

PENGARUH OZON (O₃) HASIL LUCUTAN PLASMA DAN FOTOKATALIS TITANIUM DIOKSIDA (TiO₂) TIPE ANATAS TERHADAP DEGRADASI FENOL

Agus Purwadi, Isyuniarto, Widdi Usada

Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan – BATAN Yogyakarta55281

ABSTRAK

PENGARUH OZON (O₃) HASIL LUCUTAN PLASMA DAN FOTOKATALIS TITANIUM DIOKSIDA (TiO₂) TIPE ANATAS TERHADAP DEGRADASI FENOL. Telah dilakukan penelitian degradasi fenol menggunakan ozon dan titanium dioksida tipe anatas. Fenol merupakan senyawa organik yang beracun, mempunyai rasa dan bau yang sangat tajam dan kalau terakumulasi dalam tubuh dapat mengganggu metabolisme tubuh. Percobaan degradasi fenol dilakukan dalam 2 perlakuan, yakni degradasi fenol melalui reaksi ozonisasi dan degradasi fenol melalui reaksi ozonisasi disertai penambahan fotokatalis titanium dioksida tipe anatas. Pada tiap perlakuan digunakan 6 sampel dengan variasi waktu 0 hingga 200 menit. Sampel disaring dengan corong buchner selanjutnya filtrat yang didapat diekstrak dengan kloroform. Setelah diekstrak, larutan dipisahkan dengan corong pisah kemudian dipekatkan. Hasil pemekatan dianalisis dengan alat kromatografi gas Hitachi G-300. Dari hasil penelitian ditunjukkan bahwa semakin lama proses degradasi, konsentrasi fenol semakin berkurang. Degradasi fenol melalui penggunaan reaksi ozonisasi berjalan secara lambat dengan laju aktivasi $k = (1,6 \times 10^{-3})/\text{menit}$ dan waktu paruh $t_{1/2} = 433,125$ menit, sedang degradasi fenol melalui reaksi ozonisasi yang disertai penambahan fotokatalis TiO₂ tipe anatas, fenol dapat terdegradasi lebih cepat dengan $k = (3,4 \times 10^{-3})/\text{menit}$ dan $t_{1/2} = 203,823$ menit.

ABSTRACT

INFLUENCE OF OZONE PLASMA DISCHARGE RESULT AND PHOTOCATALYST OF TITANIUM DIOXIDE TYPE ANATAS ON THE DEGRADATION OF PHENOL. It has been carried out the experiment of phenol degradation by using ozone and titanium dioxide of anatas type. Phenol is a toxic organic compound, having taste and stringent odor and if it is accumulated in a body it can bother the body metabolism. Phenol degradation is done in 2 treatments, namely phenol degradation through reaction of ozonization and phenol degradation through reaction ozonization accompanied by the addition of photocatalyst of titanium dioxide type anatas. At every treatment was used 6 samples and the treatment was done by varying the time of 0 minute until 200 minutes. Sample was filtered with the buchner funnel then the filtrate obtained was extracted by chloroform. After being extracted the solution was separated with the funnel then it was concentrated. The concentrated was analysed by gas Chromatography of Hitachi G-300. From the research result was indicated that the longer process of degradation the more decrease of phenol concentration. Phenol degradation by using reaction of ozonization, the processing run tardily with the activation rate of $k = (1,6 \times 10^{-3})/\text{minute}$ and the half life time of $t_{1/2} = 433,125$ minute, while phenol degradation by using reaction ozonization accompanied by the addition of photocatalyst of titanium dioxide type anatas the phenol degradation run rapidly with $k = (3,4 \times 10^{-3})/\text{minute}$ and $t_{1/2} = 203,823$ minute.

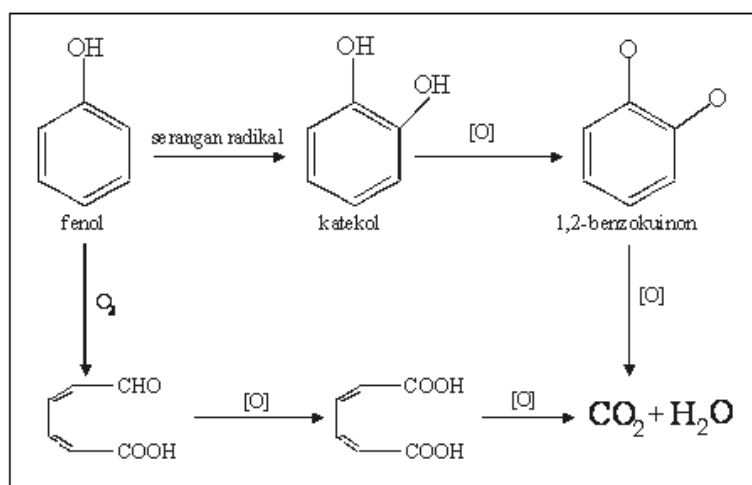
PENDAHULUAN

Limbah cair dari hasil kegiatan suatu industri kimia pengolahan limbah akan dibuang ke lingkungan, padahal limbah cair ini masih banyak mengandung senyawa organik yang dapat mencemari lingkungan. Fenol dalam limbah cair biasanya terdiri atas hidroksi benzena dan turunannya. Fenol dan turunannya merupakan polutan yang umum dalam industri kimia, misalnya industri pulp, kertas, kayu lapis, migas, plastik, tekstil dan rumah sakit. Konsentrasi fenol yang dapat ditoleransi untuk air minum adalah 0,2 mg/L, sedang konsentrasi fenol rata-rata dalam limbah cair dari berbagai macam proses industri bervariasi antara 35 hingga 8000 mg/L^[1].

Fenol merupakan senyawa organik yang mengandung gugus hidroksil (OH) yang terikat pada atom karbon pada cincin benzena^[2]. Berbeda dengan alkohol biasa, fenol bersifat asam. Keasaman fenol ini disebabkan adanya pengaruh cincin aromatik dan adanya kemampuan fenol untuk melepaskan H⁺, sehingga kepolarannya cukup tinggi.

Limbah yang mengandung fenol jika dibuang ke lingkungan akan membahayakan kehidupan makhluk hidup disekitarnya. Senyawa fenol berbahaya karena bersifat karsinogenik dan terdegradasi sangat lambat oleh cahaya matahari. Fenol merupakan senyawa organik yang sangat toksis, mempunyai rasa dan bau yang sangat tajam serta dapat menyebabkan iritasi kulit. Apabila fenol berada di perairan maka dapat mempengaruhi jaringan pada ikan dan hewan yang hidup dalam air lainnya. Melalui berbagai aktivitas manusia, fenol dapat terakumulasi dalam tubuh, sehingga dapat mengganggu metabolisme tubuh. Efek toksis fenol ialah menyerang otak, paru-paru, ginjal, liver, pankreas dan limpa.^[3]

Banyak literatur memberi informasi tentang oksidasi senyawa organik dengan proses oksidasi maju, seperti fenol dapat teroksidasi melalui beberapa proses, misal ozonisasi dan dilanjutkan reaksi dengan hidrogen peroksida. Aliran gas ozon dapat mengoksidasi fenol, sehingga fenol dapat terdegradasi menjadi senyawa organik lain yang lebih sederhana. Degradasi fenol akan menghasilkan senyawa intermediet berupa katekol, hidrokuinon dan benzokuinon. Reaksi oksidasi fenol karena adanya ozon adalah seperti ditunjukkan pada Gambar 1^[4]. Karbon pada posisi *ortho* dan *para* pada senyawa fenol merupakan pendonor elektron karena adanya pergeseran elektron dari O pada substituen OH, sehingga pada posisi tersebut mempunyai densitas elektron yang tinggi, maka radikal dari dekomposisi O₃ mempunyai kecenderungan menyerang pada posisi itu, membentuk katekol atau hidrokuinon yang dapat teroksidasi lebih lanjut membentuk 1,2-benzokuinon. Fenol juga dapat mengalami reaksi ozonolisis membentuk mukonaldehida.^[5] Ozon mempunyai kemampuan untuk pengolahan limbah cair industri, yaitu sebagai oksidator yang akan menguraikan senyawa-senyawa organik yang ada dalam limbah cair, seperti benzena, atrazin dan dioksin. Seperti halnya oksigen, ozon juga dapat mempercepat pembakaran dan zat oksidan yang sangat kuat, dibanding oksidan yang lain seperti khlor dan peroksida. Prinsip dekomposisi oleh ozon adalah terbentuknya radikal OH, O dan H. Ozon mampu menguraikan komponen organik menjadi senyawa yang lebih sederhana dan bersifat "*biodegradable*". Ozon juga biasa digunakan sebagai desinfektan dalam air minum, pengawetan makanan dan mengurangi bau akibat adanya bakteri dalam limbah. Ozon mampu merusak dinding sel bakteri, sehingga dapat membunuh bakteri dalam air minum, makanan atau dalam limbah.^[6]



Gambar 1. Mekanisme oksidasi fenol oleh ozon.

Di samping aplikasi ozon untuk limbah, telah banyak dilakukan penelitian tentang degradasi polutan organik dalam limbah cair menggunakan fotokatalis titanium dioksida (TiO₂). Pertama kali penelitian degradasi bifenil dan klorobifenil menggunakan TiO₂ dilakukan pada tahun 1976.^[7] Penggunaan TiO₂ sebagai degradan dapat mengurangi efek racun dari limbah cair. TiO₂ merupakan produk dari proses reaksi senyawa titanium tetraklorida (TiCl₄) dan O₂ dilewatkan melalui tabung silika pada suhu 700 °C. Senyawa TiO₂ bersifat amfoter, terlarut secara lambat dalam H₂SO₄ pekat, membentuk kristal sulfat dan menghasilkan produk titanat dengan alkali cair. Sifat dari senyawa TiO₂ adalah tidak tembus cahaya, berwarna putih, lembam, tidak beracun dan harganya relatif murah. Titanium dioksida mempunyai tujuh bentuk polimorfis dengan kerangka ionokovalen tiga

dimensi. Empat fasa titanium dioksida bersifat stabil (anatase, rutil, brookit, dan TiO₂ (II)-tipe struktur α -PbO₂), sedangkan tiga yang lain bersifat metastabil yakni (TiO₂ (H)-holandit, TiO₂ (B), dan TiO₂ (R)-ramsdellit)^[8].

Pada percobaan ini ditunjukkan bagaimana pengaruh efektifitas penggunaan ozon dan fotokatalis TiO₂ tipe anatase untuk mendegradasi fenol. Ozon yang digunakan mempunyai laju alir 0,04 mg/det yang keluar dari (tabung lucutan diskrit) alat plasma ozonizer daya 25 watt, bertegangan tinggi 25 kV/1,5 kHz.^[9] Sampel larutan fenol dibuat dengan melarutkan 0,50 g fenol ke dalam 1 liter aquades (konsentrasi C = 0,5 g/L) selanjutnya ditentukan degradasinya menggunakan aliran gas ozon hasil lucutan plasma dan penambahan serbuk fotokatalis TiO₂ tipe anatase. Perlakuan terhadap sampel (larutan fenol) divariasikan terhadap lama waktu perlakuan, yang pertama dilakukan menggunakan aliran ozon dan yang kedua menggunakan ozon ditambah serbuk fotokatalis TiO₂ tipe anatase.

TATAKERJA

Bahan :

Bahan kimia yang diperlukan dalam penelitian meliputi udara (20% mengandung O₂) digunakan sebagai bahan baku pembentuk gas ozon, fenol C₆H₅OH (p.a. merck) sebagai obyek perlakuan oleh ozon dan titanium tipe anatase untuk didegradasi, serbuk titanium dioksida tipe anatase (TiO₂ p.a. merck) untuk dikombinasikan dengan gas ozon dengan harapan hasil degradasi fenol dapat lebih efektif, kloroform (CCl₄ p.a. merck) untuk mengekstrak filtrat/larutan fenol hasil perlakuan yang telah diasamkan, H₂SO₄ pekat 7 M untuk menurunkan nilai pH larutan fenol hasil perlakuan, akuades untuk melarutkan larutan, Na₂HPO₂, KI dan KH₂PO₄ (buatan E-Merck) digunakan untuk proses kalibrasi ozonizer, sinar ultra violet (UV) untuk mengaktifkan fotokatalis titanium dioksida.

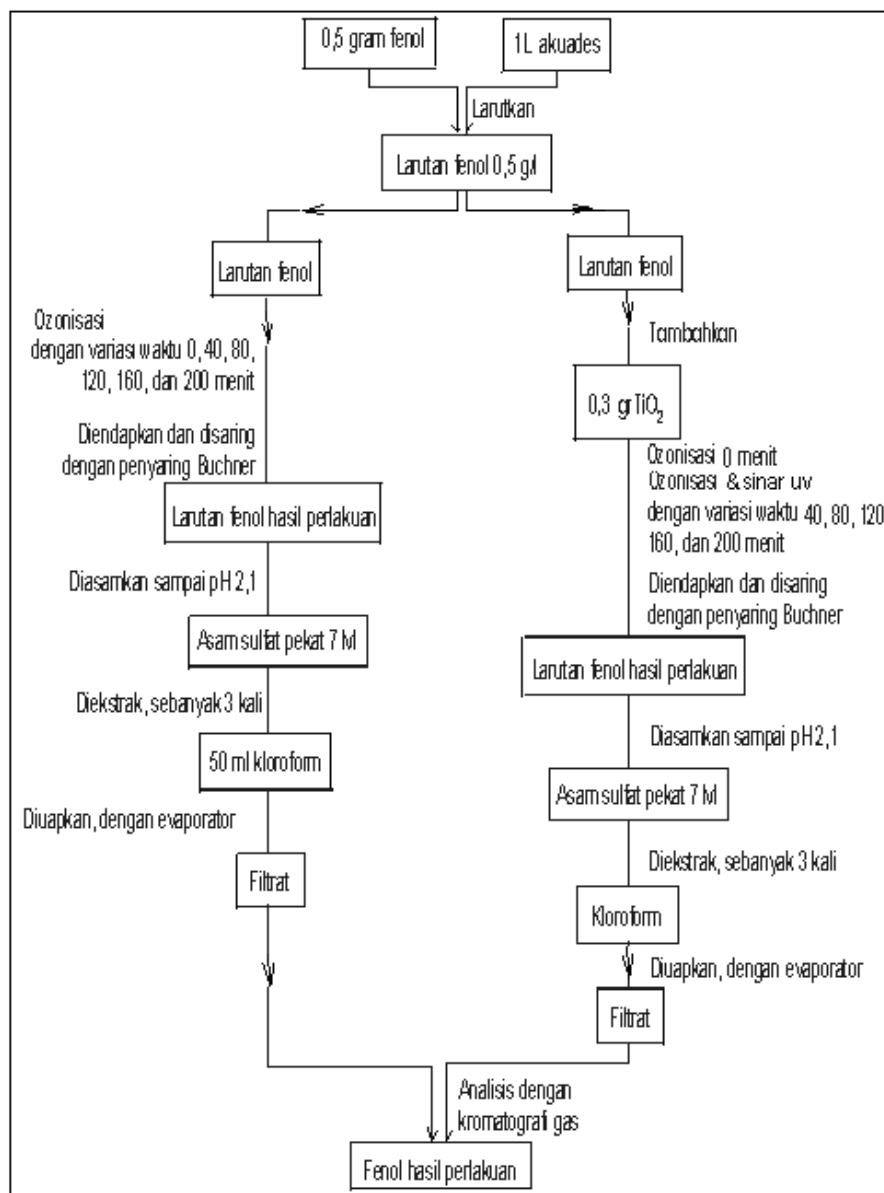
Alat :

Plasma ozonizer buatan PTAPB-BATAN (daya 25 watt, tegangan lucut 25 kV/1,5 kHz dan laju produk ozon 0,04 mg/det) digunakan untuk mengozon larutan fenol, Kromatografi Gas G-300 buatan Hitachi untuk menganalisa larutan fenol hasil perlakuan menggunakan gas ozon dan titanium dioksida tipe anatase serta beberapa alat yang telah jelas fungsinya seperti : pH meter, timbangan elektrik, pengaduk magnetik, pengatur waktu, evaporator, peralatan gelas (Erlenmeyer, gelas ukur), corong Buchner dan lampu UV daya 160 watt.

Cara Kerja :

1. Cara kerja untuk penentuan kecepatan degradasi fenol terhadap gas ozon dilakukan dengan prosedur sebagai berikut:
 - a. Fenol sebanyak 0,5 g dilarutkan dalam 1 liter akuades, sehingga diperoleh larutan fenol 0,5 g/L. Sebanyak 50 ml larutan fenol tersebut dimasukkan dalam erlenmeyer. Perlakuan pertama ozonisasi dengan waktu 0 menit tanpa pengadukan,
 - b. Perlakuan kedua, larutan fenol sebanyak 50 ml tersebut dimasukkan dalam erlenmeyer, kemudian dengan perlakuan menggunakan pengaduk magnetik selama 10 menit, larutan diozonisasi selama 40 menit.
 - c. Ulangi perlakuan pada point b) dengan merubah variasi waktu menjadi 80, 120, 160, dan 200 menit.
 - d. Larutan hasil perlakuan diendapkan. Masing-masing larutan disaring dengan menggunakan penyaring Buchner. Larutan diasamkan dengan menggunakan H₂SO₄ pekat 7 M sampai dengan mencapai pH 2,1.
 - e. Filtrat diekstrak dengan 50 ml kloroform sebanyak 3 kali kemudian dipisahkan dengan menggunakan corong pisah dan diuapkan menggunakan evaporator. Fenol hasil perlakuan di atas kemudian dianalisis menggunakan kromatografi gas.
2. Cara kerja untuk penentuan kecepatan degradasi fenol terhadap gas ozon serta penambahan fotokatalis TiO₂ tipe anatase dilakukan dengan prosedur sebagai berikut :
 - a. Fenol sebanyak 0,5 g dilarutkan dalam 1 liter akuades, sehingga diperoleh larutan fenol 0,5 g/L. Kemudian diambil sebanyak 50 ml dimasukkan erlenmeyer. Perlakuan pertama dengan waktu 0 menit ditambahkan 0,3 gram TiO₂-tipe anatase.

- Perlakuan kedua, larutan fenol sebanyak 50 mL tersebut dimasukkan dalam erlenmeyer dan ditambahkan 0,3 g TiO_2 -tipe anatas, kemudian perlakuan menggunakan pengaduk magnetik selama 10 menit dan disinari uv, larutan diozonisasi dengan waktu 40 menit.
- Ulangi perlakuan pada point b) dengan merubah variasi waktu ozonisasi menjadi 80, 120, 160, dan 200 menit.
- Larutan hasil perlakuan diendapkan. Masing-masing larutan disaring dengan menggunakan penyaring Buchner. Larutan diasamkan dengan menggunakan H_2SO_4 pekat 7 M sampai dengan mencapai pH 2,1.
- Filtrat diekstrak dengan 50 ml kloroform sebanyak 3 kali kemudian dipisahkan dengan menggunakan corong pisah dan diuapkan menggunakan evaporator. Fenol hasil perlakuan di atas kemudian dianalisis menggunakan kromatografi gas.



Gambar 2. Diagram alir proses degradasi fenol.

Diagram alir proses degradasi senyawa fenol dengan kedua cara kerja/metode tersebut diatas ditunjukkan pada Gambar 2.

Data yang diperoleh dari pengukuran filtrat menggunakan instrumen Kromatografi Gas diolah menggunakan analisis kuantitatif. Analisis kuantitatif dilakukan dengan menghitung harga aktivitas dari perlakuan yang pertama, penambahan gas ozon dan perlakuan yang kedua menambahkan gas ozon dan fotokatalis TiO₂-tipe anatas terhadap senyawa fenol.

Instrumen kromatografi gas yang digunakan adalah Hitachi G-300 (GC) dengan spesifikasi kolom kapiler HP 5 (5% PH ME Siloxane), 30 m x 0,32 mm x 0,25 µm, gas pembawa (nitrogen), kecepatan alir 40 ml/ menit, suhu injeksi 210°C, suhu detektor 210°C, suhu kolom 210°C, jenis detektor FID, dan volume yang diinjeksikan 1 µL.

Data dari hasil penggunaan kromatografi gas adalah berupa puncak pulsa yang selanjutnya diinterpretasikan menjadi sebuah nilai konsentrasi dari senyawa sampel (C). Harga konsentrasi didapat dari *area* pada kromatogram selama selang waktu perlakuan tertentu (A_t) dibagi dengan *area* selama selang waktu 0 menit (A₀), kemudian dikalikan dengan konsentrasi awal fenol C₀. Konsentrasi fenol setelah perlakuan selama selang waktu tertentu (C_t) yakni untuk t = 40, 40, 120, 160 dan 200 menit masing-masing dihitung menggunakan persamaan :

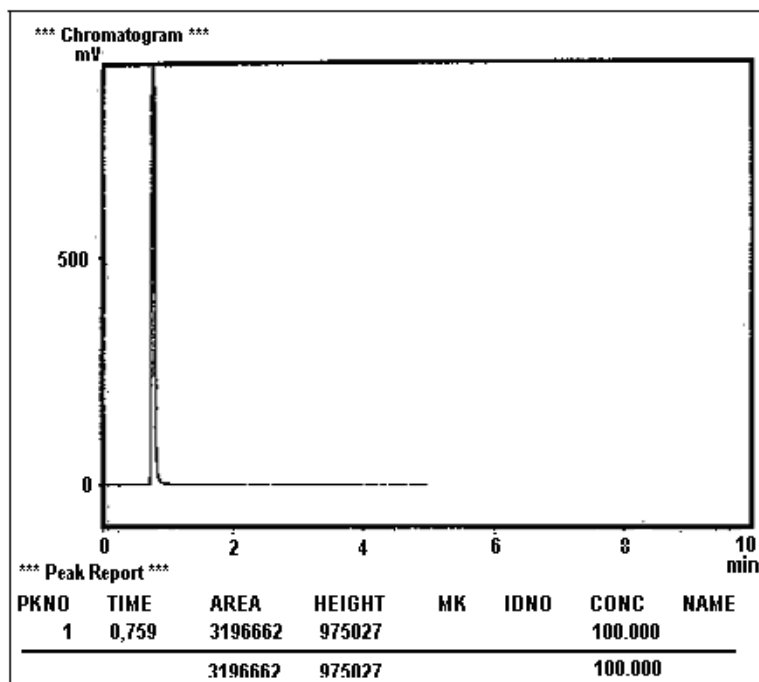
$$C_t = \frac{A_t}{A_0} \times C_0 \quad (1)$$

Degradasi fenol setelah perlakuan dengan kedua metode selama selang waktu t = 40, 80, 120, 160 dan 200 menit dihitung atas dasar persamaan:

$$D_t = \frac{A_0 - A_t}{A_0} \times 100 \% \quad (2)$$

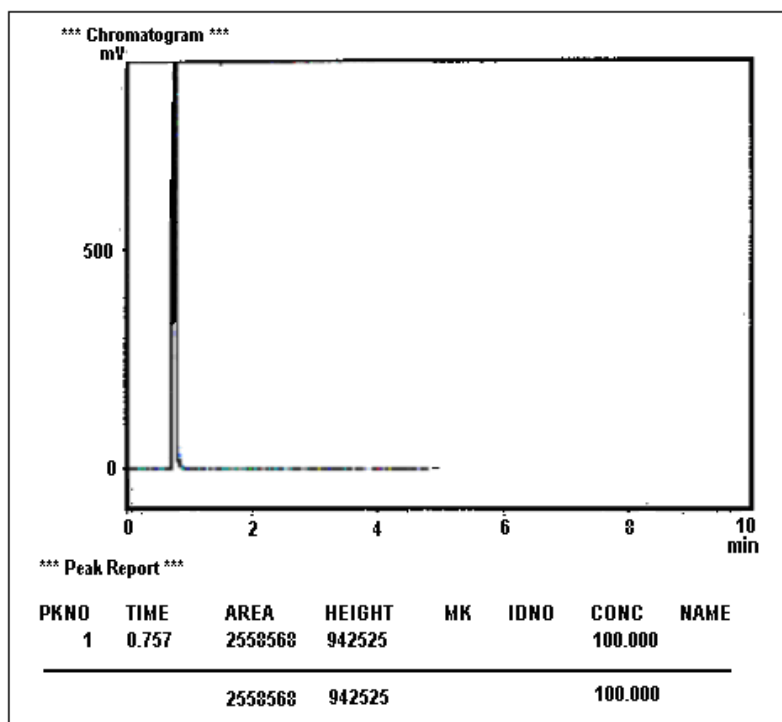
dimana D_t adalah degradasi fenol setelah perlakuan selama t, A₀ dan A_t masing-masing adalah harga *area* yang terbaca pada data kromatogram dengan perlakuan 0 dan t menit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

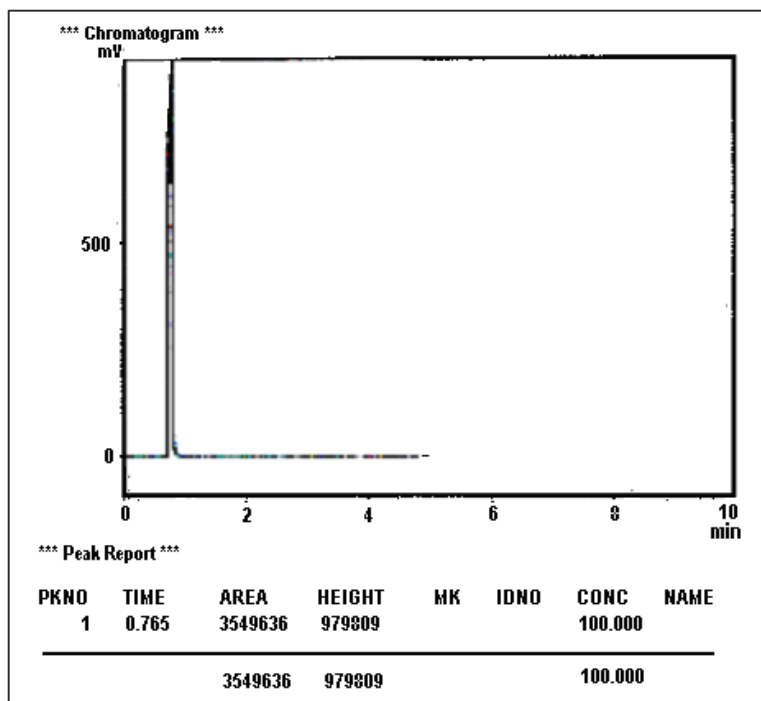


Gambar 3. Kromatogram hasil ozonisasi terhadap fenol selama waktu perlakuan t = 0 menit

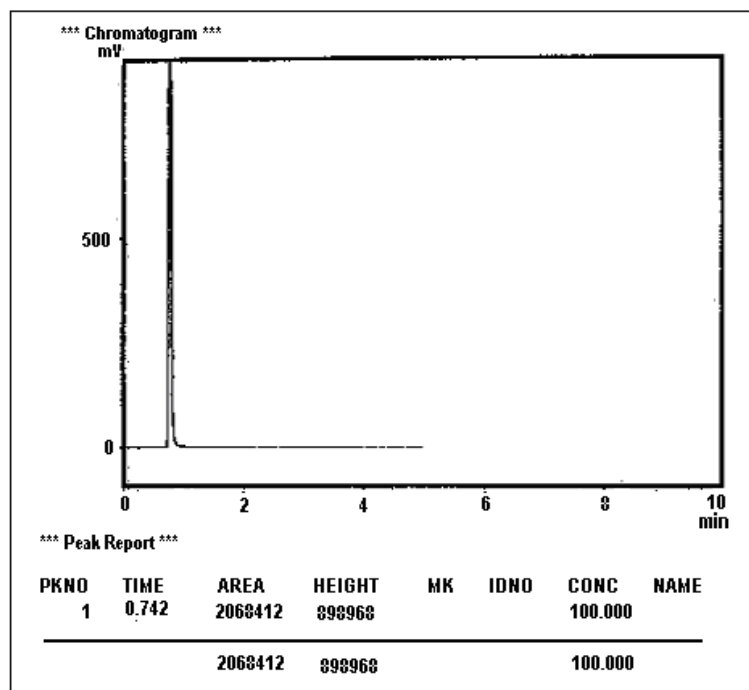
Data kromatogram dari hasil pertama yakni ozonisasi terhadap fenol selama selang waktu perlakuan $t = 0$ menit dan $t = 200$ menit ditunjukkan pada Gambar 3 dan 4, sedang data kromatogram dari hasil perlakuan kedua yakni ozonisasi fenol dan penambahan titanium dioksida (dan sinar uv) selama selang waktu perlakuan $t = 0$ menit dan $t = 200$ menit ditunjukkan pada Gambar 5 dan 6.



Gambar 4. Kromatogram hasil ozonisasi terhadap fenol selama waktu perlakuan $t = 200$ menit



Gambar 5. Kromatogram hasil ozonisasi dan penambahan TiO_2 terhadap fenol selama waktu perlakuan $t = 0$ menit.



Gambar 6. Kromatogram hasil ozonisasi dan penambahan TiO_2 terhadap fenol selama waktu perlakuan $t = 200$ menit.

Pada Gambar 4 dan Gambar 5 ditunjukkan bahwa untuk perlakuan pertama, ozonisasi terhadap fenol selama $t = 0$ menit dan $t = 200$ menit diperoleh harga area masing-masing sebesar $A_0 = 3196662$ dan $A_{200} = 2558568$. Pada beberapa variasi perlakuan diperoleh pula harga area A_t untuk masing-masing perlakuan $t = 40, 80, 120$ dan 160 menit yakni $A_{40} = 3144430$, $A_{80} = 3114281$, $A_{120} = 2848715$ dan $A_{160} = 2758466$. Dari data kromatogram hasil-hasil variasi lama perlakuan pertama ini serta dengan menggunakan persamaan (1) dan (2) di atas dapat dihitung harga konsentrasi fenol (C_t) dan degradasi fenol D_t untuk masing-masing perlakuan ozonisasi selama $t = 0, 40, 80, 120, 160$ dan 200 menit, dengan hasil seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Pada Gambar 6 dan Gambar 7 ditunjukkan bahwa untuk perlakuan kedua (ozonisasi serta penambahan fotokatalis TiO_2 tipe anatas) terhadap fenol selama $t = 0$ menit dan $t = 200$ menit diperoleh harga area masing-masing sebesar $A_0 = 3549636$ dan $A_{200} = 2068412$. Pada beberapa variasi perlakuan diperoleh pula harga area A_t untuk masing-masing perlakuan $t = 40, 80, 120$ dan 160 menit yakni $A_{40} = 3306043$, $A_{80} = 3157978$, $A_{120} =$ dan $A_{160} = 2411652$. Dari data kromatogram hasil-hasil variasi lama perlakuan kedua ini serta dengan menggunakan persamaan (1) dan (2) di atas dapat dihitung pula harga konsentrasi fenol (C_t) dan degradasi fenol D_t untuk masing-masing perlakuan ozonisasi selama $t = 0, 40, 80, 120, 160$ dan 200 menit, dengan hasil seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

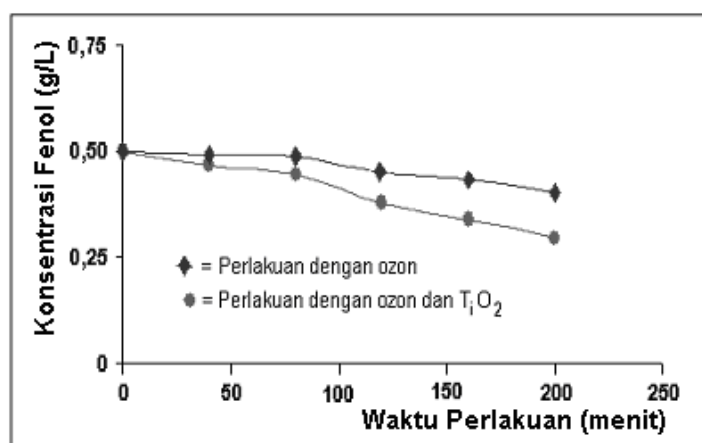
Tabel 1. Harga konsentrasi fenol C_t dan degradasi fenol D_t untuk masing-masing perlakuan ozonisasi selama $t = 0, 40, 80, 120, 160$ dan 200 menit.

No.	Lama ozonisasi t (menit)	Konsentrasi fenol C_t (gram/liter)	Degradasi fenol D_t (%)
1.	0	0,5	0,00
2.	40	0,4918	1,64
3.	80	0,4871	2,58
4.	120	0,4456	10,88
5.	160	0,4315	13,70
6.	200	0,4002	19,96

Tabel 2. Harga konsentrasi fenol C_t dan degradasi fenol D_t untuk masing-masing perlakuan (ozonisasi serta penambahan fotokatalis TiO₂ tipe anatas) selama t = 0, 40, 80, 120, 160 dan 200 menit.

No.	Lama ozonisasi t (menit)	Konsentrasi fenol C _t (gram/liter)	Degradasi fenol D _t (%)
1.	0	0,5	0,00
2.	40	0,4657	6,86
3.	80	0,4447	11,06
4.	120	0,3764	24,72
5.	160	0,3397	32,06
6.	200	0,2914	41,72

Dari kedua metoda perlakuan yang dilakukan terhadap larutan fenol di atas kalau digambarkan secara grafik hasil perubahan konsentrasi fenol C terhadap lama waktu perlakuan t yang divariasi dari t = 0 menit sampai dengan t = 200 menit adalah seperti ditunjukkan pada Gambar 8. Pada Gambar 8 ditunjukkan bahwa untuk kedua metoda perlakuan terhadap (larutan) fenol telah berhasil menurunkan konsentrasi fenol atau mendegradasi larutan fenol. Perubahan konsentrasi fenol dari kedua metode yang digunakan sama-sama menjadikan konsentrasi fenol turun secara linier sebanding dengan bertambahnya lama waktu perlakuan terhadap larutan fenol.



Gambar 7. Grafik hubungan antara lama waktu perlakuan terhadap larutan fenol(t) versus konsentrasi fenol (C) dari dua macam metode perlakuan.

Pada perlakuan pertama (menggunakan ozon) yang semula konsentrasi larutan fenol C₀ = 0,50 g/L setelah ozonisasi selama 200 menit konsentrasi menjadi C₂₀₀ = 0,4002 g/L, konsentrasi fenol turun 0,10 g/L atau degradasi fenol sebesar 19,96%.

Pada perlakuan kedua (menggunakan ozon ditambah dengan TiO₂ tipe anatas) setelah perlakuan selama 200 menit diperoleh konsentrasi fenol C₂₀₀ = 0,2914 g/L, konsentrasi fenol turun 0,2086 g/L atau degradasi fenol sebesar 41,72%. Proses degradasi fenol bergerak lambat bila hanya digunakan ozon dan proses degradasi fenol menjadi lebih cepat dengan penggunaan ozon dan penambahan TiO₂-tipe anatas.

Kecepatan Degradasi Fenol.

Atas dasar data yang diperoleh dari hasil percobaan ditunjukkan bahwa reaksi katalis merupakan tipe reaksi orde satu (linear) dan bentuk persamaan yang berlaku adalah sebagai berikut:

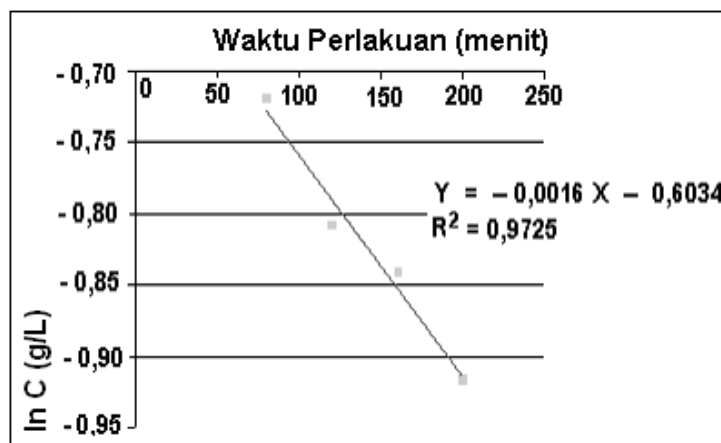
$$\ln C = -k t + \ln C_0 \quad (3)$$

$$(t_{1/2}) = \frac{0,693}{k} \quad (4)$$

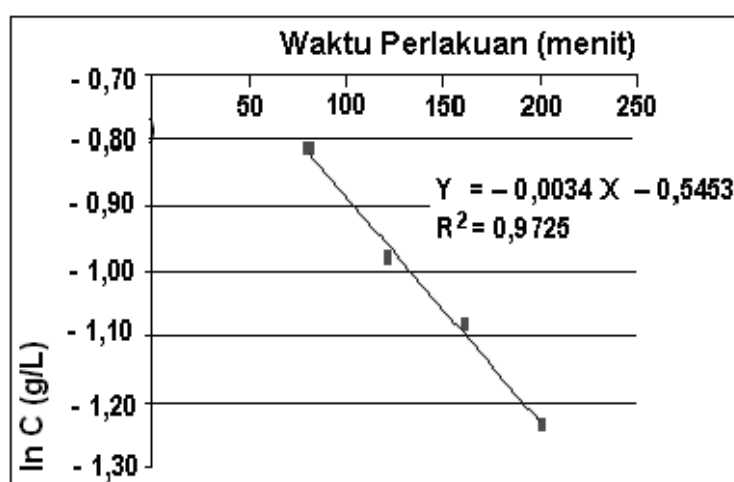
dimana C adalah konsentrasi fenol, k adalah aktivitas katalis, C_0 adalah konsentrasi awal dan $t_{1/2}$ adalah waktu paroh.

Atas dasar analisa data yang diperoleh pada Tabel 1 yakni dengan menggunakan metode perlakuan yang pertama (menggunakan ozon) maka kalau masing-masing harga konsentrasi C_t disubstitusikan ke persamaan (3) akan diperoleh grafik hubungan antara lama waktu perlakuan t (menit) terhadap logaritma konsentrasi (ln C) seperti ditunjukkan pada Gambar 8. Grafik pada Gambar 8 dapat ditentukan persamaan garis regresi liniernya yakni diperoleh persamaan $y = -0,0016x - 0,6034$ dengan harga $R^2 = 0,9725$ dimana slope/kemiringan = - k. atau harga aktivitas k = 0,0016/menit. Kalau harga k diketahui maka dengan menggunakan persamaan (4) harga umur paroh $t_{1/2}$ dapat ditentukan yakni $t_{1/2} = 433,125$ menit.

Demikian pula atas dasar analisa data yang diperoleh pada Tabel 2 yakni dengan menggunakan metode perlakuan yang kedua (menggunakan ozon dan TiO_2 tipe anatas) maka kalau masing-masing harga konsentrasi C_t disubstitusikan ke persamaan (3) akan diperoleh grafik hubungan antara lama waktu perlakuan t (menit) terhadap logaritma konsentrasi (ln C) seperti ditunjukkan pada Gambar 9. Grafik pada Gambar 9 dapat ditentukan persamaan garis regresi liniernya yakni diperoleh persamaan $y = -0,0034x - 0,5453$ dengan harga $R^2 = 0,9925$ dimana slope/kemiringan = - k. atau harga aktivitas k = 0,0034/menit. Kalau harga k diketahui maka dengan menggunakan persamaan (4) harga umur paroh $t_{1/2}$ dapat ditentukan yakni $t_{1/2} = 203,823$ menit.



Gambar 8. Grafik hubungan antara lama waktu perlakuan t (menit) terhadap ln C pada perlakuan pertama (menggunakan ozon)



Gambar 9. Grafik hubungan antara lama waktu perlakuan t (menit) terhadap ln C pada perlakuan kedua (menggunakan ozon dan TiO_2 tipe anatas).

KESIMPULAN

Atas dasar hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Gas ozon hasil lucutan plasma ozonizer berspesifikasi tegangan tinggi 25 kV/1,5 kHz, daya 25 watt dan laju produk ozon 0,04 mg/det mampu untuk mendegradasi larutan fenol konsentrasi 0,5 g/L sebesar 19,96 %-nya dengan waktu ozonisasi 200 menit.
3. Gas ozon dengan spesifikasi tersebut di atas bila dikombinasikan dengan serbuk TiO₂ tipe anatas dapat meningkatkan kekuatan daya degradasi sebesar 21,76% yakni konsentrasi fenol 0,5 g/L dapat terdegradasi sebesar 41,72%-nya untuk perlakuan selama 200 menit.
4. Kecepatan degradasi fenol melalui penggunaan reaksi ozonisasi, proses berjalan secara lambat dengan laju aktivasi $k = (1,6 \times 10^{-3})/\text{menit}$ dan waktu paruh $t_{1/2} = 433,125$ menit, sedang degradasi fenol melalui reaksi ozonisasi yang disertai penambahan fotokatalis TiO₂ tipe anatas, fenol dapat terdegradasi lebih cepat dengan $k = (3,4 \times 10^{-3})/\text{menit}$ dan $t_{1/2} = 203,823$ menit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan selesainya penelitian ini disampaikan ucapan terima kasih kepada Drs. Suryadi, SU. atas saran dan diskusinya serta teknisi Sdr. Mintolo dan Agung Beta Suyatno mahasiswa tugas akhir FMIPA Kimia UNY-Yogyakarta, atas bantuan kalibrasi alat eksperimen, analisa sampel dan penggunaan semua fasilitas laboratorium demi kelancaran kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. APRILITA, N.H dan WAHYUNI, E.T, Penangan Fenol Dalam Limbah Dengan Zeolit Alam sebagai Adsorben, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta (2000), hal.17.
2. FESENDEN R.J. & FESENDEN J.S., Organic Chemistry, Wadsworth Inc. Belmont, California, (1986), p. 35.
3. SUGIARTO, A.T., Atasi Polusi Dengan Plasma, [http ://www.istec.org/publication/ Artkel/AntoTS-kompas14Nov.2002.htm](http://www.istec.org/publication/Artkel/AntoTS-kompas14Nov.2002.htm). (2002).
4. MORKINI, A., OUSSI, D., CHAMARRO, E., ESPLUGAS, S., Photoxidation of Phenol UV Radiation Aqueous Solution, [http ://www.photobiology. com/IUPAC98/esplugas/ phenol.html](http://www.photobiology.com/IUPAC98/esplugas/phenol.html). (1998).
5. MVULA, E. and SONNTAG, C., Ozonolysis of Phenols in Aqueous Solution, [http ://www.ncbi.nlm.nih. gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&list_uids=12926365&dopt=Abstract](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&list_uids=12926365&dopt=Abstract). (2005)
6. ISYUNIARTO, WIDDI USADA, SURYADI, AGUS PURWADI, MINTOLO, TRI RUSMANTO, Identifikasi Ozon Dan Aplikasinya Sebagai Desinfektan, Majalah IPTEK Nuklir GANENDRA, Vol. V No. 1 (2002), hal. 15-22.
7. LEGRINI, O., OLIVEROS, E., and BRAUN, A.M., Photochemical Processes for Water Treatment, Chemical Reviews, Vol. IX No. 3 (1993), p.p. 671-698.
8. HARI SUTRISNO, Tinjauan Struktural dan Proses Fotoinduksi Pada Titanium Dioksida, Prosiding Seminar Nasional Kimia, FMIPA-UNY, Yogyakarta (2005), hal. 175-180.
9. AGUS PURWADI, SURYADI, WIDDI USADA, "Rancang Bangaun Tabung Lucutan Terhalang Dielektri Untuk Plasma Ozonizer Daya 25 Watt dan Kelipatannya ", Laporan Teknis Intern Pusat Teknolgi Akaselerator dan Proses Bahan -BATAN, Yogyakarta (2006).