

JRL	Vol.13	No.1	Hal. 50-55	Jakarta, Juni 2020	p-ISSN : 2085.38616 e-ISSN : 2580-0442
-----	--------	------	------------	-----------------------	---

KEBUTUHAN KARBON AKTIF UNTUK PENGURANGAN DIOKsin PADA GAS BUANG CEROBONG INSINERATOR PENGOLAHAN SAMPAH DOMESTIK

Dian Purwitasari Dewanti, Anies Ma'rufatin, Ressay Oktivia, Reba Anindyajati Pratama
Pusat Teknologi Lingkungan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
Email: dian.purwitasari@bppt.go.id

Abstrak

Pembentukan dioksin dalam *flue gas* suatu insinerator untuk pembakaran sampah perkotaan hanya bisa dihilangkan dengan *Activated Carbon* (AC) atau karbon aktif. Tujuan penelitian ini yaitu menghitung kebutuhan maksimum dan minimum karbon aktif untuk mengendalikan emisi dioksin dalam *flue gas* suatu insinerator berkapasitas 100 ton/hari. Metode yang digunakan yaitu menghitung potensi *flue gas* dari pembakaran. Dari *flue gas* yang didapatkan, kebutuhan maksimum AC ditetapkan sebesar 200 mg/Nm³ *flue gas*, dan untuk kebutuhan minimum dihitung berdasarkan efisiensi penyerapan dioksin/furan oleh AC pada berbagai variasi efisiensi absorpsi. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan kebutuhan maksimum AC adalah 249,41 kg per hari dan kebutuhan minimum untuk efisiensi absorpsi 90%, 95%, dan 100% masing-masing adalah 8,89 kg, 11,40 kg, dan 215, 47 kg. Apabila dioksin yang dilepas ke udara dengan efisiensi 95% masih berada di bawah baku mutu WHO, maka kebutuhan AC dapat diminimalisir. Jika pada efisiensi absorpsi 95% masih belum mencapai baku mutu, maka jumlah AC yang dibutuhkan untuk efisiensi 100% menjadi 18,9 kali lebih banyak. Perhitungan kebutuhan AC tersebut akan berlaku apabila kondisi semua peralatan pada sistem *Air Pollution Control* (APC) dalam insinerator mampu beroperasi secara optimal.

Kata kunci: karbon aktif, dioksin, insinerator, sampah domestik

ACTIVATED CARBON REQUIREMENTS FOR DIOXIN REDUCTION IN THE INCINERATOR FLUE GAS OF DOMESTIC WASTE TREATMENT

ABSTRACT

The formation of dioxins in the incinerator flue gas during burning urban wastes can only be removed with activated carbon (AC). The purpose of this study was to calculate the maximum and minimum requirements of activated carbon to control dioxin emissions from an incinerator with a capacity of 100 tons/day. The maximum requirement of AC, as calculated from the flue gas, was 200 mg/Nm³ flue gas and the minimum requirement was calculated based on various absorption efficiency of dioxin/furan by AC. Based on the calculations, the maximum requirement of AC was 249.41 kg per day and the minimum requirements at absorption efficiency of 90%, 95%, and 100% were 8.89 kg, 11.40 kg, and 215.47 kg, respectively. If dioxin released into the air at 95% efficiency was below the WHO quality standard, then the AC requirements could be minimized. Conversely, if the dioxin released at 95% efficiency did not meet the quality standard, then the requirement of AC would be increased 18.9 times at 100% efficiency. Those AC requirements would be applicable if all equipments in the Air Pollution Control (APC) system in the incinerator was operated in optimal conditions.

Keywords: *activated carbon, dioxin, incinerator, municipal solid waste*

I. PENDAHULUAN

Insinerator merupakan teknologi alternatif yang menarik untuk mengolah sampah domestik atau sampah perkotaan melalui proses pembakaran karena memiliki beberapa keuntungan¹⁾. Salah satunya yaitu insinerator mampu mengurangi volume sampah yang terbakar sampai 80-95% sehingga dapat menjaga ketersediaan *landfill*²⁾. Akan tetapi, pengendalian polusi udara dari proses pembakaran sampah menjadi masalah utama dalam aplikasi teknologi ini. Biaya untuk sistem kontrol polutan udara bisa mencapai 35% dari total biaya proyek, tergantung dari regulasi polusi udara di negara masing-masing²⁾.

Pembakaran sampah domestik menggunakan insinerator akan menghasilkan *flue gas* yang berisi berbagai macam polutan. Sesuai dengan peraturan, *flue gas* harus melalui serangkaian proses pembersihan (*cleaning*) sebelum dibuang ke udara ambien agar memenuhi standar baku mutu³⁾. Kandungan *flue gas* yang dihasilkan oleh insinerator sampah terdiri dari partikel dan gas beracun, agar memenuhi baku mutu lingkungan sebelum dibuang ke lingkungan *flue gas* ini harus diolah dengan menggunakan peralatan *Air Pollution Control* (APC)³⁾.

Berbagai polutan dalam gas buang tersebut harus direduksi menggunakan serangkaian alat pengendali polutan agar dapat memenuhi baku mutu emisi (BME) sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan no. 70 tahun 2016 tentang Baku Mutu Emisi Usaha dan/atau Kegiatan Pengolahan Sampah Secara Termal⁴⁾. Residu dari *flue gas* tersebut dapat mengkontaminasi lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Salah satu bahan berbahaya yang terkandung dalam *flue gas*

adalah 2, 3, 7, 8-TCDD/PCDD (dioksin/furan).

Dioksin dan furan merupakan dua senyawa yang berbeda namun mempunyai sifat fisik ataupun kimia yang hampir sama⁵⁾. Dioksin/furan mempunyai sifat yang persisten, akumulatif, serta beracun, sehingga dapat menyebabkan pencemaran dengan dampak besar terhadap lingkungan, kesehatan (sosial) dan ekonomi⁵⁾. Pencemaran dioksin/furan sebagian besar terjadi melalui media udara yang merupakan faktor penting dalam kehidupan selain itu dapat menimbulkan penurunan kualitas udara⁶⁾.

Dioksin/furan adalah senyawa hasil pembakaran tidak sempurna dari material yang mengandung klorin. Dioksin merupakan padatan atau kristal tidak berwarna yang memiliki kelarutan yang rendah dalam air dan volatilitas yang rendah juga. Dioksin memiliki titik leleh >100°C dan titik didih >300°C. Baku mutu emisi yang dihasilkan dari insinerator untuk parameter dioksin/furan di beberapa negara seperti Indonesia, Malaysia, Singapura, Jepang, dan Uni Eropa semua menggunakan standar 0,1 Ng-TEQ/Nm^{3 3)}.

Dioksin menjadi residu *flue gas* yang berbahaya karena sifatnya yang karsinogenik⁷⁾. Standar emisi dioksin/furan dalam *flue gas* hasil insinerasi adalah 0,1 ng/Nm^{3 2,4)} dan sebesar 14-38 g TEQ/tahun yang terdisposisi ke tanah⁸⁾, atau jika mengacu pada standar *World Health Organization* (WHO) batas baku mutu adalah 0,1 ng I-TEQ/Nm^{3 9)}.

Untuk menghitung emisi yang dihasilkan oleh insinerator dapat menggunakan faktor emisi sesuai dengan klasifikasi sistem pengendalian polutan. Faktor emisi tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 sesuai dengan klasifikasinya.

Tabel 1. Faktor emisi dioksin/furan untuk kategori sumber insinerator sampah domestik¹⁰⁾

No	Klasifikasi Sistem Pengendalian Polutan	Faktor Emisi Udara ($\mu\text{g TEQ/t}$)
1	<i>Low technology combustion, no APCS</i>	3.500
2	<i>Controlled combustion with minimal APCS</i>	350
3	<i>Controlled combustion with good APCS</i>	30
4	<i>High technology combustion, sophisticated APCS</i>	0,5

Pembentukan dioksin dari insinerator dapat diminimalisir dengan mengatur lama waktu tinggal *flue gas* dalam ruang bakar menjadi lebih dari dua detik, suhu pembakaran lebih dari 800°C, dan penurunan suhu mendadak *flue gas* dibawah 180°C. Dioksin yang sudah terbentuk dan terbawa dalam *flue gas* hanya bisa dihilangkan dengan penambahan bahan yaitu *activated carbon* (AC) atau karbon aktif. Karbon aktif memiliki struktur berpori dengan diameter pori 1, 7-3 nm sehingga mampu mengabsorpsi molekul dioksin dengan ukuran panjang 1,37 nm, lebar 0,738 nm, dan ketebalan 0,35 nm¹¹⁾.

Penghilangan dioksin/furan dari *flue gas* yang menjadi perhatian besar berdampak pada peningkatan biaya investasi dan pengelolaan. Setiap gram karbon aktif mampu menyerap 105-115 ng dioksin atau 10-25 ng dioksin per m² luas permukaan AC¹¹⁾. Semakin banyak AC yang diinjeksikan maka makin banyak dioksin yang akan terserap. Dosis AC maksimum adalah 200 mg per Nm³ *flue gas*¹¹⁾. Jumlah AC lebih dari 300 mg/Nm³ akan menurunkan efisiensi absorpsi karena peningkatan *pressure drop* pada *bag filter*¹¹⁾. Untuk mengetahui efisiensi penggunaan karbon aktif dalam pengendalian emisi dioksin oleh insinerator sampah domestik kapasitas 100 ton/hari, maka jumlah AC maksimum yang dibutuhkan perlu dihitung.

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung kebutuhan maksimum dan minimum AC untuk mengendalikan emisi dioksin dalam *flue gas* suatu insinerator yang berkapasitas 100 ton/hari. Hasil perhitungan tersebut diharapkan dapat memberikan rekomendasi nilai kebutuhan

maksimum dan minimum AC berdasarkan nilai efisiensi yang diinginkan.

II. METODE PENELITIAN

Kebutuhan maksimum AC untuk mengabsorpsi dioksin/furan dari pembakaran pada sebuah insinerator kapasitas 100 ton/hari dihitung berdasarkan perhitungan potensi produksi *flue gas* insinerator tersebut. *Flue gas* dihasilkan dari pembakaran tidak sempurna sampah yang mengandung senyawa klorin dengan eksese oksigen sebesar 80%. Insinerator tersebut dilengkapi sistem pengendalian polutan (*Air Pollution Control* (APC)) yang terdiri dari *quencher*, *semi-dry absorber*, dan *bag filter*.

Dosis maksimum AC yang direkomendasikan berdasarkan penelitian adalah 200 mg/Nm³ *flue gas*¹¹⁾. Perhitungan minimum kebutuhan dapat dihitung dengan Persamaan 1 pada berbagai variasi efisiensi *dry scrubber* pada rentang F/Q =0-300 mg/Nm³ ¹⁾.

$$\eta(\%) = \frac{100}{[1 + (40.2/(F/Q)^3)]} \quad (R^2 = 0.9269)$$

.....(1)

Dimana:

η = efisiensi

F = *feeding* AC (mg)

Q = *flue gas* (Nm³)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Insinerator untuk pengolahan sampah perkotaan (*Municipal Solid Waste Incinerator* (MSWI)) berpotensi menghasilkan 9,328 kg *flue gas*/kg sampah yang dibakar¹²⁾. Bila kapasitas maksimum MSWI 100 ton per hari

maka potensi *flue gas* yang dihasilkan sebesar 932.800 kg per hari. Dengan asumsi massa jenis *flue gas* pada saat keluar cerobong pada kondisi suhu 200°C adalah sebesar 0,748 kg/m³, maka volume *flue gas* yang diperoleh berdasarkan Persamaan 2 adalah sebesar 1.247.058,82 m³.

$$\rho = m / v$$

.....(2)

Dimana:

ρ = Massa jenis (kg/m³) atau (g/cm³)

m = massa (kg atau gram)

v = volume (m³ atau cm³)

Perhitungan kebutuhan AC minimum dihitung berdasarkan Persamaan 1 dengan variasi efisiensi penyerapannya. Jumlah dioksin yang dihasilkan dari MSWI dengan

kondisi *good APC* adalah 30 µg/ton sampah atau 3000 µg/ 100 ton sampah. Insinerator dikategorikan memiliki *good APC* jika pembakaran dilengkapi dengan sistem APC yang sudah mulai disempurnakan misalnya kombinasi *spray dryer* dan *bag filter*. Apabila system pembakaran insinerator tersebut dilengkapi dengan penambahan APC lain misalnya adsorpsi karbon aktif maka dikategorikan sebagai insinerator dengan *sophisticated APCs* dimana emisi dioksinnya berkurang dan faktor emisinya semakin kecil. Berdasarkan volume *flue gas* (Q) = 1.247.058,82 m³ yang dihasilkan dari pembakaran 100 ton sampah dan efisiensi yang bisa ditetapkan dari 5-100%, maka kebutuhan *feed* dioksin (F) dapat dihitung. Hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kebutuhan minimum AC berdasarkan variasi efisiensi

Efisiensi (%)	F/Q (mg/Nm ³)	F(kg)	Dioksin yang diserap (µg)
5	1,2838	1,6010	150
10	1,6469	2,0538	300
15	1,9215	2,3962	450
20	2,1580	2,6912	600
25	2,3752	2,9620	750
30	2,5827	3,2208	900
35	2,7870	3,4755	1050
40	2,9926	3,7319	1200
45	3,2040	3,9956	1350
50	3,4256	4,2720	1500
55	3,6626	4,5675	1650
60	3,9214	4,8902	1800
65	4,2107	5,2510	1950
70	4,5436	5,6661	2100
75	4,9406	6,1613	2250
80	5,4378	6,7813	2700
85	6,1073	7,6162	2550
90	7,1256	8,8860	2700
95	9,1410	11,3993	2850
97	10,9134	13,6100	2910
100	172,7	215,4647	3000

Berdasarkan penelitian¹¹⁾ yang menetapkan kebutuhan AC sebesar 200 mg AC/Nm³ *flue gas* maka kebutuhan AC maksimum untuk *absorber* dioksin/furan pada insinerator berkapasitas 100 ton hari dapat dihitung dengan mengalikan volume

flue gas yang telah diperoleh. Hasil perhitungan yang didapat yaitu 200 mg AC/Nm³ x 1.247.058,82 m³ = 249.411.764,7 mg/Nm³ atau 249,412 kg per hari.

Dengan menggunakan Persamaan 1, maka kebutuhan minimum AC untuk

mengabsorpsi dioksin/furan dalam 1.247.058,82 Nm³ *flue gas* dalam sehari disajikan dapat dihitung dan disajikan dalam Tabel 2. Kebutuhan minimum AC dilakukan perhitungan dalam rentang efisiensi 5-100%. Semakin besar nilai efisiensi maka kebutuhan AC semakin besar sehingga emisi yang dilepas semakin sedikit.

Berdasarkan Tabel 2, kebutuhan AC untuk mampu mengabsorpsi dioksin/furan dengan efisiensi 95% adalah 11,40 kg per hari. Hal ini berarti berdasarkan nilai total potensi dioksin/furan yang dihasilkan dari proses pembakaran 100 ton sampah domestik per hari, masih tersisa 5% dioksin yang akan dilepaskan ke udara bersama gas lain dalam *flue gas* dan menjadi emisi. Dengan mengacu pada faktor emisi untuk MSWI dengan kondisi *good APC*⁽¹³⁾ yaitu 30 µg/ton sampah, maka potensi dioksin yang dihasilkan dari 100 ton sampah adalah 3000 µg/ per hari. Oleh karena itu, jika efisiensi absorpsi dioksin mencapai 95%, maka 2.850 µg per hari mampu dicegah untuk lepas ke udara sebagai emisi. Sisanya sebesar 150 µg atau 0,150 mg dioksin akan dilepas ke udara menjadi emisi.

Karena baku mutu dioksin menurut WHO 0,1 ng I-TEQ/Nm atau 100 µg maka dioksin yang diijinkan dilepas ke udara harus <100 µg. Dengan *trial* dan *error* menggunakan fitur *goal seek* di *Microsoft Excel*, terhadap Persamaan 1, efisiensi pengurangan dioksin yang dikehendaki untuk mencapai 90 µg atau 10 µg dibawah baku mutu adalah 97%. Kebutuhan AC minimal untuk efisiensi 97% adalah 13,6100 kg/hari.

Untuk dapat mengeliminasi 100% dioksin/furan, maka AC minimal yang dibutuhkan sebesar 215,47 kg/hari dan maksimum 249,41 kg/hari. Dengan perbedaan efisiensi absorpsi dioksin dari 97% menjadi 100%, selisih kebutuhan AC cukup signifikan. Oleh karena itu, perhitungan yang akurat diperlukan terkait besarnya potensi dioksin yang dihasilkan dari pembakaran sampah dan berapa besar yang dilepaskan ke udara. Apabila dioksin yang dilepas ke udara pada efisiensi absorpsi 97% masih dibawah baku mutu, maka tidak perlu sampai 100% absorpsi. Hal tersebut dapat

membuat kebutuhan akan AC dapat dilakukan penghematan. Jumlah AC tersebut berlaku dengan asumsi bahwa keseluruhan peralatan dalam sistem APC pada unit MSWI dapat beroperasi dengan optimal.

Emisi dioksin dari insinerator yang dilengkapi dengan *sophisticated* APCS atau penambahan *absorber* karbon aktif memiliki faktor emisi 0,5 µg/ton. Berdasarkan faktor emisi tersebut, jumlah potensi dioksin yang dilepaskan ke udara sebesar 50 µg dan mampu mencapai kondisi dibawah baku mutu. Jika dibandingkan dengan hasil perhitungan dari Persamaan 1, maka emisi dioksin sebesar 50 µg tercapai ketika efisiensi karbon aktif sebesar 98,33%.

IV. KESIMPULAN

Kebutuhan maksimum AC adalah 249,41 kg per hari dan kebutuhan minimum untuk efisiensi absorpsi 90%, 95%, dan 100% masing-masing adalah 8,89 kg, 11,40 kg, dan 215,47 kg. Apabila dioksin yang dilepas ke udara dengan efisiensi 95% masih berada di bawah baku mutu WHO, maka kebutuhan AC dapat diminimalisir. Jika pada efisiensi absorpsi 95% masih belum mencapai baku mutu, maka jumlah AC yang dibutuhkan untuk efisiensi 100% menjadi 18,9 kali lebih banyak. Perhitungan kebutuhan AC tersebut akan berlaku apabila kondisi semua peralatan pada sistem *Air Pollution Control* (APC) dalam mampu beroperasi secara optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. Technical Memorandum. Dioxins and Dioxin-Like Compound in Soil. <http://www.nepc.gov.au/system/files/pages/9b067155-4726-423b-989b-5263263b9c16/files/dioxins-and-dioxin-compounds-soil-technical-memorandum.pdf> [12 Juni 2020].
- Chang, Y.M., Hung, C.Y., Chen, J.H., Chang, C.T, Che, C.H. 2009. Minimum feeding rate of activated carbon to control dioxin emissions large-scale municipal

- solid waste incinerator. *Journal of Hazardous Materials* 161 1436-1443.
- Fiani E, Karl U, Tmlauf G, De Assuncao JV, Kaareka S, Fiedler H, Costner P and Weber R. 2013. Toolkit for Identification and Quantification of Releases of Dioxins, Furans and Other Unintentional POPs, Stockholm Convention, January.
- Lu, S., Ji, Y, Buekens, A., Ma, Z., Li, X., & Yan, J. (2012). Activated carbon treatment of municipal solid waste incineration flue gas. *Waste Management & Research* 0(0) 1-9. DOI: 10.1177/0734242X12462282.
- McKay, Gordon. 2001. Dioxin characterisation, formation and minimisation during municipal solid waste (MSW) incineration: review. *Chemical Engineering Journal* 86 (2002) 343–368.
- Prasetyadi, Wiharja, & Wahyono, S. 2018. Teknologi penanganan emisi insinerator sampah kota. *Jurnal Rekayasa Lingkungan* Vol. 11 No 2 Hal 85-93 Desember 2018.
- Purwanta, W., & Suryanto, F. 2018. Perancangan ID Fan dan Cerobong pada Unit Pembangkit Listrik Tenaga Sampah. *Jurnal Teknologi Lingkungan* Vol. 19 No. 2 Juli 2018.
- Quina, M.J., Bordado, J., Quinta-Ferreira, R. (2011). Air Pollution Control in Municipal Solid Waste Incinerators. In book: *The impact of air pollution on health, economy, environment and agricultural source.*, September 2011. DOI: 10.5772/17650. https://www.researchgate.net/publication/221917199_Air_Pollution_Control_in_Municipal_Solid_Waste_Incinerators.
- Rand, T., Haukohl, J., dan Marxen, U. 2000. *Municipal Solid Waste Incineration. A Decision Maker's Guide*. The World Bank. Washinton, D.C.
- Ujam, A. J., Eboh, F. (2012). Flue Gas Analysis of a Small-Scale Municipal Solid Waste-Fired Steam Generator. *International Journal Of Computational Engineering Research* (ijceronline.com) Vol. 2 Issue. 8.
- UNEP. (2013). Toolkit for identification and quantification of releases of dioxins, furans and other unintentional POPs. Under Article 5 of the Stockholm Convention. Januari 2013. <http://toolkit.pops.int/> [12 Juni 2020].
- Warlina, L., Noor, E., Fauzi, A., Tarumingkeng, R.C., & Sutjahjo, S.H. 2008a. *Jurnal Organisasi dan Manajemen*, Volume 4, Nomor 2, September 2008, 63-72.
- Warlina, L., Noor, E., Fauzi, A., Tarumingkeng, R.C., & Sutjahjo, S.H. 2008b. Estimasi Emisi Dioksin/Furan dan Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Konsentrasi Emisi Ke Udara Yang Berasal Dari Industri Logam. *Jurnal Matematika, Sains, dan Teknologi*, Volume 9, Nomor 1, Maret 2008, 11-20.