

TERBENTUKNYA DIOKSIN AKIBAT REAKSI KIMIA PADA PROSES PEMBAKARAN DAN DAMPAKNYA BAGI MANUSIA

Oleh : Sumingkrat*)

Abstract

Dioxin's generate during combustion of wastes and others which include chlorine and or chlorinated organic compound, which is the dominant source of dioxin in the environment (95%). The most strong toxic Dioxin is 2,3,7,8 Tetra Chloro Dibenzo p-Dioxin (TCDD), resulting negatif impact for the environment and human health such as carcinogen. It is worthwhile to control the combustion system, i.e : the combustion time and the use of enough oxygen. Beside, it is necessary to clarify how to incinerate wastes containing chlorine safely.

Intisari

Dioksin dihasilkan selama proses pembakaran limbah dan bahan lainnya yang mengandung klor dan atau senyawa organoklor, sebagai sumber dioksin yang dominan di lingkungan (95 %). Senyawa dioksin yang paling toksik adalah 2,3,7,8 Tetra Kloro Dibenzo p-dioksin (TCDD), yang dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia seperti penyebab kanker. Akan sangat baik apabila dilakukan pengendalian pada sistim pembakaran, antara lain terhadap lama pembakaran dan penggunaan oksigen yang cukup. Disamping itu perlu diklarifikasi bagaimana cara aman untuk membakar limbah yang mengandung klor.

PENDAHULUAN

Kegiatan industri di Indonesia semakin meningkat, baik secara kualitas maupun kuantitas yang menjadi unsur pokok dalam upaya meningkatkan laju pertumbuhan ekonomi. Tetapi dilain pihak semakin banyak pula masalah yang ditimbulkannya, karena banyak kegiatan manusia industri yang pelaksanaannya tidak melalui perencanaan dan pengelolaan yang baik. Akibatnya akan timbul berbagai dampak negatif, misalnya pencemaran lingkungan akibat sampah /limbah industri dan pengurusan sumber daya alam. Oleh karena itu perencanaan pembangunan serta pengoperasian industri, dan segala usaha perlu dipertimbang-

kan untuk memperkecil dampak negatif baik yang berjangka pendek maupun yang berjangka panjang (Soemantoyo, 1994). Pencemaran lingkungan yang serius diantaranya adalah akibat timbulnya dioksin yang berasal dari berbagai kegiatan seperti proses industri kimia, pemusnahan bahan kimia, limbah mengandung klor, pembakaran sampah tidak terkontrol, dan lain-lain. Sumber terbesar senyawa dioksin di lingkungan 95% berasal dari proses pembakaran limbah yang mengandung senyawa klor dalam insinerator (US EPA, 1998). Senyawa dioksin terbentuk sebagai akibat kegiatan industri terutama yang berkaitan dengan proses klorinasi atau pembakaran, karena teknik pembakaran

*) Staf Peneliti Balai Lit. Pupuk dan Petrokimia Balai Besar Industri Kimia

masih dianggap merupakan salah satu cara yang lebih efektif. Proses pembakaran dipilih karena sisa yang ditinggalkan dalam jumlah kecil, tetapi cara ini akan menjadi tidak aman bila teknik yang dilakukan tidak memperhatikan persyaratan yang berlaku. Masalah lingkungan hidup saat ini sudah banyak disadari berbagai pihak, oleh karena itu sosialisasi usaha pencegahan pencemaran dioksin harus diupayakan secara terus menerus. Upaya pencegahan pencemaran tersebut (yang berdampak pada pencemaran air maupun udara keluaran industri) antara lain dengan mengendalikan sistim pembakaran, strategi produksi bersih yaitu mengganti klor dengan senyawa kimia lain yang aman, dan lain sebagainya. Pada pengendalian sistim pembakaran yang perlu diperhatikan adalah jenis sampah/limbah yang akan dibakar dan kondisi proses pembakaran itu sendiri, yang meliputi temperatur, tekanan, dan lama proses pembakaran. Hal penting yang harus diperhatikan pada proses pembakaran adalah temperatur pada ruang bakar, karena ini berpotensi menghasilkan dioksin.

SENYAWA DIOXIN

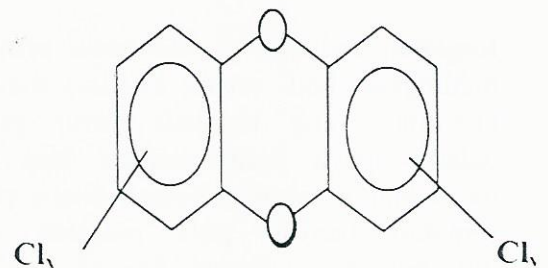
Dioksin adalah nama generik untuk mendeskripsikan satu keluarga senyawa kimia aromatik organo-klor. Keluarga ini beranggotakan kurang lebih 75 senyawa (Esposito *et al.* dalam Freeman, 1989; Harte *et al.*, 1991; Watts, 1997). Senyawa ini pertama kali diketahui sekitar tahun 1950, merupakan limbah dari proses pembuatan herbisida 2,4,5-T (Harte *et al.* 1991 ; Watts, 1997). Sangat sedikit ditemukan di lingkungan, tetapi bersifat stabil dan sangat toksik bagi mamalia

maupun manusia meski dalam konsentrasi yang sangat kecil. Dioksin dapat mencemari udara, tanah, air, permukaan tanaman dan selanjutnya masuk kedalam rantai makanan. Masa paruh dalam tanah diperkirakan minimum selama sepuluh tahun.

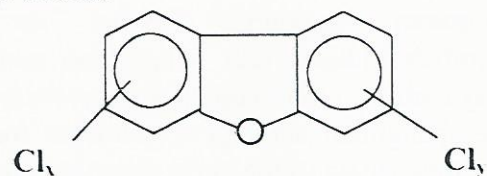
1. Sifat Fisik Dan Kimia

Dioksin adalah senyawa yang dihasilkan dari reaksi antara klor dengan senyawa fenil sehingga secara umum dapat dikelompokkan dalam golongan *Poly Chlorinated para Dibenzo Dioxins (PCDDs)* dan *Poly Chlorinated para Dibenzo Furans (PCDFs)*.

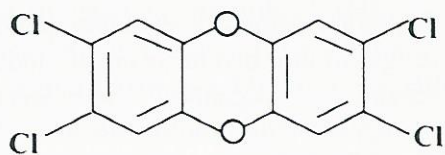
Menurut Eposito *et al.* secara teoritis senyawa kloro-dioksin masing-masing berbeda sifat-sifat fisik, kimia, dan toksitasnya. Salah satu senyawa dioksin yang paling toksik adalah 2,3,7,8-*tetrachlorodibenzo-p-dioxin (TCDD)*. Rumus bangun PCDDs, PCDFs, dan TCDD disajikan dalam gambar berikut ini :



Gambar 1. Rumus bangun dari senyawa *Polychlorinated -p-dibenzo dioxin (PCDDs)*



Gambar 2. Rumus bangun dari senyawa *Polychlorinated -p-dibenzo furans (PCDFs)*



Gambar 3. Rumus bangun dari senyawa 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxin (TCDD)

Senyawa TCDD adalah sebagai acuan faktor risiko bahaya dan toksisitas, yang biasa disebut sebagai dioksin. Sifat dari senyawa dioksin ini adalah :

- tidak berbau
- tidak berwarna
- sangat sukar larut dalam air

- tidak mudah terurai secara fisik-kimia maupun secara biologis
- Terdegradasi atau akan mengalami dekomposisi pada suhu yang cukup tinggi

Akibatnya apabila senyawa ini berada di lingkungan terutama dalam badan air, akan sulit dihilangkan, karena akan bersifat stabil dan persisten. (Esposito *et al.*, Freeman dalam Soesilo, 2001).

Sifat fisik dan kimia dari senyawa TCDD tersebut secara umum disajikan dalam Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Sifat-sifat Fisik dan Kimia TCDD

□ Nama Dagang	Agent Orange, Silvex, Erbon
□ Rumus Empiris	$C_{12}H_4Cl_4O_2$
□ Persen Berat	
▪ Karbon	44,7
▪ Oksigen	9,95
▪ Hidrogen	1,25
▪ Klorin	44,1
□ Berat Molekul	322
□ Tekanan Uap (mmHg, 25 °C)	$1,7 \times 10^{-6}$
□ Titik Lebur (°C)	305
□ Suhu Untuk Dekomposisi (°C)	~ 700
□ Kelarutan (g/l)	
▪ o-Diklorobenzen	1,4
▪ Klorobenzen	0,72
▪ Benzen	0,57
▪ Kloroform	0,37
▪ n-Oktanol	0,05
▪ Metanol	0,01
▪ Aseton	0,11
▪ Air	2×10^{-7}

Sumber : Esposito *et al.*, dalam Freeman (1989)

Sumber Senyawa Dioksin.

Banyak penelitian yang telah dilakukan hasilnya diketahui bahwa sumber senyawa dioksin dapat diidentifikasi sebagai berikut (US EPA, 1998) :

- Hasil pembakaran sampah perkotaan. Limbah berbahaya (*hazardous waste*), limbah medis, krematorium, pembakaran lumpur kotoran (*sewage sludge incineration*), ban, biogas, dan pembakaran lumpur hasil pengolahan limbah cair industri kimia.
- Hasil pembakaran pada proses pembangkit tenaga (*power energy generation*), proses pembakaran pada kendaraan bermotor, pembakaran kayu, minyak dan batu bara.
- Hasil pembakaran sumber suhu tinggi lainnya seperti *cement kiln*, kegiatan pencampuran aspal (*asphalt mixing plants*), *petroleum refining catalyst regeneration*, dan reaktivasi karbon pada sistem pembakaran (*carbon reactivation furnaces*).
- Hasil kegiatan industri dari proses kimia pada industri pulp dan kertas (proses pemutihan/*bleaching*), tekstil, deterjen

dan sabun, serta *dry cleaning*, industri penghasil klor dan turunannya, industri senyawa organik terhalogenasi (*halogenated organic chemicals*).

- Hasil kegiatan peleburan logam bukan besi (*nonferrous metal*) baik primer maupun sekunder (aluminium, tembaga, dan timbal), dan peleburan logam besi (*ferrous*).
- Hasil pembakaran terkontrol maupun yang tidak terkontrol : pembakaran gas *landfill*, pembakaran *landfill*, sampah rumah tangga, kebakaran tidak sengaja (*accidental fires*), kebakaran hutan dan semak, dan kegiatan gunung berapi (*volcanoes*).

Reaksi Kimia Terjadinya Dioksin

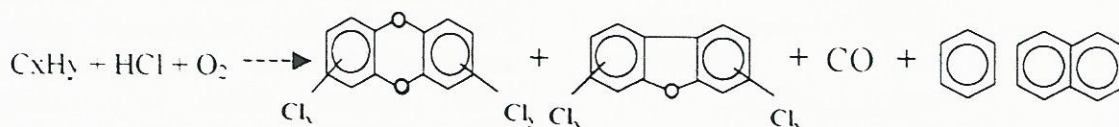
Sumber dioksin yang terbesar adalah akibat dari reaksi kimia pada proses pembakaran sampah atau limbah industri mengandung klor yang tidak terkontrol. Sumber lain adalah sebagai produk samping dari industri pestisida (klorfenol), industri farmasi (heksaklorofen), proses pemutihan pada industri pulp, proses pemurnian metal dan lain-lain.

Selama proses pembakaran sampah/limbah mengandung klor berlangsung, mekanisme reaksi terjadinya turunan dioksin dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Reaksi pada proses *drying gasified* dari limbah menjadi gas-gas organik (C_xH_y) :

$$C_xH_y + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O$$

2. Reaksi pada proses *combustion*, terjadi gas CO dan HCl sehingga terbentuk dioksin:



3. Reaksi setelah proses *combustion* (suplai oksigen yang cukup):

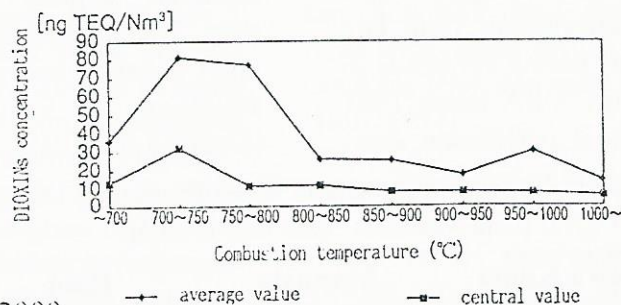
$$2CO + O_2 \longrightarrow 2CO_2$$

Pada proses pembakaran limbah akan dihasilkan gas-gas organik (C_xH_y), lalu bereaksi dengan oksigen (O_2) yang cukup, maka akan dihasilkan CO_2 dan H_2O . Bila limbah mengandung klor (HCl) dan temperatur proses pembakaran tidak sempurna, maka akan dihasilkan dioksin yaitu *polychlorinated paradibenzo dioxin* (PCDDs) dan *polychlorinated paradi benzo furan* (PCDFs), gas CO dan bahan aromatik. Terjadinya dioksin dapat dicegah dengan cara pembakaran pada kondisi aman agar tidak terbentuk dioksin. Hal yang penting diperhatikan adalah mengontrol tinggi temperatur, lama proses pembakaran dan suplai oksigen yang cukup. Penentuan kondisi proses pembakaran adalah dengan cara : identifikasi limbah (jangan mengandung klor), pastikan temperatur proses yang tepat (kisaran suhu antara $300^\circ C$ - $6000^\circ C$) untuk dekomposisi, perlu diperhitungkan waktu proses pembakaran dan kebutuhan oksigen yang digunakan. Kenyataannya temperatur pembakaran

harus lebih tinggi dari $800^\circ C$ ($800^\circ C$ - $6000^\circ C$), karena bila temperatur rendah antara $300^\circ C$ - $800^\circ C$ akan menghasilkan dioksin. Ini disajikan pada diagram 1 yang menjelaskan hubungan antara temperatur dan konsentrasi dioksin. Pada reaksi kimia ini konsentrasi gas buang CO harus lebih kecil dari 50 ppm dan maksimum 100 ppm. Oksigen berlebih sangat penting agar proses pembakaran sempurna, hal ini disajikan pada diagram 2. Pencampuran limbah di dalam alat penampung sebelum dimasukkan kedalam *combustion* harus homogen, dimaksud untuk menjaga kestabilan dan sempurnanya proses pembakaran.

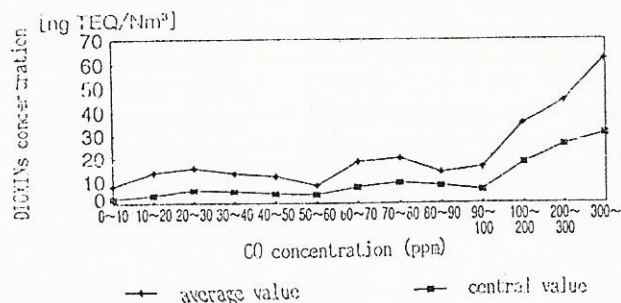
DAMPAK NEGATIF DIOKsin

Dunia internasional saat ini mensyaratkan semakin ketat peraturan masalah lingkungan yang berhubungan dengan kesehatan manusia. Hal yang serius diantaranya adalah masalah dioksin dan senyawa turunannya (terutama senyawa



Sumber : Fujimura, K., 2000

Diagram 1. Hubungan antara konsentrasi Dioksin dan temperatur *combustion*



Sumber : Fujimura, K., 2000

Diagram 2. Hubungan antara konsentrasi Dioksin dengan konsentrasi CO

organoklor). Dioksin termasuk senyawa kimia paling toksik yang pernah terbentuk akibat perbuatan atau aktivitas manusia. Dari seluruh senyawa dioksin, maka TCDD merupakan senyawa yang paling toksik yang mempunyai faktor TEF = 1 (TEF = *Toxicity Equivalency Factor*). Beberapa peristiwa dan akibat yang ditimbulkan oleh senyawa dioksin tertama pada tahun 1960-an, yaitu penggunaan *agent orange* (mengandung 47 ppm dioksin) dalam perang Vietnam yang menyebabkan *Vietnamese babies*. Di Jepang pada tahun 1968 terkenal dengan tragedi Minyak Kanemi, yaitu penggunaan PCB (mengandung dioksin) sebagai media pemanas pada proses produksi makanan, yang menyebabkan lebih dari 1800 orang menderita keracunan. Peristiwa lain adalah ledakan pabrik kimia yang memproduksi TCP (*2,4,5 Tri Chlorophenol*) di Seveso, Italia tahun 1976. Tragedi Teshima, di Jepang tahun 1980 yang diakibatkan oleh penimbunan limbah industri (Fujimura, 2000). Pencemaran limbah industri di Love Canal, Niagara Falls, USA tahun 1978. Pencemaran yang lain lagi adalah akibat dari pabrik oli bekas di Times Beach, Missouri, USA tahun 1981 (US EPA). Dari hasil pertemuan dan

penelitian yang telah dilakukan berbagai pihak. *The International Agency for Research on Cancer (IARC)*, bagian dari Badan Kesehatan Dunia (WHO) tersebut, men-deklarasikan bahwa dioksin (TCDD) sebagai bahan kimia penyebab kanker (karsinogen) kelas satu bagi manusia (*known human carcinogen*) (Thomas, 2001). Berdasarkan standar toksisitas yang dinamakan TEF, maka disusunlah nilai ekivalen daya racun isomer senyawa-senyawa yang memiliki sifat toksik mirip atau relatif mendekati dioksin (TCDD), hal ini disajikan dalam Tabel 2. Dioksin dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui jalan inhalasi (terhirup), ingesti (termakan atau terminum), serta kontak kulit (*dermal contact*). Senyawa ini bersifat bioakumulasi melalui rantai makanan (*food chain*) sehingga jalan utama pajanan dioksin pada manusia adalah melalui makanan dan minuman (Commoner & Huff dalam Soesilo, 2001). Masa paruh PCDDs dan PCDFs dalam jaringan lemak sekitar 7 tahun dan sebagian deposit dikeluarkan melalui susu. Mekanisme toksisitas dari dioksin ialah dapat mengikat protein reseptor sitoplasma sel yang disebut *Ah reseptor* (Denison & NIEHS, dalam Soesilo, 2001).

Tabel 2. TEF Senyawa Poliklorinasi Aromatik Relatif terhadap Dioksin (TCDD) pada Manusia, Ikan dan Burung.

No.	Nama Senyawa Kimia	Manusia	Ikan	Burung
1	PolyChloroDibenzoDioxin 2,3,7,8-TCDD	1,0	1,0	1,0
2	1,2,3,7,8-pentaCDD	1,0	1,0	1,0
3	1,2,3,4,7,8-hexaCDD	0,1	0,5	0,05
4	1,2,3,6,7,8-hexaCDD	0,1	0,01	0,01
5	1,2,3,7,8,9-hexaCDD	0,1	0,01	0,1
1	PolyChloroDibenzoFuran 2,3,7,8-TCDF	0,1	0,05	1,0
2	1,2,3,7,8-pentaCDF	0,05	0,05	0,1
3	2,3,4,7,8-pentaCDF	0,5	0,5	1,0
4	1,2,3,4,7,8-hexaCDF	0,1	0,1	0,1
5	1,2,3,4,6,7,8-heptaCDF	0,01	0,01	0,01
1	PolyChloroBiphenyl 3,3',4,4'-tetraCB	0,0001	0,0001	0,05
2	3,4,4',5-tetraCB	0,0001	0,0005	0,1
3	3,3',4,4',5-pentaCB	0,1	0,005	0,1
4	3,3',4,4',5,5'-hexaCB	0,01	0,0005	0,001
5	2,3,3',4,4',5,5'-heptaCB	0,0001	< 0,00005	0,00001

Sumber : WHO (1996), USA EPA Report (1998)

Dioksin merupakan bahan yang sangat beracun di dunia, oleh karena mempunyai daya racun lebih dari 20.000 kali dari KCN. Daya racun tersebut bersifat kronis (*chronic toxicity*) satu diantaranya dapat menimbulkan penyakit kanker, akut (*acute toxicity*) dengan LD (*Lethal Dose*)₅₀ untuk 2,3,7,8 PCDD 0,001 mg/kg melalui oral pada binatang anjing. Standar dioksin untuk kualitas lingkungan di Jepang, adalah 0,6 pikogram I-TEQ/Nm³ untuk udara, untuk tanah 1000 pikogram I-TEQ/g, untuk air minum, air sungai dan lainnya lebih kecil dari 1 pikogram I-TEQ/L⁽¹⁾. *Daily intake* dioksin yang diperbolehkan masuk kedalam tubuh manusia adalah 50-200 pikogram I-TEQ per orang per hari, atau sama dengan 1-3 pikogram I-TEQ/kg berat badan per hari bagi orang dewasa seberat 60 kg. Dimana I-TEQ adalah singkatan dari *International Toxicity Equivalency*, yang merupakan satuan tingkat toksisitas berdasar TEF dari senyawa 2,3,7,8-TCDD. Standar TDI = *Tolerable Daily Intake* adalah 10 pikogram I-TEQ/kg berat badan per hari (WHO, England, Holland, Japan), dan 5 pikogram I-TEQ/kg berat badan per hari (Sweden). Standar emisi dioksin di udara 0,1-5 nanogram I-TEQ/Nm³ tergantung pada ukuran insineratornya (Japan)⁽¹⁾, sedangkan standar untuk negara maju lainnya adalah 0,1 nanogram I-TEQ/Nm³. Standar yang diperbolehkan berhubungan erat dengan pajanan terhadap manusia, karena pajanan dalam waktu singkat pada manusia akan menyebabkan kerusakan hati, kehilangan berat badan dan penurunan sistem kekebalan tubuh (EPA US). Pajanan dalam jangka panjang akan menimbulkan beberapa gangguan pada sistem reproduksi pria, penurunan kadar testoteron, *male feminization* dan penurunan gairah seksual. Sedangkan efek pada

sistem reproduksi wanita dapat mengakibatkan penurunan kesuburan, keguguran, *endometriosis* dan gangguan hormon. Berpotensi juga menimbulkan kanker jaringan lunak dan jaringan ikat, paru-paru, diabetes, dan hiperpigmentasi. Efek pemajanan pada janin dapat mengakibatkan cacat lahir, gangguan perkembangan dan syaraf, perubahan sistem reproduksi, keterlambatan pubertas dan dapat menimbulkan kematian. Indikator terbaik yang dapat menginformasikan pajanan terhadap dioksin pada manusia adalah timbulnya gangguan kulit yang mirip jerawat yang disebut *chloracne* (Harte, 1991). Efek senyawa klorida terhadap tumbuhan dapat menimbulkan sensitivitas yang sangat bervariasi tergantung pada jenis tumbuhan. Secara umum konsentrasi kurang dari 140 mg Cl/liter tidak menimbulkan masalah pada tumbuhan. Tetapi bila konsentrasi senyawa klorida meningkat hingga 350 mg Cl/liter, maka gangguan baru akan muncul. Efek dioksin terhadap hewan dapat bersifat karsinogen dan teratogen yaitu senyawa yang menyebabkan cacat lahir (*birth defect*) pada hewan. Bentuknya dapat berupa tumor, penipisan cangkang telur, dan cacat lahir pada burung (Huff, 1994).

KESIMPULAN

Dalam proses pembakaran pembentukan dioksin harus dicegah dengan cara antara lain kondisi proses pembakaran harus diperhatikan seperti (temperatur, waktu dan *excess air*/oksigen berlebih). Proses pembakaran sampah/limbah industri harus terkontrol dan sempurna terutama limbah plastik. Cara lain adalah dengan mendinginkan gas buang (mengandung klor) yang terjadi pada pembakaran sampah/limbah industri dengan *heat*

exchanger atau yang lebih efektif adalah disemprotkan bersama air. Dioksin dapat terdekomposisi sempurna pada temperatur 1300 °C, dengan lama proses pembakaran lebih dari 2 detik. Dioksin adalah bahan kimia berbahaya sebagai penyebab kanker (karsinogen) kelas satu dan dapat mengikat protein reseptor sitoplasma sel, maka yang perlu dilakukan adalah memilih produk olahan susu dengan kadar lemak rendah. Menghilangkan dan membuang lemak daging, termasuk kulit dan mencuci bersih sayuran serta buah sebelum dikonsumsi. Untuk mengantisipasi hal tersebut diatas maka penanganan sampah/limbah industri mengandung klor harus sesuai peraturan yang berlaku. Membuang sampah ketempat yang aman bagi lingkungan dan jangan membakar sampah sembarangan terutama limbah plastik.

DAFTAR PUSTAKA

1. Fujimura, K. 2000. Pollution Prevention of Dioxin in the Environment and Analysis. JICA. Jakarta.
2. Kubota, H. 1997. Waste Management: Dioxin and Recycling. JICA. Jakarta.
3. Muhamad, T. 2001. Enviro News. PT.PPLI, Modern Asia Environmental LTD, Bogor.
4. National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS). 2000. Dioxin Research at the NIEHS. <http://www.niehs.nih.gov/oc/factsheet/dioxin.htm>
5. Soesilo, T.E.B. 2001. Pemanfaatan Oksidator Berbasis Oksigen Sebagai Bahan Pengeliminasi Pembentukan Dioxin Dalam Industri Kimia. Program Doktor, PSIL, PPS Universitas Indonesia, Jakarta
6. Usami, T. 1995. For The Creation Of Eco-Technology, National Institute For Resources And Development, AIST, MITI, Japan
7. US EPA. 1998. The Inventory of Sources of Dioxin in the United States. EPA/600/P-98/002Aa. External Review Draft, Washington DC.

-----ooooo00000ooooo-----