



ESTIMASI EMISI DIOKsin/FURAN DAN FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KONSENTRASI EMISI KE UDARA YANG BERASAL DARI INDUSTRI LOGAM

Lina Warlina (warlina@mail.ut.ac.id)

Universitas Terbuka

Erliza Noor

Akhmad Fauzi

Rudy C. Tarumingkeng

Surjono H. Sutjahjo

Pascasarjana Institut Pertanian Bogor

ABSTRACT

Dioxin/furan is one of the persistent organic pollutants (POP's) that the government and public in Indonesia has not taken care of, as there is currently no policy on reducing dioxin/furan emission, even according to previous research dioxin/furan emission has already high. Steel industries produce dioxin/furan emission that will give negative impact to the people (cancer and death) and environment. The objective of this research was to estimate dioxin/furan emission and to determine factors that influence dioxin/furan emission concentration on the air, especially from steels industries. Methods employed in this research used emission factors to estimate dioxin/furan emission and Gaussian dispersion modeling to estimate emission concentration. The result showed that dioxin/furan emission is 9,38-13,54 gTEQ and it has to be reduced. Production is main factor to contribute dioxin/furan emission to the air. Besides that, emission concentration also depends on temperature, wind speed, height of stacks and radius from the site to the recipient. The conclusion of the research is dioxin/furan emission should be reduced, by means of first or second treatment.

Keywords: dioxin/furan, dispersion methods, emission, persistent organic pollutants.

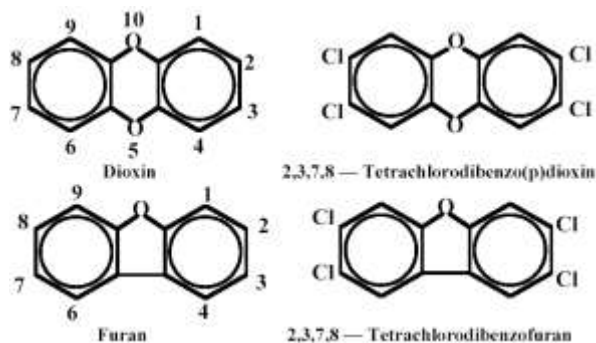
Dioksin dan furan merupakan pencemar udara yang belum umum diketahui, yang termasuk golongan senyawa yang persisten (*persistent organic pollutant*, POP's). Pencemaran ini dapat ditimbulkan oleh banyak kegiatan seperti hasil samping industri atau pembakaran yang mengandung klor (UNEP, 2003). Dioksin dan furan adalah senyawa yang berbeda, tetapi memiliki kemiripan sifat fisik dan kimia yang hampir sama. Salah satu sifat dioksin/furan yang berdampak negatif terhadap lingkungan adalah daya urainya sangat lambat, baik di tanah, udara dan air (Gorman & Tynan, 2003) dan menetap di lingkungan untuk waktu yang cukup lama. Adanya senyawa tersebut dapat memberikan dampak jangka panjang maupun jangka pendek terhadap kesehatan mahluk hidup ataupun lingkungan dan dalam rantai makanan terakumulasi pada jaringan lemak (bersifat lipofilik), sehingga sukar larut dalam air. Dalam skala luas akibat pencemaran senyawa tersebut berupa kerugian sosial dan ekonomi.

Pembentukan dioksin/furan dapat terjadi melalui pembakaran bahan yang mengandung klor, seperti limbah bahan organik dan produk kertas. Kandungan klor akan meningkat dengan semakin

banyaknya limbah berbagai jenis plastik. Menurut Lemieux (dalam Sumaiku, 2004), peneliti dari *National Risk Management Research Laboratory, US-EPA (United State - Environment Protection Agency)*, pembakaran sampah rumah tangga pada kondisi pembakaran dan suhu yang rendah dapat menimbulkan gas racun dioksin/furan lebih tinggi daripada insinerator yang terkendali, sehingga di beberapa negara seperti Amerika Serikat, pembakaran sampah di udara terbuka tidak diperbolehkan. Emisi dioksin/furan juga terjadi pada pembuangan akhir sampah atau TPA (Widyatmoko, 1999). Peralatan elektronik seperti TV dan komputer juga mengeluarkan emisi dioksin/furan sekitar 5 pikogram dalam 5 jam operasi (Aritonang, 1999). Di Indonesia, estimasi total emisi dioksin/furan pada tahun 2000 diperkirakan mencapai 21.126 gTEQ (*Toxic Equivalent*) (Suminar, 2003). Jumlah ini cukup tinggi bila dibandingkan dengan negara lain.

Sumber pencemaran emisi dioksin/furan terbesar di Indonesia berasal dari pembangkit listrik dan pemanasan yaitu sebesar 66%, diikuti oleh industri pulp dan kertas (21%), pembakaran tak terkendali (7,7%), industri besi dan non besi (4,5%) dan sisanya merupakan hasil pembakaran dari industri mineral, transportasi, dan tempat pembuangan sampah (Suminar, 2003). Dari jumlah tersebut sebagian besar (71,4%) terbuang ke udara. Proses industri produk (kertas dan tekstil) menyumbang 16,8% emisi, dan residu hasil produksi menyumbang 9,4% emisi. Pencemaran di dalam tanah menyumbang 2,1% emisi, dan pencemaran dalam air menyumbang 0,4% emisi.

Dioksin/furan termasuk sekelompok zat kimia berbahaya yang termasuk dalam golongan senyawa *Polychlorinated Dibenzo-p-Dioxin (PCDD)* dan *Polychlorinated Dibenzo Furan (PCDF)*. Dalam PCDD terdapat 75 jenis senyawa dioksin dan dalam PCDF terdapat 135 jenis. Seluruh 210 jenis senyawa tersebut mempunyai taraf toksisitas yang berbeda-beda, dari taraf toksisitas rendah hingga taraf toksisitas tinggi. Salah satu yang memiliki toksisitas tertinggi adalah TCDD (2,3,7,8-*tetrachlorodibenzo-p-dioxin*) yang biasa disebut dioksin. Senyawa golongan furan dinyatakan sedikit kurang toksik dibanding dengan golongan dioksin. Namun diantara golongan furan tersebut yang memiliki kadar racun tertinggi yaitu TCDF (2,3,7,8-*tetrachloro dibenzofuran*) yang biasa disebut furan. Zat-zat tersebut dihasilkan sebagai produk samping proses pembakaran dan beberapa proses industri kimia (Connell & Miller, 1995). Pembentukan dioksin/furan dapat terjadi pula dari pembakaran zat padat yang mengandung unsur klor dengan suhu 300-450 °C (Gullet, Bruce, & Beach, 1990). Berdasarkan struktur kimianya, dioksin dan furan mempunyai struktur dasar yang mirip, yaitu mempunyai 2 (dua) cincin benzena dan molekul-molekul klorin, sehingga memiliki kesamaan sifat. Struktur dari dioksin dan furan tertera pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur dioksin dan furan

Pencemaran dioksin/furan sebagian besar terjadi melalui media udara yang merupakan faktor penting dalam kehidupan. Pencemaran dioksin/furan tercatat menimbulkan penurunan kualitas udara. Sebagai contoh, seperti adanya industri peleburan besi di Belanda menyebabkan kualitas udara terkontaminasi dioksin/furan sebesar 22.700 pg TEQ/gr debu (Rappe, 1996).

Dioksin/furan berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan hidup, antara lain dapat memicu kanker, alergi, merusak susunan saraf dan dapat mengganggu sistem endoktrin yang menyebabkan kerusakan pada sistem reproduksi dan sistem kekebalan (Matsushita, 2003; NIEHS, 2001). Ekspose dioksin/furan terhadap manusia sehari-hari tidak menyebabkan semua orang yang terkontaminasi zat kimia itu langsung mengidap kanker, namun dioksin terbukti meningkatkan kasus kanker di masyarakat. Apabila seseorang terpapar dioksin dengan konsentrasi 1 pg/kg berat badan/hari, maka risiko terkena kanker adalah 1% (Ackerman, 2003). Dioksin/furan dapat masuk ke dalam tubuh melalui pernafasan, kulit, atau konsumsi makanan secara langsung dan waktu paruh dioksin/furan dalam tubuh manusia sekitar 7 tahun (Soemarwoto, 2004). Berdasarkan penelitian NIEHS (2001), dioksin/furan mempengaruhi sel sama seperti kerja estrogen, yaitu masuk ke dalam sel dan berikatan dengan protein yang ada pada sel yang disebut reseptor Ah.

Salah satu kendala pada penelitian dioksin/furan antara lain diperlukan biaya analisis yang mahal. Tingkat konsentrasi untuk dioksin/furan yang sangat rendah membutuhkan alat yang sangat sensitif. *United Nations Environment Programme* (UNEP) telah mengeluarkan panduan (faktor emisi) untuk menghitung/mengestimasi emisi dioksin/furan yang dikeluarkan. Emisi dioksin/furan dapat diestimasi berdasarkan faktor emisi serta tingkat aktivitasnya (produksi atau bahan baku). Setelah emisi dapat diestimasi, maka selanjutnya dapat dihitung konsentrasi emisi yang dipengaruhi oleh faktor dispersi yaitu keadaan fisik industri serta faktor meteorologi setempat. Dalam penelitian ini akan menghitung emisi dan konsentrasi emisi dioksin/furan dan hubungan antara faktor-faktor yang mempengaruhi konsentrasi emisi dioksin/furan tersebut di udara.

METODOLOGI

Penelitian dilakukan untuk industri logam besi dan non-besi yang berpotensi mengeluarkan emisi dioksin/furan di provinsi Banten dan pengumpulan data dilakukan pada bulan Februari-Juni 2006. Data penelitian dikumpulkan dengan metode pengumpulan data primer dan sekunder. Pengumpulan data primer dilakukan dengan memberikan kuesioner dan wawancara terhadap industri untuk mengetahui operasional dari mesin yang digunakan. Sedangkan pengumpulan data sekunder untuk mengetahui berbagai data dari produksi yang didapat dari Biro Pusat Statistik (BPS), Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) ataupun dari industri itu sendiri.

Perhitungan estimasi emisi dioksin/furan ke lingkungan per tahun, dipengaruhi oleh aktivitas industri yaitu tingkat produksi atau bahan mentah yang digunakan sesuai dengan persamaan (1), yang dinyatakan dalam gTEQ/tahun (UNEP Chemicals, 2003; EPA, 2003) :

$$E_{yr} = A_{yr} \times EF \quad (1)$$

E_{yr} = emisi /tahun (g TEQ/thn)

A_{yr} = data aktivitas per tahun yaitu banyaknya bahan baku atau produk yang diproduksi (kg/thn)

EF = faktor emisi, massa emisi dioksin/unit tingkat aktifitas, dinyatakan dalam $\mu\text{g I-TEQ}$ per unit bahan baku atau produk yang diproduksi.

Penentuan faktor emisi dapat dilakukan dengan menggunakan *Standardized Toolkit* yang dikeluarkan UNEP (UNEP Chemicals, 2003). Nilai faktor emisi tergantung pada kategori dan sub-

kategori suatu aktivitas, teknologi, dan jenis penyebaran media emisi. Faktor emisi yang digunakan pada penelitian ini yaitu seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Faktor Emisi untuk Kategori Produksi Logam Besi dan Non-besi

Klasifikasi	Faktor Emisi – ug TEQ/ton produksi				
	Udara	Air	Tanah	Produk	Residu
Sub-kategori : produksi besi dan baja					
<u>Pembuatan besi baja (Iron and steelmaking)</u>					
Skrap kotor (terkontaminasi), kontrol terbatas	10	NA	NA	NA	15
Skrap bersih/besi murni, <i>afterburner</i> dan ada penyaringan	3	NA	NA	NA	15
Skrap bersih/besi murni, EAF yang dirancang untuk emisi PCDD/PCDF rendah, BOF <i>furnaces</i>	0,1	NA	NA	NA	1,5
<i>Blast furnace</i> dengan APC	0,01	ND	ND	ND	ND
Peleburan besi (<i>Iron foundries</i>)					
<i>Cold air copula</i> atau <i>rotary drum</i> tanpa pembersih gas	10	NA	NA	NA	ND
<i>Rotary drum – fabric filter</i>	4,3	NA	NA	NA	0,2
<i>Cold air copula – fabric filter</i>	1	NA	NA	NA	8
<i>Hot air copula</i> , atau <i>induction furnace – fabric filter (foundry)</i>	Udara 0,03	Air NA	Tanah NA	Produk NA	Residu 0,5
Sub-kategori : produksi aluminium					
<u>Proses skrap Al, minimal <i>treatment</i> pada bahan baku,</u>					
Pembuangan debu sederhana	150	ND	ND	ND	400
Skrap <i>treatment</i> , kontrol baik, APCS baik	35	ND	ND	ND	400
<i>Shaving/turning drying</i>	10	ND	ND	ND	NA
Proses optimalisasi, optimal APCS	1	ND	ND	ND	400
Sub-kategori : produksi zink					
Peleburan zink	0,3	ND	NA	NA	NA

NA: *not available* ND: *not detectable*

Sumber: UNEP (2003)

Data aktivasi yang digunakan yaitu tingkat produksi selama kurun waktu tahun 1995-2004, dengan total produksi antara 1,874-2,152 juta ton per tahun, sedangkan jenis teknologi tungku yang digunakan seperti pada Tabel 2.

Setelah emisi dilepaskan ke udara, maka konsentrasi diestimasi dengan menggunakan persamaan dispersi Gaussian yang telah dimodifikasi (Rufo & Rufo Jr., 2004; Rabl & Spadaro, 1998), yang persamaannya sebagai berikut :

$$\chi = \frac{QKVD}{2\pi u_s \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-0.5 \left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right] \quad (2)$$

χ = konsentrasi pada jarak x m dan y m
 Q = emisi polutan (massa per unit waktu)
 K = koefisien konversi
 V = jarak vertikal

D = peluruhan (*decay term*)
 μ_s = kecepatan angin pada tinggi z
 σ_y, σ_z = standar deviasi pada jarak lateral dan vertikal distribusi konsentrasi (m)

Persamaan dispersi ini dapat digunakan maksimal untuk jarak penyebaran hingga 50 km. Dalam penelitian ini digunakan jarak 36 km, berdasarkan pertimbangan pembagian daerah administratif. Data yang digunakan untuk metode dispersi yaitu data meteorologi (kecepatan angin, kestabilan cuaca, suhu ambient) dan kondisi fisik industri (tinggi dan diameter cerobong, kecepatan gas keluar).

Untuk mengkaji hubungan antar variabel, digunakan metode regresi dengan *Ordinary Least Square* (OLS) menggunakan perangkat SPSS. Hubungan antar variabel tersebut adalah hubungan emisi dan produksi; emisi dan konsentrasi; konsentrasi dan emisi, kecepatan angin dan suhu; konsentrasi dan tinggi cerobong; serta konsentrasi dan jarak penyebaran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Estimasi emisi dan konsentrasi

Berdasarkan model persamaan (1), estimasi emisi dioksin/furan yang berasal dari industri pabrik logam dan non-logam dari tahun 1995-2004 adalah sebesar 9,38–13,54 gTEQ yang berasal dari total produksi antara 1,87 – 2,15 juta ton. Emisi dioksin/furan di lingkungan bersifat akumulatif, sehingga walaupun emisi yang dikeluarkan industri relatif rendah, namun perlu diperhitungkan pula.

Untuk mengkaji hubungan antara produksi dan emisi digunakan metode OLS dengan model persamaan regresi sesuai dengan persamaan :

$$\text{Emisi dioksin/furan} = b_0 + b_1 \text{ produksi}$$

dengan nilai-nilai b_0 dan b_1 dan R^2 seperti tercantum pada Tabel 2.

Tabel 2. Koefisien-koefisien Persamaan Regresi antara Emisi dan Produksi

Jenis Industri	Koefisien		
	b_0	b_1	R^2
I	$3,8 \cdot 10^{-7}$	$6,5 \cdot 10^{-6}$	100%
II	$-4,97 \cdot 10^{-7}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	100%
III	$4,2 \cdot 10^{-7}$	$6,5 \cdot 10^{-6}$	100%
IV	$1,97 \cdot 10^{-7}$	$9,25 \cdot 10^{-5}$	100%
V	$-1,12 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-8}$	100%
VI	$-1,54 \cdot 10^{-7}$	$3,0 \cdot 10^{-8}$	100%
VII	$-2,5 \cdot 10^{-7}$	$3,0 \cdot 10^{-7}$	100%

Berdasarkan persamaan regresi yang dihasilkan seperti pada Tabel 2, emisi yang dikeluarkan oleh tiap industri, dapat dibagi dalam 3 kelompok. Kelompok 1 menghasilkan emisi dioksin/furan 1 – 6,5 gTEQ per 1 juta ton produksi (industri I-III), kelompok 2 menghasilkan emisi sebesar 0,03-0,3 gTEQ (industri V-VII) serta kelompok 3 menghasilkan emisi yang tertinggi dibandingkan industri lainnya yaitu 92,5 gTEQ (industri IV). Secara umum, makin besar produksi, maka emisi yang dikeluarkan juga akan semakin besar. Berbedanya emisi yang dilepaskan dapat disebabkan dari berbagai aspek, yaitu jenis industri serta faktor emisi.

Karena hubungan yang sangat linier antara emisi dan produksi (hubungan linier sempurna), maka untuk mengkaji hubungan konsentrasi dioksin/furan di ambien dengan variabel-variabel yang mempengaruhinya, hanya akan digunakan satu variabel saja yaitu variabel emisi. Hal ini dilakukan untuk menghindari adanya multikolinieritas sempurna.

Setelah emisi dilepaskan dari sumber, maka untuk menghitung konsentrasi penyebaran emisi, digunakan persamaan 2. Berdasarkan persamaan tersebut, maka konsentrasi tidak saja dipengaruhi oleh emisi, tetapi juga oleh faktor meteorologi, seperti kecepatan angin, kestabilan

cuaca, suhu, dan kondisi fisik industri, seperti tinggi cerobong, diameter cerobong, dan kecepatan gas keluar. Setelah memperhitungkan faktor-faktor tersebut, maka estimasi konsentrasi emisi pada tahun 1995-2004 sebesar 62.850-96.165 pgTEQ/m³. Bila dikaji hubungan secara langsung antara emisi dengan konsentrasi, maka berdasarkan *curve fit* SPSS, model persamaan untuk konsentrasi dan emisi adalah model kubik dengan R² adalah 97,0% dengan hubungan berikut :

$$\text{Konsentrasi dioksin/furan} = 71474,7 - 114,66 (\text{emisi})^2 + 12,4637 (\text{emisi})^3$$

Karena banyak faktor yang mempengaruhi konsentrasi, maka tidak ada acuan untuk memperkirakan 1 g emisi akan menghasilkan berapa besar konsentrasi ambien, hal ini terutama disebabkan faktor meteorologi yang berbeda pada setiap waktu dan tempat.

Pengaruh kecepatan angin dan suhu terhadap tingkat penyebaran dioksin/furan

Berdasarkan persamaan 2, konsentrasi dioksin/furan dipengaruhi oleh emisi (Q), kecepatan angin (μ_s) serta suhu yang secara tidak langsung akan mempengaruhi jarak vertikal (V). Suhu ambien akan mempengaruhi tinggi emisi yang menyebar dan secara langsung akan mempengaruhi jarak vertikal. Hasil analisis hubungan antara konsentrasi dengan emisi, kecepatan angin dan suhu berdasarkan persamaan regresi adalah :

Konsentrasi dioksin/furan = 8819,9 emisi – 13570 kecepatan angin + 6854,4 suhu dengan nilai koefisien determinasi (R²) sebesar 99,27 %, dengan nilai DW (Durbin-Watson) 1,8897, sehingga tidak ada multikolinieritas dalam variabel-variabel tersebut. Konsentrasi dioksin/furan secara nyata dipengaruhi oleh emisi, suhu dan kecepatan angin dengan masing-masing koefisien estimasi seperti pada persamaan di atas. Variabel emisi mempunyai koefisien estimasi cukup tinggi, sehingga faktor yang paling mempengaruhi besarnya konsentrasi dioksin/furan adalah emisi dari industri.

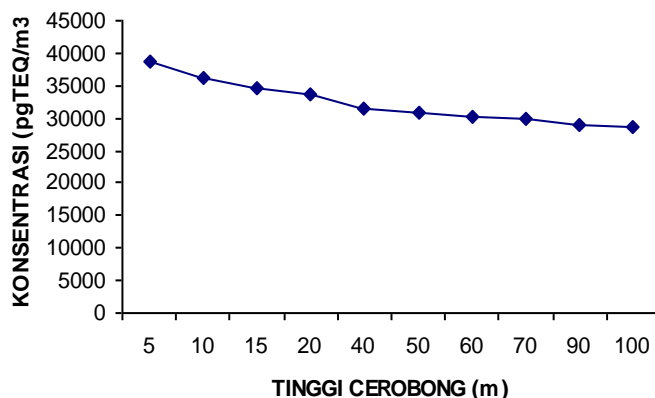
Pengaruh tinggi cerobong terhadap penyebaran dioksin/furan

Secara fisik, konsentrasi dioksin/furan di ambien juga dipengaruhi oleh tinggi cerobong keluarnya emisi. Tinggi cerobong akan mempengaruhi kecepatan emisi yang keluar (u_z) serta tinggi emisi yang menyebar (H). Hubungan tinggi cerobong dengan konsentrasi emisi dioksin/furan dikaji dengan asumsi kondisi cuaca yang tetap. Hubungan persamaan konsentrasi dengan tinggi cerobong adalah :

Konsentrasi dioksin/furan = 69.203,232 – 175,868 tinggi cerobong dengan R² adalah 83,8%. Makin tinggi cerobong yang digunakan oleh industri, maka konsentrasi dioksin/furan yang dilepaskan semakin kecil. Secara grafik dapat digambarkan pada Gambar 1.

Untuk kenaikan tinggi cerobong sebesar 1 m, konsentrasi dioksin/furan di ambien akan berkurang sebesar 175,868 pg TEQ/m³ (persamaan 3). Tinggi cerobong mempunyai peranan penting dalam menentukan konsentrasi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan *The World Environment Departement* (Lvovsky, Hughes, Maddison, Ostro, & Pearce, 2000), tinggi cerobong dapat menggambarkan kelompok industri. Tinggi cerobong dibagi dalam 3 (tiga) kelompok, yaitu kelompok dengan tinggi cerobong > 75 m (*high stack*); kelompok medium dengan tinggi cerobong antara 25–75 m. (*medium stack*) dan kelompok tinggi cerobong < 25 m (*low stack*). Industri dengan *high stack* merupakan industri dengan peralatan modern (*modern power plants*), industri dengan *medium stack* merupakan industri besar, *district heating plants* dan *suboptimal power utilities*; sedangkan industri dengan *low stack* merupakan industri kecil dan industri komersial (*commercial users*), transport, dan sektor domestik. Dengan demikian berdasarkan tinggi cerobong, industri-industri dalam penelitian ini tergolong dalam kelompok industri kecil hingga industri besar.

Untuk melindungi masyarakat dan lingkungan dari pencemaran atau emisi yang berlebihan, maka pemerintah selayaknya mengeluarkan peraturan mengenai tinggi cerobong minimal yang harus dipatuhi.



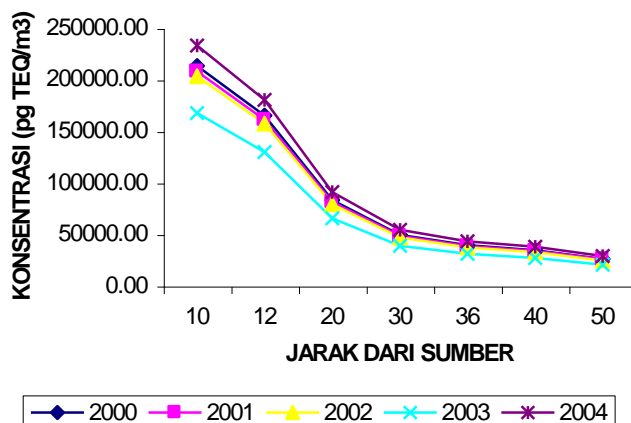
Gambar 1. Hubungan konsentrasi dioksin/furan dengan tinggi cerobong

Pengaruh jarak terhadap penyebaran

Tingkat konsentrasi dioksin/furan yang diterima reseptor dipengaruhi pula oleh jarak penyebaran emisi, makin jauh jarak penyebaran, makin kecil konsentrasi dioksin/furan. Berdasarkan analisis, hubungan jarak penyebaran dengan konsentrasi dioksin/furan dapat digambarkan dengan model persamaan sebagai berikut :

$$\text{Konsentrasi dioksin/furan} = 238527 - 4645 \text{ jarak penyebaran} \quad (4)$$

dengan R² adalah 82,5%. Secara grafik, hubungan konsentrasi dengan jarak penyebaran seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan konsentrasi dioksin/furan dengan jarak penyebaran

Berdasarkan hubungan model persamaan regresi antara konsentrasi dan jarak penyebaran, secara signifikan makin jauh jarak dari sumber, makin kecil konsentrasi yang diterima oleh reseptor. Perubahan jarak sejauh 1 km, akan memberikan pengurangan konsentrasi sebesar 4.645 pgTEQ/m³ (persamaan 4). Bila dikaji berdasarkan pengurangan konsentrasi emisi, maka persentase pengurangan konsentrasi seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Hubungan Antara Jarak Penyebaran dengan Persentase Pengurangan Konsentrasi

Jarak penyebaran (km)	20	30	40	50
Pengurangan konsentrasi (%)	60,84	76,64	83,63	87,50

Untuk jarak penyebaran hingga 50 km, konsentrasi di ambien akan berkurang sebesar 87,5%, sedangkan dari 40 km hingga 50 km, pengurangan konsentrasi tidak berbeda secara signifikan. Oleh karena itu, apabila masyarakat akan membangun perumahan sebaiknya jauh dari sumber pencemaran atau daerah industri.

Bila dikaji faktor-faktor yang mempengaruhi konsentrasi yaitu emisi, kecepatan angin, suhu, tinggi cerobong serta jarak penyebaran, maka emisi merupakan hal utama yang sangat berpengaruh. Berdasarkan koefisien regresi yang dihasilkan dari model, kecepatan angin juga mempunyai pengaruh yang besar secara negatif.

Dampak emisi dioksin/furan

Berdasarkan jumlah emisi yang dilepaskan (9,38–13,54 gTEQ), jumlah penduduk yang terkena dampak, paparan per orang per hari telah mencapai 205,13-325,96 pgTEQ (emisi/jumlah penduduk/365 hari/berat badan rata-rata). Nilai ini telah melebihi batas ambang seperti yang telah disarankan WHO dan EPA yaitu 1-10 pgTEQ/orang/kg. berat badan/hari (European Commission, 2001; EPA, 2003). Estimasi dampak yang terjadi yaitu potensi adanya kasus kanker, dan 16% dari kasus kanker tersebut akan menyebabkan kematian (Rufo & Rufo Jr., 2004).

Bila dikaji berdasarkan jumlah penduduk pada tahun 2004 yaitu sebanyak 2.153.936 orang, serta paparan maksimal seperti yang digunakan oleh Jepang yaitu sebesar 10 pgTEQ/kg bb/hr (Kishimoto, Oka, Yoshida, & Nakanishi, 2001) atau maksimal yang disarankan EPA (EPA, 2003), maka seharusnya emisi yang dapat diterima oleh masyarakat setempat adalah (50 kg x 2.153.936 orang x 10 pgTEQ/kg bb/hr x 365 hari) 0,3931 gTEQ/tahun. Sedangkan rata-rata emisi yang dikeluarkan industri di daerah tersebut dalam tahun 2004 adalah 11,03-11,86 gTEQ/tahun, sehingga pengurangan emisi yang harus dilakukan adalah sebesar 10,667 gTEQ/tahun atau 97%.

Menurut UNEP Chemicals (1999) ada 2 cara perlakuan untuk mereduksi emisi dioksin furan ke lingkungan, yaitu cara primer dan cara sekunder. Cara primer yaitu langkah untuk menghalangi terjadinya pembentukan dioksin/furan, misalnya substitusi bahan baku atau bahan tambahan pada proses produksi. Sedangkan cara sekunder adalah langkah untuk menghilangkan/mengurangi emisi dioksin/furan yang keluar ke lingkungan. Langkah ini antara lain adanya perubahan/penambahan teknologi, misalnya mengadsorpsi dioksin/furan pada karbon aktif.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa estimasi emisi dioksin/furan di daerah penelitian telah mencapai 9,38-13,54 gTEQ per tahun dari produksi sebesar

1,87-2,15 juta ton. Paparan per orang per hari telah mencapai 205,13-325,96 pgTEQ, sehingga perlu dilakukan reduksi emisi. Reduksi emisi dapat dilakukan dengan perlakuan primer ataupun sekunder.

Konsentrasi emisi dioksin/furan sangat dipengaruhi faktor meteorologi serta kondisi fisik industri. Kondisi fisik industri sangat mempengaruhi emisi yang merupakan gambaran dari produksi yang dihasilkan. Dalam memproduksi sebaiknya industri tidak saja memperhatikan jumlah produksi, tetapi juga memperhatikan dampak emisi yang ditimbulkan, sehingga emisi yang dilepaskan dapat sekecil mungkin. Selain itu, jarak penyebaran dari sumber dan tinggi cerobong juga mempengaruhi konsentrasi emisi yang sampai ke masyarakat (reseptor). Berdasarkan hal tersebut, sebaiknya pemerintah mengeluarkan peraturan mengenai tinggi cerobong yang efisien serta jarak permukiman dengan daerah industri, sehingga konsentrasi emisi yang sampai ke reseptor dapat dikurangi.

REFERENSI

- Ackerman, F. (2003). The outer bounds of the possible: Economic theory, precaution, and dioxin. *Organohalogen Comp*, 65, 378-381.
- Aritonang, V.P. (1999). Insinerator, sumber dioksin?. *Ekolita: Majalah Manajemen Mutu, Lingkungan dan Appraisal* (Edisi 5). Jakarta.
- Connell, D.W. & Miller, G.J. (1995). *Kimia dan ekotoksikologi pencemaran*. Jakarta: UI Press.
- EPA (Environment Protection Agency). (2003). *Evaluating atmospheric releases dioxin-like compounds from combustion sources*. Diambil 6 Februari 2006, dari http://www.epa.gov/ncea/pdfs/dioxin/nas-review/pdfs/part1_vol3/dioxin_pt1_vol3_ch03_dec2003.pdf.
- European Commission. (2001). Community strategy for dioxin, furan and polychlorinated biphenyls, COM (2001) 593 final. Diambil 25 Desember 2005, dari http://europa.eu.int/eur.lex/en/com/pdf/2001/com2001_0593en01.pdf.
- Gorman, S. & Tynan, E. (2003). Environment strategy notes: Persistent organics pollutants- a legacy of environmental harm and threats to health. No. 6 May 2003. Diambil 23 Februari 2004, dari <http://www.worldbank.org/pops>.
- Gullet, B.K., Bruce, K.R., & Beach, L.D. (1990). The effect of metal catalysts on the formation of polychlorinated dibenzo-p-dioxin and polychlorinated dibenzofurans precursors. *Chemosphere*. 20 (10-12),1945-1952. Great Britain: Pergamon Press.
- Kishimoto, A., Oka, T., Yoshida, K., & Nakanishi, J. (2001). Socio economic analysis of dioxin reduction measures in Japan. Diambil 17 Juli 2005, dari [http://risk.kan.ynu.ac.jp/rmg/ws2001/Kishimoto_slide.pdfabst\(E\).pdf](http://risk.kan.ynu.ac.jp/rmg/ws2001/Kishimoto_slide.pdfabst(E).pdf).
- Lvovsky, K., Hughes, G., Maddison, D., Ostro, B., & Pearce, D. (2000). *Environmental costs of fossil fuels, a rapid assessment method with application to six cities*. The World Bank Environment Department.
- Matsushita, M. (2003). Enabling facilities to facilitate early action on implementation of the Stockholm Convention on organics pollutants (POPs) in Indonesia. *Makalah pada Workshop Sosialisasi Hasil Inventarisasi Bahan Kimia POPs di Indonesia*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.
- National Institute of Environmental Health Sciences. (2001). Dioxin research at the National Institute of Environmental Sciences (NIEHS). Diambil 4 Oktober 2004, dari <http://www.niehs.nih.gov/oc/factsheets/dioxin.htm>.
- Rabl, A. & Spadaro, J.V. (1998). *Health risk of air pollution from incinerators: A perspective*. *Waste Man Res Waste* (16), 365-388.

- Rappe, C. (1996). *Sources and environmental concentrations of dioxins and related compounds*. *Pure Appl Chem* 68 (9), 1781-1789.
- Rufo & Rufo Jr. (2004). *Clean incinerator of solid waste: A cost-benefit analysis for Manila*. Singapore: Economy and Environment Program of Southeast Asia.
- Soemarwoto, O. (2004). *Atur diri sendiri, paradigma baru pengelolaan lingkungan hidup*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Sumaiku, Y. (2004). *Apa akibatnya dari pembakaran sampah di pekarangan rumah tangga dan pembakaran/kebakaran hutan terhadap kesehatan*. Diambil 2 September 2004, dari <http://www1.bpk.penabur.or.id/kps-jkt/sehat/sampah.htm>.
- Suminar, S.A. (2003). *Estimasi emisi dioksin dan furan*. Hasil penelitian disampaikan pada Enabling Activities to Facilitate Early Action on the Implementation of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (POPs) in Indonesia. Workshop Hasil Inventarisasi POPs. UNIDO. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup..
- UNEP Chemicals. (1999). *Dioxin and furan inventories national and regional emissions of PCDD/PCDF*. Geneva-Switzerland: Inter-Organization Programme for the Sound Management of Chemicals.
- UNEP Chemicals. (2003). *Formation of PCDD and PCDF – an overview*. Geneva, Switzerland. Diambil 27 Desember 2006, dari http://www.pops.int/documents/meetings/bat_bep/1st_session/EGB1_INF12doclist.pdf.
- UNEP. (2003). *Standardized toolkit for identification and quantification of dioxin and furan releases*. Geneva-Switzerland: Inter-Organization Programme for the Sound Management of Chemicals. Diambil 2 September 2004, dari http://www.pops.int/documents/guidance/Toolkit_2003.pdf.
- Widyatmoko, H. (1999). *Masalah pencemaran dioksin*. Diambil 2 September 2004, dari <http://www.partaihijau.or.id/five-artikel1.html>