

**EFEKTIVITAS FOTODEGRADASI P-KLOROFENOL
DENGAN KATALIS TiO_2**

**THE EFFECTIVENESS OF P-CHLOROPHENOL PHOTODEGRADATION
CATALYZED BY TiO_2**

Ana Hidayati Mukaromah¹

*) Staf Pengajar pada Fakultas Ilmu Keperawatan dan Kesehatan Unimus

ABSTRACT

The effectiveness of p-chlorophenol photodegradation on catalyzed by TiO_2 have been studied. The photo degradation process was carried out in closed reactor equipped with UV lamp type-C. The suspension of p-chlorophenol, TiO_2 , and oxigen saturated by the batch system was expos with UV light, and stirred for a period of time. The concentration of remainder p-chlorophenol was determined by Gas Chromatography. The yields of photodegradation of phenol was calculated by determining the amount of the initial and remaining of concentration of p-chlorophenol. In this study, the effect of mass of TiO_2 , the initial concentration of p-chlorophenol, and the pH of the solution on the effectiveness of p-chlorophenol photogegradation catalyzed by TiO_2 have been investigated. The effect of the photodegradation process on TiO_2 cristally have also studied.

The research results showed that the increasing of concentration to mass of TiO_2 , the initial of concentration of p-chlorophenol, were increased the effect of photodegradation of p-chlorophenol catalyzed by TiO_2 . It is also found that the effectiveness of p-chlorophenol wasa considerably influenced by solution pH, regarding the speciation of p-chlorophenol, and TiO_2 . The highest effectiveness of photodegradation of p-chlorophenol catalyzed by TiO_2 was 66.84 % and the condition wich giving maximum yields are 20 mg TiO_2 in 25 mL solution, 300 mg/L the initial of concentration of p-chlorophenol, the pH of solution 6, and the time contact of about 25 hours. During the photogegradation of p-chlorophenol process, TiO_2 cristally was partially destroyed as much as 14.13%.

Key words: *phothodegradation, p-chlorophenol, and TiO_2 .*

PENDAHULUAN

Perkembangan industri di Indonesia dewasa ini selain membawa keuntungan dan kesejahteraan umat manusia, juga membawa dampak negatif bagi lingkungan sekitar misalnya pencemaran oleh limbah industri. Limbah industri ini dapat berbentuk padat, cair dan gas. Limbah cair yang dapat berupa air limbah biasanya mengandung senyawa anorganik antara lain ion-ion logam berat maupun senyawa organik seperti fenol dan turunannya. Keberadaan fenol sebagai polutan biasanya berasal dari industri petroleum dan migas, industri pulp dan kertas, rumah sakit, industri plastik dan industri kayu, sehingga fenol potensial untuk mencemari lingkungan perairan.

Kehadiran senyawa fenol maupun fenol terklorinasi seperti senyawa p-klorofenol di perairan dapat berbahaya bagi lingkungan, karena senyawa fenol maupun fenol terklorinasi merupakan polutan yang mempunyai toksisitas yang tinggi dan bersifat karsinogen (pemicu kanker). Oleh karena itu kandungan fenol (fenol total) di dalam limbah cair yang diperbolehkan sesuai Surat Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 42/MENLH/10/1996 tidak boleh lebih dari 2,0 mg/L. Rendahnya batas ambang konsentrasi fenol dalam perairan mendorong dilakukannya berbagai penelitian untuk menurunkan konsentrasi fenol atau menghilangkan fenol dari air limbah.

Salah satu metode yang dapat menurunkan p-klorofenol adalah fotodegradasi. Fotodegradasi yang diinduksi oleh cahaya matahari disebut fotodegradasi alamiah, namun berlangsung secara lambat. Hal ini dapat mengakibatkan akumulasi yang lebih cepat daripada degradasinya, sehingga

konsentrasi p-klorofenol akan terus meningkat sampai tingkat yang berbahaya. Peningkatan efektivitas fotodegradasi fenol dapat dilakukan dengan menggunakan fotokatalis TiO_2 . TiO_2 paling sering diaplikasikan ke lingkungan daripada semikonduktor yang lain. Hal ini karena TiO_2 mempunyai harga energi band gap (E_g) yang cukup tinggi yaitu 3,0 eV untuk jenis *rutile* dan 3,2 eV untuk jenis *anatase* dan mempunyai kestabilan yang tinggi terhadap proses biologi dan kimia.

Sementara itu, suatu perairan sering menerima pembuangan air limbah yang tidak hanya mengandung fenol, tetapi juga mengandung TiO_2 yang berasal dari limbah industri cat, dan kosmetik. Dalam perairan tersebut, jika ada sinar matahari yang cukup dan pH yang sesuai, dimungkinkan dapat terjadi fotodegradasi p-klorofenol yang efektivitasnya dipengaruhi oleh TiO_2 . Sampai saat ini, fenomena tersebut belum banyak mendapat perhatian. Oleh karena itu untuk membuktikan hal tersebut, dalam penelitian ini akan dilakukan kajian terhadap efektivitas fotodegradasi p-klorofenol yang terkatalisis TiO_2 dalam skala laboratorium.

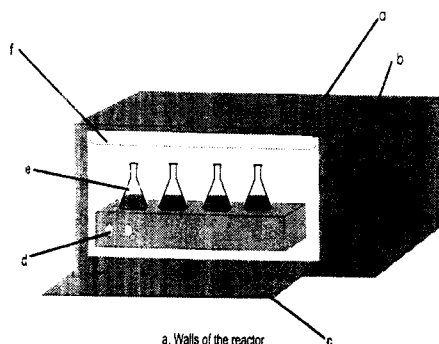
Tujuan Umum penelitian adalah mengkaji efektivitas fotodegradasi senyawa p-klorofenol yang terkatalisis TiO_2 . Tujuan khusus dalam penelitian ini adalah menentukan pengaruh jumlah TiO_2 terhadap efektivitas fotodegradasi senyawa p-klorofenol, konsentrasi awal p-klorofenol minimum yang dapat menghasilkan fotodegradasi p-klorofenol yang maksimum, mempelajari pengaruh pH larutan terhadap efektivitas fotodegradasi senyawa p-klorofenol, dan pengaruh penggunaan katalis TiO_2 terhadap efektivitas fotodegradasi

senyawa p-klorofenol Selain itu juga dikaji efek proses fotodegradasi terhadap kristalinitas TiO_2 .

CARA PENELITIAN

1. Proses Fotodegradasi p-Klorofenol Terkatalisis TiO_2

Proses fotodegradasi p-klorofenol dilakukan secara sistem batch dalam reaktor yang dilengkapi lampu UV tipe C 40 Watt. Proses diawali dengan memasukkan 25,0 mL p-klorofenol 300 mg/L ke dalam erlenmeyer, kemudian ditambahkan dengan 20 mg TiO_2 dan dialiri gas oksigen dengan laju alir 200 mL/menit selama 30 menit. Suspensi yang diperoleh selanjutnya dimasukkan



dalam reaktor (Gambar 1) yang disinari lampu UV sambil diaduk dengan pengaduk magnetik selama waktu tertentu. Larutan dipisahkan dari padatannya dengan cara sentrifugasi dengan kecepatan 10.000 rpm selama 10 menit. Filtrat yang diperoleh diencerkan sampai volume larutan tepat 25,0 mL dan dianalisis dengan kromatografi gas guna penentuan konsentrasi p-klorofenol yang tidak terdegradasi. Langkah yang sama dilakukan dengan memvariasi jumlah TiO_2 , konsentrasi awal p-klorofenol, pH larutan, adanya katalis maupun tanpa katalis TiO_2 , dan waktu reaksi.

- a. Kotak Tanpa celah
- b. Saklar
- c. Jendela
- d. Magnetik Stirrer
- e. Erlenmeyer dan pengaduk magnet
- f. Lampu UV

Gambar 1. Gambar reaktor yang digunakan dalam penelitian

2. Penentuan efek proses fotodegradasi p-klorofenol terhadap kristalinitas TiO_2

Padatan TiO_2 yang telah digunakan dalam proses fotodegradasi p-klorofenol selama 25 jam ditentukan tingkat kristalinitasnya dengan metode difraksi sinar-X. Dari difraktogram diperoleh intensitas total sampel TiO_2 dari beberapa puncak yang tinggi. Selanjutnya kristalinitas TiO_2 sesudah digunakan selama fotodegradasi ditentukan dengan membandingkan intensitas total sampel TiO_2 sesudah dan

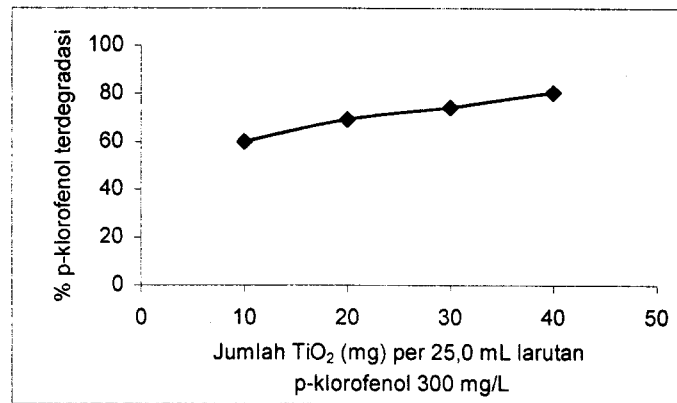
sebelum digunakan fotodegradasi p-klorofenol dikalikan 100%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

I. Proses Fotodegradasi p-klorofenol

I.1 Pengaruh jumlah TiO_2 yang digunakan

Jumlah TiO_2 yang dipergunakan berkaitan dengan jumlah radikal OH yang dapat disediakan oleh fotokatalis. Hasil kajian tentang pengaruh jumlah TiO_2 untuk setiap 25,0 mL p-klorofenol 300 mg/L ditunjukkan sebagai Gambar 2.



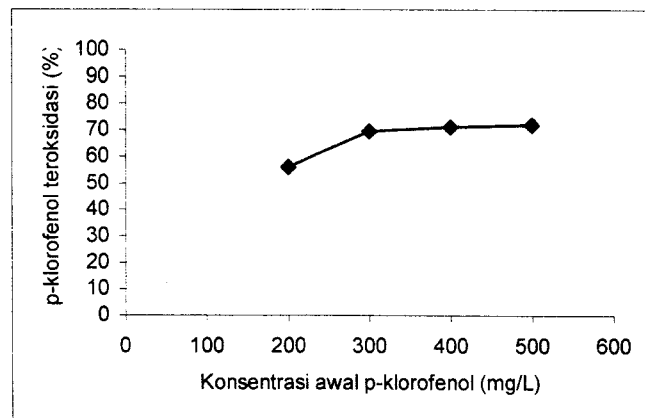
Gambar 2. Pengaruh jumlah TiO₂ terhadap efektivitas fotodegradasi p-klorofenol selama waktu reaksi 25 jam

Gambar 2 nampak bahwa kenaikan jumlah TiO₂ dari 10 - 40 mg akan meningkatkan jumlah p-klorofenol yang terdegradasi. Hal ini mengindikasikan bahwa kenaikan massa TiO₂ yang digunakan meningkatkan jumlah permukaan fotokatalis yang menyediakan radikal •OH. Adanya radikal •OH yang semakin meningkat maka reaksi fotodegradasi p-klorofenol semakin efektif dan jumlah p-klorofenol terdegradasi semakin banyak. Untuk

pertimbangan efisiensi, dalam penelitian digunakan 20 mg TiO₂ untuk setiap 25 mL larutan p-klorofenol 300 mg/L.

I. 2. Pengaruh konsentrasi awal p-klorofenol

Peran p-klorofenol sebagai reaktan dapat berkaitan dengan konsentrasi larutan tersebut. Pengaruh konsentrasi p-klorofenol terhadap jumlah p-klorofenol yang terdegradasi disajikan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh konsentrasi awal p-klorofenol terhadap efektivitas fotodegradasi p-klorofenol selama waktu reaksi 25jam (massaTiO₂ = 20 mg/25 ml)

Gambar 3 menunjukkan bahwa secara umum kenaikan konsentrasi awal larutan p-klorofenol meningkatkan

efektivitas fotodegradasi p-klorofenol. Pada kenaikan konsentrasi awal larutan p-klorofenol 200 - 300 mg/L telah

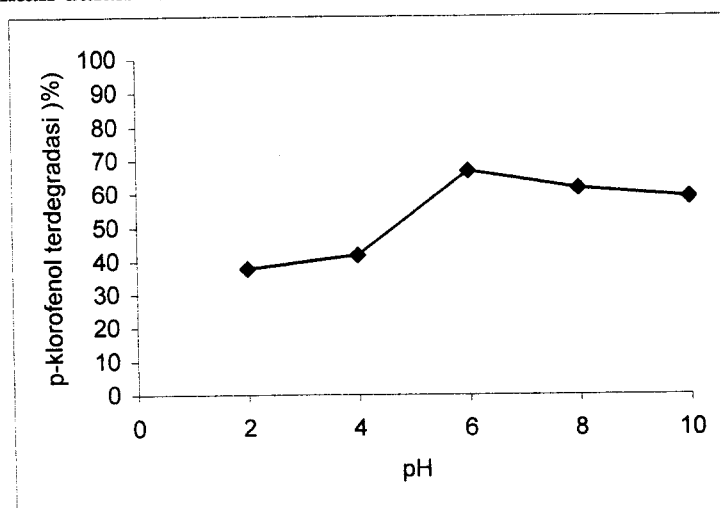
meningkatkan efektivitas p-klorofenol terdegradasi yang cukup nyata. Namun demikian, kenaikan konsentrasi awal larutan p-klorofenol dari 300 - 500 mg/L ternyata hanya memberikan peningkatan pada efektivitas fotodegradasi p-klorofenol yang sangat kecil.

Hal ini mengindikasikan bahwa kenaikan konsentrasi awal larutan p-klorofenol dari 200-300 mg/L telah meningkatkan tumbukan efektif di antara p-klorofenol maupun antara p-klorofenol dengan radikal $\bullet\text{OH}$ di permukaan

fotokatalis sehingga efektivitas fotodegradasi p-klorofenol juga semakin meningkat. Untuk konsentrasi awal larutan p-klorofenol yang lebih tinggi lagi, sudah terbentuk produk hasil fotodegradasi dalam jumlah banyak, sehingga akan mengurangi interaksi antara permukaan fotokatalis dengan p-klorofenol, akibatnya proses fotodegradasi p-klorofenol lebih lambat atau kurang efektif. Dalam penelitian ini digunakan konsentrasi awal larutan p-klorofenol 300 mg/L.

I.3. Pengaruh pH larutan terhadap efektivitas fotodegradasi p-klorofenol terkatalisis TiO_2

Pengaruh pH larutan terhadap hasil fotodegradasi p-klorofenol terkatalisis TiO_2 juga telah dipelajari dalam penelitian ini. Hal ini karena spesiasi p-klorofenol, dan TiO_2 merupakan fungsi pH larutan. Pengaruh pH terhadap efektivitas fotodegradasi p-klorofenol, disajikan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh pH larutan terhadap efektivitas fotodegradasi p-klorofenol (300 mg/L) yang terkatalisis TiO_2 selama waktu reaksi 25 jam

Gambar 4 menunjukkan bahwa kenaikan pH dari 2 - 4, telah meningkatkan efektivitas fotodegradasi p-klorofenol, pada kenaikan pH dari 4 - 6, jumlah p-klorofenol terdegradasi lebih tinggi lagi, dan kenaikan pH dari 6 - 10 menyebabkan penurunan p-klorofenol

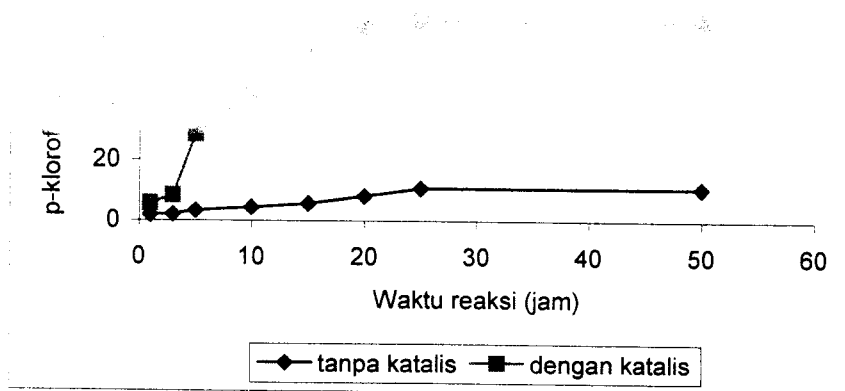
yang terdegradasi. Jika ditinjau dari spesiasi p-klorofenol, pada pH asam p-klorofenol lebih mudah melepas ion klorida sehingga lebih mudah terdegradasi, namun data menunjukkan hal yang sebaliknya. Oleh karena itu perlu ditinjau dari spesiasi TiO_2 .

Spesies TiO_2 lebih mudah membentuk radikal $\bullet\text{OH}$ jika berbentuk $>\text{TiOH}$. $>\text{TiOH}$ dapat terbentuk pada pH

pada $\text{pH} > 8$ TiO_2 berada sebagai TiO^- sehingga sulit membentuk radikal $\bullet\text{OH}$. Dengan demikian efektifitas

Pengaruh Adanya Katalis TiO_2 terhadap Efektivitas Fotodegradasi p-Klorofenol

Penelitian ini mengkaji TiO_2 terhadap efektivitas fotodegradasi p-klorofenol dengan menggunakan katalis TiO_2 pada pH 6. Data hasil perhitungan



Gambar 5. Pengaruh adanya katalis TiO_2 terhadap efektivitas fotodegradasi p-klorofenol (pH larutan 6)

Gambar 5 menunjukkan bahwa tanpa fotokatalis TiO_2 fotodegradasi p-klorofenol dapat berlangsung namun hasilnya sangat rendah. Dengan penambahan TiO_2 , efektivitas fotodegradasi p-klorofenol terlihat meningkat. Efektivitas fotodegradasi p-klorofenol dapat berlangsung meskipun tanpa fotokatalis, karena p-klorofenol setelah menyerap cahaya akan menjadi senyawa fotoaktif atau radikal sehingga p-klorofenol tidak stabil dan mudah mengalami degradasi. Selain itu, H_2O setelah menyerap cahaya dapat membentuk radikal $\bullet\text{OH}$, yang dapat menguraikan p-klorofenol, namun jumlah radikal $\bullet\text{OH}$ sangat kecil. Oleh

karena itu proses kurang efektif dan hasil fotodegradasi p-klorofenol rendah. Sementara itu, adanya TiO_2 yang dapat menyediakan radikal $\bullet\text{OH}$ dengan mudah akan menambah jumlah radikal $\bullet\text{OH}$ dalam sistem reaksi, sehingga reaksi lebih efektif.

Gambar 5 juga menunjukkan bahwa semakin lama penyinaran 1 - 25 jam, efektivitas fotodegradasi p-klorofenol semakin meningkat. Untuk penyinaran yang lebih tinggi lagi (25 sampai dengan 50 jam), efektivitas fotodegradasi p-klorofenol terlihat relatif tetap.

Hal ini mengindikasikan bahwa pada penyinaran 1 - 25 jam, interaksi

antara cahaya dengan p-klorofenol, TiO₂, dan Fe(III) semakin besar sehingga jumlah p-klorofenol yang menjadi senyawa fotoaktif dan radikal •OH yang terbentuk semakin banyak. Selain itu, interaksi radikal •OH dengan p-klorofenol juga semakin lama sehingga reaksi fotodegradasi p-klorofenol semakin efektif. Akan tetapi pada waktu

reaksi yang semakin lama, produk hasil fotodegradasi yang telah terbentuk semakin banyak. Hal ini dapat menghalangi interaksi antara cahaya dengan reaktan dan fotokatalis, maupun fotokatalis dengan reaktan, sehingga fotodegradasi p-klorofenol lebih lambat atau kurang efektif.

II. Efek Proses Fotokatalisis Terhadap Kristalinitas TiO₂

Dalam proses fotokatalisis, TiO₂ berinteraksi dengan $h\nu$ untuk pembentukan radikal •OH, maupun dengan p-klorofenol. Hal ini dapat berpengaruh terhadap kristalinitas TiO₂.

Untuk mengetahui hal ini maka dilakukan penentuan kristalinitas TiO₂. Data difraktogram TiO₂ sebelum dan sesudah digunakan dalam proses fotodegradasi selama 25 jam dan data disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Data 2θ , d , dan intensitas TiO₂ sebelum dan sesudah digunakan pada proses fotodegradasi p-klorofenol

Puncak No	2θ	d (Å)	Intensitas	
			Sebelum	Sesudah
1	22,86	3,89	1034	855
2	25,35	3,51	4978	4160
3	37,85	2,38	998	898
4	48,10	1,89	1600	1364
5	53,95	1,70	827	778
6	55,95	1,66	933	797
7	62,75	1,48	729	670
		Jumlah	11094	9522

Dari Tabel 1 ditunjukkan bahwa jumlah intensitas total TiO₂ sebelum digunakan adalah 11094 dan jumlah intensitas TiO₂ sesudah digunakan adalah 9522. Bila kristalinitas TiO₂ sebelum digunakan dianggap 100%, maka kristalinitas TiO₂

sesudah digunakan adalah 85,87% yang berarti terjadi kerusakan sebesar 14,13%. Hal ini mengindikasikan bahwa selama fotodegradasi terjadi interaksi antara TiO₂ dengan cahaya maupun antara TiO₂ dengan p-klorofenol.

KESIMPULAN

1. Kenaikan jumlah (massa) TiO₂ dan konsentrasi awal larutan p-klorofenol memberikan peningkatan efektivitas fotodegradasi p-klorofenol.

2. Adanya katalis TiO_2 dalam proses fotodegradasi p-klorofenol dapat meningkatkan efektivitas fotodegradasi p-klorofenol, yang peningkatannya sejalan dengan kenaikan waktu reaksi tersebut.
3. Efektivitas tertinggi dalam proses fotodegradasi p-klorofenol terkatalisis TiO_2 diperoleh pada pH larutan 6, yang terkait dengan spesiasi dari TiO_2 dan p-klorofenol dalam larutan.
4. Hasil fotodegradasi p-klorofenol tertinggi tanpa katalis adalah 4,37%, dengan katalis TiO_2 adalah 66,84% yang diperoleh pada kondisi massa TiO_2 adalah 20 mg TiO_2 dalam 25 ml larutan, konsentrasi awal p-klorofenol 300 mg/L, pH larutan 6, dan lama penyinaran 25 jam. Dengan demikian penggunaan katalis TiO_2 dapat meningkatkan efektivitas fotodegradasi p-klorofenol sebesar 62,47%.
5. Efek proses fotodegradasi terhadap kristalinitas TiO_2 sesudah digunakan adalah terjadinya kerusakan kristal TiO_2 sebesar 14,13%.

SARAN

Dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengidentifikasi senyawa-senyawa hasil fotodegradasi p-klorofenol dengan menggunakan metode HPLC dan spektrofotometri Infra Red.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 1996, "Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup Nomor : 42/MENKLH/10/1996 tentang Pedoman Penetapan Baku Mutu Lingkungan", Sekretariat

Kementrian Negara KLH,
Jakarta.

Baes, C. and Mesmer, R.E., 1976, "The Hydrolysis of Cation", John Wiley and Sons, New York.

Brus, L., 1986, "Electronic Wave Function in Semiconductor Clusters : Experiment and Theory", J. Phys. Chem., 90, 2555-2560.

Cotton, F. A., and Wilkinson, G., 1976, "Basic Inorganic Chemistry", diterjemahkan oleh : Suharto, S., 1989, Kimia Anorganik Dasar, Cetakan Pertama, UI Press, Jakarta.

Hoffmann, M.R., Martin, S.T., Choi, W., and Bahneman, D.W., 1995, "Environmental Application of Semiconductor Photocatalysis", J. Chem. Rev., 69-96.

Makuch, B., Gazda, K., and Kamiski, M., 1993, "Determination of Phenol and Monochlorophenols in Water by Reversed-Phase Liquid Chromatography", J. Anal. Chem., 284, 53-58.

NIOSH Manual of Analytical Methods, 1994, "p-Chlorophenol", Method 2014, 4 ed., www.edc.gov/niosh/nman/ndfs/7600.pdf.

U. S. EPA, 1996, "Test Methods for Evaluating Solid Waste Physical / Chemical Method", SW-846, on line versions, Methods 7190, 7196A, U.S. Env. Protection Agency, Washington, DC. <http://www.epa.gov/epaoswer/main.htm>.