antara tahun 2013-2014 dengan laju 1,18% sedangkan laju peningkatan emisi GRK terendah terjadi antara tahun 2015-2016 sebesar 0,58%. Emisi CO₂ memberikan kontribusi sekitar 60% dari total emisi GRK diikuti oleh emisi CH₄ dengan kontribusi sekitar 30% dan emisi N₂O berkontribusi sekitar 10%.

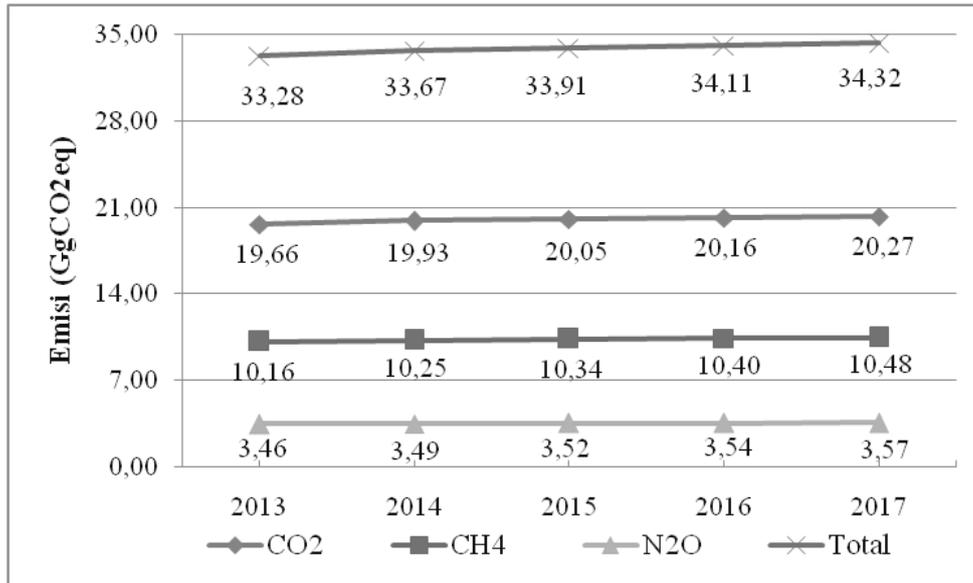
Rerata emisi CO₂, CH₄, N₂O selama 5 tahun berturut-turut sebesar 20,01; 10,33; 3,57 GgCO_{2eq}/tahun. Peningkatan emisi CO₂ tertinggi terjadi antara tahun 2013-2014 dengan laju 1,37% sedangkan laju peningkatan emisi CO₂ terendah terjadi antara tahun 2016-2017 sebesar 0,54%. Peningkatan emisi CH₄ dan N₂O tertinggi dan terendah menunjukkan tren yang sama. Laju peningkatan emisi CH₄ dan N₂O tertinggi terjadi antara tahun 2013-2014 dengan laju 0,91% sedangkan laju peningkatan emisi CH₄ dan N₂O terendah terjadi antara tahun 2015-2016 sebesar 0,58%.

Berdasarkan analisis terhadap komposisi sampah, pembakaran sampah plastik menjadi

kontributor utama emisi CO₂ dengan rerata emisi 19,26 GgCO_{2eq}/tahun atau mencapai 96,2% dari rerata emisi CO₂ yang mencapai 20,01 GgCO_{2eq}/tahun. Pembakaran sampah organik menjadi kontributor utama emisi CH₄ dan N₂O dengan rerata emisi masing-masing mencapai 6,87 GgCO_{2eq}/tahun dan 2,34 GgCO_{2eq}/tahun. Proporsi emisi CH₄ dan N₂O dari pembakaran sampah organik terhadap total emisi CH₄ dan N₂O menunjukkan nilai yang sama yaitu 66,5%. Pembakaran sampah plastik menjadi penyumbang kedua terbesar emisi CH₄ dan N₂O yaitu mencapai 15,9% dari rerata emisi CH₄ dan N₂O.

Perbandingan Antar Skenario

Apabila dibandingkan estimasi GRK dari 2 skenario maka diperoleh hasil bahwa emisi GRK skenario 2 lebih tinggi dibandingkan dengan emisi GRK skenario 1. Rerata emisi GRK selama periode 2013-2017 pada skenario 1 sebesar 5,18 GgCO_{2eq}/tahun sedangkan rerata emisi GRK pada skenario 2 pada periode yang sama sebesar 33,86 GgCO_{2eq}/tahun. Ada 4 faktor yang diduga berpengaruh terhadap perbedaan hasil emisi GRK pada skenario 1 dan 2 yaitu: 1) timbulan sampah, 2) komposisi sampah rumah tangga, 3) produksi sampah per kapita, dan 4) fraksi populasi yang membakar sampah .



Gambar 2.

Estimasi emisi GRK dengan data aktivitas dari Kementerian PUPR

Jumlah timbulan sampah selama periode 2013-2017 baik skenario 1 maupun skenario 2 mengalami peningkatan dan nilainya berbanding lurus dengan peningkatan jumlah penduduk. Timbulan sampah pada skenario 1 lebih tinggi dibandingkan dengan timbulan sampah pada skenario 2 (Tabel 3) meskipun jumlah penduduk sebagai basis perhitungan timbulan sampah sama. Hal ini disebabkan oleh nilai produksi sampah per kapita pada skenario 1 (0,28 ton/orang/tahun) lebih tinggi dibandingkan dengan nilai produksi sampah per kapita pada skenario 2 (0,16 ton/orang/tahun). Nilai tetapan sampah per kapita yang tercantum dalam laporan organisasi-organisasi di bawah naungan Perserikatan Bangsa-bangsa (PBB) relatif sama. Nilai tetapan sampah per kapita Indonesia dari IPCC relatif sama

dengan pada yang terdapat data dalam Konvensi Basel tahun 1995 (Ikeda, 2017).

Produksi sampah per kapita Indonesia sebagaimana tetapan IPCC (2006) yaitu 0,28 ton/orang/tahun lebih mendekati produksi sampah per kapita kota besar seperti Jakarta (0,25 ton/orang/tahun) maupun wilayah Jakarta, Bogor, Tangerang dan Bekasi (Jabotabek) secara umum (0,22 ton/orang/tahun) (Suprihatin, et al., 2008; Kawai & Tasak, 2016). Produksi sampah per kapita pada skenario 1 menggunakan tetapan dari IPCC (2006) dengan mengasumsikan produksi sampah per kapita seluruh kota di Indonesia sama. Nilai produksi sampah per kapita pada skenario 2 diperoleh melalui studi lapangan sehingga menghasilkan data yang lebih spesifik. Beberapa kabupaten/kota dengan

Tabel 3.
Data aktivitas Persampahan

Parameter	2013	2014	2015	2016	2017
Jumlah Penduduk (jiwa)	1.209.004	1.225.594	1.232.912	1.239.989	1.246.691
Timbulan sampah (ton)*	338.521	343.166	345.215	347.197	349.073
Sampah dibakar (ton)*	16.926	17.158	17.261	17.360	17.454
Timbulan sampah (ton)**	194.166	196.830	198.006	199.142	200.219
Sampah dibakar (ton)**	75.725	76.764	77.222	77.665	78.085

*skenario 1; **skenario 2

kategori sedang/kecil seperti Kabupaten Pati memiliki produksi sampah per kapita yang tidak jauh beda misalnya Kendari dan Banda Aceh sebesar 0,17 dan 0,1 ton/orang/tahun (Sofriadi, dkk., 2017; Chaerul, dkk., 2016).

Jumlah sampah yang dibakar pada skenario 1 lebih kecil dibandingkan dengan jumlah sampah yang dibakar pada skenario 2 meskipun timbulan sampah pada skenario 1 lebih besar dibandingkan dengan timbulan sampah pada skenario 2. Faktor utama yang menyebabkan hal tersebut adalah pada fraksi populasi yang membakar sampah. Pada skenario 1, IPCC (2006) memberikan tetapan bahwa hanya 5% penduduk Indonesia yang membakar sampah. Sedangkan pada skenario 2, studi lapangan mendapatkan data bahwa 65% masyarakat Kabupaten Pati membakar sampah. Berdasarkan hasil diskusi kelompok terfokus diperoleh data bahwa tingkat layanan sampah di Kabupaten Pati hanya mencapai 11%. Hal ini berarti bahwa sekitar 89% masyarakat Kabupaten Pati belum mendapatkan layanan persampahan. Sebagian besar masyarakat yang belum memperoleh layanan persampahan bertempat tinggal di perdesaan. Hasil diskusi kelompok terfokus mengkonfirmasi bahwa data pada skenario 2 lebih mendekati kondisi riil dibandingkan dengan data pada skenario 1. Persentase masyarakat Kabupaten Pati yang membakar sampah pada skenario 2 (65%) juga mendekati hasil studi yang dilakukan Prabowo, dkk., (2017) yang menyatakan 41,41% masyarakat Jawa Tengah membakar sampah.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Emisi GRK dari pembakaran sampah di Kabupaten Pati baik pada skenario 1 maupun skenario 2 terus mengalami peningkatan selama periode (2013-2017) dengan pertumbuhan rata-rata 0,77% per tahun. Emisi GRK pada skenario 2 lebih tinggi dibandingkan dengan emisi GRK pada skenario 1. Rerata emisi GRK pada skenario 1, 15,18 GgCO_{2eq}/tahun sedangkan rerata emisi

GRK pada skenario 2 sebesar 33,86 GgCO_{2eq}/tahun.

Saran

Jumlah emisi GRK dari pembakaran sampah tidak bisa dilepaskan banyaknya masyarakat Kabupaten Pati khususnya di perdesaan yang melakukan pembakaran sampah rumah tangga secara terbuka. Masyarakat perlu didorong untuk mengubah pola pengelolaan sampah dari pembakaran terbuka ke pengelolaan sampah rendah emisi misalnya pengomposan dan praktek 3R. Pendirian dan penguatan peran bank sampah di wilayah yang belum mendapatkan layanan persampahan merupakan salah satu solusi mengurangi timbulan sampah yang dibakar. Pemerintah Kabupaten Pati melalui instansi terkait yaitu Dinas Lingkungan Hidup dan Pemerintah Desa perlu meningkatkan sosialisasi, pembinaan dan pemberian fasilitas yang mendukung perbaikan perilaku masyarakat dalam pengelolaan sampah. Pemerintah Kabupaten melalui Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang perlu meningkatkan layanan persampahan. Hal ini bertujuan agar praktik pembakaran terbuka dapat dikurangi dan dialihkan pada pengelolaan sampah yang lebih terkontrol dampaknya yaitu di TPA.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Shafy, H. I., Mansour, M. S. M. (2018). Solid Waste Issue: Sources, Composition, Disposal, Recycling, And Valorization. *Egyptian Journal of Petroleum*, 27 (4), 1275-1290.
- Addinsyah, A., Herumurti, W. (2017). Studi Timbulan dan Reduksi Sampah Rumah Kompos Serta Perhitungan Emisi Gas Rumah Kaca di Surabaya Timur. *Jurnal Teknik ITS*, 6 (1), 62 – 67.
- Albores, P., Petridis, K., Dey, P. K. (2016). Analysing Efficiency of Waste to Energy Systems: Using Data Envelopment Analysis in Municipal Solid Waste Management. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 265-278.

- Bappenas. (2010). *Indonesia Climate Change Sectoral Roadmap - Waste Sector*. Jakarta: Bappenas.
- Bakas, I., Sieck, M., Hermann, T., Møller Andersen, F., Larsen, H. V. (2011). *Projections of Municipal Waste Management and Greenhouse Gases*. Working paper. Copenhagen: European Topic Centre on Sustainable Consumption and Production.
- Bestar, N. (2012). Studi dan Kuantifikasi Emisi Pencemar Udara Akibat Pembakaran Sampah Rumah Tangga Secara Terbuka di Kota Depok. *Skripsi*. Jakarta : Universitas Indonesia.
- Chaerul, M., Dirgantara, G. G., Akib, R. (2016). Prediction of Greenhouse Gasses Emission from Municipal Solid Waste Sector in Kendari City, Indonesia. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 23 (1), 42-48.
- Das, B., Bhave, P. V., Sapkota, A., Byanju. R. M. (2018). Estimating Emissions from Open Burning of Municipal Solid Waste in Municipalities of Nepal. *Waste Management*, 79, 481-490.
- Ikeda, K. (2017). *Current State and problems of Japanese Excessive "incinerationism"*. Report. Tokyo: Environmental Research Institute Inc.
- IPCC. (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Hayama, Japan: IGES.
- Japan Ministry of Environment. (2016). *Municipal Solid Waste Emissions and Disposal in Fiscal Year 2015*. Tokyo.
- Jouhara, H., Czajczyńska, D., Ghazal, H., Krzyżyńska, R., Anguilano, L., A.J. Reynolds, A. J., Spencer, N. (2017). Municipal Waste Management Systems for Domestic Use. *Energy*, 139, 485-506.
- Kawai, K., Tasak, T. (2016) Revisiting Estimates of Municipal Solid Waste Generation per Capita and Their Reliability. *Journal of Material Cycles Waste Management*, 18, 1-13.
- Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2016). *Fasilitasi PTMP dan RTR Sistem Penangan Persampahan Kabupaten Pati. Laporan*. Semarang: Satuan Kerja Pengembangan Sistem Penyehatan Lingkungan Permukiman Provinsi Jawa Tengah.
- Kustiasih, T., Setyawati, L. M., Anggraini, F., Darwati, S., Aryenti. (2014). Faktor Penentu Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pengelolaan Sampah Perkotaan. *Jurnal Permukiman*, 9 (2), 78-90.
- Laohalidanond, K., Chaityawong, P., Kerdsuwan, S. (2015). Municipal Solid Waste Characteristics and Green and Clean Energy Recovery in Asian Megacities. *Energy Procedia*, 79, 391 – 396.
- Papageorgiou, A., Barton, J.R., Karagiannidis, A. (2009). Assessment of the Greenhouse Effect Impact of Technologies Used for Energy Recovery from Municipal Waste: A case for England. *Journal of Environmental Management*, 90 (10), 2999-3012.
- Prabowo, S., Pranoto., Budiastuti, S. (2017). Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca yang Dihasilkan dari Pembakaran Sampah di Jawa Tengah. *Proceeding Biology Education Conference*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret, 187-194.
- Pramestyawati, T. N., Warmadewanthi, I. D. A. A. (2013). Potensi Reduksi Sampah terhadap Penurunan Timbulan Gas Rumah Kaca di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Kota Madiun. *Jurnal Teknik ITS*, 6 (1), 62 – 67.
- Purwanta, W. (2009). Penghitungan Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari Sektor Sampah Perkotaan di Indonesia. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 10 (1), 1-8.
- Purwanta, W. (2010). Penghitungan Emisi Karbon dari Lima Sektor Pembangunan Berdasar Metode IPCC dengan Verifikasi Faktor Emisi dan Data Aktivitas Lokal. *Jurnal Teknik POMITS*, 2 (2), 74-77.

- Rada, E. C., Cioca, L. (2017). Optimizing the Methodology of Characterization of Municipal Solid Waste in EU Under a Circular Economy Perspective. *Energy Procedia*, 119, 72 – 85.
- Sabella, A., Nugrahayu, Q., Maziya, F. B. (2018). Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca dari Kegiatan Bank Sampah di Kabupaten Sleman dengan Metode IPCC. Skripsi. Yogyakarta : Universitas Islam Indonesia.
- Suprihatin, Indrasti, N. S., Romli, M. (2008). Potensi Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca Melalui Pengomposan Sampah. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 18 (1), 53-59.
- Sofriadi, D., Suhendrayatna, Fatimah, E. (2017). Estimasi Emisi Karbon dari Sampah Permukiman dengan Metode IPCC di Kecamatan Ulee Kareng, Banda Aceh. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala*, 1 (2), 339 - 348.
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah.
- Uyigue, E., Ediang, O. A., Ediang, A. A. (2010). Combating Climate Change: The Role of Renewable Energy and Energy Efficiency. *Iranian Journal of Earth Sciences*, 2, 150 – 157.
- Wahyudi, J. (2016). Mitigasi Emisi Gas Rumah Kaca. *Jurnal Litbang: Media Informasi Penelitian, Pengembangan Dan IPTEK*, XII (2), 104-112.
- Wahyudi, J., Novitasari, M. R. (2018). Generating Renewable Energy from Municipal Waste Sector: A Comparative Study between Japan and Indonesia. *International Journal of Environmental Science and Development*. 9 (12), 380-384.
- Wijayanti, D. R., Suryani, S. (2015). Waste Bank as Community-Based Environmental Governance: A Lesson Learned from Surabaya. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 184, 171-179.

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. Gelar Magister Ilmu Lingkungan (MIL) diperoleh dari jurusan Ilmu Lingkungan Universitas Padjadjaran, Bandung sedangkan Gelar Master of Science (MSc) diperoleh dari jurusan *Environmental and Energy Management*, The University of Twente, Belanda. Saat ini bekerja sebagai Peneliti di Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (BAPPEDA) Kabupaten Pati.