

PENINGKATAN KUALITAS PENGOLAHAN AIR BERSIH DENGAN PERBAIKAN PROSES OKSIDASI

(Studi Kasus di Instalasi Pengolahan Air PT. Jababeka)

*Improvement of Water Treatment Plant with Optimalization of Oxidation Process
(Case study at Water Treatment Plant PT. Jababeka)*

Istingani¹, Erliza Noor², Suprihatin³

Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Pascasarjana Institut Pertanian Bogor

Gedung Sekolah Pascasarjana Lt 1 Kampus IPB darmaga, Bogor 16680

¹istingani@jababeka.com, ²erlizanoor@yahoo.com, ³suprihatin@indo.net.id

Abstrak : Penghilangan zat pencemar berupa senyawa organik, amonium, nitrit dan besi serta mangan pada proses pengolahan air dilakukan dengan proses oksidasi seperti dengan aerasi, maupun dengan bahan kimia. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan kinerja terbaik untuk proses oksidasi yaitu kemampuan mereduksi bahan pencemar pada konsentrasi dan waktu reaksi optimum dari penggunaan oksidator : klorin, ozon dan *peroxone* (H_2O_2/O_3). Percobaan dirancang dengan *central composite design* (CCD) sementara untuk mendapatkan kondisi proses yang optimum dianalisa dengan *response surface method* (RSM). Percobaan untuk memperoleh komposisi konsentrasi dan waktu reaksi masing-masing bahan kimia oksidator (klorin, ozon dan *peroxone*) dilakukan sebanyak 13 percobaan. Optimasi pemakaian klorin menggunakan SRM menghasilkan reduksi senyawa organik ($KMnO_4$) sebesar 75,1% pada konsentrasi 15,25 ppm dan waktu reaksi 17,07 menit. Optimasi pemakaian ozon menghasilkan reduksi senyawa organik ($KMnO_4$) sebesar 26,9% pada konsentrasi ozon 4,04 ppm dan waktu reaksi 12,1 menit. Optimasi oksidator *peroxone* mampu mereduksi 41,5% senyawa organik ($KMnO_4$) pada konsentrasi 4,04 ppm dan waktu reaksi 12,1 menit.

Kata kunci : klorin, oksidasi, ozon peroxone, pengolahan air

Abstract : The removal of contaminants in the water treatment process such as the organic compounds, ammonia, nitrite, iron and manganese are done by oxidation, by aeration, or chemical oxidation, include using chlorine, ozone, or peroxone. The purposes of this study were to get the best performance of the oxidation process (concentration and reaction time), as well as to get the financial feasibility of using oxidation agents : chlorine (Cl_2), ozone (O_3), or peroxone (H_2O_2/O_3). The experimental sequences were designed by the central composite design, while the optimization was using the surface response method. To obtain the composition of the concentration and reaction time variables, each chemicals had been applied of 13 trials. The optimum oxidation in reducing the organic compound (as $KMnO_4$) was achieved by applying chlorine of 15.25 ppm and 17.07 minutes of reaction time with the result of 75.1% reduction. The optimum of ozone was achieved by applying 4.04 ppm and reaction time of 12.1 minutes which could reduce 26.9% of the organic compound (as $KMnO_4$). The optimum of peroxone was achieved by applying peroxone of 5.41 ppm and reaction time of 4.5 minutes which could reduce 41.5% of the organic compound (as $KMnO_4$).

Keywords : chlorine, oxidation, ozone peroxone, improvement of water treatment

PENDAHULUAN

Ketersediaan air bersih merupakan salah satu pertimbangan utama bagi pengelola kawasan industri. Pengembang kawasan industri memiliki kewajiban untuk menyediakan sarana air bersih dan fasilitas pengolahan air limbah industri yang diatur oleh Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 35/M-IND/PER/3/2010 tentang Pedoman Teknis Kawasan Industri. Instalasi pengolahan air bersih yang dimiliki oleh PT. Kawasan Industri Jababeka Tbk. menggunakan sistem proses oksidasi, flokulasi koagulasi, sedimentasi

filtrasi dan post klorinasi. Bahan baku yang digunakan adalah air sungai atau air permukaan yang bersumber dari waduk Jatiluhur yang mengalir di saluran Tarum Barat. Perkembangan pemukiman dan peningkatan kegiatan industri di hulu Sungai Citarum dan di sekitar saluran Tarum Barat menyebabkan penurunan kualitas air akibat pencemaran (Hartono 2009). Penurunan kualitas air dapat disebabkan oleh virus, bakteri patogen, parasit, dan zat kimia pada sumber air bakunya ataupun terjadi pada saat pengaliran air hasil olahan dari instalasi

pengolahan air ke konsumen (Said 2007). Bahaya atau resiko akibat mengkonsumsi air baik secara langsung diminum maupun melalui hasil produksi yang menggunakan air baku yang tercemar dapat mengganggu kesehatan penggunaannya. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 26/PRT/M/2014 tentang Prosedur Operasional Standar Pengolahan Sistem Penyediaan Air Minum mengatur pengolahan air yang tercemar zat organik tinggi atau besi dan mangan tinggi dengan cara preklorinasi yang berfungsi untuk mengoksidasi bahan pencemar air baku.

Klorin adalah bahan disinfektan dan dalam pengolahan air juga bertujuan untuk mengontrol adanya organisme, mengoksidasi senyawa yang menyebabkan bau dan rasa, mengoksidasi besi dan mangan, menghilangkan warna, dan juga dalam berbagai pengolahan secara umum dalam proses filtrasi dan sedimentasi (White, 1992). Said (2007) menyatakan pengolahan air dengan pemberian khlorin 1 mg/l dengan waktu kontak kurang dari 30 menit umumnya efektif untuk mengurangi bakteri dalam jumlah yang cukup besar. Proses klorinasi terhadap air baku yang memiliki kadar amonium tinggi akan terbentuk khloramin dan dapat menurunkan daya disinfeksi dan proses oksidasi membutuhkan waktu yang lama (White 1992). Pemakaian klorin pada air baku yang mengandung senyawa organik, humus dan *humic acid* menyebabkan terbentuknya senyawa Trihalometan (THM) dan senyawa halogen organik seperti khlorofenol yang bersifat karsinogen yang memicu penyakit kanker (Sawyer 2003). Sesuai SNI 7508:2011 tentang Tata cara penentuan jenis unit instalasi pengolahan air berdasarkan sumber air baku menunjukkan bahwa alternatif pengolahan air baku yang tidak memenuhi persyaratan terutama untuk parameter besi, mangan amonia, masih menggunakan bahan klorin, permanganat atau membran. Proses oksidasi pada pengolahan air, selain menggunakan gas klor juga dapat dilakukan dengan klorin

dioksida, ozon, kalium permanganat, sinar ultra violet (Black dan Veatch 2010). Pemakaian ozon di Indonesia sudah banyak dilakukan pada pengolahan air minum dalam kemasan. Kemampuan ozon untuk mengoksidasi lebih cepat dan lebih kuat, dan mengurangi terbentuknya THM (Said 2007) memberikan kesempatan kepada instalasi pengolahan air untuk menggunakan ozon sebagai bahan pengganti klorin.

Ozon dapat mengoksidasi besi dan mangan menjadi terpresipitasi dari sumber air, selain itu dapat pula mengkoagulasi partikulat, mengontrol pertumbuhan alga, dan mampu menghancurkan beberapa jenis pestisida. Suffet *et al.* (1986) mengatakan bahwa ozon adalah bahan oksidan yang efektif untuk menghilangkan bau dan rasa. Perkembangan teknologi pengolahan air bersih selama beberapa dekade terakhir memperkenalkan proses *Advance Oxidation Process* (AOP). Langleis *et al.* (1991) menyatakan bahwa AOP dapat mengurangi konsentrasi kontaminan dari beberapa ratus *part per million* (ppm) menjadi kurang dari 5 *part per billion* (ppb). AOP merupakan proses pengolahan air yang melibatkan pembangkitan hidroksil radikal (oksidan kuat) dalam jumlah yang cukup (Glaze *et al.* 1987). AOP merupakan kombinasi pemakaian bahan kimia H_2O_2/O_3 (*peroxone*), O_3/UV , titanium/UV, $Fe(II)/H_2O_2$ (*Fenton*) untuk membangkitkan hidroksil radikal (Black dan Veatch 2010). Mohajerani *et al.* (2009) menyatakan bahwa perpaduan teknologi AOP dan teknologi konvensional dapat memperbaiki efektifitas proses pengolahan sumber air minum yang terkontaminasi.

Perbaikan proses oksidasi untuk meningkatkan kualitas proses produksi air bersih dapat dilakukan berdasarkan beberapa aspek seperti waktu operasi, biaya operasi, dan energi yang dibutuhkan. Parameter yang mempengaruhi proses oksidasi adalah waktu reaksi, konsentrasi, Suhu, pH (White, 1992). Penelitian ini

difokuskan pada perbaikan oksidasi terutama pada pengaruh parameter konsentrasi oksidator dan waktu reaksi pada penurunan konsentrasi senyawa pencemar air baku. *Surface respons method* (SRM) merupakan metode yang digunakan untuk optimalisasi konsentrasi oksidator dan waktu reaksi dengan rancangan percobaan *Central Composite Design* (CCD). Metode SRM merupakan kumpulan teknik matematika dan statistika yang berguna untuk analisis dan permodelan dari suatu permasalahan (respons) dengan satu atau lebih perlakuan dalam penelitian (Montgomery 2001). Tujuan utama dari RSM adalah membantu peneliti untuk merancang percobaan agar mendapatkan hasil paling optimum dari percobaan tersebut (Montgomery 2001). Dewi (2013) menyatakan bahwa metode permukaan respons merupakan metode yang efisien digunakan untuk menentukan taraf-taraf peubah bebas yang dapat mengoptimalkan respons untuk peubah bebas yang bertaraf kuantitatif. Pertimbangan dalam pemilihan bahan kimia selain kemampuan untuk mereduksi konsentrasi bahan pencemar juga berdasarkan pertimbangan finansial. Penyediaan air bersih membutuhkan upaya perbaikan proses untuk mengurangi resiko kesehatan yang berhubungan dengan pencemaran pada bahan baku air minum. Penelitian ini mencari metode pengolahan air baku yang tercemar pada tahap oksidasi dengan optimasi bahan oksidator klorin dan alternatif oksidator yang lebih aman seperti ozon atau *peroxone* (H_2O_2/O_3) dengan metode RSM. Adapun tujuan dari penelitian adalah mendapatkan kinerja terbaik untuk proses oksidasi (konsentrasi dan waktu reaksi) menggunakan: klorin, ozon dan *peroxone* (H_2O_2/O_3).

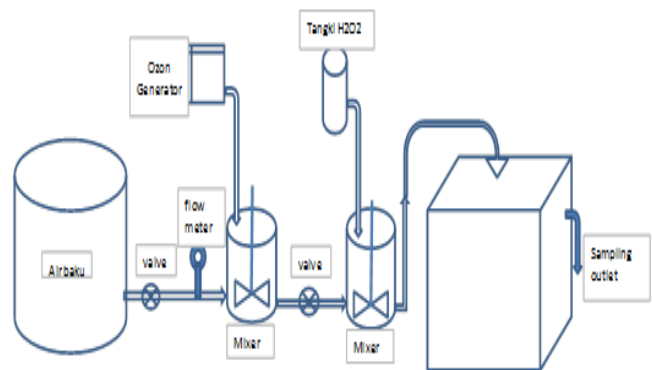
METODE

Alat dan bahan

Alat utama untuk penelitian ini adalah seperangkat miniplant yang ada di IPA Jababeka dengan diagram proses seperti pada **Gambar 1**. yang terdiri dari pompa

air baku, tangki air baku kapasitas 2000 liter, *static mixer*, *flowmeter* untuk air baku kapasitas 1 -30 liter/menit, kran pengatur, tangki penampung air baku yang sudah dioksidasi dengan dimensi 70cm x 50 cm x 100cm, tangki penampung bahan kimia kapasitas 20 liter yang dilengkapi *flowmeter* kapasitas 40 -400 ml/menit, *ozon generator* merk Luso type OZ-3G kapasitas 3 gr/jam, kompresor dan panel listrik.

Peralatan pembantu terdiri dari *stop watch*, botol sampel, dan peralatan laboratorium yang ada di laboratorium penguji di PT. Jababeka. Bahan dalam penelitian ini adalah air baku yang dipompa dari *intake* serta bahan oksidator berupa gas klorin yang diambil dari instalasi gas klorin di IPA PT. Jababeka dengan konsentrasi 527 mg/l. Ozon diproduksi dari *ozon generator* yang dimiliki oleh IPA PT. Jababeka.



Gambar 1. Skema Alat Percobaan

Oksidator *peroxone* adalah perbandingan $H_2O_2/O_3 = 1 : 3$. Ozon dihasilkan dari ozon generator dan hidrogen peroksida pa. konsentrasi 30% produk merk dengan nomor katalog 107209.1000 diambil dari laboratorium PT. Jababeka. Perancangan percobaan CCD dan analisa optimasi dengan SRM menggunakan perangkat lunak *Minitab 16*.

Metode Penelitian

Masing-masing bahan kimia (klorin, ozon, *peroxone*) diaplikasikan ke dalam air baku dengan variasi konsentrasi dan waktu reaksi. Penentuan jumlah percobaan pada variabel konsentrasi dan waktu reaksi dirancang menggunakan rancangan percobaan *Central Composite Design* (CCD). Demiral M dan Kayan B (2012)

menggunakan metode RSM dan CCD untuk mendapatkan optimalisasi proses degradasi warna (*azo dye*) pada proses oksidasi pengolahan limbah cair tekstil. Jumlah percobaan yang dilakukan dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$2^k + 2k + n_0 \quad (1)$$

dimana:

2^k = factorial design

$2k$ = star point

k = jumlah variabel bebas

n_0 = jumlah pengulangan pada titik pusat

Nilai α dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\alpha = (2^n)^{1/4} \quad (2)$$

dimana: n = jumlah variabel percobaan

Dalam penelitian ini digunakan 2 variabel peubah bebas, sehingga nilai $\alpha = 1,414$ sebagai dasar penentuan nilai maksimal dan minimal pada rancangan percobaan CCD menggunakan *Minitab* 16. Nilai-nilai variabel acuan (*central*) bertitik tolak dari karakteristik proses oksidasi, berdasarkan hasil penelitian terdahulu, sehingga nilai-nilai sentralnya seperti pada **Tabel 1**. Said (2007) Pengolahan air dengan penambahan klor 1 mg/l dengan waktu kurang dari 30 menit umumnya efektif mengurangi bakteri dalam jumlah yang cukup besar.

Tabel 1. Nilai Variabel Acuan : Waktu reaksi dan konsentrasi bahan kimia

bahan kimia	waktu	konsentrasi
Cl ₂	5 - 15 menit	10 - 25 ppm
Ozon	5 - 15 menit	3- 5 ppm
<i>Peroxone</i> (H ₂ O ₂ /O ₃ = 0,3)	3-6 menit	3 - 5 ppm

Suffet *et al.* (1986) mengkonfirmasi bahwa ozon adalah bahan oksidan yang efektif untuk menghilangkan bau dan rasa, dengan konsentrasi 2,5 - 2,7 mg/l dan waktu kontak 10 menit, menghasilkan sisa ozon 0,2 mg/L, sangat signifikan mengurangi bau dan rasa pada air yang diteliti. Penelitian Son *et al.* (2013)

penghilangan mikropolutan (geosmin) dengan perbandingan optimal H₂O₂/O₃ 0,5 membutuhkan waktu 5,5 – 6,8 menit, dengan konsentrasi 1 -2 mg/l dosis ozon. Level-level eksperimen pada masing-masing variabel independen dikodekan sedemikian hingga level rendah berhubungan dengan -1 dan level tinggi berhubungan dengan 1 untuk mempermudah perhitungan.

Berdasarkan rancangan percobaan CCD menggunakan perangkat lunak *Minitab* 16, jumlah percobaan untuk masing-masing bahan kimia adalah 13 percobaan seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 2**. Dengan CCD, kita dapat menghemat *runs* percobaan karena banyaknya data pengamatan yang diperlukan untuk membuat model jauh lebih sedikit, tanpa kehilangan informasi tentang efek utama. Selain itu juga CCD merupakan desain yang sangat efektif dan efisien untuk memperkirakan orde pertama dan orde kedua.

Sampel air baku dan air hasil perlakuan dianalisis di laboratorium untuk mendapatkan parameter senyawa organik (KMnO₄), amonium (NH₄-N), nitrit (NO₂-N) serta besi terlarut (Fe) dan mangan terlarut (Mn). Setiap parameter hasil percobaan dianalisis efisiensi penurunan kadar cemarannya. Data prosentase penurunan relatif zat pencemar sebagai respon dihitung dan digunakan untuk dilakukan analisa statistik menggunakan SRM pada pengaruh 2 variabel konsentrasi dan waktu reaksi dengan persamaan :

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad (3)$$

Dimana Y adalah respon pengamatan, β_0 adalah intersep, β_i adalah koefisien linier, β_{ii} adalah koefisien kuadrat, β_{ij} adalah koefisien interaksi perlakuan, X_i adalah kode perlakuan untuk faktor ke- i , X_j adalah kode perlakuan untuk faktor ke- j dan k adalah jumlah faktor yang dicobakan.

Table 2. Rancangan Percobaan CCD pemakaian oksidator klorin, ozon dan *peroxone*

Percobaan	Klorin		Ozon		<i>Peroxone</i>	
	Konsentrasi (x1), ppm	Waktu (x2), menit	Konsentrasi (x1), ppm	Waktu (x2), menit	Konsentrasi (x1), ppm	Waktu (x2), menit
1	10	5	3	5	3	3
2	10	15	3	15	3	6
3	25	5	5	5	5	3
4	25	15	5	15	5	6
5	6,9	10	2,6	10	2,6	4,5
6	28,1	10	5,4	10	5,4	4,5
7	17,5	2,9	4	2,9	4	2,4
8	17,5	17,1	4	17,1	4	6,6
9	17,5	10	4	10	4	4,5
10	17,5	10	4	10	4	4,5
11	17,5	10	4	10	4	4,5
12	17,5	10	4	10	4	4,5
13	17,5	10	4	10	4	4,5

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas air baku yang bersumber dari saluran tarum barat di desa Pasirsari Kecamatan Cikarang Utara Kabupaten Bekasi pada pemantauan periode tahun 2014 sampai tahun 2016 menunjukkan penurunan kualitas. Kualitas tidak memenuhi baku mutu air baku air minum sesuai Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, terutama terjadi saat musim kemarau. Proses produksi yang dilakukan saat ini di IPA PT. Jababeka adalah air baku dilakukan pre-oksidasi menggunakan gas klorin dengan konsentrasi 5-6 ppm, dan waktu kontak 2-5 menit. Pada kondisi tersebut konsentrasi senyawa organik (KMnO_4) turun 71 %, amonium ($\text{NH}_4\text{-N}$) turun 2 %, TKN (total kjedahl nitrogen) turun 96% dan mangan turun sebesar 53%. Kondisi proses tersebut memberikan kesempatan untuk melakukan optimasi proses oksidasi.

Hasil Optimasi Menggunakan Alternatif Oksidator

Percobaan ini untuk mengetahui konsentrasi oksidator dan waktu reaksi yang optimal dan menghasilkan penurunan kadar pencemar yang paling tinggi (maksimal). Hasil percobaan dari variasi konsentrasi dan waktu terhadap prosentase penurunan respon sesuai rancangan

percobaan CCD ditunjukkan pada **Tabel 3** **Tabel 4** dan **Tabel 5**.

Tabel 3. Hasil prosentase penurunan respon optimasi konsentrasi dan waktu konsentrasi dengan oksidator klorin

Konsentrasi, ppm (X1)	Waktu, menit (X2)	Respon (Y)	
		Mn	Organik
10	5	95,10%	38,80%
10	15	96,40%	59,80%
25	5	96,40%	67,60%
25	15	96,40%	71,50%
6,9	10	96,10%	59,20%
28,1	10	96,40%	66,20%
17,5	2,9	95,90%	55,70%
17,5	17,1	96,40%	74,70%
17,5	10	96,40%	67,90%
17,5	10	96,40%	63,70%
17,5	10	96,40%	68,70%
17,5	10	96,40%	64,40%

Metode RSM digunakan untuk membuat model persamaan optimasi yang melibatkan variabel bebas konsentrasi (X1) dan waktu reaksi (X2) terhadap penurunan senyawa respon (Y) dengan persamaan dan keragaman data diterangkan oleh besaran R^2 . Masing-masing respon dianalisa menggunakan metode RSM untuk mendapatkan model persamaan optimasi seperti ditunjukkan pada **Tabel 6**.

Tabel 4. Hasil prosentase penurunan respon optimasi konsentrasi dan waktu reaksi dengan oksidator ozon

Konsentrasi, ppm (X1)	Waktu, menit (X2)	Respon (Y)	
		Mn	Organik
3	5	79,3%	10,2%
3	15	58,9%	14,3%
5	5	93,1%	16,3%
5	15	92,4%	15,6%
2,6	10	92,0%	12,2%
5,4	10	79,8%	15,0%
4	2,9	46,7%	23,1%
4	17,1	91,6%	27,2%
4	10	93,6%	26,5%
4	10	91,6%	33,3%
4	10	90,9%	25,9%
4	10	84,4%	24,5%

Tabel 5. Hasil prosentase penurunan respon optimasi konsentrasi dan waktu reaksi dengan oksidator *peroxone*

Konsentrasi, ppm (X1)	Waktu, menit (X2)	Respon (Y)	
		Mn	Organik
3	3	90,0%	28,9%
3	6	100,0%	33,4%
5	3	100,0%	35,4%
5	6	100,0%	36,5%
2,6	4,5	100,0%	38,2%
5,4	4,5	100,0%	39,8%
4	2,38	100,0%	23,1%
4	6,62	100,0%	24,3%
4	4,5	31,9%	35,2%

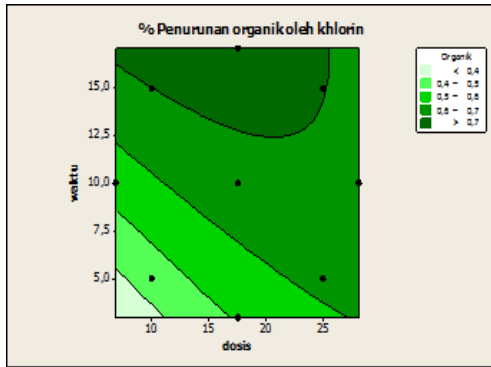
Table 6. Model persamaan optimasi penurunan respon terhadap konsentrasi dan waktu bahan oksidator klorin, ozon dan *peroxone* dengan RSM

Respon (Y)	Persamaan Regresi	R ²	Pvalue	lack of fit	Uji Normalitas
Pengaruh oksidator klorin					
Mangan (Mn)	$Y = 0,9281 + 0,0017X_1 + 0,0032X_2 - 0,00002X_1^2 - 0,00006 X_2^2 - 0,00008 X_1X_2$	88,46	0	-	0,101 > 0,05
Organik (KMnO ₄)	$Y = - 0,01589 + 0,0339X_1 + 0,0483X_2 - 0,00047X_1^2 - 0,00057 X_2^2 - 0,00114 X_1X_2$	88,27	0,004	0,061	0,544 > 0,05
Pengaruh oksidator ozon					
Mangan (Mn)	$Y = 0,5880 - 0,0299X_1 + 0,0669X_2 - 0,0146X_1^2 - 0,0039X_2^2 + 0,009889 X_1 X_2$	95,83	0	0,334	0,609
Organik (KMnO ₄)	$Y = -1,2241 + 0,6553X_1 + 0,0288X_2 - 0,0778X_1^2 - 0,0008X_2^2 - 0,0024 X_1 X_2$	78,91	0,026	0,445	0,131
Pengaruh oksidator <i>peroxone</i>					
Mangan (Mn)	$Y = 8,0894 - 2,5175 X_1 - 1,2275 X_2 - 0,0167X_1X_2 + 0,3256 X_1^2 + 0,1447 X_2^2$	99,61%	0	0,12	0,512 > 0,05
Organik (KMnO ₄)	$Y = 0,543 - 0,3184X_1 + 0,1626 X_2 - 0,0057 X_1X_2 + 0,04425X_1^2 - 0,01449X_2^2$	76,96	0,034	0,755	0,879 > 0,05

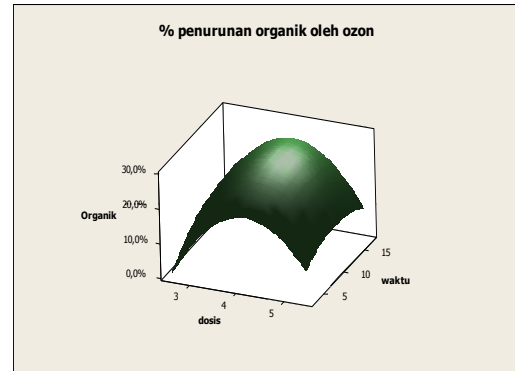
Konsentrasi, ppm (X1)	Waktu, menit (X2)	Respon (Y)	
		Mn	Organik
4	4,5	36,3%	29,5%
4	4,5	33,8%	26,1%
4	4,5	31,9%	35,2%

Uji varian untuk memeriksa signifikansi model dapat dilihat dari *Pvalue regresion* lebih kecil dari derajat signifikansi (=0,05) yang berarti variabel-variabel independen Xi memberikan sumbangan yang berarti dalam model.

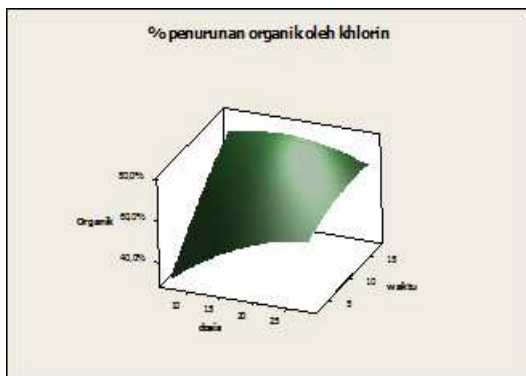
Prosedur pengujian persamaan yang dilakukan dalam metode permukaan respon diantaranya adalah uji kesesuaian model regresi (*Lack of Fit*), uji parameter regresi secara serentak dan pengujian asumsi kenormalan residual dilakukan dengan uji probabilitas seperti ditunjukkan pada **Tabel 6**. Sementara untuk menentukan kondisi optimum dari faktor-faktor yang signifikan dapat dilihat dari gambar *contour plot* dan *surface plot* seperti ditunjukkan pada **Gambar 2, Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7**.



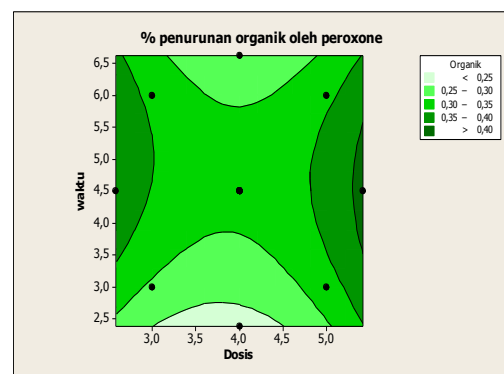
Gambar 2 *Countur plot* optimasi konsentrasi dan waktu terhadap efisiensi penurunan senyawa organik dengan oksidator klorin



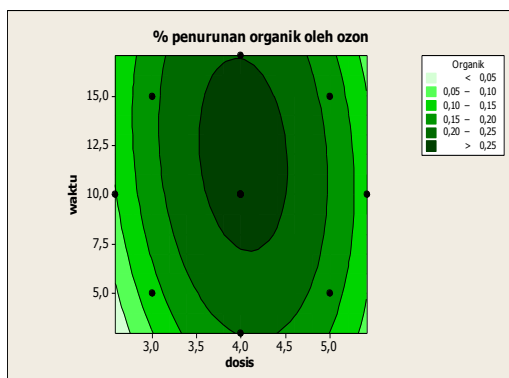
Gambar 5 *Surface plot* optimasi konsentrasi dan waktu terhadap efisiensi penurunan senyawa organik dengan oksidator ozon



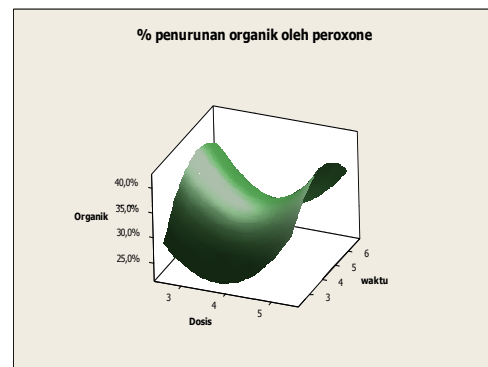
Gambar 3 *Surface plot* optimasi konsentrasi dan waktu terhadap efisiensi penurunan senyawa organik dengan oksidator klorin



Gambar 6 *Countur plot* optimasi konsentrasi dan waktu terhadap efisiensi penurunan senyawa organik dengan oksidator *peroxone*



Gambar 4 *Countur plot* optimasi konsentrasi dan waktu terhadap efisiensi penurunan senyawa organik dengan oksidator ozon



Gambar 7 *Surface plot* optimasi konsentrasi dan waktu terhadap efisiensi penurunan senyawa organik dengan oksidator *peroxone*

Table 7. Hasil pendugaan nilai optimum konsentrasi dan waktu reaksi dari oksidator klorin, ozon dan *peroxone* dengan metode SRM

Kriteria	Satuan	Klorin		Ozon		<i>Peroxone</i>	
		Organik (KMnO ₄)	Mangan (Mn)	Organik (KMnO ₄)	Mangan (Mn)	Organik (KMnO ₄)	Mangan (Mn)
Konsentrasi	ppm	15,25	7,75	4,04	3,21	5,41	5,41
Waktu	menit	17,07	17,07	12,07	12,49	4,56	2,38
Penurunan respon optimum	%	75,08	96,56	26,87	95,9	41,5	100
Desirabilitas	-	0,78	1	0,18	0,96	0,358	1

Metode optimasi yang digunakan adalah pendekatan *desirability function* dengan Minitab 16. Kriteria *desirability function* adalah *higher is better*. Kriteria ini digunakan untuk mengetahui prosentase penurunan respon dengan konsentrasi dan waktu reaksi yang berbeda. Untuk melakukan analisis dimasukkan nilai batas dari respon. Target yang akan dicapai adalah prosentase penurunan respon paling tinggi yang berarti nilai maksimal yang dikehendaki hampir tercapai. Pendugaan nilai optimum waktu reaksi dan konsentrasi oksidator dari masing-masing bahan kimia seperti ditunjukkan pada **Tabel 7**.

Analisa optimasi peubah bebas terhadap respon hanya akan dibahas terhadap parameter mangan (Mn) dan senyawa organik, sementara untuk senyawa amonium (NH₄-N) dan nitrit tidak dapat dilakukan analisa, karena setelah dilakukan oksidasi pada beberapa percobaan menggunakan ozon justru kadarnya meningkat. Hal ini disebabkan adanya reaksi senyawa organik alami yang terdekomposisi menjadi amonium yang cenderung akan mengikat oksigen. Dengan adanya bakteri *Nitrosomonas* senyawa amonium dan oksigen dapat membentuk senyawa nitrit (NO₂-N) sehingga kadar amonium dan nitrit meningkat dan dengan pembubuhan konsentrasi dan waktu reaksi yang dilaksanakan proses oksidasi belum selesai. Organik nitrogen terdekomposisi menjadi amonia sehingga meningkatkan konsentrasi amonia. Penghilangan organik nitrogen membutuhkan waktu satu jam,

sementara penghilangan nitrogen amino membutuhkan waktu berjam-jam (Black dan Veatch 2010) dengan kebutuhan konsentrasi klorin yang jauh lebih tinggi. Senyawa besi (Fe) sangat mudah dioksidasi walaupun tanpa ada bantuan bahan kimia.

Aplikasi oksidator klorin pada air baku yang diteliti menunjukkan bahwa kebutuhan optimal klorin untuk mengoksidasi masing-masing parameter cemaran berbeda-beda. Kebutuhan klorin untuk mengoksidasi senyawa organik paling tinggi dan waktu reaksi paling lama dibanding kebutuhan klorin untuk mengoksidasi mangan dan besi. Black and Veatch (2010) menyatakan bahwa besi dan mangan sangat mudah teroksidasi oleh klorin dan bahan oksidan lain yang umum digunakan di proses pengolahan air bersih maupun air limbah. Kebutuhan konsentrasi klorin secara stokhiometri untuk mengoksidasi besi adalah 0,64 mg/l per liter Fe²⁺ sementara untuk mengoksidasi 1 liter mangan secara stokhiometri diperlukan 1,29 mg/l Cl₂. Walaupun dalam kenyataannya kebutuhan klorin lebih rendah dari pada perhitungan stokhiometri, karena klorin dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa lain seperti amonia dan senyawa organik (Black dan Veatch 2010).

Dari hasil optimasi menunjukkan bahwa kebutuhan konsentrasi ozon untuk menurunkan senyawa organik lebih tinggi dari pada untuk menurunkan parameter mangan. Rakness (2005) menyatakan konsentrasi ozon yang dibutuhkan untuk

mengoksidasi organik lebih tinggi dari pada untuk oksidasi mangan dan besi. Kehadiran bahan organik menghambat oksidasi besi dan mangan dengan ozon, yang membutuhkan konsentrasi ozon yang lebih tinggi dan/ atau waktu kontak lebih lama untuk pengolahan yang efektif. Keberadaan senyawa organik akan menghambat proses oksidasi mangan sehingga membutuhkan konsentrasi ozon yang lebih tinggi (Black dan Veatch 2010). Reckow *et al.* (1991) menyatakan bahwa dengan adanya senyawa humus dalam air baku maka dibutuhkan ozon dua sampai lima kali lipat dibanding air tanpa adanya senyawa humus.

Suffet *et al.* (1986) mengkonfirmasi bahwa ozon adalah bahan oksidan yang efektif untuk menghilangkan bau dan rasa. Mereka menemukan bahwa konsentrasi ozon 2,5 - 2,7 dan waktu kontak 10 menit, menghasilkan sisa ozon 0,2 mg/L, sangat signifikan mengurangi bau dan rasa pada air yang diteliti. Konsentrasi yang tepat untuk mendapatkan tergantung pada kualitas air baku, suhu dan pH. Ozon yang dibutuhkan untuk oksidasi adalah 0,43 mg/mg besi dan 0,88 mg/mg Mn (Langlais *et al.* 1991).

Prendiville (1986) mengumpulkan data dari unit pengolahan air Los Angeles yang menunjukkan bahwa preozonisasi lebih efektif dibanding pre-klorinasi dalam mengurangi kekeruhan produk tersaring. Prendiville (1986) juga menyatakan bahwa ozon mampu mengurangi THM sebesar 50% mengurangi kebutuhan bahan koagulan meningkatkan pengurangan zat organik sehingga mengurangi kebutuhan klorin sehingga cukup efektif mengurangi biaya dalam penurunan bau rasa dan warna. Son *et al.* (2013) dalam penelitiannya skala laboratorium menyimpulkan bahwa untuk menyisihkan konsentrasi geosmin (mikropolutan) yang sama, kebutuhan ozon pada proses *peroxone* 30% lebih sedikit dibandingkan dengan penyisihan dengan proses ozon saja.

Kebutuhan *peroxone* dalam mengoksidasi mangan lebih tinggi dibanding kebutuhan ozon dalam mengoksidasi mangan. Penelitian terhadap air baku yang diaplikasikan *peroxone* untuk mengoksidasi senyawa organik dan mangan dibutuhkan konsentrasi *peroxone* yang sama, namun waktu reaksi oksidasi organik lebih lama dari pada oksidasi mangan.

EPA (1999) yang menyatakan bahwa kemampuan *peroxone* dalam mengoksidasi besi dan mangan lebih rendah dibanding ozon. Grote (2012) menyatakan AOP yang memiliki kekuatan oksidasi hidroksil radikal yang dapat mengurangi senyawa organik menjadi produk akhir yang tidak berbahaya seperti karbon dioksida dan air. Paillard *et al.* (1988) menyatakan pestisida dalam pengolahan air lebih mudah didegradasi dengan menggunakan kombinasi ozon–hidrogen peroksida jika dibanding hanya dengan ozon saja dengan rasio massa optimal H_2O_2/O_3 antara 0,35 sampai dengan 0,45. Kinerja proses tergantung pada konsentrasi ozon, waktu kontak dan alkalinitas dari air.

Data pemantauan kualitas air baku yang diambil dari data IPA PT. Jababeka menunjukkan bahwa kandungan alkalinitas pada saat dilakukan percobaan penggunaan ozon cukup rendah (alkalinitas = 61,9 mg/l) dibanding kandungan alkalinitas saat dilakukan percobaan *peroxone* yang cukup tinggi (alkalinitas = 128 mg/l). Pada air permukaan yang kandungan alkalinitas tinggi akan lebih mudah dioksidasi oleh ozon (Rackness 2005). Hal ini menjelaskan bahwa oksidasi senyawa organik menggunakan *peroxone* lebih berhasil (41,5%) dibanding proses oksidasi dengan menggunakan ozon (26,87%).

KESIMPULAN

Kinerja terbaik proses oksidasi dengan klorin menghasilkan penurunan organik sebesar 75% pada konsentrasi 15,25 ppm dan waktu reaksi 17,07 menit. Sementara

ozon menghasilkan penurunan organik 26,78% pada konsentrasi 4,04 ppm dan waktu reaksi 12,07 menit. *Peroxone* menghasilkan penurunan organik 41,5%, pada konsentrasi 5,4 ppm dan waktu reaksi 4,5 menit.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kami ucapkan kepada PT. Jababeka Infrastruktur yang telah memfasilitasi kegiatan penelitian ini dalam penyediaan data, fasilitas penelitian dan analisa laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- Black, Veatch. 2010. *White's Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants*. New Jersey (US): John Wiley and Sons Hoboken.
- Demiral M dan Kayan B. 2012. *Application of response surface methodology and central composite design for optimization of textile dye degradation by wet air oxidation*. International Journal of Industrial Chemistry 3:24
- Dewi AK. 2013. Penerapan metode permukaan respon dalam masalah optimalisasi. *E-Jurnal Matematika*. 2 (2) : 32-36.
- Glaze, W. H., Joon-Wu K., Chapin DG. 1987. *The Chemistry of Water Treatment Processes Involving Ozone, Hydrogen Peroxide, and Ultraviolet Radiation*. Ozone Science Engineering. 9 : 335.
- Grote B. 2012. *Application of Advanced Oxidation Processes (AOP) in Water Treatment*. 37th Annual Qld Water Industry Operations Workshop Parklands, Gold Coast.
- Hartono DM. 2009. Penentuan Indikator Pencemaran Air Dengan Pendekatan Indeks Kualitas Air Pada Air Baku Air Minum Dari Saluran Tarum Barat. *Lingkungan Tropis*. 3 (1) : 11-22
- Langlais, B., D.A. Reckhow, and D.R. Brink. (editors). 1991. *Ozone in Drinking Water Treatment: Application and Engineering*. AWWARF and Lewis Publishing, Chelsea, MI.
- M. Mohajerani, M. Mehrvar, F. Ein-Mozaffari. 2009. *An Overview of The Integration of Advanced Oxidation Technologies and Other Processes for Water and Waste Water Treatment*, International Journal of Engineering (IJE). 3 : Issue (2)
- Montgomery DC. 2001. *Design and Analysis of Experiments* 5th ed. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Paillard, H., Brunet, R. & Dore, M. 1988. *Optimal conditions for applying an ozone/hydrogen peroxide oxidizing system*. *Water Res.*, 22: 91-103
- Prendiville. 1986. *Ozonation of 900 cfs Los Angeles Water Purification Plant*. Ozone Science and Engineering. 8 : 77.
- Rackness K.I. 2005. *Ozone in Drinking Water Treatment Process Design, Operation, and Optimization*. Denver US American Water Works Association.
- Reckhow DA, Knocke WR, Kearney MJ and Cynthia A. 1991 *Oxidation Of Iron And Manganese By Ozone*. Ozone Science and Engineering. 13: 675-695
- Said NI. 2007. Disinfeksi untuk Proses Pengolahan Air Minum. *Jurnal Air Indonesia*, 3 (1) : 15-28. BPPT Jakarta
- Son HJ, Kim SG, Yeam HS, Choi JT. 2013. *Evaluation of Applicability and Economical Efficiency of Peroxone Process for Removal of Micropollutants in Drinking Water Treatment*. Journal of Environmental Science International, 22(7) :905-913
- Sowyer Clair N, Mc Carthy Perry L, Parkin Gene F. 2003. *Chemistry For Environmental Engineering and Sciences*, 5th edition, Boston : Mc Grow Hill.
- Suffet, I.H., C. Anselme, and J. Mallevialle. 1986. "Removal of Tastes and Odors by Ozonation." Conference proceedings, AWWA Seminar on Ozonation: Recent Advances and Research Needs, Denver, CO.
- White GC. 1992. *Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants*. New York (US): Van Nostrand Reinhold.