



## Preozonasi Sebagai *Pretreatment* Air Baku: Studi Kasus Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) Ngagel I Kota Surabaya

Muhamad Nur Ibnu Luthfi Saud, Ervin Nurhayati\*

Depertemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Email Korespondensi: [ervin@enviro.its.ac.id](mailto:ervin@enviro.its.ac.id)

**Diterima:** 01 April 2023

**Disetujui:** 19 April 2023

**Diterbitkan:** 28 April 2023

### **Kata Kunci:**

Air baku, Amonia, COD, Kekeruhan, pH, Preozonasi, TSS, Warna

### **ABSTRAK**

Semakin menurunnya kualitas air sungai sebagai air baku air minum membawa tantangan tersendiri bagi PDAM agar instalasi pengolahan air (IPA) yang ada tetap bisa mengolah air dengan baik. Salah satu yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan *pretreatment* sebelum air diolah di IPA. Salah satu teknologi *pretreatment* yang dapat diterapkan adalah preoksidasi dengan menggunakan ozon yang disebut dengan preozonasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan preozonasi, sebagai bentuk *pretreatment* air baku, terhadap perubahan parameter pH, warna, kekeruhan, TSS, COD, dan amonia. Metodologi dalam penelitian ini adalah dengan menginjeksi ozon ke dalam sampel air (*effluent* bak prasedimentasi IPAM Ngagel I) dengan variasi laju alir (1, 2, dan 3 L/min) serta variasi waktu kontak (10, 20, dan 30 menit). Berdasarkan penelitian yang dilakukan, didapatkan bahwa preozonasi mampu menyisihkan kekeruhan (3%), warna (4%), TSS (0%), COD (26%), dan amonia (35%) serta pH yang sedikit meningkat (mendekati kondisi netral). Penyisihan tersebut didapatkan dengan cukup menggunakan variasi laju alir sebesar 2,6 L/min dan waktu kontak selama 30 menit. Preozonasi signifikan dalam menyisihkan parameter kimia (COD dan amonia) dan tidak terlalu berpengaruh terhadap parameter fisik (kekeruhan, warna, dan TSS). Dengan penambahan preozonasi ini diharapkan dapat meringankan beban pengolahan selanjutnya yaitu unit koagulasi dan flokulasi sehingga dapat mengurangi konsumsi koagulan.

**Received:** 01 April 2023

**Accepted:** 19 April 2023

**Published:** 28 April 2023

### **Keywords:**

Ammonia, COD, Color, pH, Raw water, TSS, Turbidity, Preozonation

### **ABSTRACT**

The decreasing quality of river water as raw water for drinking water brings its own challenges for PDAMs so that existing water treatment plants (WTP) can still treat the water properly. One thing that can be done is to perform *pretreatment* before the water is treated in the WTP. The objective of the study was to analyze the effect of adding pre-ozonation as a form of *pretreatment* on pH, colour, turbidity, TSS, COD, and ammonia. The methodology in this research was to inject ozone into water samples (*effluent* of the pre-sedimentation tank of Ngagel I WTP) and added variations of flow rates (1, 2, and 3 L/min) and variations in contact time (10, 20, and 30 minutes). Based on the result of the research, it was found that pre-ozonation was able to remove turbidity (3%), colour (4%), TSS (0%), COD (26%), and ammonia (35%) as well as a slightly increased pH (neutral condition). This removal was obtained by using a variation of the flow rate of 2.6 L/min and a contact time of 30 minutes. Preozonation is significant in removing chemical parameters (COD and ammonia) and has little effect on physical parameters (turbidity, colour, and TSS). Applying pre-ozonation, it is expected that it can ease the burden of subsequent units, namely coagulation and flocculation, so as to reduce coagulant consumption.

## 1. PENDAHULUAN

Air baku sebagai penunjang aktivitas rumah tangga dan industri perlu diolah secara fisik, biologi, kimia, ataupun kombinasinya agar memecah senyawa persisten (polutan) menjadi senyawa lebih sederhana (tidak bersifat toxic). Pengolahan air baku pada umumnya memanfaatkan metode

konvensional seperti prasedimentasi, koagulasi-flokulasi, sedimentasi, filtrasi, dan disinfeksi sebagaimana yang diterapkan pada Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) Ngagel I Kota Surabaya. Upaya awal yang diterapkan (*pretreatment*) untuk mengurangi beban pada pengolahan utama yakni melalui prasedimentasi. Mengingat tingginya

debit olahan dan kebutuhan air bersih, maka terkadang masih kurangnya waktu tinggal pada proses prasedimentasi.

Preoksidasi termasuk metode tambahan yang efektif dan diterapkan pada pengolahan air di Negara Jepang, Jerman, serta Amerika Serikat (Loeb et al., 2012). Preoksidasi dilakukan sebelum proses pengolahan utama karena hasil yang baik, operasional relatif mudah, biaya yang cenderung lebih rendah, serta mengurangi beban dan memperpanjang masa pakai unit pengolahan utama. Prinsip preoksidasi adalah menghancurkan lapisan organik pada permukaan partikel untuk mengubah potensial zeta hingga ion logam (Ca, Fe, Mg, Cd, Pb, dan Ar) (Xie et al., 2016). Di sisi lain, preoksidasi juga dapat mendegradasi bahan organik, menghancurkan sistem DNA dan RNA mikroorganisme, mencegah efek samping (kloroform, asam haloasetat, haloasetamida, dan sebagainya) penggunaan klorin sebagai desinfektan, serta mengurangi masalah bau, warna, rasa, dan kekeruhan (Arroyo et al., 2022; Aisyiyah & Haryanto, 2022). Beberapa jenis preoksidasi dapat menggunakan klorin, klorin dioksida, permanganat, ferrat, dan ozon.

Ozon (O<sub>3</sub>) adalah molekul berbentuk gas yang tercipta dari gabungan 3 atom oksigen (O<sub>2</sub>). Pada pemanfaatannya, penggunaan ozon pada proses preoksidasi dapat disebut sebagai preozonasi. Ozon juga dapat dijadikan sebagai bahan oksidator ataupun sebagai desinfektan (Rekhate & Srivastava, 2020). Ozon bersifat sangat reaktif terhadap senyawa daripada klorin dan bahan pengoksidasi lainnya, sehingga proses oksidasi pengolahan dapat berlangsung lebih cepat (Wulansarie, 2012). Walaupun bersifat reaktif, ozon masih dinilai aman terhadap proses oksidasi dikarenakan sebelum dan setelah bereaksi dengan senyawa akan kembali menjadi oksigen (Astuti, 2014). Pada beberapa kondisi, ozon dengan dosis yang rendah (0,4 mg/L) juga dinilai lebih efektif untuk efisiensi pengolahan air (Xie et al., 2013).

Beberapa penelitian untuk memanfaatkan ozon pada pengolahan air telah cukup banyak dilakukan, namun faktor lain seperti lamanya waktu kontak, laju alir yang digunakan, dan konsentrasi ozon terlarut juga dibutuhkan untuk menghasilkan efisiensi pengolahan yang semakin baik. Efisiensi tersebut dimaksudkan agar pengolahan dapat dilakukan menggunakan usaha dan biaya yang seminimal mungkin dengan hasil yang maksimal. Mengacu dari beberapa keunggulan dan kekurangan masing-masing proses yang dijelaskan, maka diharapkan melalui penelitian ini dapat menjadi salah satu metode alternatif yang solutif.

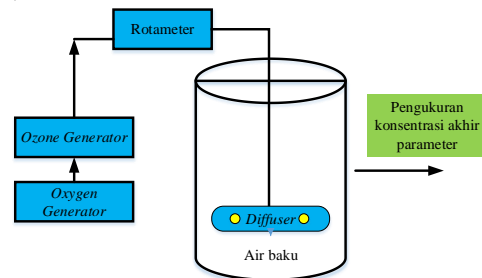
## 2. METODE

Metode penelitian dilakukan secara skala laboratorium di laboratorium Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Air yang akan digunakan untuk preozonasi didapatkan dari *effluent* bak pengendap 1 (prasedimentasi) IPAM Ngagel 1 Kota Surabaya. Air tersebut kemudian diberikan perlakuan preozonasi untuk mengetahui pengaruhnya terhadap parameter pH, warna, TSS, kekeruhan, COD, dan amonia.

Penelitian ini akan memvariasikan antara laju alir dengan waktu kontak. Berdasarkan hal tersebut juga ditetapkan beberapa variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas terdiri dari laju alir gas ozon (1 L/min, 2 L/min, dan 3 L/min) serta lama waktu kontak (10 menit, 20 menit, dan 30 menit), sedangkan variabel terikat berupa konsentrasi ozon terlarut

dan nilai perubahan pada parameter pH, warna, TSS, kekeruhan, COD, dan amonia.

Penelitian diawali dengan mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan. Alat yang digunakan terdiri dari oksigen generator, ozon generator (kapasitas produksi 10 g/jam), reaktor kaca dengan volume 10 L, selang karet sepanjang 1 m, *diffuser* yang terbuat dari bahan keramik, ozon meter (DOZ30), turbidimeter, rotameter untuk mengukur laju aliran, pH meter, *stopwatch*, *glassware*, oven, kertas saring, penjepit, neraca analitik, alat *vacuum*, desikator, dan spektrofotometer. Bahan-bahan pada penelitian ini berupa reagen-reagen yang akan digunakan untuk pengujian COD dan amonia serta aquadest sebagai bahan pelarut. Sebelum dilakukan pengujian, air dilakukan pengadukan yang seragam untuk menciptakan suasana turbulen sesuai kondisi di IPAM. Selanjutnya air dari *effluent* bak pengendap 1 dipisahkan secukupnya (sebagai perbandingan tanpa preozonasi) dan sisanya dimasukkan ke dalam reaktor kaca sebanyak 7L untuk masing-masing variasi perlakuan. Dimasukkan juga *diffuser* (yang telah dihubungkan dengan ozon generator menggunakan selang karet) ke dalam reaktor. Oksigen generator dan ozon generator dinyalakan serta diatur laju alir gas ozon pada rotameter. Selanjutnya dilakukan preozonasi selama variasi waktu kontak yang ditentukan. Rangkaian alat yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian Alat Penelitian

Setelah mencapai waktu kontak yang ditentukan, *diffuser* dikeluarkan dari reaktor dan segera dilakukan pengukuran nilai ozon terlarut. Ozon terlarut harus segera mungkin dilakukan pengukuran, karena jika terlalu lama maka ozon akan semakin berkurang (diakibatkan tingkat kelarutan ozon yang rendah di dalam air). Air yang telah melewati preozonasi kemudian diambil secukupnya untuk diukur nilai dari masing-masing parameter.

Pengujian terhadap nilai parameter mengacu pada ketentuan SNI. Nilai pH diukur menggunakan pH meter, nilai kekeruhan diukur menggunakan turbidimeter, nilai TSS diukur secara gravimetri, nilai COD diukur menggunakan metode titrasi, serta nilai amonia dan warna diukur menggunakan spektrofotometer. Nilai-nilai parameter tersebut segera dilakukan pengukuran untuk menghindari pengawetan dan kemungkinan perubahan kondisi sampel. Data yang didapatkan selanjutnya diolah menggunakan aplikasi *Microsoft Excel* dan *Design Expert* untuk menentukan nilai optimasi secara *Respons Surface Methodology* (RSM). Data hasil penelitian disajikan sebagai  $C_t/C_0$  agar menyeragamkan nilai awal dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Nilai konsentrasi} = \frac{C_t}{C_0} \quad (1)$$

Sedangkan presentasi efisiensi penyisihan nilai parameter didapatkan berdasarkan persamaan berikut:

$$\text{Efisiensi penyisihan} = (1 - \frac{C_t}{C_0}) \times 100\% \quad (2)$$

Dimana:

- $C_t$  : konsentrasi / nilai parameter setelah perlakuan (waktu ke-t)
- $C_0$  : konsentrasi / nilai parameter sebelum perlakuan (waktu ke-0)

Selama penelitian berlangsung, didapatkan beberapa data-data sesuai dengan rencana penelitian. Data terhadap perubahan nilai suatu parameter berupa  $C_t/C_0$  yang semakin kecil merepresentasikan bahwa penyisihan semakin baik dan sebaliknya. Adapun data hasil penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

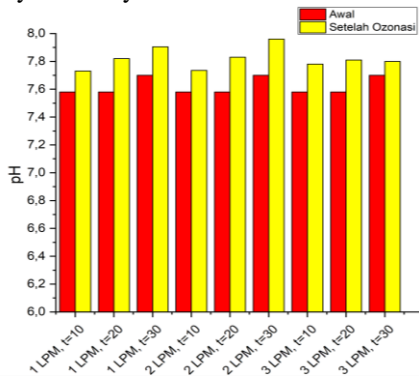
#### 3.1 Perubahan Nilai Parameter Kualitas Air Akibat Preozonasi

Tabel 1. Hasil Pengukuran Setelah Proses Preozonasi

Keterangan	Dosis $O_3$	$C_t/C_0$ Awal	$C_t/C_0$ Setelah Preozonasi					pH (awal)	pH (setelah)
			Kekeruhan	Warna	TSS	COD	Amonia		
Kontrol	0,00	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	7,58	7,58
1 L/min, t=10	0,12	1	1,00	0,96	0,80	1,20	0,71	7,58	7,73
1 L/min, t=20	0,15	1	1,25	0,62	1,31	0,80	0,60	7,58	7,82
1 L/min, t=30	0,18	1	1,12	0,79	1,19	0,64	0,88	7,7	7,91
2 L/min, t=10	0,09	1	1,22	0,68	1,06	1,00	1,01	7,58	7,74
2 L/min, t=20	0,20	1	1,19	1,12	0,79	0,80	0,81	7,58	7,83
2 L/min, t=30	0,21	1	1,06	0,81	1,09	0,57	0,52	7,7	7,96
3 L/min, t=10	0,10	1	1,38	0,68	1,40	1,00	0,82	7,58	7,78
3 L/min, t=20	0,24	1	1,25	0,84	1,46	0,80	0,72	7,58	7,81
3 L/min, t=30	0,36	1	0,94	0,93	1,12	0,86	0,09	7,7	7,80

##### 3.1.1 Pengaruh Preozonasi Terhadap Perubahan pH

Berdasarkan pada Tabel 1, terlihat bahwa peningkatan laju alir dan waktu kontak akan berbanding lurus terhadap konsentrasi ozon terlarut. Semakin banyak ozon yang masuk ke dalam reaktor, maka dapat meningkatkan produksi radikal hidroksil (Wahyudi et al., 2019). Ozonasi tetap dapat berlangsung dalam rentang pH 2-12 (Arroyo et al., 2022), sehingga di dalam penelitian ini tidak menjadikan pH sebagai variabel utama agar mengurangi penggunaan bahan kimia terhadap penyesuaiannya.



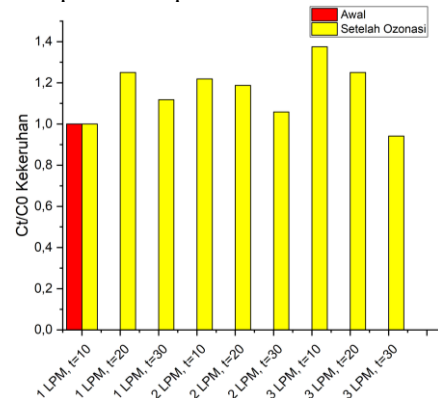
Gambar 2. Perubahan pH Setelah Proses Ozonasi

Dapat dilihat pula pada Gambar 2 di bawah ini bahwa terjadi peningkatan pH yang linear terhadap konsentrasi ozon. Kondisi pH air baku sebelum ozonasi berada pada rentang netral (7,4-7,8). Peningkatan pH disebabkan pada kondisi  $pH < 8$   $O_3^*$  akan bereaksi dengan  $H^+$ , sehingga konsentrasi  $H^+$  yang berkurang menyebabkan pH meningkat (Gujer &

Wonten, 2003). Hal ini dapat memberikan dampak yang positif terhadap dekomposisi suatu senyawa (Bismo, 2010). Perubahan nilai pH yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 2.

##### 3.1.2 Pengaruh Preozonasi Terhadap Nilai Kekeruhan

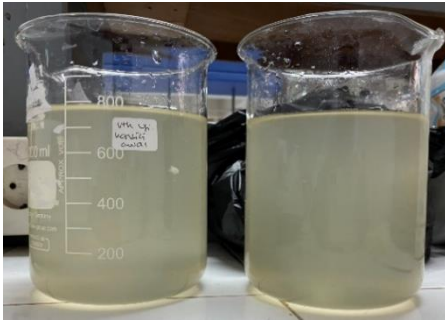
Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, preozonasi cenderung mengakibatkan peningkatan parameter kekeruhan. Walaupun terjadi peningkatan (dibandingkan dengan kondisi awal), seiring dengan penambahan waktu kontak akan kembali mengalami penurunan. Perubahan nilai kekeruhan setelah preozonasi dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Perubahan Tingkat Kekeruhan Setelah Proses Ozonasi

Dapat dilihat pada Gambar 3 bahwa kekeruhan cenderung mengalami peningkatan yang linear dengan dosis ozon saat laju alir 1 L/min selama 10-30 menit. Kondisi berbeda justru didapatkan saat laju alir 2 L/min dan 3 L/min yang cenderung

menurunkan kekeruhan seiring dengan peningkatan waktu kontak dan dosis ozon. Fenomena peningkatan yang terjadi dapat dipengaruhi oleh masih adanya senyawa organik terlarut yang kemudian membentuk koloid ataupun TSS sehingga direpresentasikan sebagai kekeruhan (Jekel, 1994). Senyawa organik yang dimaksud contohnya asam humat dan asam fulvat. Selain itu, adanya efek hidrofilik dan tolakan elektrostatis sebagian besar koloid dan partikel di dalam air akan mempengaruhi tingkat stabilitas dan dapat meningkatkan kekeruhan (Xie et al., 2016). Hal yang sama juga terjadi pada penelitian Ma et al (2001) bahwa ada peningkatan kekeruhan sebanyak 17%. Kondisi peningkatan yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 4.

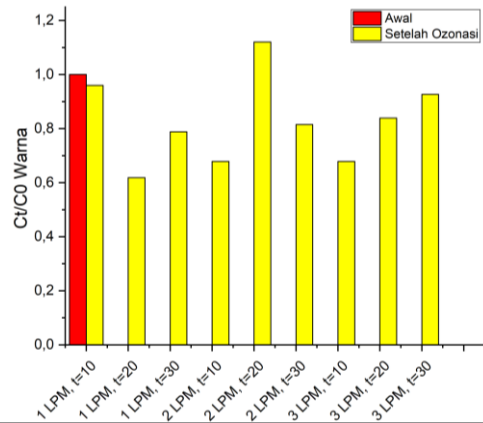


Gambar 4. Perubahan Kekeruhan Setelah Preozonasi

Kekeruhan mengalami penurunan optimum (jika dibandingkan dengan kondisi awal) saat laju alir 3 L/min dan waktu kontak 30 menit. Pada variasi tersebut didapatkan bahwa konsentrasi ozon terlarut sebesar 0,36 mg/L (konsentrasi tertinggi). Jika dikorelasikan dengan dosis ozon, maka dapat dikatakan proses ozonasi akan efektif untuk menurunkan nilai kekeruhan saat konsentrasi >0,3 mg/L. Penyisihan berdasarkan nilai  $C_t/C_0$  adalah 0,9 atau efisiensi sebesar 10% dengan penurunan dari kekeruhan awal 85 NTU menjadi 77 NTU. Hasil penelitian ini sejalan dengan pernyataan Crittenden et al (2017) dimana semakin tinggi konsentrasi ozon, maka senyawa-senyawa *humic* penyebab kekeruhan dapat semakin berkurang.

### 3.1.3 Pengaruh Preozonasi Terhadap Nilai Warna

Keberadaan kontaminan warna terhadap suatu kondisi air dapat tercipta secara alami (pengaruh alga dan mikroba) ataupun akibat kontaminasi suatu senyawa (Fe dan Mg) (Rosalina, 2018). Peningkatan laju alir berdampak pada penyisihan warna. Semakin tinggi laju alir akan mempengaruhi banyaknya ozon. Semakin banyak konsentrasi ozon, maka semakin mudah untuk mengoksidasi senyawa-senyawa organik (sifatnya memanfaatkan oksigen) yang mempengaruhi warna (Abdi et al., 2017). Namun kondisi tersebut berbanding terbalik dengan hasil penelitian ini, dimana ketika terjadi peningkatan waktu kontak maka penyisihan semakin menurun (peningkatan pada grafik). Perubahan kondisi tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.



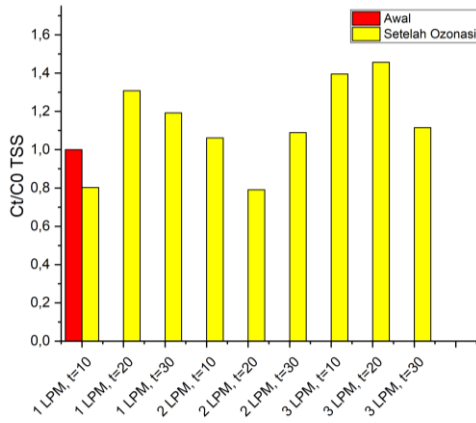
Gambar 5. Perubahan Warna Setelah Proses Ozonasi

Secara umum terlihat bahwa preozonasi dapat menurunkan tingkat warna walaupun sedikit fluktuatif. Penyisihan warna cukup baik pada laju alir 1 L/min dengan waktu kontak 10-30 menit. Namun penyisihan menurun saat laju alir 2 dan 3 L/min selama 10-30 menit. Kondisi peningkatan nilai warna yang terjadi dapat dipengaruhi oleh polimerisasi senyawa organik ataupun pemecahan molekul yang lebih besar dari suatu senyawa saat dosis ozon yang rendah (Jekel, 1994). Peningkatan juga dapat terjadi dikarenakan masih adanya senyawa organik (contohnya asam askorbat) setelah preozonasi (Rosalina, 2018; Shriram & Kanmani, 2016). Berdasarkan hasil penelitian Yan & Wu (2014) menambahkan bahwa adanya kemungkinan dari saturasi air terhadap ozon (sehingga tidak menghasilkan cukup radikal hidroksil) yang menginduksi senyawa organik terlarut dan meningkatkan warna. Di sisi lain, jika suhu >35°C dapat menyebabkan ozon cenderung sulit terlarut dan kurang efektif menyisihkan warna (Masoomi et al., 2019). Dapat disederhanakan bahwa penyisihan warna dengan ozonasi bergantung pada radikal hidroksil yang tercipta (Bismo, 2010).

Nilai penyisihan warna paling optimum berdasarkan Gambar 3 didapatkan saat laju alir 1 L/min selama 20 menit. Penyisihan menghasilkan nilai  $C_t/C_0$  0,64 atau penyisihan sebesar 36% dengan menurunkan warna dari 17,79 PtCo menjadi 11 PtCo. Dapat dikatakan bahwa penyisihan warna paling optimal mampu dicapai saat dosis ozon rendah. Nilai tersebut sedikit lebih besar dari hasil penelitian Masoomi et al. (2019) yang hanya mampu menyisihkan warna 32,13% dengan konsentrasi ozon 5g/jam setelah 20 menit.

### 3.1.4 Pengaruh Preozonasi Terhadap Nilai TSS

*Total Suspended Solid* (TSS) dapat merepresentasikan banyaknya padatan ataupun partikel terlarut. Padatan tersebut umumnya dapat mengandung senyawa-senyawa yang bersifat polutan di air. Kondisi perubahan TSS dapat dipengaruhi oleh kekeruhan (Rosalina, 2018). Hasil preozonasi terhadap perubahan TSS dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Perubahan TSS Setelah Proses Ozonasi

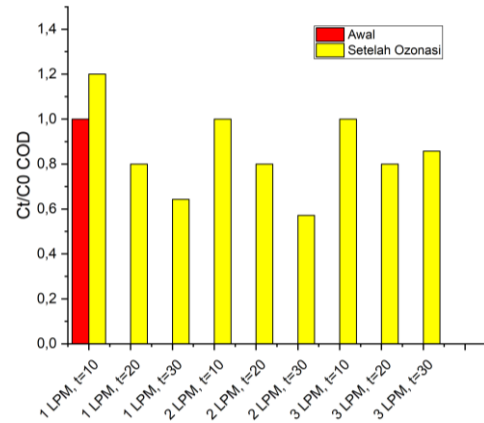
Selama preozonasi berlangsung dengan variasi laju alir dan waktu kontak, terlihat bahwa terjadi peningkatan nilai TSS jika dibandingkan sampel kontrol (tanpa preozonasi). Pada laju alir 1 L/min selama 10 menit didapatkan penyisihan TSS cukup baik. Setelah waktu kontak ditingkatkan menjadi 20 menit, terlihat bahwa penyisihan menurun yang juga linear terhadap peningkatan kekeruhan. Variasi peningkatan laju alir untuk memperbanyak konsentrasi ozon terlarut dapat memecah koloid menjadi flok-flok kecil (diklasifikasikan sebagai TSS) (Dianawati et al., 2017). Selanjutnya ketika waktu kontak diperlama menjadi 30 menit, penyisihan TSS berlangsung cukup baik. Secara umum terlihat pada Gambar 6 bahwa konsentrasi ozon yang semakin tinggi dapat menurunkan nilai TSS. Hal yang terjadi adalah dekomposisi ozon sebagai OH\* akan merusak struktur ikatan sel maupun senyawa (untuk melepaskan materi ekstraseluler ataupun intraseluler) sehingga mudah dioksidasi (Moussavi et al., 2008). Penelitian tersebut juga mendapatkan bahwa peningkatan konsentrasi ozon 0,125-2 gO<sub>3</sub>/g TS dapat menyisihkan TSS 8,3-48%. Hasil penelitian ini mendapatkan penyisihan TSS terbaik sebesar 20% atau 0,8 C<sub>1</sub>/C<sub>0</sub> saat konsentrasi ozon terlarut 0,2 mg/L (variasi laju alir 2 L/min dan waktu kontak 20 menit).

### 3.1.5 Pengaruh Preozonasi Terhadap Nilai COD

Salah satu tujuan variasi waktu kontak dan laju alir adalah untuk mengetahui kondisi optimum preozonasi dalam menurunkan suatu parameter, contohnya COD. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan laju alir dan waktu kontak memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap nilai COD. Nilai-nilai yang didapatkan ditampilkan pada Gambar 7.

Nilai COD mengalami peningkatan saat awal pengujian selama 10 menit dengan laju alir 1 L/min. Peningkatan tersebut dapat disebabkan oleh adanya suatu senyawa inhibitor seperti ion karbonat ataupun ion bikarbonat. Karbonat dan bikarbonat memanfaatkan radikal hidroksil (hasil dekomposisi ozon) untuk menciptakan karbonat radikal, sehingga mengganggu proses ozonasi dalam menurunkan COD. Ion karbonat dan bikarbonat secara alami dapat tercipta pada suatu larutan karena adanya kandungan glukosa (Estikarini et al., 2016). Selain itu, karena pada kondisi laju alir 1 L/min menunjukkan bahwa pH cenderung mendekati kondisi asam

maka ozon mendapat gangguan elektofilik selektif (bersumber dari senyawa organik yang memiliki ikatan C=C dan terurai menjadi aldehida dan karboksilat) (Fajri et al., 2017). Ketika waktu kontak ditingkatkan menjadi 20 dan 30 menit, maka penyisihan COD semakin baik. Kondisi yang sama juga terjadi pada kondisi laju alir 2 L/min. Penyisihan yang semakin baik seiring dengan peningkatan konsentrasi ozon menggambarkan bahwa ikatan senyawa organik mulai terurai dengan baik oleh OH\*, O, dan O<sub>3</sub> di dalam air (Raghab et al., 2013). Diperkirakan bahwa pada saat tersebut lebih didominasi oleh reaksi ozon secara tidak langsung.



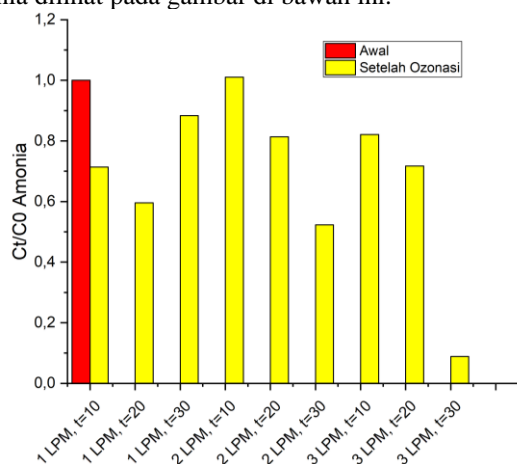
Gambar 7. Perubahan COD Setelah Proses Ozonasi

Pada penggunaan laju alir 3 L/min, terlihat bahwa saat waktu kontak ditingkatkan dari 20 menit menjadi 30 menit terjadi sedikit peningkatan. Fenomena yang terjadi ini karena larutan dapat jenuh akibat semakin bertambahnya konsentrasi ozon terlarut di suatu wadah. Ketika konsentrasi ozon berkurang, secara tidak langsung senyawa-senyawa yang tahan terhadap ozon (*scavenger*) akan bertahan dan mempengaruhi reaksi oksidasi (Fajri et al., 2017). Selain itu, kenaikan suhu juga dapat menyebabkan peningkatan pergerakan molekul yang berhubungan dengan reaksi oksidasi oleh ozon. Saat suhu >30 °C tingkat kelarutan dan kemampuan dekomposisi ozon di air akan menurun (Aisyiyah et al., 2022). Hasil penelitian Yan & Wu (2014) menyatakan bahwa ketika suhu <30 °C dan pH = 7 dapat menyisihkan COD hingga 42%. Penyisihan COD yang paling optimal dari penelitian ini didapatkan saat variasi laju alir 2 L/min setelah waktu kontak 30 menit. Nilai C<sub>1</sub>/C<sub>0</sub> yang didapatkan sebesar 0,57 atau penyisihan sebesar 43%. Variasi tersebut juga menurunkan nilai COD awal 12,74 mg/L menjadi 7,28 mg/L.

### 3.1.6 Pengaruh Preozonasi Terhadap Nilai Amonia

Amonia menjadi salah satu senyawa yang kehadirannya dapat bersifat sebagai polutan dalam suatu kondisi perairan. Amonia yang berlebihan dalam suatu perairan sangat mudah untuk menimbulkan eutrofikasi dan masalah toksisitas bagi makhluk hidup. Kelarutan NH<sub>3</sub> di air dapat menghasilkan NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dan OH<sup>-</sup> (Cheng et al., 2015). Pengolahan biologis umum digunakan untuk mengolah amonia namun tidak dapat menyisihkan hingga 80%. Pengolahan secara kimia menggunakan ozon dalam kondisi tertentu dapat menyisihkan

amonia hingga >80% (Yang & Liu, 2022). Hasil penyisihan amonia dilihat pada gambar di bawah ini.



**Gambar 8.** Perubahan Amonia Setelah Proses Ozonasi

Setelah dilakukan preozonasi dengan variasi waktu kontak dan laju alir, terlihat bahwa secara umum amonia mengalami penurunan. Di dalam suatu perairan, amonia dominan berbentuk  $NH_4^+$  sebanyak 99% dari total amonia pada pH netral. Pada variasi laju alir 1 L/min didapatkan penyisihan yang semakin baik setelah waktu kontak 20 menit, namun kembali menurun setelah waktu kontak 30 menit. Konfigurasi tetrahedral ion amonium yang banyak menyebabkan amonia sedikit sulit untuk dioksidasi (Yang & Liu, 2022). Mengacu dari konsentrasi ozon terlarut yang masih rendah (<0,25 mg/L) saat variasi laju alir 1 L/min, maka diperkirakan kurangnya kemampuan ozon untuk mengoksidasi amonia tersebut.

Peningkatan laju alir menjadi 2 L/min dan 3 L/min memberikan hasil yang baik terhadap penyisihan amonia. Pada variasi tersebut terlihat bahwa pH mengalami sedikit peningkatan (menuju basa) yakni 7,8 yang dapat berdampak positif. pH dalam kondisi basa mampu menginisiasi ozon agar melalui jalur reaksi secara tidak langsung dengan menghasilkan  $OH^*$  yang sangat reaktif di air. Reaksi yang dimaksud akan mengubah amonia ( $NH_3$ ) menjadi nitrat ( $NO_3^-$ ) dengan bantuan  $O_3$ ,  $OH^*$ , serta radikal bebas lainnya (Krisbiantoro et al., 2020). Penyisihan amonia yang paling optimum didapatkan saat variasi laju alir 3 L/min dengan waktu kontak 30 menit dan konsentrasi ozon terlarut sebesar 0,36 mg/L. Penyisihan tersebut ditunjukkan dengan nilai  $C_t/C_0$  0,09 atau sebesar 91% dengan nilai awal 0,21 mg/L menjadi 0,02 mg/L. Nilai yang didapatkan ini jauh lebih besar dari penelitian Yang & Liu (2022), dimana dengan pH 8; konsentrasi ozon terlarut 0,1 mM; dan waktu kontak selama 1 jam memiliki tingkat penyisihan hanya sebesar 6,73-6,76%.

### 3.2 Pemilihan Variasi Optimum Terhadap Penyisihan Parameter dengan Metode RSM

Hasil yang didapatkan setelah perlakuan preozonasi memberikan dampak yang berbeda-beda dan bergantung pada parameter yang akan diolah. Mengacu dari hal tersebut, maka diperlukan penentuan variasi antara laju alir dan waktu kontak yang sesuai. Penentuan tersebut didapatkan berdasarkan analisis RSM menggunakan metode *Central Composite Design* (CCD). Metode CCD dipilih karena jumlah variasi yang digunakan lebih dari 15. Adapun hasil analisis dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

**Tabel 2.** Variasi Optimum Preozonasi Berdasarkan Hasil Analisis RSM

Nomor	Laju Alir (L/min)	Waktu (Menit)	Kekeruhan	Warna	Ct/C0			Keputusan
					TSS	COD	Amonia	
1	2,613	30	0,97	0,961	1,001	0,736	0,354	0,639
2	2,621	30	0,969	0,961	1,004	0,737	0,351	0,639
3	2,604	30	0,971	0,962	0,998	0,734	0,357	0,639
4	2,629	30	0,968	0,96	1,007	0,739	0,349	0,639
5	2,591	30	0,972	0,963	0,994	0,732	0,361	0,639
6	2,643	30	0,967	0,959	1,012	0,742	0,344	0,639
7	2,578	30	0,973	0,964	0,99	0,729	0,365	0,639
8	2,569	30	0,974	0,965	0,987	0,728	0,368	0,639
9	2,518	30	0,978	0,967	0,971	0,719	0,384	0,638
10	2,694	30	0,963	0,954	1,032	0,751	0,328	0,638
11	2,739	30	0,96	0,949	1,051	0,761	0,314	0,637
12	2,786	30	0,956	0,943	1,072	0,771	0,299	0,636
13	2,261	30	1,001	0,969	0,92	0,678	0,466	0,635
14	2,154	30	1,012	0,963	0,911	0,664	0,501	0,633
15	2,904	30	0,947	0,926	1,131	0,796	0,261	0,628
16	2,94	30	0,945	0,92	1,151	0,805	0,249	0,624
17	1,763	30	1,053	0,912	0,944	0,624	0,626	0,619
18	1,475	30	1,087	0,843	1,033	0,609	0,718	0,587

Sebagaimana terlihat pada Tabel 2 bahwa terdapat 18 (delapan belas) variasi yang diberikan. Berdasarkan data tersebut, maka dipilih variasi dengan tingkat keputusan tertinggi yang bernilai mendekati 1. Variasi yang terpilih dengan menggunakan variasi laju alir sebesar 2,6 L/min dan waktu kontak selama 30 menit. Variasi tersebut dapat memberikan efisiensi penyisihan (berdasar nilai  $C_i/C_0$ ) pada kekeruhan sebesar 0,97 atau penyisihan 3%, warna sebesar 0,96 atau penyisihan 4 %, TSS 1,00 atau penyisihan 0%, COD 0,74 atau penyisihan 26%, serta amonia sebesar 0,35 atau penyisihan 65%. Jika nilai tersebut dihitung terhadap kondisi awal, maka perubahan yang terjadi terhadap kekeruhan akan menurun dari 85 NTU menjadi 82 NTU, nilai warna menurun dari 14,57 PtCo menjadi 14,0 PtCo, nilai TSS tidak mengalami penyisihan, nilai COD akan menurun dari 12,74 mg/L menjadi 9,7 mg/L, serta nilai amonia akan menurun dari 0,64 mg/L 0,16 mg/L.

### 3.3 Hasil Pengujian Statistik

Pengujian statistik dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh dari nilai-nilai yang didapatkan terhadap suatu variabel secara deret bilangan. Nilai statistik yang didapatkan juga dimaksudkan untuk memperkuat kesimpulan yang akan diberikan sebagai luaran. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode *anova* dengan bantuan aplikasi SPSS dan *Design Expert*. Nilai signifikansi (*p-value*) metode ANOVA berdasarkan pengujian RSM akan dikatakan berpengaruh signifikan jika memiliki nilai  $<0,05$ , tidak signifikan jika bernilai  $>0,1$  ataupun sedikit tidak signifikan jika  $0,05 < x < 0,1$ . Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel di bawah.

**Tabel 3.** Hasil Uji Signifikansi Masing-masing Variabel

	<i>p-value</i>				
	Warna	TSS	COD	Amonia	Kekeruhan
<b>Setelah ozonasi</b>					
A-Laju alir	0,3946	0,065	0,185	0,848	0,147
B-Waktu Kontak	0,348	0,376	< 0,000	0,008	0,0005
AB	3,66	0,128	0,005	0,041	< 0,0001
A <sup>2</sup>	-	0,008	0,013	-	0,8695
B <sup>2</sup>	-	0,979	0,046	-	0,0004

Hasil pengujian pada perlakuan setelah preozonasi terlihat bahwa laju alir tidak berpengaruh signifikan terhadap perubahan nilai parameter warna, COD, amonia, dan kekeruhan. Koefisien linear waktu dan intraksi laju alir/waktu kontak sama-sama menunjukkan bahwa akan berpengaruh signifikan terhadap parameter COD, amonia, dan kekeruhan, sedangkan tidak berpengaruh signifikan terhadap warna dan TSS. Pada koefisien kuadrat laju alir hanya akan berpengaruh signifikan terhadap TSS dan COD, serta sedikit tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai kekeruhan. Tingkat signifikansi koefisien kuadrat waktu kontak justru menunjukkan kebalikannya dimana kekeruhan mengalami pengaruh yang signifikan dan sedikit tidak signifikan justru terjadi pada nilai TSS dan COD.

## 4. SIMPULAN

Peneliti mengetahui bahwa semakin lama waktu kontak dan semakin tinggi laju alir yang diberikan akan berdampak baik terhadap penyisihan parameter kimia (COD dan amonia). Variasi tersebut adalah laju alir cukup 2,6 L/min dan waktu kontak selama 30 menit. Beberapa parameter yang signifikan mengalami penyisihan yakni COD dan amonia masing-masing sebanyak 26% dan 35%. Sedangkan parameter kekeruhan dan warna masing-masing hanya mengalami penyisihan sebesar 3% dan 4% serta TSS yang tidak mengalami penyisihan (0%). Penyisihan beberapa parameter khususnya COD dan amonia yang terjadi di awal akan dapat mengurangi beban pengolahan pada proses selanjutnya yang ada di IPAM.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian yang didanai oleh *Worldwide Universities Network (WUN) Global Research Group* NCKU Taiwan, dan juga Dana ITS Penelitian Kemitraan 2023.

## 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), pp. 21–29. doi: 10.20527/jukung.v3i1.3196.
- Aisyiyah, S., Haryanto, H. & Surakarta (2022). Pengaruh konsentrasi ozon dan waktu paparan sinar uv terhadap penurunan kadar cod air limbah rs pku muhammadiyah surakarta. 10(5), pp. 493–500.
- Arroyo, R. et al. (2022). Chlorination by-products formation in a drinking water distribution system treated by ultrafiltration associated with pre-ozonation or coagulation/flocculation. *Journal of Water Process Engineering*, 47(February). doi: 10.1016/j.jwpe.2022.102779.
- Astuti, U. P. (2014). Pengolahan Air Payau Menggunakan Elektrodialisis dan Ozon. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Bismo, S. (2010). Kajian Prospek Penggunaan Ozon untuk Pengendalian Limbah Industri., Teknologi Ozon untuk Pengolahan Air dan Disinfeksi, (August), pp. 1–13.
- Cheng, C. H. et al. (2015). Effects of ammonia exposure on apoptosis, oxidative stress and immune response in pufferfish (Takifugu obscurus). *Aquatic Toxicology*, 164, pp. 61–71. doi: 10.1016/j.aquatox.2015.04.004.
- Crittenden, R. Rhodes Trussell, David W. Hand, K. J. H. & G. T. (2017). MHW's Water Treatment Principles and Design.
- Dianawati, R., Endah Wahyuningsih, N. & Nur, M. (2017). Efektivitas Ozon Dalam Menurunkan Kadar TSS dan Nilai pH Limbah Cair Rumah Sakit dr. ADHYATMA, MPH SEMARANG. *Jurnal Kesehatan Masyarakat UNDIP*, 5(5), pp. 2356–3346. Available at: <http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jkm>.
- Estikarini, H. D., Hadiwidodo, M. & Luvita, V. (2016). Penurunan Kadar COD dan TSS pada Limbah Tekstil Dengan Metode Ozonasi. *Teknik Lingkungan*, 5(1), pp.

88–100.

- Fajri, N., Hadiwidodo, M. & Rezagama, A. (2017). Pengolahan Lindi Dengan Metode Koagulasi-Flokulasi Menggunakan Koagulan Aluminium Sulfat dan Metode Ozonisasi Untuk Menurunkan Parameter BOD, COD, dan TSS ( Studi Kasus Lindi TPA Jatibarang ). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(1), pp. 1–13. Available at: <https://media.neliti.com/>.
- Gujer, W. & Wonten, urs von (2003). A stochastic model of an artificial neuron. *Advances in Applied Probability*, 23(4), pp. 809–822. doi: 10.2307/1427677.
- Jekel, M. R. (1994). Flocculation Effects of Ozone. *Ozone: Science & Engineering*, 16(1), pp. 55–66. doi: 10.1080/01919519408552380.
- Krisbiantoro, P. A. et al. (2020). Oxidation of Ammonia Nitrogen with Ozone in Water: A Mini Review. *Journal of the Indonesian Chemical Society*, 3(1), p. 17. doi: 10.34311/jics.2020.03.1.1.
- Loeb, B. L. et al. (2012). Worldwide Ozone Capacity for Treatment of Drinking Water & Wastewater: A Review. *Ozone: Science & Engineering*, 34(1), pp. 64–77. doi: 10.1080/01919512.2012.640251.
- Ma, J., Li, G.B., Chen, Z.L., Xu, G.R., Cai, G.Q., 2001. Enhanced coagulation of surface waters with high organic content by permanganate preoxidation. *Water Sci. Technology*. *Water Supply* 1 (1), 51-61.
- Masoomi, B. et al. (2019). Effects of pre-ozonation and chemical coagulation on the removal of turbidity, color, TOC, and chlorophyll a from drinking water. *Environmental Health Engineering and Management*, 6(1), pp. 53–61. doi: 10.15171/ehem.2019.06.
- Moussavi, Gholamreza et al. (2008). Effect of ozonation on reduction of volume and mass of waste activated Sludge. *Journal of Applied Sciences Research*, 4(2), pp. 122–127. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/228614881>.
- Raghab, S. M., Abd El Meguid, A. M. & Hegazi, H. A. (2013). Treatment of leachate from municipal solid waste landfill. *HBRC Journal*, 9(2), pp. 187–192. doi: 10.1016/j.hbrj.2013.05.007.
- Rekhate, C. V. & Srivastava, J. K. (2020). Recent advances in ozone-based advanced oxidation processes for treatment of wastewater- A review. *Chemical Engineering Journal Advances*, 3(June), p. 100031. doi: 10.1016/j.cej.2020.100031.
- Rosalina (2018). Studi pengaruh jenis warna, dan waktu ozonasi terhadap penurunan kekeruhan pewarna. *Warta Akab*, 42(2), pp. 1–8.
- Shriram, B. & Kanmani, S. (2016). Photocatalytic-Ozonation of Textile Dyeing Waste water using Fixed Catalyst System. 3(3), pp. 107–112. doi: 10.17148/IARJSET.2016.3324.
- Wahyudi, D. P., Ghaisani, S. V. and Bismo, S. (2019) Degradation of phenol and 2,4-dichlorophenol wastewater by ozonation in multi-injection bubble column reactor. *Journal of Physics: Conference Series*, 1349(1). doi: 10.1088/1742-6596/1349/1/012074.
- Wulansarie, R. (2012). Sinergi Teknologi Ozon dan Sinar UV Dalam Penyediaan Air Minum Sebagai Terobosan Dalam Pencegahan Penyakit Infeksi Diare di Indonesia, Skripsi. Available at: [http://lib.ui.ac.id/file?file=digital/20310142-S43042-Sinergi teknologi.pdf](http://lib.ui.ac.id/file?file=digital/20310142-S43042-Sinergi%20teknologi.pdf).
- Xie, P. et al. (2013). Comparison of permanganate preoxidation and preozonation on algae containing water: Cell integrity, characteristics, and chlorinated disinfection byproduct formation. *Environmental Science and Technology*, 47(24), pp. 14051–14061. doi: 10.1021/es4027024.
- Xie, P. et al. (2016). A mini review of preoxidation to improve coagulation. *Chemosphere*, 155, pp. 550–563. doi: 10.1016/j.chemosphere.2016.04.003.
- Yan, C. Y. & Wu, X. X. (2014). Decolorization and COD removal of saline brine by ozonation. *Advanced Materials Research*, 962–965, pp. 829–832. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.962-965.829.
- Yang, Y. & Liu, H. (2022). The mechanisms of ozonation for ammonia nitrogen removal: An indirect process. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(5), p. 108525. doi: 10.1016/j.jece.2022.108525.