

## PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF CAIR YANG MENGANDUNG DETERJEN DENGAN CARA OZONASI DIKUTI PENJERAPAN

Noor Anis Kundari, Emma Anjariyanti, Suryo Rantjono

Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir –Badan Tenaga Nuklir Nasional  
noor\_anis\_kundari@yahoo.co.id

### ABSTRAK

**PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF CAIR YANG MENGANDUNG DETERJEN DENGAN OZON DIKUTI PENJERAPAN.** Ozon merupakan oksidator kuat untuk mendegradasi senyawa organik sedangkan zeolit mempunyai karakter sebagai penjerap. Kombinasi dari ke dua proses mempunyai potensi untuk mengolah limbah radioaktif cair yang mengandung deterjen. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan efektivitas pengolahan limbah radioaktif cair dengan metode ozonasi diikuti penjerapan dengan menghitung nilai faktor dekontaminasi (FD) dan efisiensi pengolahan (EP). Selain itu juga memperoleh persamaan kecepatan penurunan COD pada proses penjerapan setelah proses ozonasi. Penelitian dilakukan secara batch dengan variabel waktu. Laju produksi ozon mesin ozonizer yang digunakan pada penelitian ini adalah  $1,0175 \times 10^{-5}$  g O<sub>3</sub>/detik. Hasil penelitian menunjukkan nilai COD dan TS turun seiring dengan semakin lamanya proses ozonasi, reaksi berlangsung pada orde satu dengan persamaan kecepatan penurunan COD:  $-r_{COD} = -\frac{d[COD]}{dt} = 0,034 [COD]^1$ , nilai FD dan EP dari proses penjerapan sebesar 145,773 dan 99,314%.

Kata kunci: ozon, zeolit, limbah radioaktif, deterjen, kecepatan reaksi.

### ABSTRACT

**THE TREATMENT OF LIQUID RADIOACTIVE WASTE CONTAINING DETERGENT USING OZONE FOLLOWED BY SORPTION** Ozone is a strong oxidizer to degrade organic compounds and zeolite has a good characters character as a sorbent. The combination of the two processes has a potential to treat liquid radioactive wastes containing detergents. The purpose of this study was to determine whether the method of ozonation followed by sorption was effective for radioactive wastes containing detergents treatment by determine the FD and EP, and to formulate the rate equations of COD decreasing on ozonation process. The study was conducted in batch mode by variation of time. Ozone production rate of Ozonizer machine used in this study is  $1,0175 \times 10^{-5}$  g O<sub>3</sub>/second. The results showed that the longer the ozonation process the lower concentration of both COD and TS, reaction took place at first order to COD with reduction rate equation:  $-r_{COD} = -\frac{d[COD]}{dt} = 0.034 [COD]^1$ , while FD and EP values were 145.773 and 99.314% respectively.

Keywords: ozone, zeolite, radioactive waste, detergent, reaction rate

### PENDAHULUAN

Limbah radioaktif yang mengandung deterjen biasanya berasal dari cucian pakaian dan perlengkapan kerja radiasi di instalasi nuklir. Pakaian dan perlengkapan kerja yang dimaksud bisa berupa masker gas, pakaian, sarung tangan, topi, "shoecover", dan lain-lain yang apabila kotor dan terkontaminasi harus didekontaminasi dengan menggunakan sabun

atau deterjen atau bahan pendekontaminasi yang lain<sup>[1]</sup>.

Sebagai salah satu contoh adalah operasi pencucian pakaian kerja radiasi menggunakan deterjen Persil yang dilakukan di Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif-Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (IPLR-PTLR) menimbulkan 133,7 m<sup>3</sup> limbah cair per tahun yang mengandung deterjen dengan

konsentrasi maksimum 1,496 g/L yang memiliki nilai COD (*Chemical Oxygen Demand*) 338 ppm, BOD (*Biological Oxygen Demand*) 189 ppm dan aktivitas minimal  $10^{-6}$  Ci/m<sup>3</sup>. Unsur radioaktif utama dalam limbah adalah Cs-137 yang mempunyai waktu paruh 30 tahun. Detergen Persil digunakan karena sedikit menghasilkan buih sehingga dampak buruk pada proses evaporasi dapat dikurangi.

Evaporasi limbah detergen menimbulkan buih, sehingga untuk mencegah distilat terkontaminasi unsur radioaktif dibutuhkan bahan anti buih. Terjadinya buih pada proses evaporasi akan menyebabkan kenaikan jumlah cairan yang terlepas bersama uap dan lebih buruk lagi apabila terjadi "carry over" zat radioaktif ke distilat sehingga menurunkan nilai Faktor Dekontaminasi (FD). Biaya operasi evaporasi lebih mahal karena diperlukan uap air pemanas yang dibangkitkan dari pembakaran minyak dalam boiler, memerlukan bahan anti buih, dan asam nitrat penghilang kerak<sup>[2,3]</sup>.

Teknologi ozonasi dan penjerapan menggunakan zeolit merupakan alternatif dalam teknologi pengolahan limbah. Ozon sebagai oksidator yang paling kuat setelah radikal hidroksida (OH<sup>•</sup>), dapat dimanfaatkan dengan baik untuk mengoksidasi logam-logam berat (terlarut dalam air), mendegradasi senyawa-senyawa organik (termasuk juga senyawa organo-klorida dan aromatik), menghilangkan warna dan bau, ataupun rasa<sup>[4]</sup>. Struktur zeolit yang berongga atau berpori sedemikian rupa sehingga berpotensi sebagai penukar kation, penjerap, dan penyaring molekul serta sebagai katalis<sup>[5]</sup>. Limbah radioaktif yang mengandung senyawa organik seperti deterjen persil yaitu deterjen yang mengandung rumus senyawa CH<sub>3</sub>-(CH<sub>2</sub>)<sub>10</sub>-CH<sub>2</sub>-OSO<sub>3</sub>Na atau Na<sup>+</sup>R<sup>+</sup>SO<sub>3</sub> dapat didegradasi menggunakan ozon, dan unsur radioaktif di dalam limbah radioaktif tersebut dapat dipisahkan dengan penjerapan menggunakan zeolit. Di samping itu, beberapa kelebihan dari teknologi ini dapat disebutkan di antaranya: instalasi pengolahannya tidak membutuhkan tempat yang luas, proses pengolahan yang relatif cepat, tidak memerlukan pemakaian bahan kimia lain, efektifitas dan efisiensi yang tinggi dalam penguraian berbagai senyawa organik<sup>[6]</sup>.

Berdasarkan uraian di atas diperlukan proses alternatif lain selain proses evaporasi

(yang telah ada) untuk pengolahan limbah radioaktif cair yang mengandung deterjen. Proses ozonasi terhadap limbah radioaktif cair yang mengandung deterjen persil yang di dalamnya terdapat Cs-137 diharapkan dapat menurunkan COD dan TS, dan mendapatkan persamaan kinetika penurunan COD, dilanjutkan penjerapan dengan zeolit yang telah diaktivasi diharapkan mampu menurunkan aktivitas dari Cs-137 (FD dan EP). Dengan demikian zeolit yang telah jenuh dapat langsung diimmobilisasi dan air limbah hasil olahan yang telah memenuhi baku mutu dapat dibuang ke lingkungan.

Zat organik dalam limbah radioaktif cair yang mengandung deterjen dapat didegradasi menggunakan ozon menurut Persamaan (1):



Analisis data dengan metode integral dilakukan dengan cara menebak persamaan kecepatan dengan orde tertentu, lalu persamaan tersebut diintegrasikan. Tebakan benar jika data diplotkan dan diperoleh garis lurus sesuai dengan persamaan yang telah diintegrasikan. Nilai k adalah slope dari plot garis lurus tersebut. Tebakan dilakukan pada orde 0, orde 1, dan orde 2, hasil integrasi dapat dilihat pada Persamaan (2) sampai (11).

$$-r_A = -\frac{dCA}{dt} = k CA^n \quad (2)$$

dengan:

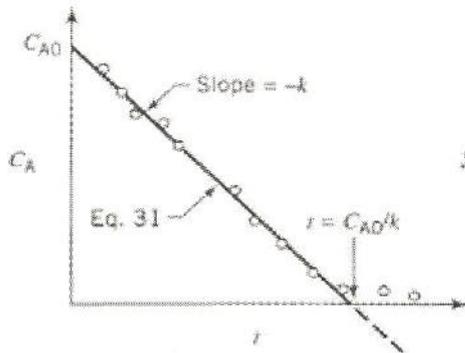
- r<sub>A</sub> = kecepatan penurunan COD
- CA = konsentrasi COD
- t = waktu
- k = konstanta kecepatan reaksi
- n = orde reaksi

Jika reaksi orde 0 maka:

$$-r_A = -\frac{dCA}{dt} = kCA^0 \quad (3)$$

$$dCA = -k dt \quad (4)$$

$$CA_0 - CA = kt \quad (5)$$



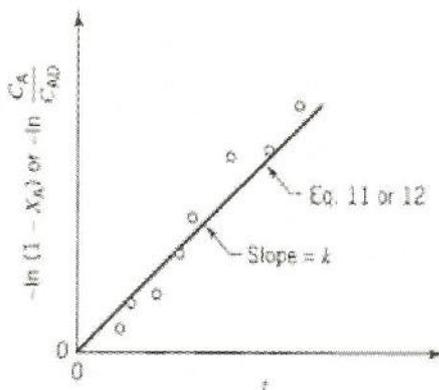
Gambar 1. Pengujian untuk Persamaan Kecepatan Orde 0

Jika reaksi mengikuti orde 1 maka:

$$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} = kC_A \quad (6)$$

$$-\int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{dC_A}{C_A} = k \int_0^t dt \quad (7)$$

$$\ln \frac{C_{A0}}{C_A} = kt \quad (8)$$



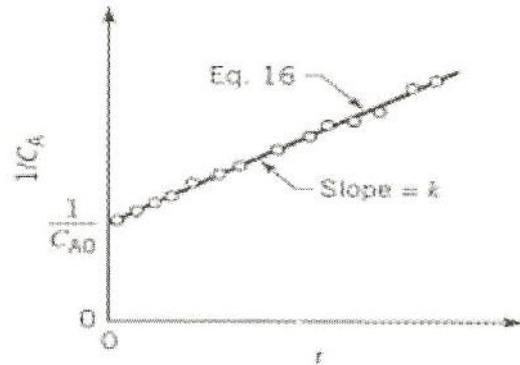
Gambar 2. Pengujian untuk Reaksi Orde 1

Jika reaksi orde 2 maka

$$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} = kC_A^2 \quad (9)$$

$$-\int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{dC_A}{C_A^2} = k \int_0^t dt \quad (10)$$

$$\frac{1}{C_A} = \frac{1}{C_{A0}} + kt \quad (11)$$



Gambar 3. Grafik Pengujian untuk Reaksi Orde 2

Unsur radioaktif yang terlarut dalam limbah cair organik (Cs-137) dapat dijerap menggunakan zeolit yang telah diaktivasi menurut persamaan (12) dan (13).



Keefektifan pengolahan limbah limbah radioaktif cair yang mengandung deterjen dengan ozon diikuti dengan penjerapan dapat dievaluasi dengan menghitung faktor dekontaminasi (FD) dan efisiensi pemisahan (EP) dengan menggunakan Persamaan (14) dan (15).

$$\text{FD} = \frac{C_0}{C_t} \quad (14)$$

$$\text{EP} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \quad (15)$$

dengan :

FD = Faktor Dekontaminasi

EP = Efisiensi Pemisahan

C<sub>0</sub> = konsentrasi awal sebelum penjerapan

C<sub>t</sub> = konsentrasi akhir setelah penjerapan

## METODE

### Bahan

Bahan-bahan yang digunakan adalah deterjen Persil, Rinso, CsNO<sub>3</sub>, Zeolit, IICL 1N. Bahan untuk standarisasi ozon meliputi Iodium (I<sub>2</sub>), Kalium Iodida (KI), K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, dan Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>. Bahan untuk analisis COD adalah larutan K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, Ag<sub>2</sub>(SO)<sub>4</sub> dalam H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Limbah simulasi dibuat dengan konsentrasi deterjen Persil 1,496 g/L dengan kandungan Cesium 51,0204 ppm.

Tabel 1. Data analisis XRD terhadap zeolit

2θ	d (Å)	Intensitas	Jenis mineral
10,0820	8,76650	43	Y
12,3800	7,14393	17	Y
22,4211	3,96214	100	Mordenit
23,8000	3,73560	32	Y
26,1400	3,40628	47	Mordenit
27,0200	3,29730	36	Mordenit
27,9966	3,18446	64	clinoptilolite
30,2920	2,94818	31	ANA Ga
31,2600	2,85906	11	Mordenit
35,0000	2,56164	7	Mordenit

**Alat**

Mesin Ozonizer 100 Watt. Peralatan laboratorium meliputi peralatan gelas antaralain: gelas beker, corong, cawan porselin, labu ukur, erlenmeyer, pipet ukur, gelas ukur, *ballpet*, sendok sungu, spatula, *stopwatch*, sumbat tutup. Serta alat lain yang digunakan adalah *furnace*, *screening*, oven, neraca analitik. Alat uji yang digunakan meliputi seperangkat alat Spektrofotometer UV-Vis untuk keperluan standarisasi laju ozon, XRD untuk mengetahui jenis zeolit alam dan AAS untuk analisis kuantitatif unsur Cesium.

**Cara Kerja**

Limbah cair yang mengandung detergen Persil dengan kadar 1,496 g/l dan Cs 51,0204 diozonasi dengan waktu 2, 4, 6, 14,5, dan 16,1 jam. Proses ozonasi diulangi dengan konsentrasi yang sama menggunakan Rinso selama 1 jam. Setelah proses ozonasi limbah dijerap menggunakan zeolit selama 24 jam. Sebelum dan sesudah ozonasi dilakukan analisis COD, TS, dan pH. Setelah proses penjerapan dilakukan analisis Cs dengan AAS.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil analisis XRD terhadap zeolit yang digunakan diperoleh data yang disajikan pada Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1 dapat disimpulkan bahwa zeolit yang digunakan berjenis modernit.

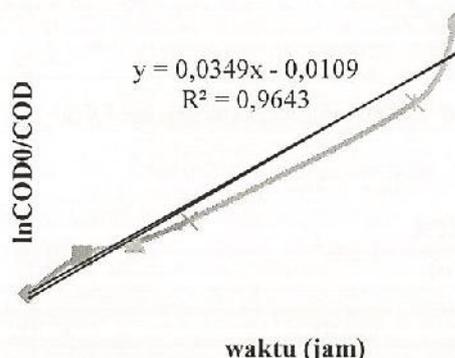
Ozonasi dengan variasi waktu antara 2-16 jam menghasilkan hubungan yang disajikan pada Tabel 2 .

Tabel 2. Data variasi ozonasi dengan waktu

Waktu ozonasi (jam)	COD (ppm)	TS (ppm)	pH
0	499,019	1212	9
2	458,481	1180	8
4	445,019	1168	8
6	423,478	1132	7
14,5	323,855	1072	6
16,1	270,005	1046	6

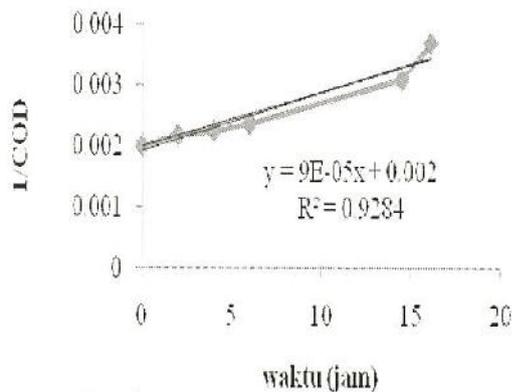
Berdasarkan Tabel 2 dapat dinyatakan bahwa jika ozon diasukkan ke dalam air maka ozon bereaksi dengan air ataupun dengan komponen yang ada dalam air limbah secara langsung ataupun tidak langsung dengan membentuk radikal OH•. Zat-zat organik dalam limbah cair yang berasal dari senyawa detergen akan teroksidasi dan terhidrolisis menjadi senyawa lebih sederhana yang mengakibatkan penurunan nilai COD dan TS. Ssenyawa sederhana akan teroksidasi lagi, yang jika proses oksidasi sempurna akan dihasilkan karbon dioksida dan air. Oleh karena itu nilai pH juga turun.

Untuk merumuskan kecepatan penurunan COD, berdasarkan data pada Tabel 2 dibuat hubungan menggunakan Persamaan (8) jika reaksi orde 1 yang menghasilkan Gambar 4 dan menggunakan Persamaan (11) jika dianggap reaksi orde 2. Pemilihan persamaan didasarkan pada nilai R<sup>2</sup> yang mendekati nilai 1 adalah yang sesuai.



Gambar 4. Pengujian Reaksi Orde 1

Jika diperhatikan Gambar 5 dilihat dari nilai R<sup>2</sup> dapat disimpulkan bahwa orde reaksi penurunan COD pada limbah ini adalah orde 1, dengan konstanta kecepatan reaksi sebesar 0,034 jam<sup>-1</sup>. Jadi persamaan umum untuk penurunan COD dalam limbah yang mengandung detergen Persil dirumuskan dengan Persamaan (16).



Gambar 5. Pengujian Reaksi Orde 2

$$-r_{\text{COD}} = -\frac{d[\text{COD}]}{dt} = 0,034[\text{COD}]^1 \quad (16)$$

Berdasarkan nilai  $k=0,034\text{jam}^{-1}$  dapat dikatakan bahwa nilai ini relatif kecil atau penurunan COD kurang cepat. Hal ini disebabkan oleh detergen Persil mengandung Zeolit sekitar 15-30% yang tidak akan terdegradasi oleh Ozon. Berdasarkan alasan pemilihan detergen Persil adalah untuk mengurangi dampak buih pada proses evaporasi, penelitian dilanjutkan dengan mengganti detergen menjadi detergen biasa yang harganya jauh lebih murah (Rinso Anti Noda).

Berikut di bawah ini adalah data ozononasi dengan menggunakan Rinso anti noda sebagai data perbandingan.

Tabel 3. Data Ozonasi Rinso dengan Waktu 1 Jam Konsentrasi Awal 1,496 g/L

Sebelum ozonasi	Sesudah ozonasi
COD : 440,019 ppm	COD : 94,992 ppm
TS : 1308 ppm	TS : 796 ppm
pH : 9	pH : 6

Konsentrasi Rinso dibuat sama dengan dengan detergen Persil yang digunakan sebagai limbah simulasi dan sama-sama mengandung 51 ppm Cesium. Dengan waktu ozonasi 1 jam penurunan COD dan TS sangat signifikan. Jika degradasi limbah simulasi dengan Rinso ini diasumsikan reaksi orde satu, maka konstanta kecepatan reaksi  $k$  untuk Rinso  $1,5443\text{jam}^{-1}$ , untuk detergen Persil  $0,034\text{jam}^{-1}$  atau  $k$  untuk degradasi limbah simulasi dengan detergen Rinso 45 kali lebih besar dari pada  $k$  untuk limbah simulasi dengan detergen Persil. Berdasarkan hasil tersebut dimungkinkan

bahwa komposisi deterjen Persil sangat sulit terdegradasi dengan ozonasi. Dilihat dari komposisi deterjen Persil komposisi terbesar adalah zeolit sebesar 15-30%, dan surfaktan anion 5-15%. Fungsi zeolit dalam deterjen untuk meningkatkan daya pencucian untuk menjerap kotoran. Kandungan zeolit yang dalam deterjen menjadi salah satu penyebab turunnya TS pada limbah deterjen Persil tidak signifikan. Ditinjau dari surfaktan, mungkin surfaktan anion yang dipakai adalah jenis alkil benzene sulfonat dengan rantai yang bercabang-cabang. Menurut pustaka alkil benzene sulfonat dengan rantai cabang merupakan komponen "*non degradable*", oleh karena itu deterjen sekarang pada umumnya menggunakan surfaktan linear alkilbenzen sulfonat dengan senyawa rantai lurus sehingga mudah terdegradasi. Jika dilihat dari hasil degradasi Rinso diduga bahwa deterjen Rinso menggunakan surfaktan anion jenis linear alkilbenzen sulfonat yang mudah terdegradasi serta diduga tidak terdapat zeolit dalam deterjen Rinso. Pada kemasan Rinso juga ditulis "*ramah lingkungan*" walaupun pada kemasan Rinso tidak dicantumkan komposisinya.

### Penjerapan Cs setelah Ozonasi

Tabel 6 adalah hasil proses penjerapan dengan zeolit setelah melewati proses ozonasi. Efisiensi proses penjerapan paling tinggi 99,314% dengan nilai FD 145,773.

Tabel 4. Data Konsentrasi Cesium setelah Penjerapan, (Cs mula-mula=51,0204 ppm)

Cs sesudah penjerapan (ppm)	FD	EP %	Cs terjerap zeolit (meq/g Zeolit)
0,388	131,496	99,24	0,03807
0,400	127,551	99,22	0,03806
0,350	145,773	99,31	0,03810
0,358	142,515	99,30	0,03809
0,394	129,493	99,23	0,03806
0,396	128,839	99,22	0,03806

### KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Metode ozonasi diikuti penjerapan dengan zeolit dapat digunakan untuk mengolah

limbah radioaktif cair yang mengandung deterjen.

2. Persamaan kecepatan penurunan COD dalam limbah radioaktif cair yang mengandung deterjen Perseil adalah sebagai berikut:

$$-r_{\text{COD}} = -\frac{d[\text{COD}]}{dt} = 0,034 [\text{COD}]^1$$

yang berarti reaksi orde 1 dengan nilai k 0,034 jam<sup>-1</sup>.

3. Nilai konstante kecepatan reaksi dengan deterjen biasa memberikan nilai k 1,5443 jam<sup>-1</sup>.
4. Nilai FD dan EP dari proses penjerapan sebesar 145,773 dan 99,314%.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Gunandjar, Salimin, Z, Purnomo, S, dan Ratiko . *Proses Oksidasi Biokimia Untuk Pengolahan Limbah Simulasi Cair Organik Radioaktif*. Yogyakarta, Seminar Nasional V SDM Teknologi Nuklir, ISSN 1978-0176, (2009)
2. Salimin, Z. *Pengolahan Limbah Radioaktif Cair Aktifitas Rendah Yang Mengandung Deterjen Persil Dengan Proses Oksidasi Biokimia*. Bogor: Tesis Program Pasca Sarjana-IPB, (2002)
3. Mardini, Muziyawati, A, dan Aji, D. *Analisis Limbah Radioaktif Cair dan Semi Cair*. Serpong: Hasil Penelitian dan Kegiatan PTLR Tahun 2006 PTLR-BATAN, (2006)
4. Bismo, S, Kustiningsih, I, Jayanudin, Haryanto, F, dan Saptono, H. J. *Studi Awal Degradasi Fenol dengan Teknik Ozonasi di dalam Reaktor Annular*. Semarang, Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses, ISSN: 1411-4216, Jurusan Teknik Kimia FT-UNDIP, (2008)
5. Suhartanto, A. *Pemisahan Campuran Uranium dan Molibdenum Menggunakan Zeolit*. Yogyakarta: Tugas Akhir PATN-BATAN. (1999)