

OPTIMASI KADAR OZON DALAM PROSES DISINFEKSI BAKTERI COLIFORM PADA PENGOLAHAN AIR MINUM

Fadhillah Zahrotul Jannah ¹⁾, Mochammad Saifuddin Zuhri ²⁾, Edi Mulyadi ³⁾

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur,
Jalan Raya Rungkut Madya Gunung Anyar, Surabaya 60249
fadhillahzahrotulj@gmail.com

Abstrak

Air minum yang mengandung bakteri coliform menandakan bahwa kondisi air tersebut masih tercemar. Sehingga apabila air tersebut dikonsumsi dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan bagi manusia. Oleh karena itu dalam pengolahan air minum dibutuhkan proses disinfeksi yang harus dilakukan secara tepat dan efisien. Terdapat banyak metode untuk melakukan proses disinfeksi salah satunya yaitu dengan memanfaatkan paparan ozon sebagai disinfektan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui persen degradasi bakteri coliform setelah dilakukan proses disinfeksi dengan variasi kadar ozon dan laju alir tertentu serta mencari kadar ozon dan laju alir yang optimal dalam proses disinfeksi pada pengolahan air minum. Proses optimasi dilakukan menggunakan Response Surface Methodology serta rancangan percobaan yang digunakan yaitu Central Composite Design dengan memanfaatkan perangkat lunak Minitab 19. Parameter yang akan dioptimasi meliputi kadar ozon sebesar 1,46; 1,75; 2,45; 3,15; dan 3,44 ppm. Sedangkan laju alir yang digunakan sebesar 4,17; 5; 7; 9; dan 9,83 lpm. Berdasarkan proses optimasi yang dilakukan didapatkan kadar ozon optimal sebesar 2,79 ppm dan laju alir optimal sebesar 4,17 lpm. Kondisi optimal yang didapatkan ini dapat mendegradasi bakteri coliform sebesar 100 persen.

Kata kunci: bakteri coliform; disinfeksi; ozon; response surface methodology

OPTIMIZATION OF OZONE LEVELS IN THE PROCESS OF DISINFECTION COLIFORM BACTERIA IN DRINKING WATER TREATMENT

Abstract

Drinking water containing coliform bacteria indicated that the water is still polluted. So that the applicable criteria can cause various human health problems. Therefore, in drinking water treatment, the disinfection process must be carried out appropriately and efficiently. There are many methods to carry out the disinfection process, one of which is by utilizing ozone exposure as a disinfectant. This study aims to see the percentage of bacterial degradation that occurs after the disinfection process with variations in ozone levels and certain flow rates and to find optimal ozone levels and flow rates in the disinfection process in drinking water treatment. The process optimization was carried out using the Response Surface Methodology and the experimental design used was Central Composite Design by utilizing Minitab 19 software. The parameters to be optimized included an ozone level of 1.46; 1.75; 2.45; 3.15; and 3.44 ppm. While the flow rate used was 4.17; 5; 7; 9; and 9.83 lpm. Based on the optimization process, the optimal ozone level was 2.79 ppm and the optimal flow rate was 4.17 lpm. The optimal conditions obtained can degrade coliform bacteria by 100 percent.

Key words: coliform bacteria; disinfection; ozone; response surface methodology

PENDAHULUAN

Dalam kehidupan manusia, air mempunyai peranan yang sangat penting salah satunya yaitu sebagai sumber air minum. Tubuh manusia mempunyai kadar air mencapai 68% dan untuk bertahan hidup kadar air dalam tubuh harus tetap dipenuhi (Rahayu, 2017). Seiring meningkatnya populasi manusia di dunia maka kebutuhan air minum juga semakin meningkat. Namun, hal ini tidak diimbangi dengan meningkatnya kualitas dan kuantitas air minum yang tersedia. Berdasarkan Surat Keputusan Menteri Kesehatan No. 907/Menkes/SK/VII/2002 air minum yang layak dan aman untuk dikonsumsi manusia harus memenuhi berbagai parameter salah satunya yaitu dari segi mikrobiologi. Air minum yang aman untuk dikonsumsi tidak boleh mengandung cemaran mikroorganisme apapun baik mikroorganisme patogen maupun non patogen.

Bakteri *coliform* merupakan salah satu indikator alamiah pencemaran pada air minum. Terdapatnya bakteri *coliform* pada air minum menunjukkan rendahnya sanitasi. Bakteri *coliform* merupakan bakteri yang berbentuk basil/batang, termasuk golongan bakteri gram negatif, bersifat aerob/anaerob fakultatif, dan tidak membentuk spora. Berbagai macam zat racun seperti *indol* dan *skatol* yang dihasilkan oleh bakteri *coliform* akan menyebabkan berbagai masalah kesehatan. Bakteri *coliform* juga dapat menghasilkan zat yang dapat menyebabkan kanker yaitu zat etionin. Air yang masih mengandung cemaran bakteri *coliform* ini tentunya sangat berbahaya jika dikonsumsi oleh manusia sehingga diperlukan pengembangan teknologi untuk mengatasi permasalahan tersebut melalui proses disinfeksi salah satunya dengan memanfaatkan paparan ozon.

Ozon merupakan sebuah molekul gas tidak berwarna yang tersusun dari tiga buah oksigen. Pemanfaatan ozon dalam suatu industri biasanya digunakan dalam berbagai proses seperti proses penghilangan warna, penghilangan bau, dan sebagai disinfektan. Pemanfaatan ozon sebagai disinfektan pada pengolahan air dilakukan pertama kali pada tahun 1906 di *Bon Voyage Water Treatment Plant*, Nice, Prancis. Proses disinfeksi menggunakan ozon mempunyai banyak kelebihan yaitu proses disinfeksi yang dilakukan hanya memerlukan waktu yang singkat. Ozon merupakan disinfektan yang dinilai lebih efektif daripada khlorin karena ozon merupakan oksidator kuat dengan nilai E_0 sebesar 2,07 volt. Namun dalam pemanfaatan ozon sebagai disinfektan harus digunakan dalam kadar ozon yang tepat agar air yang dihasilkan aman dan proses disinfeksi akan berjalan efektif. Kelebihan kadar ozon yang diinjeksikan pada proses disinfeksi dapat menyebabkan migrasi dari komponen residu maupun hasil

dekomposisi polimer pada botol kemasan air minum. Sehingga hal ini menyebabkan perubahan karakteristik produk yaitu bau seperti metal, perubahan rasa pada air minum, juga masalah kesehatan bagi konsumen (Agustini, 2011). Oleh karena itu, diperlukan proses optimasi kadar ozon untuk mendapatkan kadar ozon yang aman dalam proses disinfeksi air minum.

Telah banyak dilakukan berbagai penelitian dan pengembangan mengenai pemanfaatan ozon sebagai disinfektan. Menurut Han JH (2006) pada konsentrasi ozon 0,3 mg/L sampai dengan konsentrasi 0,9 mg/L ozon dapat digunakan untuk membunuh berbagai mikroorganisme seperti bakteri dan virus. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Agustini (2011), proses ozonisasi dapat menyisihkan bakteri *Coliform* dan *Salmonella* menggunakan kadar ozon 0,3 ppm. Penelitian yang dilakukan oleh Nisa (2019) dapat menyisihkan bakteri *Escherichia coli* sebesar 90,95% menggunakan kadar ozon 0,5 ppm selama 10 menit pada volume air 75 liter. Penggunaan konsentrasi ozon yang digunakan dalam proses disinfeksi didasarkan pada jenis mikroorganisme dan pemilihan proses yang digunakan. Pada penelitian terdahulu, pemanfaatan ozon sebagai disinfektan pada pengolahan air dilakukan dengan proses *batch* dimana ozon akan diinjeksikan ke dalam air pada suatu wadah dengan waktu kontak tertentu. Sehingga dilakukan penelitian ini sebagai referensi pembandingan apabila proses disinfeksi bakteri dilakukan dengan menggunakan proses *continuous* dimana ozon akan diinjeksikan pada air baku dengan pengaruh laju alir tertentu pada serangkaian alat pengolahan air minum. Pada proses *continuous*, sistem injeksi ozon dari ozon generator harus memperhatikan tekanan gas yang keluar dari ozon generator. Hal tersebut dikarenakan apabila tekanan flow dari air lebih besar daripada tekanan flow gas maka akan terjadi *back flow* atau aliran balik pada selang ozon generator. Sehingga pada sistem injeksi ozon diperlukan cek valve.

Penelitian yang dilakukan ini bertujuan untuk mengetahui persen degradasi bakteri *coliform* setelah dilakukan proses disinfeksi menggunakan ozon serta menentukan kondisi optimal dari parameter kadar ozon dan laju alir. Proses optimasi dilakukan menggunakan *Response Surface Methodology* serta rancangan percobaan yang digunakan yaitu *Central Composite Design* dengan memanfaatkan perangkat lunak Minitab 19.

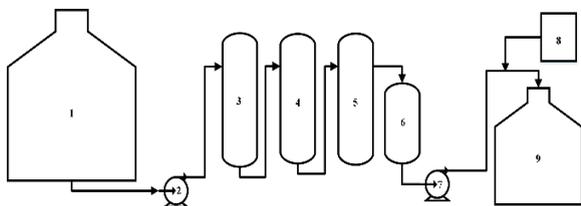
METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan baku utama yang digunakan dalam penelitian ini yaitu air yang berasal dari air sumber pegunungan di Kecamatan Pacet, Kabupaten Mojokerto. Ozon yang digunakan sebagai disinfektan diperoleh dari ozon generator tipe OZ-5G.

Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu serangkaian alat pengolahan air minum yang terdapat di Gedung Techno Park Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur.



Gambar 1. Rangkaian Alat Penelitian

Keterangan:

1. Tangki penyimpanan air
2. Pompa 1 wasser pump (tipe PBMH90-3EA)
3. Tabung filtrasi berisi pasir silika
4. Tabung adsorpsi berisi karbon aktif
5. Tabung penukar ion berisi resin
6. Tabung filtrasi cartridge
7. Pompa 2 CNP southe RN pumps (tipe CDLF2-13)
8. Ozon generator dengan tipe OZ-5G
9. Tangki penyimpanan air produk

Prosedur

Pre-Treatment Air Baku

Dalam proses disinfeksi pada air minum umumnya digabungkan dengan beberapa proses penyisihan partikel yang terkandung di dalam air (Said, 2007). Oleh karena itu sebelum dilakukan proses disinfeksi, air baku yang digunakan akan melalui proses filtrasi, proses adsorpsi, penghilangan kesadahan serta filtrasi *cartridge*. Proses filtrasi ini dilakukan dengan melewatkan air baku ke dalam tabung filtrasi berisi bahan isian silika yang bertujuan untuk menyaring kotoran seperti endapan, ataupun pasir yang terbawa dalam air. Setelah melalui proses filtrasi, air akan dilewatkan ke dalam tabung yang berisi karbon aktif untuk dilakukan proses adsorpsi. Proses adsorpsi ini bertujuan untuk menghilangkan bahan organik yang terlarut dalam air. Penghilangan kesadahan dilakukan dengan melewatkan air yang berasal dari tabung adsorpsi ke dalam tabung yang berisi resin untuk proses pertukaran ion. Selanjutnya air akan dilewatkan melalui *cartridge filter* dengan tujuan untuk mengilangkan materi terlarut berupa partikel kecil yang tersuspensi dalam air. Proses *pre-treatment* dilakukan untuk mendapatkan air minum yang sesuai dengan standart serta untuk meningkatkan efektifitas proses disinfeksi melalui penghilangan kotoran dan kesadahan serta dapat menurunkan potensi pembentukan senyawa *trihalomethan* (THMs) yang bersifat karsinogenik.

Proses Disinfeksi

Disinfeksi merupakan proses yang bertujuan untuk membunuh mikroorganisme terutama yang bersifat patogen. Proses disinfeksi dilakukan dengan menginjektikan ozon yang berasal dari ozon generator tipe OZ-5G dengan variasi kadar ozon yang ditetapkan. Ozon generator mengambil udara bebas dan mengalirkannya melalui elektroda yang dialiri arus bolak-balik dengan tegangan tinggi. Elektroda yang terdapat di dalam ozon generator akan bertabrakan dengan oksigen yang berasal dari udara bebas sehingga molekul oksigen (O_2) akan terpecah menjadi O dan saling bergabung menjadi ozon (O_3). Reaksi pembentukan ozon secara umum yaitu sebagai berikut:



Persamaan reaksi (1) dan (2) merupakan reaksi pembentukan ozon. Agar pada reaksi (2) bisa berlanjut, maka membutuhkan suatu zat ketiga M. Zat M ini dapat berupa oksigen, nitrogen, atau dinding tabung. Jika pembentukan ozon terus berlanjut dan mencapai konsentrasi tertinggi, maka ozon akan terurai kembali dengan reaksi yang terjadi yaitu pada reaksi (3) dan (4). Pembentukan dan peruraian ozon terjadi bersamaan di kedua kutub elektroda (Said, 2007).

Proses disinfeksi dilakukan dalam pipa penghubung antara tabung filtrasi *cartridge* dan tangki penampung produk akhir. Selang injektor dimodifikasi dan dihubungkan dengan pipa. Pengaturan laju alir air yang didisinfeksi dalam proses ini diatur melalui *valve* yang terdapat pada serangkaian alat yang digunakan.

Proses Perhitungan Kadar Bakteri

Perhitungan kadar bakteri dilakukan dengan metode MPN (*Most Probably Number*). Perhitungan kadar bakteri dilakukan dengan mengencerkan sampel air yang sudah didisinfeksi dengan tiga kali ulangan yaitu 10, 1, dan 0,1. Setelah diencerkan, sampel air akan dimasukkan ke dalam media LTB (*Lauryl Triptose Broth*) dan dilakukan proses inkubasi selama 24 jam dengan suhu dijaga pada 37°C. Bakteri yang tumbuh dalam media LTB kemudian diinokulasikan ke dalam media BLBG (*Brilliant Green Lactose Bile Broth*) dan diinokulasikan lagi selama 24 jam dengan suhu dijaga pada 37°C. Hasil positif ditandai dengan adanya perubahan warna dan gelembung gas pada tabung Durham. Setelah itu dilakukan perhitungan kepadatan bakteri menurut persamaan MPN yaitu:

$$MPN/100 \text{ mL} : \frac{1}{V} (230,3 \log 10 \frac{T}{N}) \quad (5)$$

Keterangan:

- V = Volume larutan sampel yang memberikan hasil positif di semua ulangan (ml)
- N = Total volume sampel pada semua hasil negatif (ml)
- T = Total volume sampel pada pengenceran yang digunakan

Proses Optimasi

Proses optimasi dilakukan menggunakan RSM (*Response Surface Methodology*) dengan rancangan percobaan orde dua yang digunakan yaitu CCD (*Central Composite Design*). *Response Surface Methodology* merupakan metode gabungan antara teknik matematika dan teknik statistik. Metode ini digunakan dalam pembuatan model optimasi dan menganalisis suatu respon y yang dipengaruhi oleh beberapa variabel bebas/faktor x (Montgomery, 2012). RSM mempunyai kelebihan yaitu dapat menjelaskan pengaruh antara variabel bebas terhadap respon melalui metode *steepest ascent* dan dapat menjabarkannya secara visual melalui *countour plot* dan *surface plot*. Metode ini telah banyak diaplikasikan untuk menentukan kondisi optimal pada berbagai proses industri. Rancangan CCD merupakan rancangan eksperimen yang dikembangkan untuk menentukan titik optimasi dengan dua variabel bebas. Rancangan ini memfokuskan eksperimen pada titik pusat sehingga dapat meminimalkan variabel *running* sehingga proses optimasi menjadi lebih efektif dan efisien. Penggunaan orde dua dalam proses optimasi dikarenakan analisis orde pertama (model linier) berbentuk garis lurus sehingga tidak ada titik optimal yang dapat ditemukan (Nurmaya, 2013).

Parameter kadar ozon yang digunakan yaitu (1,46; 1,75; 2,45; 3,15; dan 3,44 ppm) dan parameter laju alir yang digunakan yaitu (4,17; 5; 7; 9; dan 9,83 lpm). Langkah awal yang dilakukan yaitu melakukan pengkodean pada masing-masing parameter kadar ozon (x1) dan laju alir (x2). menjadi (-1,414; -1; 0; 1; 1,414). Pengkodean ini dilakukan untuk mendapatkan variasi perlakuan sampel yang diambil. Dalam rancangan percobaan CCD didapatkan 13 perlakuan sampel dengan pengulangan terhadap titik tengah sebanyak lima kali. Setelah dilakukan pengambilan sampel berdasarkan ketentuan kondisi dari rancangan percobaan CCD dilakukan proses perhitungan kadar bakteri menggunakan metode MPN. Berdasarkan kadar bakteri yang diperoleh ini dilakukan perhitungan persen degradasi bakteri yang dijadikan sebagai respon y. Setelah didapatkan respon y berupa persen degradasi, parameter kadar ozon yaitu x1, dan parameter laju alir yaitu x2 kemudian dilakukan proses optimasi menggunakan perangkat lunak Minitab 19. Dari pengolahan perangkat lunak didapatkan hasil uji ANOVA, persamaan optimasi dan kondisi optimal dari masing-masing parameter untuk mendapatkan respon y berupa persen degradasi sebesar 100 persen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bahan baku yang digunakan dalam proses pengolahan air minum berupa air sumber pegunungan dilakukan analisa awal. Analisa awal ini bertujuan untuk mengetahui kadar bakteri *coliform* sebelum dilakukan proses disinfeksi. Sampel awal yang diuji diambil setelah melewati proses *pre-treatment*. Berdasarkan hasil analisis kadar bakteri menggunakan metode MPN didapatkan kadar bakteri *coliform* pada air baku sebesar 23 MPN/100 mL. Hasil ini menunjukkan bahwasanya air tersebut masih tercemar dan belum layak untuk diminum. Untuk menyederhanakan perhitungan, maka variabel independen yang digunakan berupa kadar ozon dan laju alir akan diberikan pengkodean untuk setiap parameter mengikuti persamaan:

$$x1 = \frac{\xi1 - 2,45}{0,7} \tag{6}$$

$$x2 = \frac{\xi2 - 7}{2} \tag{7}$$

Keterangan :

- ξ1 = variabel kadar ozon
- ξ2 = variabel laju alir

Kombinasi perlakuan dalam kode dan variabel sesungguhnya serta hasil perhitungan persen degradasi bakteri *coliform* dari masing-masing variasi perlakuan disajikan pada Tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Variasi Perlakuan dan Persen Degradasi Bakteri *Coliform*

Kadar Ozon (x1)	Laju Alir (x2)	Kadar Ozon (ppm)	Laju Alir (lpm)	Persen Degradasi (%)
-1	-1	1,75	5	70,00
-1	1	1,75	9	47,83
1	-1	3,15	5	100,00
1	1	3,15	9	100,00
0	0	2,45	7	100,00
0	0	2,45	7	77,83
0	0	2,45	7	60,00
0	0	2,45	7	77,83
0	0	2,45	7	95,23
1,414	0	3,44	7	100,00
-1,414	0	1,46	7	47,83
0	1,414	2,45	9,83	60,00
0	-1,414	2,45	4,17	100,00

Persen degradasi bakteri merupakan persentase penurunan kandungan bakteri *coliform* yang terkandung dalam air. Persen degradasi yang tinggi menunjukkan bahwa kandungan bakteri yang rendah, sehingga untuk memenuhi syarat mikrobiologi air yang layak untuk diminum persen degradasi bakteri harus mencapai 100%. Berdasarkan hasil analisis didapatkan persen degradasi yang terendah yaitu sebesar 47,83% pada kadar ozon 1,46 dengan laju alir sebesar 7 lpm. Persen degradasi ini meningkat menjadi 70% dengan meningkatkan kadar ozon menjadi 1,75 ppm dan meurunkan laju alir menjadi 5 lpm. Hasil analisis pada pengulangan *center point* yaitu kadar ozon sebesar 2,45 ppm dengan laju alir 7 lpm menunjukkan hasil persen degradasi yang masih fluktuatif. Sehingga pada parameter *center point* masih belum mampu mendegradasi cemaran bakteri *coliform* secara optimal. Hasil fluktuatif ini dikarenakan oleh aliran turbulen dalam pipa yang menyebabkan kadar ozon yang digunakan pada parameter ini tidak terdistribusikan secara merata sehingga proses disinfeksi tidak berjalan optimal. Persen degradasi bakteri *coliform* mencapai 100 % pada kadar ozon 2,45 ppm dan laju alir 4,17 lpm. Terdapat beberapa faktor penting yang mempengaruhi proses disinfeksi yaitu kadar disinfektan yang digunakan dan waktu kontak. Persen degradasi bakteri akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya waktu kontak dan meningkatnya kadar disinfektan yang digunakan hingga mencapai kadar optimal. Hal ini disebabkan karena dengan meningkatnya kadar ozon, maka radikal bebas yang dihasilkan ozon untuk mendegradasi mikroorganisme juga semakin meningkat. Ozon menyerang residu *guanine* dan *thymine* pada bakteri. Proses disinfeksi menggunakan ozon akan menyebabkan konversi circular plasmid DNA tertutup menjadi circular plasmid DNA terbuka sehingga sel bakteri yang berkontak dengan ozon akan mengalami lisis (Said, 2007).

Menurut Wiyono (2017) temperatur air minum yang baik yaitu pada temperatur normal dengan rentang 8°C dari suhu kamar 27°C. Suhu air dalam penelitian ini dijaga pada suhu ruang pada rentang 25-30 °C. Adanya kenaikan suhu yang disebabkan karena naik turunnya suhu udara selama proses pengambilan sampel tidak mempengaruhi proses disinfeksi secara signifikan. Proses disinfeksi juga dipengaruhi oleh pH air. Pada pH rendah proses ozonisasi terjadi secara langsung. Sedangkan pada pH netral proses disinfeksi yang terjadi yaitu secara tidak langsung. Penelitian ini dilakukan dengan kondisi pH air netral sehingga proses disinfeksi yang terjadi merupakan proses tidak langsung. Dalam proses tidak langsung, ozon akan terdekomposisi menjadi radikal OH⁻ yang mempunyai daya oksidasi terbesar dalam air dan akan bereaksi dengan senyawa organik maupun senyawa inorganik yang terkandung dalam air. Kenaikan pH akan mempercepat proses

dekomposisi ozon (Sururi, 2014). Hal ini terjadi karena pada kondisi pH yang rendah, maka air akan mengandung banyak ion-ion hidrogen. Kondisi air menjadi asam yang menyebabkan proses oksidasi oleh oksidator ozon menjadi lebih lambat (Abdi, 2017).

Analisis Hasil Uji

Uji *Analysis Of Variance* (ANOVA) terhadap parameter x1 yaitu kadar ozon dan x2 yaitu laju alir serta respon y berupa persen degradasi yang diperoleh dari perangkat lunak Minitab 19 disajikan pada Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Analisis ANOVA

Source	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	4024,04	804,81	4,75	0,033
x1	3040,39	3040,39	17,94	0,004
x2	775,23	775,23	4,57	0,070
x1*x1	85,49	85,49	0,50	0,501
x2*x2	1,49	1,49	0,01	0,928
2-Way	122,92	122,92	0,73	0,423
Interact				
ion				
x1*x2	122,92	122,92	0,73	0,423
Error	1186,37	169,48		
Lack-of-Fit	168,98	56,33	0,22	0,877
Pure	1017,39	254,35		
Error				
Total	5210,41			

Dalam ANOVA terdapat derajat signifikansi sebesar 5%. Derajat signifikansi menunjukkan toleransi *error* yang dihasilkan. Berdasarkan hasil analisis varian (ANOVA) didapatkan nilai p faktor kadar ozon lebih kecil dari derajat signifikansi = 5% yaitu 0,004 < 0,05 yang berarti bahwa kadar ozon berpengaruh signifikan terhadap persen degradasi bakteri. Nilai p faktor laju alir lebih besar dari derajat signifikansi = 5% yaitu 0,070 > 0,05 yang berarti laju alir tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap persen degradasi bakteri. Hal ini terjadi karena rentang parameter laju alir yang digunakan dalam penelitian yang dilakukan terlalu kecil sehingga perbedaan waktu kontak ozon antar parameter laju alir dalam proses disinfeksi tidak terlalu besar yang menyebabkan perubahan laju alir tidak berpengaruh secara signifikan terhadap persen degradasi bakteri. Nilai p uji *lack of fit* sebesar 0,877 atau lebih besar dari derajat signifikansi = 5% yaitu 0,657 > 0,05 nilai *lack of fit* yang tidak signifikan tersebut menunjukkan bahwa nilai tersebut tidak signifikan relative terhadap *pure error*. Nilai *lack of fit* yang dihasilkan dari uji ANOVA tersebut menunjukkan adanya kesesuaian data respon persen degradasi dengan model sehingga dapat disimpulkan bahwa model regresi cocok. Persamaan diperoleh dari

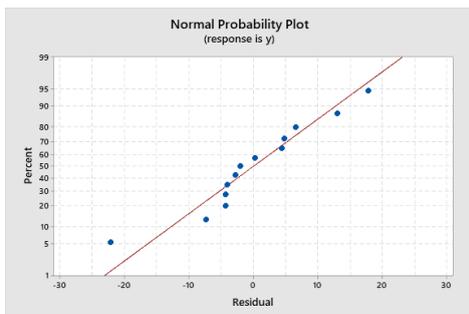
model yang terpilih terhadap respon persen degradasi bakteri, sebagai berikut:

$$y = 68 + 35,2 x_1 - 13,0 x_2 - 7,2 x_1 * x_1 - 0,12 x_2 * x_2 + 3,96 x_1 * x_2 \quad (6)$$

Keterangan:

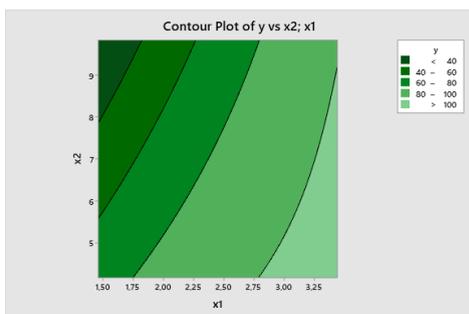
- y = Persen degradasi (%)
- x1 = Kadar ozon (ppm)
- x2 = Laju alir (lpm)

Selain dilakukan uji *Analysis Of Variance* (ANOVA) juga dilakukan uji normalitas. Uji normalitas merupakan uji yang dilakukan untuk mengetahui apakah model regresi yang digunakan terdistribusi secara normal atau tidak. Teknik dalam uji normalitas dilakukan pada nilai residual dalam model regresi. Model regresi yang baik memiliki nilai residual yang terdistribusi normal. Grafik kenormalan untuk respon persen degradasi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Kenormalan Respon Persen Degradasi Bakteri *Coliform*

Berdasarkan Gambar 2 terlihat bahwa titik-titik residual respon menyebar dekat dengan garis normal atau mengikuti garis diagonalnya. Sehingga dapat dikatakan bahwa nilai residual respon terdistribusi normal. Data yang terdistribusi normal menunjukkan adanya pemenuhan model terhadap asumsi dari ANOVA pada respon persen degradasi. Grafik *Contour Plot* yang dihasilkan dengan parameter x1 berupa kadar ozon dan parameter x2 berupa laju alir serta respon y berupa persen degradasi disajikan pada Gambar 3 sebagai berikut:



Gambar 3. Grafik Contour Plot Respon Degradasi bakteri *Coliform*

Pada Gambar 3 menunjukkan pengaruh variabel x1 yaitu konsentrasi ozon dan variabel x2 yaitu laju alir air terhadap respon degradasi bakteri coliform yang disimbolkan dengan y. Hal ini dapat dilihat dari 5 daerah contour plot dengan perubahan warna hijau gelap ke hijau terang yang menunjukkan kenaikan persen degradasi bakteri coliform. Daerah contour plot 1 dengan persen degradasi dibawah 40, dimiliki oleh variabel konsentrasi ozon sebesar 1,46–1,75 ppm dengan laju alir sebesar 8–9,83 lpm. Daerah contour plot 2 dengan persen degradasi antara 40-60, dimiliki oleh variabel konsenrasi ozon sebesar 1,46–2,25 ppm dengan laju alir sebesar 5,7–9,83 lpm. Daerah contour plot 3 dengan persen degradasi antara 60-80, dimiliki oleh variabel konsentrasi ozon sebesar 1,46–2,75 ppm dengan laju alir sebesar 4,17–9,83 lpm. Daerah contour plot 4 dengan persen degradasi antara 80-100, dimiliki oleh variabel konsentrasi ozon sebesar 1,75-2,8 lpm dengan laju alir sebesar 4,17-9,83 lpm. Daerah contour plot 5 dengan persen degradasi 100, dimiliki oleh variabel konsentrasi ozon sebesar 2,75-3,44 ppm dengan laju alir sebesar 4,17-9 lpm. Berdasarkan grafik contour plot ini, titik optimal pada proses desinfeksi bakteri coliform berada pada daerah contour plot 5 dengan persen degradasi 100.

Kondisi Optimal

Berdasarkan hasil analisis varian (ANOVA) maka dapat diperoleh titik optimal dari parameter yang digunakan dalam proses disinfeksi bakteri. Penentuan titik optimal dilakukan berdasarkan kriteria yang diinginkan dengan pemilihan kepentingan serta tujuan yang diinginkan terhadap respon serta faktor yang ada. Kriteria yang diinginkan dalam penelitian ini adalah untuk mencari titik optimal pada dua kondisi berupa kadar ozon dan laju alir agar dapat mendegradasi bakteri coliform sebesar 100%. Hasil titik optimal berdasarkan metode RSM menggunakan perangkat lunak Minitab 19 yaitu untuk parameter x1 yaitu kadar ozon sebesar 2,79 ppm. Sedangkan titik optimal untuk parameter x2 yaitu laju alir sebesar 4,17 lpm.

SIMPULAN

Telah dilakukan penelitian optimasi kadar ozon dalam proses disinfeksi bakteri *coliform* pada pengolahan air minum. Hasil kondisi optimal dari parameter yang digunakan yaitu kadar ozon dan laju alir terhadap respon persen degradasi bakteri *coliform* menggunakan perangkat lunak Minitab 19 yaitu untuk parameter kadar ozon sebesar 2,79 ppm dan parameter laju alir sebesar 4,17 lpm, dengan menggunakan titik optimasi yang didapatkan ini maka mampu mendegradasi bakteri coliform dalam sistem yang digunakan sebesar 100% sehingga air minum yang dihasilkan aman dikonsumsi dan sudah memenuhi standart mutu yang ditetapkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdi, C., Khair, R. M., & Aisyah, s. (2017). "Pengaruh ozonisasi terhadap penurunan intensitas warna dan kadar besi (fe) pada air gambut," *Jukung (jurnal teknik lingkungan)*, 3(1). Hal 21-29. doi: 10.20527/jukung.-v3i1.-3196
- Afrianti Rahayu, S., dan Muhammad Hidayat Gumilar, M. (2017). "Uji cemaran air minum masyarakat sekitar margahayu raya bandung dengan identifikasi bakteri escherichia coli," *Indonesian journal of pharmaceutical science and technology*, 4(2). doi : 10.15416/ijpst.v4i2.-13112
- Han, J. H. et al. (2006). "Killing effect of ozone on house dust mites, the major indoor allergen of allergic disease," *Ozone: science and engineering*, 28(3). Hal 191-196. doi : 10.1080/01919510600689679
- Montgomery, D. C. (2012). *Design and analysis of experiments eighth edition*. New York, John Wiley.
- Nisa., Awalun L., Wahyudin D., Ruhmawati T., dan Putri Z. N. (2019). "Perbedaan waktu kontak ozon terhadap penurunan jumlah bakteri escherichia coli dalam air bersih," *Jurnal Riset Kesehatan*. Poltekkes Depkes Bandung. 11(1). doi :10.34011/juriskesbdg.v11i1.728
- Nurmaya, U. M., Sunaryo, S., Irhamah, dan Akbar, M. S. (2013). "Optimasi multirespon dengan menggunakan metode hybrid fuzzy goal programming dan genetic algorithm (studi kasus : pemotongan logam pada mesin edm sinking)," *Prosiding seminar nasional manajemen teknologi xviii*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Said, N. I. (2018). Disinfeksi untuk proses pengolahan air minum. *Jurnal air indonesia*. doi :/10.29122/jai.v3i1.2314
- Sri Agustini & rienoviar. (2011). "Pengaruh konsentrasi ozon terhadap cemaran mikroba pada air minum dalam kemasan," *Balai riset dan standardisasi industri palembang*.
- Sururi, M. R., Saleh, S. A., dan Krisna, A. (2014). "Pengolahan lindi dengan ozon dan proses oksidasi lanjut berbasis ozon", *Reaktor*, 15(1). Hal 20-26. doi : 10.14710/reaktor.15.1.20-26
- Wiyono, N., Faturrahman, A., dan Syaughiah, I. (2017). "Sistem pengolahan air minum sederhana (portable water treatment)," *Konversi*, 6(1). doi : 10.20527/k.v6i1.3012