

## FENOMENA ADSORPSI-DESORPSI DIMETIL BENZEN PADA KARBON AKTIF DISERTAI REAKSI OKSIDASI DALAM SISTIM AQUEOUS

Suprpto<sup>\*)</sup>

### Abstrak

*Pengolahan polutan organik sangat berbahaya sebagai gas buang industri (seperti dimetil benzen) sampai sekarang belum dikembangkan. Pada penelitian ini dicoba bentuk teknologi gabungan yang menerapkan teknologi adsorpsi dalam karbon aktif dan kemudian dilanjutkan dengan reaksi oksidasi dalam sistim aqueous. Pada penelitian ini, pengolahan dimetil benzen dilakukan dengan cara oksidasi menggunakan ozon yang dilaksanakan dalam dua tahap. Tahap pertama merupakan proses fiksasi dimetil benzen dengan cara adsorpsi menggunakan padatan karbon aktif. Tahap kedua adalah desorpsi dimetil benzen dari adsorben karbon aktif yang dilanjutkan dengan reaksi oksidasi dengan gas ozon dalam sistim aqueous; reaksi oksidasi dilakukan dalam reaktor berpengaduk mekanis terisi 1 liter air. Percobaan dilakukan dengan laju alir ozon 48,3 mmol/jam, suhu ambient dan tekanan atmosferik putaran pengaduk 1500 rpm, dan dimetil benzen teradsorpsi maksimum dalam karbon aktif. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa reaksi oksidasi dimetil benzen merupakan reaksi cepat bila dibandingkan dengan tahap desorpsinya. Selanjutnya, hasil pengamatan dapat mengklarifikasi bahwa reaksi oksidasi dimetil benzen menggunakan ozon dalam dua tahap ini dibatasi oleh tahap desorpsi dimetil benzen terfiksasi dalam karbon aktif ke fasa cair.*

**Kata kunci :** adsorpsi-desorpsi, oksidasi, karbon aktif, ozon, dimetil benzen, reaktor berpengaduk

### Pendahuluan

Sejak beberapa tahun lalu, pengelolaan gas buang-berbahaya dari kegiatan industri seperti senyawa dimetil benzen telah menjadi perhatian dunia internasional khususnya oleh US Environmental Protection Agency karena senyawa tersebut merupakan salah satu komponen gas buang industri yang berbahaya bagi manusia dengan dampak merubah susunan DNA (Summers dkk, 1992; Heslinga, 1992; Weissmehl & Arpe, 1993). Namun, sampai saat ini belum dikembangkan teknologi bahkan penelitian untuk mengolah limbah gas tersebut.

Untuk memperoleh gambaran lebih jauh tentang konsep perancangan proses industri, penulis telah menelusuri berbagai jurnal ilmiah, namun belum ditemukan teknik proses penanganan dimetil benzen dalam fasa gas. Pintar dan Levec (1992) melakukan penelitian tentang oksidasi dalam reaktor slurry terhadap phenol, p-chlorophenol dan p-nitrophenol menggunakan oksigen dan katalis CuO, ZnO pada suhu 120-140 °C dan tekanan 5,6 bar. Pada penelitian ini, reaktan yang akan dioksidasi dilakukan dalam fasa cair. Hal yang sama dilakukan oleh Pang dkk (1991) pada oksidasi toluen memakai oksigen dan katalis CoO, NiO pada suhu 180-300 °C tekanan 80-140 bar dalam reaktor piston. Perlu disampaikan bahwa para peneliti mengaplikasikan suhu tinggi serta tekanan moderat sampai tinggi

untuk dekomposisi senyawa organik tersebut yang tentu saja memerlukan energi besar untuk tujuan itu. Berbeda dengan peneliti sebelumnya, Falcon dkk (1993) dan Guittenneau dkk (1990) menggunakan oksidator H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dalam penelitiannya. Falcon dkk mempelajari oksidasi organik volatil fasa cair dengan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dan katalis logam, oksidasi dilakukan dalam reaktor berpengaduk pada suhu 100-130 °C. Guittenneau dkk melakukan penelitian degradasi p-chloronitrobenzen fasa cair pada suhu dan tekanan rendah dalam reaktor dynamic. Penggunaan ozon untuk dekomposisi senyawa aromatik dalam fasa cair telah dipelajari oleh Hostachy dkk (1993) dan Juretic dkk (1990). Juretic dkk menggunakan reaktor "fluidized bed" tekanan 1 atm untuk oksidasi hidrokarbon polisiklik aromatik. Pengaruh kecepatan aliran, rate aliran resirkulasi, konsentrasi ozon telah dipelajari dalam penelitian ini. Dalam penelitian Hostachy dkk, reaktor "fixed-bed" digunakan untuk mempelajari oksidasi chlorophenol fasa cair.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk oksidasi gas dimetil benzen menggunakan gas ozon, namun belum mencapai hasil yang memuaskan. Hal ini disebabkan karena dalam reaksi oksidasi dimetil benzen ditemui fenomena hambatan perpindahan massa dari kedua reaktif gas dalam hal ini dimetil benzen dan ozon. Alway dkk (1999) telah melakukan penelitian oksidasi gas dimetil benzen dengan gas ozon. Diperoleh informasi bahwa dalam reaksi

<sup>\*)</sup> Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111

Tlp:031-5946240, E-mail: reaktorkimia@yahoo.com

tersebut didapatkan hambatan perpindahan massa dari kedua reaktif. Pada kondisi operasi yang dipelajari, dengan memvariasi kecepatan pengadukan, suhu reaktor, dan laju alir gas masuk ternyata hambatan perpindahan massa ozon lebih dominan dari pada dimetil benzen.

Suprpto (2001) telah mencoba mengatasi fenomena perpindahan massa reaktif dengan penggunaan jenis pengaduk berkinerja lebih baik serta penggunaan solven organik yang bisa meningkatkan kelarutan kedua reaktif. Namun, dari percobaan yang diperoleh ternyata masalah perpindahan massa dari reaktif masih belum bisa dihilangkan sepenuhnya.

Pada penelitian ini dikembangkan studi eksperimental tentang oksidasi gas dimetil benzen menggunakan gas ozon. Untuk mencapai tujuan penelitian seperti yang digariskan, maka pada penelitian ini digunakan metode kuantitatif dengan cara mengukur jumlah dimetil benzen dalam fasa gas dan fasa cair untuk memperoleh gambaran mengenai reaksi limitatif dalam sistim reaksi yang dipelajari, apakah berasal dari desorpsi dimetil benzen kedalam cairan ataukah berasal dari hambatan reaksi oksidasinya sendiri.

**Metodologi Penelitian**

Penelitian oksidasi dimetil benzen dilakukan dua tahap. Tahap pertama dilakukan adsorpsi gas dimetil benzen dalam tabung adsorpsi fixed bed yang diisi dengan karbon aktif. Kemudian, setelah karbon aktif jenuh dengan dimetil benzen maka dilanjutkan pada tahap kedua yaitu tahap desorpsi dan reaksi.

Dalam tahapan reaksi, digunakan satu unit reaktor berpengaduk mekanik yang secara detil bersama unit peratalan lainnya (Gambar 1) diuraikan berikut ini.

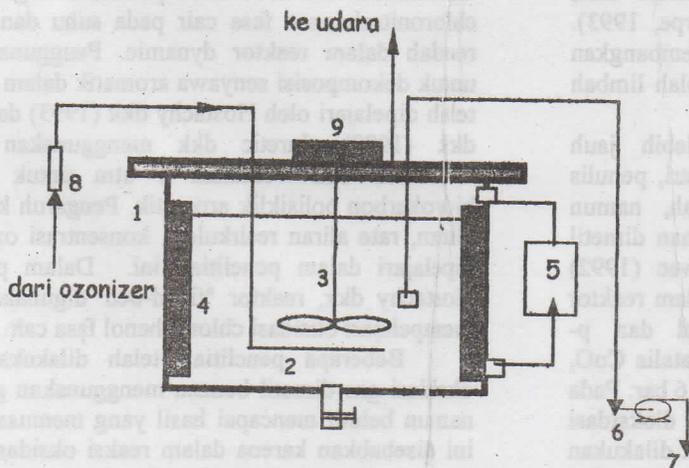
**Reaktor berpengaduk mekanis**

Reaktor berpengaduk mekanis yang digunakan berupa reaktor dari gelas berdiameter dalam 100 mm dan tinggi 250 mm. Pada bagian dasar reaktor dilengkapi dengan valve yang berfungsi untuk aliran cairan resirkulasi. Reaktor dilengkapi dengan dinding ganda, sebagai lewatan air dari bak thermostatik, berfungsi untuk menjaga stabilitas suhu reaktor. Sebuah bak yang dilengkapi thermostat dan pengatur suhu, dapat digunakan untuk mengatur dan mengontrol suhu air dari bak thermostatik, dan sebuah pompa yang menjamin terjadinya resirkulasi cairan menuju reaktor. Untuk menghindari terbentuknya vortex, reaktor dilengkapi dengan 6 buah baffel berdimensi lebar 10 mm dan panjang 120 mm diletakkan pada dinding reaktor.

Bagian atas reaktor terdiri dari bagian sistim pengadukan mekanik dengan penunjuk kecepatan pengadukan digital, sebuah pengaduk mobil 4 blades bersudut 45°. Pengadukan dapat diatur kecepatannya sampai lebih dari 1000 rpm. Pada bagian atas reaktor juga terdapat sebuah masukan gas berupa pipa stainless steel tercelup dalam reaktor untuk sarana distribusi gas (distributor/sparger) sehingga dapat mendistribusikan gas secara baik kedalam cairan, sebuah lubang keluaran gas, dan sebuah sarana pengambilan sampel cairan.

**Ozoniser**

Ozon dihasilkan dari sebuah unit ozoniser "Trailigaz Labo 76" dengan oksigen sebagai feed gas. Ozoniser dioperasikan pada 0,5 bar, laju alir air pendingin 40 liter/jam, kekuatan arus 0,4-1,4 Amper.



**Keterangan Gambar:**

- 1. Reaktor
- 2. Sparger
- 3. Pengaduk
- 4. Baffle
- 5. Bak Thermostatik
- 6. Pompa Peristaltik
- 7. Sampling Cairan
- 8. Flowmeter
- 9. Motor pengaduk

Gambar 1. Sistem Peralatan Percobaan

### Unit penghasil gas dimetil benzen (DMB Gasifier)

Untuk menghasilkan gas dimetil benzen dalam unit DMB Gasifier, udara dilewatkan kedalam tangki berisi cairan dimetil benzen. Sistem penghasil gas dimetil benzen terdiri Dua buah tangki tersusun seri, terbuat dari stainless steel berdiameter 35 mm dan tinggi 480 mm, tertutup pada bagian ujung atas. Tangki ini juga dilengkapi dengan sebuah masukan (input) dan sebuah keluaran (output) untuk udara. Udara masuk kedalam tangki pada bagian atas dan terdistribusi pada bagian bawah tangki karena adanya pipa terendam dalam cairan bagian bawah tangki, dan adanya distributor gas agar diperoleh kontak yang baik antara udara dan cairan dimetil benzen. Sebelum percobaan dilakukan, volume tertentu dari cairan dimetil benzen dimasukkan kedalam kedua tangki. Cairan dimetil benzen yang digunakan mempunyai kemurnian 99,9% dari Aldrich Chimie. DMB Gasifier dilengkapi juga dengan bak thermostatik yang terdiri dari sebuah termometer, sebuah pengatur suhu, sebuah resistance listrik dan sebuah penghantar panas. Dua buah tangki berisi cairan dimetil benzen dimasukkan kedalam bak thermostatik ini agar diperoleh suhu homogen. Pada Unit ini terdapat sirkuit aliran udara yang dilengkapi dengan flowmeter brooks Sho-rate tipe 6R-6-25 dan sebuah valve pengatur berkemampuan mengatur laju alir udara sampai laju alir sampai 150 liter/jam. Kalibrasi flowmeter ini telah dilakukan dengan *bubble soap meter*.

### Prosedur Percobaan

#### Adsorpsi dimetil benzen pada karbon aktif

Adsorpsi dimetil benzen menggunakan karbon aktif dilakukan pada suhu ambien. Prosedur yang dilakukan adalah sebagai berikut. Mengalirkan udara mengandung dimetil benzen kedalam tabung gelas terisi karbon aktif. Karbon aktif berdiameter antara 20-71  $\mu\text{m}$ . Padatan karbon aktif dengan massa 5 g ditempatkan didalam sebuah tabung gelas berbentuk silinder berdiameter dalam 20 mm dan tinggi 170 mm yang bagian dasarnya berpori sehingga karbon aktif tertahan. Sistem adsorpsi yang dilakukan adalah adsorpsi dimetil benzen dalam tabung fixed bed. Setelah itu, udara mengandung dimetil benzen dimasukkan pada bagian atas tabung fixed bed menuju ke bagian bawah. Konsentrasi dimetil benzen masuk tabung fixed bed dioperasikan sebesar 0,0276 g/l. Untuk mengikuti adsorpsi dimetil benzen oleh karbon aktif, maka dilakukan analisa dimetil benzene pada kondisi masuk dan keluar tabung fixed bed. Aliran udara mengandung dimetil benzen kedalam tabung dihentikan ketika konsentrasi dimetil benzene pada gas masuk dan keluar tabung fixed bed sudah sama, hal ini berarti bahwa karbon aktif telah jenuh dengan dimetil benzen. Analisa dimetil benzen dilakukan dengan kromatografi gas.

### Reaksi oksidasi dalam reaktor berpengaduk

Pada tahap ini, oksidasi dilakukan dalam sebuah reaktor berpengaduk mekanis dimana fasa aqueous berada dalam sistem tertutup (batch). Reaktor diisi dengan 1 liter air distilasi. Sistem pengadukan dan suhu diatur pada besaran tertentu yang dikehendaki. Disisi lain, diatur aliran oksigen murni dari unit ozoniser dengan laju tertentu. Ozoniser mulai dihidupkan, aliran ozon ini tidak dimasukkan kedalam reaktor sebelum diperoleh kondisi stabil konsentrasi ozon dalam gas. Jika suhu reaktor, konsentrasi ozon, dan putaran pengaduk telah dicapai pada kondisi yang diinginkan, aliran ozon mulai dimasukkan kedalam reaktor dan mulai saat itu reaksi ozonisasi telah dimulai. Konsentrasi dimetil benzen dan hasil reaksi dalam fasa cair didalam reaktor dianalisa secara teratur menggunakan kromatografi gas untuk diamati perubahan-perubahan yang terjadi pada reaksi. Dua jenis prosedur telah dilakukan:

#### Prosedur I

Karbon aktif dimasukkan/disuspensikan kedalam cairan, kemudian ditunggu kesetimbangan desorpsi DMB tercapai dari karbon aktif ke dalam cairan. Setelah kesetimbangan desorpsi tercapai, maka reaksi ozonisasi dimulai dengan cara mengalirkan ozon kedalam reaktor.

#### Prosedur II

Padatan karbon aktif dan ozon dimasukkan secara bersama-sama kedalam reaktor. Pada prosedur II ini, pengaliran ozon kedalam reaktor (reaksi ozonisasi) tidak menunggu adanya kesetimbangan desorpsi DMB tercapai. Hasil pengamatan kedua prosedur tersebut diberikan berikut ini.

#### Kondisi operasi percobaan:

Suhu reaktor	:	25°C
Tekanan	:	atmosferik
Putaran pengaduk	:	1500 rpm
Laju alir gas total	:	63 liter/jam

#### Metoda Analisa

Pada penelitian ini diterapkan dua jenis analisa: *Analisa fasa gas* dan *Analisa fasa liquid*. Analisa fasa gas didasarkan pada pengukuran konsentrasi dimetil benzen pada kondisi masuk dan keluar tabung fixed bed. Analisa fasa gas juga dilakukan untuk ozon. Analisa fasa liquid dimaksudkan untuk melacak perubahan konsentrasi dimetil benzen dan hasil-hasil reaksi dalam fasa cair.

#### Analisa fasa gas

##### 1. Analisa Dimetil Benzen

Untuk mengetahui jumlah dimetil benzen (DMB) dalam fasa gas digunakan sebuah kromatografi fasa gas (GC) Varian model 940 yang dilengkapi dengan detektor Flame Ionisation Detector

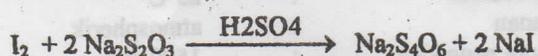
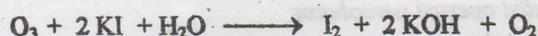
(FID) dan sebuah Kolom Porapak Q. Kondisi operasi analisa GC diberikan pada tabel 1 berikut. Sampling gas dilakukan dengan bantuan sebuah spuit berkapasitas maksimum 1 ml kemudian diinjeksikan kedalam GC untuk dianalisa. Kalibrasi GC dilakukan dalam kisaran konsentrasi yang ada dalam percobaan.

Tabel 1. Kondisi operasi analisa dimetil benzen fasa gas dengan GC varian model 940

Detektor jenis suhu	FID 220 <sup>0</sup> C
Injektor suhu	200 <sup>0</sup> C
Kolom jenis panjang suhu	Porapak Q 80/100 1,5 meter 200 <sup>0</sup> C
Laju alir gas N2 H2 udara	40 ml/menit 35 ml/menit 500 ml/menit

2. Analisa Ozon

Analisa Ozon dilakukan dengan metoda iodometri. Ozon diabsorpsi dengan larutan Kalsium Iodida pada pH netral atau basa. Jika absorpsi ozon selesai dilakukan, larutan tersebut kemudian diasamkan, dan yodium yang dibebaskan kemudian dititrasi dengan natrium thiosulfat. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Volume gas yang akan dianalisa diukur menggunakan pengukur laju alir gas. Volume tersebut dihitung pada kondisi normal dan udara kering (umumnya 760 mmHg, 0<sup>0</sup>C), sebut saja Vg sebagai volume terkoreksi. Konsentrasi ozon dihitung dengan rumus berikut :

$$C_{O_3} = \frac{N_{thio} V_{thio}}{V_g} \times 24 \text{ (mg/l)}$$

Dengan N<sub>thio</sub> = normalitas natrium thiosulfat  
 V<sub>thio</sub> = volume natrium thiosulfat (ml)  
 V<sub>g</sub> = volume gas akan dianalisa (liter)

Analisa fasa cair

Pengambilan contoh dalam fasa cair dilakukan dengan bantuan pompa mikro. Jumlah

contoh sebanyak 5 mikroliter kemudian dianalisa dengan kromatografi gas shimadzu GC -14A; kondisi operasi GC-14A untuk analisa fase cair diberikan dalam Tabel 2 berikut ini. Pada saat fase liquid hanya mengandung dimetil benzen, analisa dilakukan dengan cara isothermis, suhu kolom ditetapkan pada 200<sup>0</sup>C. Sebaliknya untuk analisa fasa liquid cairan hasil reaksi, analisa dilakukan dengan pemogramman suhu kolom sebagai berikut: isotherm 150<sup>0</sup>C selama 32 menit, kemudian naikan 150<sup>0</sup>C menjadi 200<sup>0</sup>C dengan kecepatan suhu 10<sup>0</sup>C/menit, akhir analisa : 200<sup>0</sup>C

Tabel 2. Kondisi operasi analisa fase cair dengan GC Shimadzu GC -14A.

Detektor, jenis suhu	FID 220 <sup>0</sup> C
Injektor, Suhu	200 <sup>0</sup> C
Kolom, jenis panjang suhu	Porapak Q 80/100 2,5 meter a). 200 <sup>0</sup> C (jika hanya ada DMB) b). 150 <sup>0</sup> C (32 mn) 150 - 200 <sup>0</sup> C (10 <sup>0</sup> C/mn)
Laju alir gas, N2 H2 udara	40 ml/menit 35 ml/menit 500 ml/menit

Hasil dan Pembahasan

Kapasitas adsorpsi karbon aktif

Data hasil pengamatan percobaan adalah sebagai berikut: kondisi jenuh karbon aktif dengan dimetil benzen dicapai pada saat 5 jam. Setelah diadakan penimbangan, diperoleh massa karbon aktif yang telah jenuh dengan dimetil benzen adalah seberat 6,65 g, sedangkan massa karbon yang digunakan semula sebesar 5 g. Dari data tersebut didapat bahwa kapasitas adsorpsi karbon aktif terhadap dimetil benzen adalah sebesar 0,33 g/g karbon aktif.

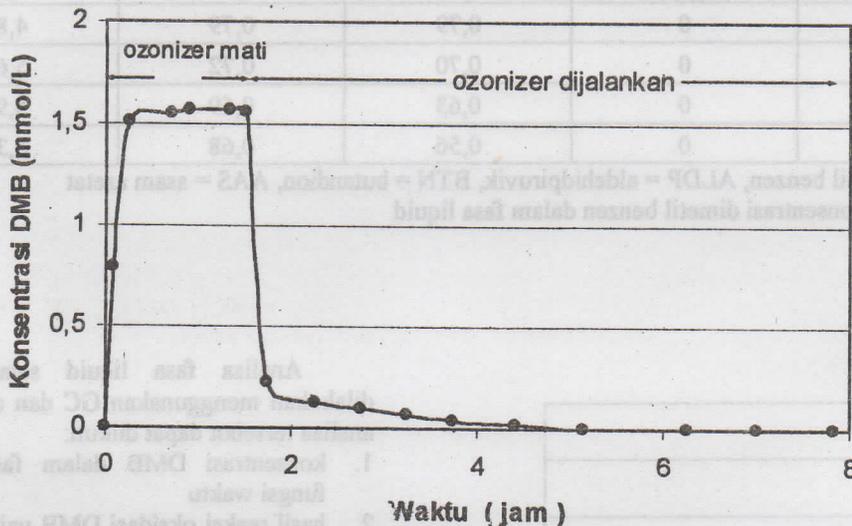
Tahap oksidasi DMB teradsorpsi dengan ozon

Dalam hal prosedur I

Data hasil penelitian diberikan pada Tabel 3. Dalam Gambar 2 ditampilkan grafik perubahan konsentrasi DMB dalam fasa liquid terhadap waktu.

Tabel 3. Perubahan Konsentrasi DMB Dalam Fasa Liquid (Studi Adsorpsi Dilanjutkan Dengan Reaksi, Setelah Dicapai Kesetimbangan Desorpsi).

Konsentrasi DMB Dalam Fasa Liquid (mmol/l)			
Waktu (jam)	Ozoniser Mati	Waktu (jam)	Ozoniser Dijalankan
0	0	0,250	0,230
0,083	0,79	0,750	0,130
0,250	1,51	1,250	0,100
0,700	1,55	1,750	0,067
0,900	1,57	2,250	0,040
1,330	1,57	2,917	0,020
1,500	1,56	3,630	0
		4,750	0
		5,500	0
		6,330	0



Gambar 2. Konsentrasi DMB Dalam Fasa Liquid Sebagai Fungsi Waktu (Studi Terhadap Desorpsi DMB Dilanjutkan dengan Reaksi Ozonisasi)

Dalam Gambar 2 tersebut ditunjukkan perubahan konsentrasi DMB dalam fasa liquid pada tahapan proses desorpsi, dan perubahan konsentrasi DMB dalam fasa liquid pada tahapan reaksi ozonisasi. Pada grafik tersebut terlihat bahwa desorpsi DMB terjadi relatif cepat, hal ini terbukti bahwa pada permulaan 5 menit, konsentrasi DMB dalam fasa liquid telah mencapai 50% terhadap konsentrasi kesetimbangan. Konsentrasi kesetimbangan sebesar 1,57 mmol/liter dicapai pada saat sekitar 40 menit. Volume air dalam reaktor sebesar 1 liter, sehingga massa DMB dalam fasa liquid adalah sebesar 0,166 g. Dari perhitungan diatas bisa dihitung pula massa DMB tersisa dalam karbon

aktif yaitu sebesar 1,484 g. Dari pengamatan tersebut diperoleh informasi bahwa regenerasi dari karbon aktif tidak akan efektif jika reaksi oksidasi DMB dalam fasa liquid lebih cepat daripada tahapan desorpsi.

Pada saat dimasukkan ozon kedalam reaktor, diamati adanya penurunan jumlah DMB secara cepat dan didapatkan konsentrasi DMB selalu tetap pada harga sekitar 0,2 mmol/liter, sedang harga kesetimbangan dalam air seperti disebutkan diatas adalah sebesar 1,57 mmol/liter. Oleh sebab itu, dalam hal ini dapat dikatakan bahwa reaksi oksidasi DMB menggunakan ozon dibatasi oleh tahapan desorpsi dari DMB kedalam cairan.

**Dalam hal prosedur II**

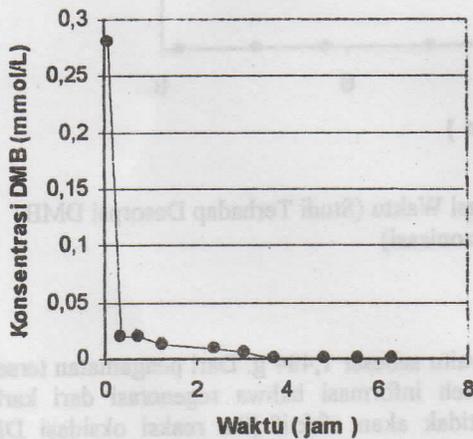
Data hasil pengamatan untuk prosedur II diberikan pada Tabel 4, sedangkan dalam Gambar 3 ditampilkan variasi konsentrasi DMB dalam fasa liquid sebagai fungsi waktu.

Dalam fasa liquid, selain analisa terhadap dimetil benzen, analisa terhadap aldehid piruvik, butandion dan asam asetat sebagai hasil reaksi juga telah dilakukan.

Tabel 4. Variasi Konsentrasi DMB dan Hasil Reaksi Dalam Fasa Liquid (Studi Desorpsi dan Reaksi, dilakukan Bersama-sama)

Waktu (jam)	C DMB,L (mmol/l)	C ALDP (mmol/l)	C BTN (mmol/l)	C AAS (mmol/l)
0,083	0,28	0	0	0
0,330	0,019	0,21	0,26	0
0,750	0,019	0,44	0,46	0
1,280	0,013	0,58	0,56	1,51
2,420	0,0094	0,70	0,72	2,84
3,083	0,0047	0,70	0,74	3,80
3,750	0	0,79	0,79	4,87
4,830	0	0,70	0,72	5,62
5,583	0	0,63	0,69	5,96
6,333	0	0,56	0,68	6,35

DMB = dimetil benzen, ALDP = aldehidpiruvik, BTN = butandion, AAS = asam asetat  
 C DMB,L = konsentrasi dimetil benzen dalam fasa liquid



Gambar 3. Konsentrasi Dimetil Benzen Dalam Fasa Liquid (Studi Desorpsi DMB dan Reaksi Secara Serentak)

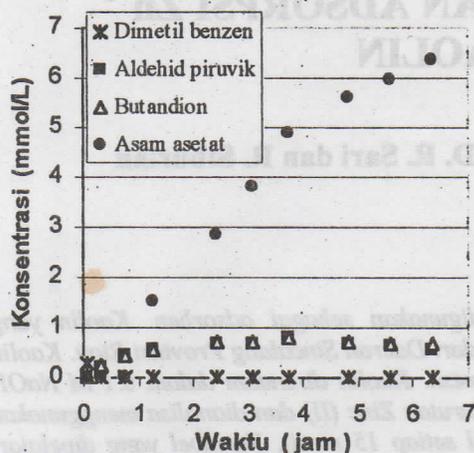
Dari grafik tersebut terlihat bahwa konsentrasi DMB mempunyai harga konstan pada 0,28 mmol/liter. Hal ini dapat menerangkan fenomena yang terjadi bahwa reaksi oksidasi DMB berlangsung lebih cepat dibandingkan tahapan desorpsinya.

Analisa fasa liquid selama reaksi telah dilakukan menggunakan GC dan detektor FID. Dari analisa tersebut dapat diikuti:

1. konsentrasi DMB dalam fasa liquid sebagai fungsi waktu
2. hasil reaksi oksidasi DMB yaitu aldehid piruvik, butandion, dan asam asetat.

Hasil-hasil pengamatan dapat dilihat pada Tabel 4, kemudian ditampilkan dalam grafik seperti tampak dalam Gambar 4.

Dari Gambar 4 dapat dikatakan bahwa reaksi ozonisasi terhadap dimetil benzene berjalan cepat bila dibandingkan dengan reaksi ozonisasi terhadap produk utama reaksi. Menurut Al Hayek dkk (1989), produk utama reaksi ini adalah produk reaksi primer berupa aldehid piruvik dan butandion, sedang asam asetat merupakan produk reaksi sekunder. Dalam penelitian ini, produk reaksi primer mempunyai konsentrasi berkisar pada harga 0,8 mmol/l walaupun reaksi telah berlangsung lebih dari 6 jam. Hal ini menunjukkan bahwa pemutusan siklus aromatik berjalan cepat, namun kinetika reaksi lainnya terjadi lebih lambat.



Gambar 4. Perubahan Konsentrasi Dimetil Benzen dan Hasil Reaksi Dalam Fasa Liquid

Menurut Al-Hayek dkk (1989), asam asetat adalah senyawa yang tidak teroksidasi oleh ozon pada pH asam. Sehingga, pada kondisi operasi penelitian ini, asam asetat kelihatannya tidak terdekomposisi oleh ozon, sehingga jumlahnya bertambah dari waktu ke waktu.

**Kesimpulan**

Hasil penelitian dapat memberikan kesimpulan bahwa reaksi oksidasi dimetil benzen menggunakan ozon dibatasi oleh tahap desorpsi dimetil benzen kedalam fasa cair, dan reaksi oksidasi dimetil benzen merupakan reaksi cepat bila dibandingkan dengan tahap desorpsinya.

Penelitian oksidasi yang dilakukan dalam dua tahap ini dapat diterapkan untuk mengolah polutan organik sangat berbahaya seperti dimetil benzen yang biasanya berada dalam gas buang industri pada industri terkait. Tahap pertama adalah fiksasi terhadap polutan dengan cara adsorpsi menggunakan padatan porous karbon aktif. Tahap kedua adalah desorpsi yang dilanjutkan reaksi oksidasi dengan ozon terhadap senyawa dimetil benzen.

**Saran dan Perspektif**

Untuk kepentingan industri di masa mendatang, dimana pengolahan limbah gas buang industri mengandung senyawa organik volatil seperti dimetil benzen menjadi sangat penting untuk dilakukan, sehingga perlu dipikirkan dan dikembangkan penggunaan suatu teknologi gabungan yang menerapkan tahapan adsorpsi dalam karbon aktif dan dilanjutkan reaksi oksidasi dalam sistem aqueous serta regenerasi karbon aktif.

**Daftar Pustaka**

Al Hayek. N., Legube.B. and Dore.M., (1989), "Ozonation Catalytique (FeIII/Al2O3) du Phenol et de ses Produits d'ozonation", *Envir. Tech. Letters*, 10, 415-426.

Alway. A., Suprpto, dan Hartanto. J., (1999), "Rekayasa Dekomposisi Dimetil Benzen Dengan Ozon dalam Reaktor Bifase Gas-Cair Berpengaduk", *Laporan Penelitian Lemlit-ITS*, ADB Loan No.1253-INO.

Falcon.M., Foussard.J.N., Debellefontaine.H., (1993), "Oxydation des matieres organiques en phase aqueuse par le peroxydr d'hydrogen a temperatute elevee", *Recent Progre en Genie des Procedes*, 7 (30), 395-400.

Guittenneau.S., J. de Laat, Dore.M., (1990), "Kinetic Study of the Photodecomposition rate of aqueous Ozone by UV irradiation at 253,7 nm", *Environ. Technol.*, 11, 477-490.

Heslinga. D.C., (1992), "Solvent Emission from Industrial and Private Use" in *Environment and Quality of Life*, Final Report, Directorat-General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection. Commission of European Communities. EUR 13570 EN.

Hostachy.J.C., Coste.C. and Lachenal. D., (1993), "Mise au point d'un procede de destruction par l'ozone des composes organochlores (AOX) presents dans les effluents papetiers", *Recent Progre en Genie des Procedes*, 7 (30), 375-388.

Juretic, A. A., Cvitas. T. and Klasinc. L., (1990), "Heterogenous Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Degradation with ozone on Silica Gel Carrier", *Environ.Sci.Technol.*, 24 (1), 62-66.

Pang. T. H., Minghua Ye, Knopf F. C. and Dooley. K. M., (1991), "Catalytic Oxidation of Model Waste Aromatic Hydrocarbon in Dense Fluid", *Chem.Eng.Comm.*, 1, 85-97.

Pintar. A. and Levec. J., (1992), "Catalytic liquid-Phase Oxidation of Refractory Organics in Waste Water", *Chem. Eng.Sci.*, 47 (9-11), 2395-2400.

Summers, J. C., Sawyer. J. E, and Frost. A.C. (1992), "The 1990 Clean Air Act and Catalytic Emission Control Technology for Stationary Sources", *ACS Symposium Series, Am. Chem. Soc*, Washington DC.

Suprpto, (2001), "Pengaruh Peningkatan Perpindahan Massa Reaktan Pada Reaksi Gas-Cair Dekomposisi Dimetil Benzen", *Laporan Penelitian SPP/DPP*, ITS.

Wiessermel. K. and Arpe. H. J., (1993), *Industrial Organic Chemistry*. 2<sup>nd</sup> revised and extended ed., translated by Lindley.C.R., Weinheim.