

## DEGRADASI FENOL DALAM LIMBAH PENGOLAHAN MINYAK BUMI DENGAN OZON

Isyuniarto, Widdi Usada, Agus Purwadi dan Suryadi

P3TM – BATAN Yogyakarta

### ABSTRAK

*DEGRADASI FENOL DALAM LIMBAH PENGOLAHAN MINYAK BUMI DENGAN OZON. Telah dilakukan penelitian degradasi fenol dalam limbah pengolahan minyak bumi dengan ozon. Ozon merupakan spesies aktif karena membentuk radikal pada saat terdekomposisi. Radikal ini akan mengoksidasi fenol sehingga konsentrasi fenol dalam limbah menurun.. Sampel limbah dalam penelitian ini adalah limbah cair dari kolam penampungan akhir (holding base) PT Pertamina Cilacap. Sebelum diproses limbah dianalisis konsentrasi fenolnya dengan metode standar addisi menggunakan kromatografi gas, pada kondisi kecepatan alir  $N_2$  2,9 mL/menit, suhu injeksi 250 °C, suhu kolom 70 – 150 °C, suhu detector 250 °C, kolom kapiler “methyl syloxane” dengan panjang 60 m. Baru kemudian dilakukan ozonisasi dengan variasi waktu 0, 20, 40, 60, 80, 100 dan 120 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu optimum untuk mendegradasi fenol adalah 100 menit, dengan efektifitas degradasi sebesar 55,75%.*

### ABSTRACT

*DEGRADATION OF PHENOL IN THE FUEL OIL WASTE WITH OZONE. Degradation of phenol in the fuel oil waste with ozone was done. Ozone was an active species because it can be a radical at decomposition moment. A radical from ozone will be oxidized the phenol do that concentration in waste will decrease. The waste sample in this research was liquid waste from the holding base PT Pertamina Cilacap. Before being processed, the waste will be analyzed the phenol concentration with standard addition method and analyzed with gas chromatography, with flow velocity of  $N_2$  2.9 mL/minute, temperature of injection at 250 °C, temperature of column at 70 – 150 °C, detector temperature 250 °C, methyl syloxane column 60 meter length. Then will be done was ozonyzed with time was 0, 20, 40, 60, 80, 100, and 120 minute. The result showed that the optimum time needed to degrade phenol was 100 minutes, with the effectiveness of degradation was 55,75%.*

### PENDAHULUAN

Industri pengolahan minyak bumi dalam proses produksinya akan menghasilkan limbah, baik berupa padat, cair dan gas. Limbah cair dari pengolahan minyak bumi akan dibuang ke lingkungan, padahal limbah cair ini masih banyak mengandung senyawa organik yang dapat mencemari lingkungan. Senyawa organik yang sering terdapat dalam limbah cair pengolahan minyak bumi adalah fenol.

Penanganan fenol dengan oksidasi menggunakan ozon,  $H_2O_2$  dan secara elektrokimia telah banyak dilaporkan. Fenol tergolong dalam alkohol sehingga dapat teroksidasi menjadi bentuk keton, aldehida dan asam karboksilat. Menurut Gurol dan Vatisas<sup>(1)</sup>, fenol dapat dioksidasi menjadi hidrokuinon dengan menggunakan ozon.

Fenol merupakan senyawa organik yang mengandung gugus hidroksil (OH) yang terikat

pada atom karbon pada cincin benzena.<sup>(2)</sup> 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.

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 rata-rata dalam limbah cair dari berbagai macam proses industri bervariasi antara 35 – 8000 mg/L. Menurut MAHARJAN (1991, dalam APRILITA dan WAHYUNI, 2000)<sup>(3)</sup>, konsentrasi fenol yang dapat ditoleransi untuk air minum adalah 0,2 mg/L sedangkan untuk limbah migas adalah 2,0 mg/L. Senyawa fenolik yang dihasilkan dari kegiatan industri migas akan terbawa ke

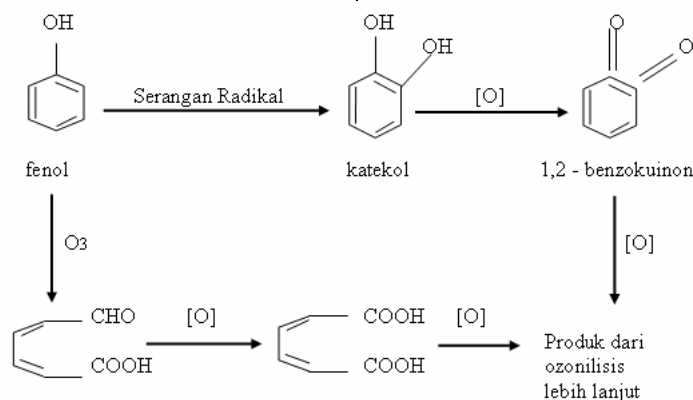
permukaan bersama air, yang kemudian berada dalam air limbah setelah proses pemisahan minyak bumi. Senyawa-senyawa fenol dalam minyak bumi terdapat sebagai komponen alam bersama-sama dengan senyawa organik lainnya, seperti senyawa sulfur dan nitrogen organik, serta senyawa-senyawa organik heteroatom lainnya.<sup>(4)</sup> Keberadaan senyawa fenolik dalam limbah migas sering pula bersumber dari pemakaian bahan kimia tertentu pada saat eksplorasi, produksi dan pengilangan. Data dari P3TMGB “LEMIGAS” menunjukkan kandungan senyawa fenol dalam limbah cair industri migas di beberapa lapangan kilang minyak berkisar antara 0,04 hingga mencapai ratusan mg/L, seperti dalam Tabel 1 berikut ini.

**Tabel 1. Konsentrasi fenol pada berbagai lapangan kilang minyak.**

Lapangan	Konsentrasi (mg/L)
Pantai California (USA)	0,35 – 2,10
Lepas Pantai Texas (USA)	53
Dcaratan Caloifornia (USA)	0,07 – 0,15
Wyoming	0,07 – 0,33
Pensylvania	0,06 – 0,35
Sumatra Utara	90 - 450

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.<sup>(5)</sup>

Banyak literatur memberi informasi tentang oksidasi senyawa organik dengan proses oksidasi maju. MORKINI et al (1998)<sup>(6)</sup> menyatakan fenol dapat teroksidasi melalui beberapa proses, misalnya dengan sinar ultraviolet, ozonisasi dan reaksi dengan hidrogen peroksida. Aliran gas ozon dapat mengoksidasi fenol, sehingga fenol dapat terdegradasi menjadi senyawa organik lain. Reaksi oksidasi fenol karena adanya ozon menurut BAILEY et al (1972, dalam MORKINI et al, 1997)<sup>(4)</sup> dapat ditulis sebagai berikut :



**Gambar 1. Mekanisme reaksi ozonolisis pada fenol.**

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 O<sub>3</sub> 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.<sup>(7)</sup> Hasil penelitian MORKINI et. al.<sup>(6)</sup> menyebutkan bahwa degradasi fenol akan menghasilkan senyawa intermediet berupa katekol, hidrokuinon dan benzokuinon.

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.<sup>(5)</sup> Seperti

halnya oksigen  $O_3$ , juga dapat mempercepat pembakaran dan zat oksidan yang sangat kuat, dibanding oksidan yang lain seperti klor 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.<sup>(5,8)</sup>

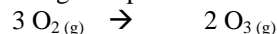
Kereaktifan ozon yang cukup tinggi dapat menyebabkan pemutusan ikatan pada senyawa tertentu. Ozonolisis yaitu pemisahan ikatan pada senyawa oleh ozon, yang banyak digunakan untuk mengubah struktur senyawa tak jenuh karena reaksi ini dapat menyebabkan degradasi molekul besar menjadi molekul yang lebih kecil.<sup>(2)</sup> Ozonolisis terdiri atas dua reaksi yang terpisah, yaitu :

1. Oksidasi ikatan-ikatan karbon oleh ozon menjadi ozonida.
2. Oksidasi atau reduksi ozonida menjadi produk akhir.

Ozon akan menyerang ikatan  $\pi$  untuk menghasilkan suatu zat antara tak stabil yang kemudian mengalami sederetan transformasi dimana ikatan karbon-karbon terputuskan. Hasil dari reaksi ini adalah ozonida yang kemudian diteruskan ke reaksi tahap dua. Reaksi tahap dua dalam ozonolisis adalah oksidasi dan reduksi ozonida. Jika ozonida mengalami reaksi reduksi maka hasil reaksi berupa aldehida dan keton. Apabila penyelesaian reaksi secara oksidasi maka produk reaksi berupa asam karboksilat dan keton.

Ozon yang digunakan dalam penelitian ini dibuat dengan cara melewati udara ke dalam ruangan sempit (2 mm) diantara dua elektroda yang mempunyai beda tegangan yang relatif tinggi ( $> 30$  kV), yang dikenal sebagai tabung reaktor lucutan senyap.<sup>(9)</sup> Lucutan senyap terjadi pada plasma tak seimbang dengan elektron-elektron dalam plasma mempunyai tenaga atau suhu yang jauh lebih tinggi dari pada partikel-partikel berat, misalnya gas netral. Apabila tegangan bolak-balik atau AC dengan frekuensi sedang yaitu sekitar 1 kHz diberikan pada celah lucutan diantara dua elektroda yang berisi oksigen, maka dapat dihasilkan ozon. Gas ozon

tidak stabil yang diperoleh dari masukan gas oksigen dapat terbentuk menurut persamaan :



Pembuatan ozon dengan gas masukan gas oksigen murni lebih menguntungkan dari pada menggunakan masukan udara biasa, karena pada kondisi operasi yang sama kuantitas ozon dan konsentrasinya naik 2 sampai 3 kali lebih besar.<sup>(9)</sup>

## TATA KERJA

### Bahan

Bahan kimia yang diperlukan  $Na_2HPO_4$ , KI,  $KH_2PO_4$ ,  $C_6H_5OH$ ,  $H_2SO_4$ , (yang semuanya buatan E-Merck), akuades dan sampel limbah minyak bumi dari PT. PERTAMINA Cilacap.

### Alat

Seperangkat alat ozonizer buatan Laboratorium Fisika Plasma P3TM BATAN, Spektrofotometer UV-Vis, Kromatografi Gas HP 6890, timbangan, dan alat-alat gelas.

## Cara Kerja

### a. Pembuatan kurva standar fenol

Sebanyak 0,1001 gram fenol dilarutkan dalam 1,0 L akuades, sehingga diperoleh larutan fenol 100 mg/L. Larutan ini dibuat deret larutan standar menjadi 10, 20, 30, 40 dan 50 mg/L, kemudian dianalisis dengan kromatografi gas dan dibuat kurva standar.

### b. Optimasi waktu ozonisasi fenol

Ke dalam 7 (tujuh) botol yang berwarna coklat (gelap) dimasukkan masing-masing 50 mL larutan fenol 100 mg/L, kemudian diozonisasi dengan variasi waktu 0, 20, 40, 60, 80, 100 dan 120 menit. Larutan setelah perlakuan dianalisis dengan kromatografi gas.

### c. Pembuatan standar addisi

5 (lima) buah labu ukur 10 mL yang diisi dengan 5 mL larutan sampel limbah. Ke dalam masing-masing labu ukur ditambahkan larutan fenol sebanyak 5 mL dengan konsentrasi masing-masing 20, 40, 60, 80 dan 100 mg/L. Penambahan larutan standar ini akan menambah konsentrasi fenol dalam sampel masing-masing sebesar 10, 20, 30, 40, dan 50 mg/L, kemudian larutan dianalisis dengan kromatografi gas.

### d. Ozonisasi sampel limbah

Sebanyak 50 mL sampel limbah dimasukkan ke dalam botol yang berwarna coklat (gelap), kemudian diozonisasi pada waktu

optimum. Larutan hasil perlakuan diukur kadar fenolnya dengan metode standar addisi seperti pada analisis fenol dalam sampel tanpa ozonisasi, kemudian dianalisis dengan kromatografi gas.

Analisis kromatografi gas menggunakan kolom kapiler “*methyl syloxane*” dengan panjang 60 m, gas pembawa  $N_2$ , kecepatan alir 2,9 mL/menit, suhu injeksi 250 °C, suhu kolom 70 – 150 °C, suhu detector 250 °C dan volume sampel yang diinjeksikan 1  $\mu$ L.

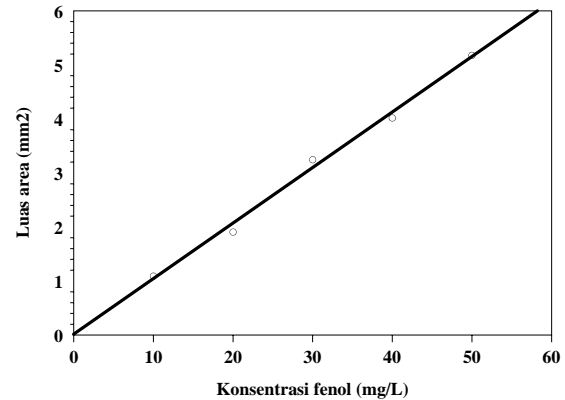
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel limbah pengolahan minyak bumi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel limbah cair yang diambil dari kolam penampungan limbah akhir (*holding base*) di PT Pertamina Cilacap. Sampel limbah ini diduga mengandung fenol sebagai hasil samping dari proses pengolahan minyak bumi. Fenol merupakan senyawa yang tidak stabil, sehingga sampel yang telah diambil harus diasamkan sampai pH 2 menggunakan asam sulfat pekat dengan perbandingan 1 : 9, agar fenol tidak terdisosiasi menjadi bentuk ionnya, melainkan tetap dalam bentuk molekul fenol.<sup>(10)</sup> Sampel disimpan pada suhu  $-4$  °C untuk menghindari penguapan dan oksidasi fenol karena pengaruh suhu lingkungan. Sampel yang telah diasamkan dan disimpan pada suhu  $-4$  °C hanya bisa digunakan selama penyimpanan kurang dari 1 bulan. Sampel ditempatkan dalam botol gelap, karena fenol dapat terdegradasi lambat oleh cahaya.

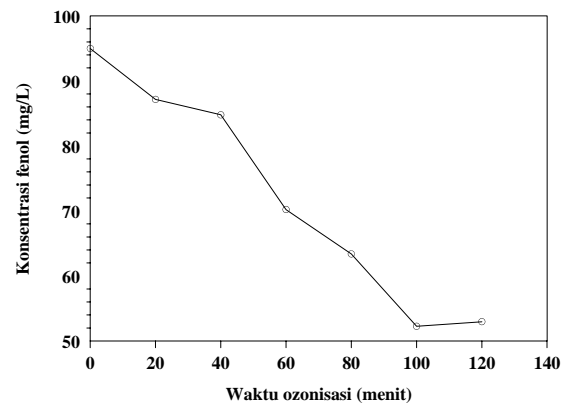
Kurva kalibrasi larutan standar fenol dibuat dengan menginjeksikan 1  $\mu$ L larutan standar fenol dengan variasi konsentrasi. Kurva yang diperoleh merupakan hubungan antara konsentrasi fenol dengan luas area yang terbentuk pada kromatogram dan dapat dilihat pada Gambar 2. Persamaan regresi linier yang diperoleh adalah  $Y = 0,1029 X - 3,10 \cdot 10^{-5}$ , dengan harga koefisien korelasi ( $R^2$ ) = 0,9941.

Waktu ozonisasi optimum yang diperlukan untuk mendegradasi fenol ditentukan dengan melakukan ozonisasi larutan fenol 100 mg/L pada variasi waktu 0, 20, 40, 60, 80, 100 dan 120 menit. Hasil yang diperoleh adalah larutan fenol dengan waktu ozonisasi 0 menit mempunyai konsentrasi sebesar 94,99 mg/L. Waktu ozonisasi optimum untuk mendegradasi fenol adalah 100 menit, dengan konsentrasi fenol yang tersisa adalah 52,25 mg/L. Efektifitas penurunan fenol setelah proses ozonisasi sebesar 44,99%. Hal ini

sesuai dengan hasil penelitian Morkini (1998)<sup>(6)</sup>, yang menunjukkan bahwa efektifitas ozonisasi fenol sekitar 40 – 55%. Setelah 100 menit penambahan waktu ozonisasi relatif tidak mempengaruhi fenol sisa yang tidak terdegradasi.



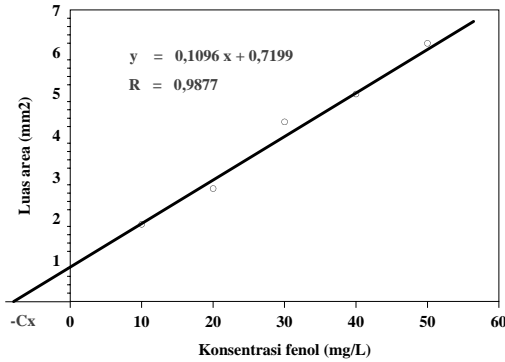
Gambar 2. Kurva kalibrasi larutan standar fenol.



Gambar 3. Hubungan waktu ozonisasi dengan konsentrasi fenol.

Penentuan konsentrasi fenol dalam sampel limbah minyak bumi dilakukan dengan metoda standar addisi agar dapat terdeteksi oleh alat Kromatografi gas, karena konsentrasi fenol dalam limbah relatif rendah. Cara pemekatan limbah kurang efektif karena dikhawatirkan fenol akan terurai atau menguap pada suhu tinggi.

Batas deteksi atau *Limit of Detection* (LOD) adalah konsentrasi terkecil larutan suatu unsur yang dapat dideteksi dengan kepastian 95%.<sup>(11)</sup> Nilai LOD yang diperoleh dari perhitungan adalah 4,20 mg/L. Akan tetapi pada alat kromatografi yang digunakan telah diatur besarnya *area reject*, yaitu batasan luas area yang diperbolehkan untuk dideteksi alat adalah sebesar 1.

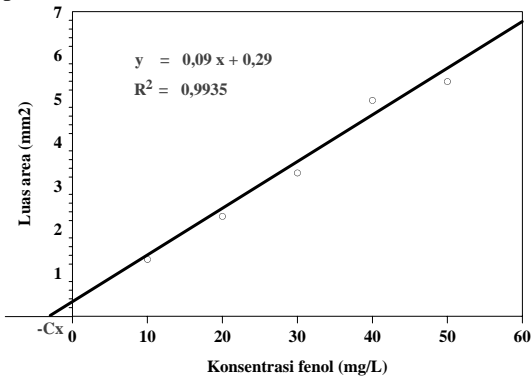


**Gambar 4. Kurva standar addisi sampel limbah tanpa ozonisasi**

Sampel limbah cair yang telah ditambah dengan satu deret konsentrasi standar, dalam kurva standar addisi diperoleh persamaan linier  $Y = 0,1096 X + 0,7199$  dengan koefisien korelasi ( $R^2$ ) sebesar 0,99, seperti pada Gambar 4 diatas. Konsentrasi fenol dalam sampel limbah diperoleh dari perhitungan yaitu sebesar 6,57 mg/L.

Konsentrasi fenol dalam sampel limbah proses pengolahan minyak bumi ini masih berada diatas ambang batas yang ditentukan oleh Menteri Negara Lingkungan Hidup dengan Surat keputusannya No. 42/MENLH/10/1996 tanggal 29 Oktober 1996, tentang batasan baku mutu limbah cair dari kegiatan eksplorasi dan produksi migas untuk kandungan fenol sebesar 2,0 mg/L.

Sampel limbah yang telah diozonisasi pada waktu optimum yaitu selama 100 menit, kemudian dianalisis menggunakan metode standar addisi, yaitu dengan penambahan standar dengan variasi konsentrasi seperti pada sampel tanpa perlakuan. Sampel ini kemudian dianalisis dengan kromatografi gas. Kurva standar addisi yang diperoleh untuk sampel yang telah diozonisasi pada waktu optimum adalah seperti pada Gambar 5 berikut ini.



**Gambar 5. Kurva standar addisi sampel limbah setelah ozonisasi**

Persamaan regresi linier yang diperoleh pada kurva standar addisi pada sampel limbah setelah perlakuan adalah :  $Y = 0,0993 X + 0,2886$ , dengan koefisien korelasi ( $R^2$ ) = 0,9935. Kurva regresi yang diperoleh diekstrapolasi pada sumbu y. Perpotongan antara kurva standar addisi dengan sumbu x merupakan titik  $-Cx$ , dimana nilai konsentrasi fenol dalam sampel merupakan harga mutlak dari  $-Cx$ .<sup>(12)</sup> Konsentrasi fenol dalam sampel limbah setelah terdegradasi oleh ozon 2,91 mg/L. Konsentrasi fenol setelah perlakuan ini merupakan harga rata-rata dari perlakuan terhadap sampel limbah yang dilakukan secara duplo. Konsentrasi fenol ini masih belum memenuhi standar baku mutu limbah migas, akan tetapi sudah terbukti bahwa ozon dapat mendegradasi fenol, sehingga konsentrasinya dalam limbah menurun.

Efektifitas degradasi fenol dalam limbah menggunakan ozon adalah sebesar 55,75%. Degradasi dengan ozon ini masih menyisakan fenol sekitar 44,25%. Hal ini disebabkan limbah yang ada masih dalam suasana asam ( $pH = 4,5$ ), sehingga ozon tidak efektif bekerja. Ozon akan efektif bekerja dalam suasana basa ( $pH > 7$ ).<sup>(9)</sup> Hasil penelitian MORKINI (1997)<sup>(6)</sup> menyebutkan bahwa degradasi fenol akan menghasilkan senyawa intermediet berupa katekol, hidrokuinon dan benzokuinon.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil suatu kesimpulan bahwa fenol dalam limbah pengolahan minyak bumi dari PT PERTAMINA Cilacap dapat terdegradasi dengan proses ozonisasi, dengan waktu ozonisasi optimum sebesar 100 menit. Kadar fenol dalam limbah awal adalah 6,57 mg/L dan terdegradasi melalui ozonisasi pada waktu optimum menjadi 2,91 mg/L dengan efektifitas degradasi sebesar 55,75%.

## SARAN

Mohon penelitian ini dilanjutkan dengan memperhatikan pH limbah awal harus tinggi ( $>7,0$ ), karena ozon lebih efektif pada kondisi basa. Demikian juga perlu data analisis gas-gas hasil degradasi fenol.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan selesainya penelitian ini disampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Sdr. Sri Sukmajaya, Sdr. Mintolo dan Sdr. Ujiatmi Dwi Marlupi mahasiswa tugas akhir FMIPA Kimia Universitas

Jenderal Soedirman Purwokerto, atas bantuan penyediaan alat ozoniser dan semua fasilitasnya serta penyelesaian penelitian di laboratorium.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. MORKINI, A., OUSSI, D. and ESPLUGAS, S., Oxidation of Aromatic Compounds with UV Radiation/Ozone/Hydrogen Peroxide, <http://www.photon.qulub.es/research/Morkini-cutec-97.doc.>, 1998.
2. FESENDEN & FESENDEN, Organic Chemistry, Wadsworth Inc. Belmont, California, 1986.
3. APRILITA, N.H dan WAHYUNI, E.T, Penangan Fenol Dalam Limbah Dengan Zeolit Alam sebagai Adsorben, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2000.
4. MULYONO, M., DESRINA, LEGOWO dan SUHARDONO, E., Jenis Senyawa Fenol dan Cara Penanggulangannya di Dalam Air Terproduksi, Lembaran Publikasi LEMIGAS Jakarta, Vol. 33 No. 2 (2000), hal 11-12.
5. SUGIARTO, A.T., Atasi Polusi Dengan Plasma, <http://www.istec.org/publication/Artkel/AntoTS-kompas14Nov.2002.htm>. (2002).
6. MORKINI, A., OUSSI, D., CHAMARRO, E., ESPLUGAS, S., Photoxidation of Phenol UV Radiation Aqueous Solution, <http://www.photobiology.com/IUPAC98/esplugas/phenol.html>. (1998).
7. 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).
8. ISYUNIARTO, WIDDI USADA, SURYADI, AGUS PURWADI, MINTOLO, TRI RUSMANTO, Identifikasi Ozon Dan Aplikasinya Sebagai Desinfektan, Proses Majalah GANENDRA, P3TM BATAN Yogyakarta (2003).
9. AGUS PURWADI, WIDDI USADA, SURYADI, ISYUNIARTO, “Studi dan Pembuatan Generator Ozon Menggunakan Lucutan Listrik”, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah LITDAS Teknologi Nuklir, P3TM BATAN Yogyakarta (2001).
10. ASTM, Annual Books of ASTM Standards, water and Environmental Technology, Vol. 11.02 water (II), Easton MD, USA (1997).
11. BASSETT, J., DENNEY, R.C., JEFFERY, G.H., MENDHAM, J., Vogel’s Textbook of Quantitative Inorganic Analysis Including Elementary Instrumental Analysis, Longman Group UK Limited, London (1991).
12. SKOONG, D.A, WEST, D.M., HOLLER, F.J., Analytical Chemistry, 7<sup>nd</sup> edition Saunders College Publishing, USA (1991).

---

#### TANYA JAWAB

*Basuki AP.*

- *Dari Gambar 3, tampaknya ada kecenderungan linier, makin lama waktu ozonisasi makin besar efektifitas degradasi, oleh karena itu, saran aya, barangkali waktu ozonisasi perlu diperpanjang lagi (> 2 jam), sehingga dapat diperoleh efektifitas degradasi yang lebih baik. Terima kasih.*

#### Isyuniarto

- Terima kasih atas sarannya.

#### Sukirno

- *Tadi syarat phenol dalam limbah 2 ppm, akan tetapi masih diatas 2,1 ppm dari 6,5 menjadi 2,91, kenapa tidak dibuat bertingkat saja?*
- *Berapa kira-kira biayanya untuk degradasi ini per liternya?*

#### Isyuniarto

- Bila dilakukan secara bertingkat memungkinkan dapat menurunkan kadar fenol dalam limbah.
- Belum dilakukan perhitungan ekonominya, karena prosesnya masih catu (*batch*).