

PENURUNAN TS (*TOTAL SOLID*) PADA LIMBAH CAIR INDUSTRI PERMINYAKAN DENGAN TEKNOLOGI AOP

Nur Rohmah¹⁾, Dr. Anto Tri Sugiarto²⁾

Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia¹⁾

Komplek LIPI, Jl. Cisit No.21/154D, Bandung, 40135

Telepon (022) 2504770, 2503055 ekst 1414, Fax (022) 2504773

E-mail : nur.rohmah@lipi.go.id¹⁾

Pusat Penelitian Kalibrasi, Instrumentasi dan Metrologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia²⁾

Komplek Puspiptek Serpong, Tangerang, 15314

Telepon (021) 7560533, 7560568 ekst 3088, Fax (021) 7560571

E-mail : antotri@kim.lipi.go.id²⁾

Abstrak

Limbah cair yang dihasilkan dari industri perminyakan, umumnya mengandung TS (Total Solid) yang melebihi kadar yang diperbolehkan. Teknologi baru yang dapat mengatasi permasalahan ini adalah dengan metode Advanced Oxidation Processes (AOP). Metode ini dilakukan dengan mengontakkan limbah cair dengan kombinasi ozon dan ultraviolet (UV). Pada penelitian ini dilakukan analisa dengan variasi waktu kontak 5, 10, 15, 20, 25 menit dan juga variasi konsentrasi ozon 1,4; 2; 2,8; 3,4; 3,5 mg/l. Hasil penurunan TS yang optimal adalah pada waktu kontak 25 menit dan pada konsentrasi ozon 3,5 mg/l dengan penurunan TS sebesar 65,52%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar waktu kontak dan konsentrasi ozon, maka penurunan TS semakin besar pula.

Kata Kunci : AOP, ozon, ultraviolet, TS, pengolahan limbah cair, industri perminyakan

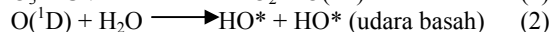
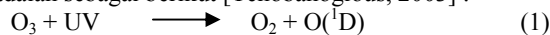
PENDAHULUAN

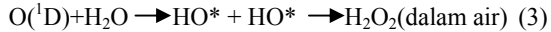
Hasil akhir kegiatan proses industri perminyakan dalam mengolah minyak, menghasilkan limbah cair yang kompleks, sehingga menimbulkan masalah lingkungan bila limbah cair tersebut tidak diolah secara benar. Limbah cair yang dihasilkan industri perminyakan mengandung garam, minyak, fenol, sulfida, zat organik seperti *benzene*, *toluene*, *naphtalene* serta zat organik lainnya yang merupakan limbah beracun dan berbahaya. Apabila dianalisa limbah cair tersebut umumnya memiliki kadar *Total Solid* (TS) melebihi kadar maksimum yang diperbolehkan.

Total Solid (TS) atau padatan total merupakan total dari zat padat terlarut dan zat padat tersuspensi, baik yang bersifat organik maupun anorganik (Rachman, 1999). Zat padat terlarut adalah jumlah nilai mineral, garam, logam, kation dan anion yang terlarut dalam air yang dinyatakan dalam mg/l. Zat padat tersuspensi bila berlebih akan meningkatkan kekeruhan air, sehingga menghambat penetrasi sinar matahari ke dalam air dan mengakibatkan terganggunya proses fotosintesis. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengolahan limbah, dalam hal ini untuk menurunkan kadar TS dari limbah buangnya.

Pada saat ini telah dikembangkan teknologi baru dalam mengatasi air limbah yaitu *Advanced Oxidation Processes* (AOP). Teknologi AOP dapat diterapkan sebagai destruksi kontaminan organik seperti hidrokarbon terhalogenasi (trikloroetana, trikloroetilen), aromatik (benzen, toluen, etilbenzen), pentaklorofenol, nitrofenol, deterjen, pestisida dan lain-lain. AOP dapat juga digunakan untuk mengoksidasi kontaminan inorganik seperti sianida, sulfid, dan nitrit. Teknologi AOP adalah satu atau kombinasi dari beberapa proses seperti *ozone*, *hydrogen peroxide*, *ultraviolet light*, *titanium oxide*, *photo catalyst*, *sonolysis*, *electron beam*, *electrical discharges* serta beberapa proses lainnya untuk menghasilkan hidroksil radikal [Sugiarto, 2004]. Salah satu dari AOP yang banyak diaplikasikan adalah kombinasi dari ozon dan *ultraviolet*. Kombinasi ozon dan *ultraviolet* sangat potensial untuk mengoksidasi berbagai senyawa organik, minyak, dan bakteri yang terkandung di dalam limbah cair.

Proses AOP O₃-UV menggunakan foton UV untuk mengaktifkan molekul ozon, yang kemudian membentuk radikal hidroksil [Zhou, 2000]. Reaksi proses O₃-UV dalam menghasilkan radikal hidroksil adalah sebagai berikut [Tchobanoglous, 2003] :





Dengan $O(^1D)$ adalah atom oksigen tereksitasi, dikenal juga sebagai singlet oksigen [Tchobanoglous, 2003]. Radikal hidroksil (OH^*) adalah oksidator kimia yang sangat kuat, tidak selektif dan bereaksi cepat dengan berbagai komponen organik [Munter, 2001].

Jika dibandingkan dengan sistem konvensional, AOP kombinasi O_3 dan UV memiliki kelebihan seperti Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Perbandingan Sistem Konvensional dengan AOP Ozon-UV

No	Item	Sistem IPAL Konvensional		O_3 -UV
		Biologi	Kimia	
1.	Area	Besar	Besar	Kecil
2.	Waktu	Lama	Sedang	Cepat
3.	Penggunaan bahan kimia	Tinggi	Tinggi	Tidak digunakan
4.	Efisiensi penyisihan	Sedang	Baik	Baik
5.	Limbah lumpur	Tinggi	Tinggi	Rendah
6.	Pemeliharaan dan operasional	Rumit	Rumit	Mudah
7.	Biaya operasional	Sedang	Tinggi	Rendah
8.	Daur ulang air	-	-	Berguna

Sumber : Sugiarto, 2004

Dengan kemampuan AOP mendestruksi kontaminan organik dan inorganik, diharapkan limbah cair industri perminyakan ini dapat terproses secara efisien, sehingga dapat menurunkan kadar TS yang melebihi kadar maksimum yang diperbolehkan.

Dalam makalah ini akan dibahas penelitian yang bertujuan untuk mengetahui penurunan TS pada limbah cair industri perminyakan dengan teknologi AOP kombinasi ozon dan UV dalam konsentrasi ozon dan waktu kontak yang berbeda.

METODOLOGI PENELITIAN

Adapun metodologi penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- Persiapan peralatan percobaan dan alat analisa yang akan digunakan dalam penelitian, meliputi :
 - Tabung gas oksigen dan regulatornya
 - *Ozone generator* (100 volt, trafo *step down*)
 - *Injector ozon* (venturi)
 - Tangki limbah
 - Pompa
 - *Electronic ballast box for T-3000*, 180 volt 240 volt / 50 Hz.254 nm
 - Reaktor AOP kombinasi ozon dan UV (dengan volume 306 ml)
 - Gelas penampung
 - Alat analisa berupa spektrofotometer
- Pengambilan sampel limbah
Pengambilan sampel limbah dari limbah cair industri perminyakan

- Analisa TS awal
Sebelum percobaan pengolahan terhadap sampel dimulai, terlebih dahulu dilakukan analisa TS awal sampel limbah sebagai gambaran awal kondisi limbah yang akan diolah. Berdasarkan KEP MEN No. 42/MENLH/10/96 mengenai Baku Mutu Air Limbah Untuk Kegiatan Migas Dan Panas Bumi [Kementerian Lingkungan Hidup, 1996], kadar maksimum TS yang diperbolehkan adalah 250 mg/l.
- Pengolahan limbah
Pengolahan dengan AOP menggunakan ozon dan UV dengan memvariasikan parameter-parameter yang mempengaruhi. Sampel diambil selama perlakuan dengan interval waktu yang telah ditentukan yaitu 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit dan 25 menit. Dengan pengaturan konsentrasi ozon 1,4 mg/l; 2 mg/l; 2,8 mg/l; 3,4 mg/l dan 3,5 mg/l. Pemilihan parameter yang diteliti diambil berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dan berdasar literatur yang berhubungan dengan proses oksidasi, meliputi konsentrasi ozon dan waktu kontak.
- Analisa TS akhir
Limbah yang sudah diolah dianalisa karakteristiknya untuk mengetahui perubahan kondisi setiap parameter untuk setiap konsentrasi ozon dan waktu kontak yang berbeda.
- Analisa Data Kuantitatif
Analisa data kuantitatif dilakukan dengan uji statistik menggunakan program SPSS versi 11.5 yang meliputi :
 - Uji Normalitas
Uji normalitas berguna untuk mengetahui apakah data yang dihasilkan terdistribusi normal dengan menggunakan *One-Sample Kolmogorov-Smirnov* karena jenis data bersifat kuantitatif dan merupakan data rasio [Santoso, 2003]. Dalam hal ini data yang dimaksud adalah TS. Jika data diketahui terdistribusi normal, maka dilanjutkan dengan uji homogenitas. Jika data terdistribusi normal maka dapat dilakukan analisis statistik parametrik dan jika tidak terdistribusi normal maka analisis statistik yang dilakukan adalah non parametrik. Uji homogenitas dilakukan sebelum analisis statistik Varian, untuk menguji kesamaan dan perbedaan varian, namun jika data tidak homogen maka analisis statistik varian ini tidak dapat dilaksanakan. Dalam analisa ini menggunakan derajat kepercayaan 95 %. Hipotesa yang digunakan adalah :
 $H_0 : F(x) = F_0(x)$, dengan $F(x)$ adalah fungsi distribusi populasi yang diwakili oleh sampel dan $F_0(x)$ adalah fungsi distribusi data TS berdistribusi normal.
 $H_1 : F(x) \neq F_0(x)$ atau distribusi data TS tidak normal.

Dasar pengambilan keputusan yang digunakan adalah :
Jika probabilitas > 0,05; H0 diterima.
Jika probabilitas < 0,05; H0 ditolak

2. Uji Hipotesa Anova

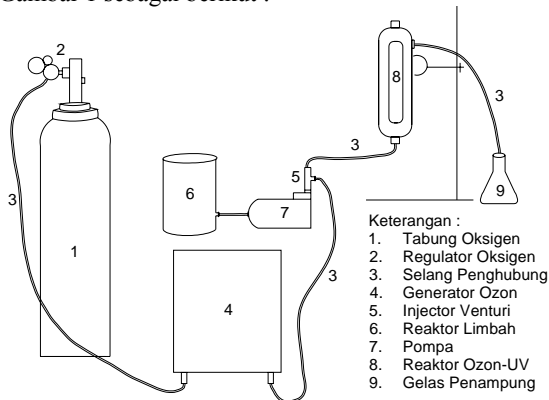
Merupakan metode untuk menguji hubungan antara satu variabel dependen dalam hal ini TS (skala nonmetrik atau kategorikal dengan kategori lebih dari dua). Anova digunakan untuk mengetahui pengaruh utama (main effect) dan pengaruh interaksi (interaction effect) dari variabel independen kategorikal (sering disebut faktor) yaitu konsentrasi ozon dan waktu detensi terhadap variabel dependen metrik yaitu penurunan TS. Pengaruh utama atau main effect adalah pengaruh langsung konsentrasi ozon dan waktu detensi terhadap penurunan TS. Sedangkan pengaruh interaksi adalah pengaruh bersama atau joint effect dua atau lebih variabel independen terhadap variabel dependen.

Hipotesa :

Jika probabilitas kurang dari 0.05 maka H0 ditolak

Jika probabilitas lebih dari 0.05 maka H0 diterima

Adapun skema penelitiannya dapat dilihat pada Gambar 1 sebagai berikut :



Gambar 1. Skema percobaan penguraian TS dengan metode AOP

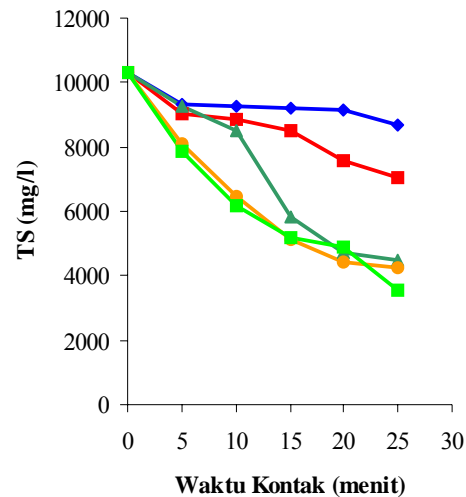
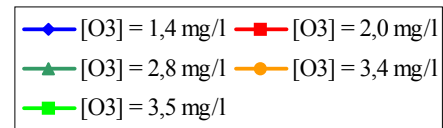
HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan analisa TS awal sampel limbah cair industri perminyakan yang diambil, diperoleh hasil TS awal sebesar 10317 mg/l. Hasil TS ini jauh melebihi baku mutu yang ditetapkan, hal ini mengindikasikan limbah ini masih banyak mengandung komponen zat padat terlarut dan zat padat tersuspensi yang dapat mencemari lingkungan apabila langsung dibuang. Kualitas limbah cair hasil penelitian pada variasi konsentrasi ozon dan waktu kontak terhadap penurunan

parameter TS pada proses pengolahan AOP ozon-UV dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 2 berikut ini :

Tabel 2. Nilai Konsentrasi TS pada setiap Variasi Konsentrasi Ozon dan Waktu Kontak

Waktu (menit)	Konsentrasi ozon (mg/l)				
	1,4	2,0	2,8	3,4	3,5
0	10317	10317	10317	10317	10317
5	9328	9009	9241	8082	7863
10	9235	8856	8508	6495	6191
15	9187	8491	5817	5143	5170
20	9134	7589	4746	4444	4905
25	8651	7024	4468	4229	3557



Gambar 2. Penurunan Nilai Konsentrasi TS pada Setiap Variasi Konsentrasi Ozon dan Waktu Kontak

Pengaruh Konsentrasi Ozon Terhadap TS

Dari Gambar 2, dapat dilihat bahwa penurunan TS terbesar berada pada saat konsentrasi ozon 3,5 mg/l dan terendah saat konsentrasi ozon 1,4 mg/l. Penurunan TS terbesar diperoleh pada konsentrasi ozon 3,5 mg/l dengan waktu kontak 25 menit, yaitu dari 10317 mg/l menjadi 3557 mg/l (65,52%). Semakin tinggi nilai konsentrasi ozon maka penurunan TS akan semakin besar, artinya nilai konsentrasi ozon berbanding lurus dengan penurunan TS. Hal ini disebabkan konsentrasi ozon berpengaruh terhadap pembentukan radikal hidroksil. Peningkatan konsentrasi ozon yang digunakan berarti semakin banyak konsentrasi ozon yang bereaksi dengan sinar UV. Ini diasumsikan juga sebagai peningkatan konsentrasi radikal hidroksil yang akan mendegradasi zat organik dalam limbah yang

diolah. Sehingga radikal hidroksil yang dihasilkan dari reaksi O₃-UV akan mengoksidasi atau mendegradasi materi polutan dengan baik.

Berdasarkan data pengaruh konsentrasi ozon terhadap TS pada Gambar 2, penurunan TS belum memenuhi standar yang diperbolehkan. Penggunaan reaktor yang dipakai untuk proses oksidasi merupakan faktor utama terbatasnya oksidasi yang dilakukan ozon-UV. Bentuk reaktor yang digunakan hanya setinggi 30 cm, hal ini berpengaruh terhadap efektifitas oksidasi oleh O₃. Dalam [Anonim, 1999] dinyatakan bahwa panjang reaktor optimum untuk efisiensi pelarutan gas O₃ sebanyak 85-95% adalah 18-22 feet (548-670 cm). Ukuran optimal ini sangat jauh dari ukuran reaktor yang digunakan dalam pengolahan ini. Reaktor yang pendek akan menyebabkan lepasnya O₃ ke udara dengan cepat dan tidak sempat bereaksi dengan air limbah. Hal ini menyebabkan efektifitas pengolahan menjadi jauh berkurang karena banyak gas O₃ terbuang.

Pengaruh Waktu kontak Terhadap TS

Variasi waktu kontak pada proses oksidasi digunakan untuk mencari waktu optimal saat zat organik terdegradasi dengan baik. Waktu kontak dilakukan dengan sirkulasi yang berulang-ulang. Waktu kontak yang lama menunjukkan sirkulasi semakin banyak. Tujuan dari variasi ini adalah meningkatkan kelarutan ozon di air. Ozon yang larut dalam air kemudian bereaksi dengan UV menghasilkan radikal hidroksil. Waktu hidup radikal hidroksil sangat cepat sehingga pengadaannya harus terus dilakukan dengan cara sirkulasi atau memperbanyak waktu kontak radikal hidroksil dengan limbah sehingga degradasi senyawa-senyawa organik semakin baik. Maka untuk penurunan TS akan dijelaskan sebagai berikut :

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa penurunan TS paling besar berada pada saat waktu kontak 25 menit dan paling rendah saat waktu kontak 5 menit. Penyisihan TS terbesar diperoleh pada waktu kontak 25 menit dengan konsentrasi ozon 3,5 mg/l, yaitu dari 10317 mg/l menjadi 3557 mg/l (65,52%). Dapat dilihat lamanya waktu kontak juga sangat mempengaruhi efisiensi penurunan TS. Semakin lama waktu kontak maka semakin banyak sirkulasi sehingga semakin banyak zat organik yang terdegradasi. Hal ini disebabkan karena proses oksidasi akan berlangsung berkali-kali, sehingga radikal hidroksil akan selalu terbentuk dan ozon terbentuk dalam jumlah banyak, ozon yang sudah larut dalam air dapat langsung bereaksi dengan zat organik dan membentuk OH* (radikal hidroksil) karena bertemu dengan UV. Perpanjangan waktu kontak berarti waktu kontak yang lebih lama dengan O₃, sehingga memungkinkan terjadi oksidasi yang lebih baik seiring peningkatan waktu kontak. Penurunan konsentrasi TS akan semakin besar jika waktu kontak diperpanjang.

Penurunan nilai TS setelah proses oksidasi Ozon-UV menunjukkan bahwa zat organik yang dinyatakan dengan TS terdegradasi dengan efisiensi penurunan sebesar 65,52%. Nilai konsentrasi kadar TS ini ternyata masih diatas baku mutu limbah yang ada. Hal ini menunjukkan bahwa waktu kontak yang digunakan perlu ditambah lagi agar peningkatan efisiensinya lebih baik dan konsentrasi TS berada dibawah baku mutu.

Uji Normalitas Data

Data yang diperoleh dari hasil penelitian seharusnya memiliki distribusi populasi yang normal. Hal ini diketahui dengan cara menggunakan uji normalitas Kolmogorov-Smirnov. Hasil pengujian normalitas dengan Kolmogorov-Smirnov dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Uji Normalitas Data Dengan Variasi Konsentrasi Ozon dan Waktu Kontak terhadap Penurunan TS

	WAKTU	OZON	TS
N	25	25	25
Normal Parameters ^{a,b} Mean	15,0000	2,6200	7014,5200
Std. Deviation	7,21688	,82765	1966,257
Most Extreme Absolute	,156	,227	,174
Differences Positive	,156	,173	,146
Negative	-,156	-,227	-,174
Kolmogorov-Smirnov Z	,779	1,135	,868
Asymp. Sig. (2-tailed)	,579	,152	,438

Dari tabel tersebut terlihat bahwa pada kolom *asymptotic significance* didapatkan bahwa nilai probabilitas untuk data waktu detensi 0,579, konsentrasi ozon 0,152 dan efisiensi penyisihan TS adalah 0,438. Karena ketiganya memiliki probabilitas > 0.05, maka Ho diterima atau data sampel terdistribusi normal.

Uji Hipotesa ANOVA

Tabel 4. Uji Hipotesa Anova Dengan Variasi Konsentrasi Ozon dan Waktu Kontak terhadap Penurunan TS

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	81006029	2	40503014,37	75,629	,000 ^a
Residual	11782004	22	535545,614		
Total	92788032	24			

- Predictors: (Constant), WAKTU, OZON
- Dependent Variable: TS

Dari hasil uji ANOVA pada Tabel 4 didapat F hitung adalah 75,629 dengan tingkat signifikansi 0.000. Oleh karena probabilitas (0,000) jauh lebih kecil dari 0,05 maka dapat dikatakan konsentrasi ozon dan waktu detensi berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi TS.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisa pengukuran TS pada limbah cair industri perminyakan setelah pengolahan dengan AOP kombinasi ozon-UV, diperoleh hasil penurunan TS terbesar, yaitu dari semula 10317 mg/l menjadi 3557 mg/l dengan efisiensi sebesar 65,52% pada penggunaan konsentrasi ozon sebesar 3,5 mg /l dan waktu kontak selama 25 menit. Hal ini menunjukkan hubungan antara konsentrasi ozon dan waktu kontak terhadap penurunan parameter TS, yaitu semakin tinggi konsentrasi ozon yang digunakan dan semakin lama waktu kontak saat limbah diolah maka penurunan konsentrasi TS menjadi semakin besar pula.

Dari hasil penurunan TS yang terjadi, walaupun sudah mencapai efisiensi 65,52% namun masih di atas baku mutu limbah, sehingga untuk penelitian selanjutnya disarankan menambah ukuran panjang reaktor supaya efisiensi pelarutan gas ozon semakin meningkat. Selain itu, juga disarankan untuk menambah lama waktu kontak, supaya limbah bisa terdegradasi lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim, (1999). Environmental Protection Agency Guidance Manual 3-42
- [2] Kementerian Lingkungan Hidup, (1996). Baku Mutu Air Limbah Untuk Kegiatan Migas Dan Panas Bumi. Jakarta
- [3] Munter, Rein. (2001). Advanced Oxidation Processes – Current Status and Prospects. Department of Chemical Engineering: Tallinn Technical University.
- [4] Ozotech. (2004). Ozone Generator. Ozotech, Inc. USA
- [5] Rahman, Azhari, Ir.,MT. (1999). Kamus Istilah dan Singkatan Asing “Teknik Penyehatan dan Lingkungan”. Universitas Trisakti. Jakarta.
- [6] Santoso dan Singgih. (2003). Mengatasi Berbagai Masalah Statistik dengan SPSS Versi 11.5. Penerbit PT Elex Media Komputindo Kelompok Gramedia, Jakarta
- [7] Sugiarto, A T. (2004). Sistem Kompak Oksidasi Pengolahan Limbah Cair Industri. Hand Out Presentasi di Nusantara Water Expo Jakarta.
- [8] Tchobanoglous, George, Burton, F.L., Stensel, H.D. (2003). Wastewater Engineering, Treatment and Reuse. 4th Edition. Metcalf & Eddy, Inc. Mc Graw Hill, New York.
- [9] Zhou, H and D.W. Smith. (2000). Advanced Technologies in Water and Wastewater Treatment. NRC Research.