TA/TL/2024/1879

TUGAS AKHIR

EFEKTIVITAS PROSES OZONASI DALAM MENGURANGI KANDUNGAN *NATURAL ORGANIC MATTER* (NOM) PADA AIR MINUM

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan

NABILA RAHMAN
20513199

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

2024

TUGAS AKHIR

EFEKTIVITAS PROSES OZONASI DALAM MENGURANGI KANDUNGAN *NATURAL ORGANIC MATTER* (NOM) PADA AIR MINUM

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan

NABILA RAHMAN

20513199

Disetujui,
Dosen Pembimbing:

Hudori, S.T., M.T., Ph.D.
NIK. 015130101
Tanggal: 21/10/2024

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII:

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
YOGYAKARTA

Any Juliani, S.T., M.Sc.(Res.Eng.)., Ph.D.
NIK. 045130401
Tanggal: 21/10/2024

HALAMAN PENGESAHAN

EFEKTIVITAS PROSES OZONASI DALAM MENGURANGI KANDUNGAN *NATURAL ORGANIC MATTER* (NOM) PADA AIR MINUM

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Jum'at

Tanggal : 23 Agustus 2024

Disusun Oleh :

NABILA RAHMAN

20513199

Tim Penguji :

Hudori, S.T., M.T., Ph.D. (21/10/2024)

Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D. ( )

Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T. ( ) 21/10/2024

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program *software* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan tanggungjawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sangsi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sangsi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 23 Agustus 2024

Yang membuat pernyataan,



Nabila Rahman

NIM: 20513199

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. atas Rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis memiliki kesempatan untuk menyelesaikan penelitian Tugas Akhir yang berjudul **"Efektivitas Proses Ozonasi Dalam Mengurangi Kandungan *Natural Organic Matter* (NOM) Pada Air Minum"** dengan baik. Tugas Akhir ini disusun dengan maksud dan tujuan agar pembaca dapat menerima wawasan pengetahuan mengenai bahan organik yang dapat berbahaya bagi kesehatan dan bagaimana cara menurunkan kadar bahan organik. Selain itu, Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi syarat kelulusan dari Program Pendidikan Strata Satu (S1) Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu kelancaran dalam penyusunan Tugas Akhir ini baik secara moril maupun materi. Maka dari itu izinkan penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang selalu memberikan kesehatan, kelancaran dan kemudahan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Hudori, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan, nasihat serta arahan selama penelitian ini berlangsung.
3. Bapak Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D. selaku dosen penguji satu yang telah membimbing dan meluangkan waktu untuk memberikan kritik dan saran yang membangun sehingga penelitian ini dapat selesai dengan baik.
4. Ibu Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T. selaku dosen penguji dua yang telah membimbing dan meluangkan waktu untuk memberikan kritik dan saran yang membangun sehingga penelitian ini dapat selesai dengan baik.

5. Orang tua penulis yang sangat penulis cintai dan selalu memberikan dukungan, semangat, pengertian pada penulis selama pengerjaan tugas akhir ini berlangsung.
6. Teman dan sahabat yang selalu memberikan dukungan, motivasi, dan setia menamani penulis selama pengerjaan tugas akhir ini berlangsung.
7. Semua pihak yang tidak dapat disebut satu per satu yang telah membantu penulis dalam melengkapi penyelesaian tugas akhir ini.

Yogyakarta, 23 Agustus 2024



Nabila Rahman

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRAK

NABILA RAHMAN. Efektivitas Proses Ozonasi dalam Mengurangi Kandungan *Natural Organic Matter* (NOM) pada Air Minum. Dibimbing oleh Hudori, S.T., M.T., Ph.D.

Keberadaan *Natural Organic Matter* (NOM) dalam air minum menyebabkan penurunan kualitas air dan masalah kesehatan. Senyawa ini dapat bereaksi dengan desinfektan dalam proses pengolahan dan menghasilkan *Disinfection By-Products* (DBP). Untuk mengurangi risiko kesehatan yang ditimbulkan oleh DBP, diperlukan teknologi pengolahan air yang lebih efektif. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas proses ozonasi dalam mengurangi kandungan NOM pada air minum, serta menganalisis perubahan intensitas fluoresensi dan pengaruh variasi pH terhadap efisiensi proses ozonasi. Penelitian dilakukan dengan menggunakan air sintetik yang diuji pada berbagai variasi pH dan waktu kontak, dengan parameter utama yang diamati meliputi UV 254 dan intensitas fluoresensi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pH netral (pH 7) merupakan kondisi paling optimal untuk menghilangkan kandungan NOM, dengan waktu kontak 30 menit dan dosis ozon sebesar 29,10 mg/L. Pada pH netral, terjadi penurunan intensitas fluoresensi pada senyawa *fulvic acid-like* sebesar 47%, *humic acid-like* 49%, *tryptophan-like* 69%, dan *tyrosine-like* 44%. Efektivitas yang lebih tinggi pada pH netral dibandingkan kondisi asam atau basa menunjukkan bahwa ozonasi pada pH ini mampu secara efisien mengurangi kandungan NOM, sehingga mengurangi potensi terbentuknya DBP dalam air minum.

Kata Kunci: Ozonasi, Intensitas Fluoresensi, NOM

ABSTRACT

NABILA RAHMAN. *The Effectiveness of Ozonation Process in Reducing Natural Organic Matter (NOM) in Drinking Water. Mentored by* Hudori, S.T., M.T., Ph.D.

The presence of Natural Organic Matter (NOM) in drinking water leads to a decline in water quality and health issues. These compounds can react with disinfectants during the water treatment process, resulting in the formation of Disinfection By-Products (DBP). To reduce the health risks posed by DBP, more effective water treatment technologies are needed. Therefore, this study aims to analyze the effectiveness of the ozonation process in reducing NOM content in drinking water, as well as to evaluate changes in fluorescence intensity and the impact of pH variations on the efficiency of the ozonation process. The study was conducted using synthetic water, tested under various pH levels and contact times, with the primary parameters observed being UV 254 and fluorescence intensity. The results showed that neutral pH (pH 7) is the most optimal condition for removing NOM, with a contact time of 30 minutes and an ozone dose of 29.10 mg/L. At neutral pH, there was a decrease in fluorescence intensity of 47% for fulvic acid-like compounds, 49% for humic acid-like compounds, 69% for tryptophan-like compounds, and 44% for tyrosine-like compounds. The higher effectiveness at neutral pH compared to acidic or basic conditions indicates that ozonation at this pH efficiently reduces the NOM content, thereby lowering the potential for the formation of DBPs in drinking water.

Keywords: Ozonation, Fluorescence Intensity, NOM

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

PRAKATA iv
ABSTRAK vii
ABSTRACT viii
DAFTAR ISI x
DAFTAR TABEL xiv
DAFTAR GAMBAR xvi
DAFTAR LAMPIRAN xviii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 2
1.4 Manfaat Penelitian 2
1.5 Ruang Lingkup 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 4
2.1 Natural Organic Matter (NOM) 4
2.2 Karakterisasi NOM 5
2.2.1 UV 254 5
2.2.2 *Fluorescence Intensity* 6
2.3 Ozonasi 8
2.4 Ozon Generator 10
2.5 Uji Korelasi 11
2.6 Penelitian Terdahulu 11

BAB III METODE PENELITIAN 14
3.1 Waktu dan Lokasi 14
3.2 Alat dan Bahan 14
3.3 Prosedur Analisis Data 14
3.3.1 Pembuatan Air Sintetis 15
3.3.2 Pembuatan Variasi pH 16
3.3.3 Proses Ozonasi 17
3.3.4 Analisis Parameter 18
3.3.5 Metode Analisis Data 20
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 22
4.1 Perhitungan Dosis Ozon 22
4.1.1 Pengaruh Waktu Kontak terhadap Konsentrasi Ozon 22
4.1.2 Pengaruh Variasi pH terdahap Konsentrasi Ozon 25
4.2 Pengujian *Fluorescence EEM* 27
4.2.1 Pengaruh pH dan Waktu Kontak terhadap *Fulvic Acid-like* 29
4.2.2 Pengaruh pH dan Waktu Kontak terhadap *Humic Acid-like* 32
4.2.3 Pengaruh pH dan Waktu Kontak terhadap *Tryptophan-like* 35
4.2.4 Pengaruh pH terhadap *Tyrosine-like* 37
4.3 Pengujian UV 254 40
4.4 Uji Korelasi 41
4.4.1 Uji Korelasi Intensitas Fluoresensi dengan Dosis Ozon 42
4.4.2 Uji Korelasi Intensitas Fluoresensi dengan UV 254 43
4.4.3 Uji Korelasi Intensitas Fluoresensi Fulvic Acid-like dengan Komponen Organik Lainnya 45

4.4.4 Uji Korelasi UV 254 dengan Dosis Ozon 47
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 48
5.1 Kesimpulan 48
5.2 Saran 49
DAFTAR PUSTAKA 50
LAMPIRAN 54

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Panjang Gelombang Eksitasi dan Emisi untuk Intensitas *Peak Fluorescence* 7
Tabel 2. 2 Jenis Komponen Fluoresensi dan Rentang Eksitasi-Emisinya 7
Tabel 2. 3 Penelitian Terdahulu 12
Tabel 3. 1 Variasi pH dan Waktu Kontak dalam Proses Ozonasi 18
Tabel 4. 1 Dosis Ozon 22
Tabel 4. 2 Tabel Koefisien Korelasi antara Dosis Teori dan Dosis KI 24
Tabel 4. 3 Sisa Ozon 24
Tabel 4. 4 Dosis Ozon yang Terpakai 25
Tabel 4. 5 Sisa Ozon Berdasarkan Waktu Kontak dan pH 26
Tabel 4. 6 Intensitas Fluoresensi *Fulvic Acid-like* pada Variasi pH dan Waktu Kontak 29
Tabel 4. 7 Intensitas Fluoresensi *Humic Acid-like* pada Variasi pH dan Waktu Kontak 32
Tabel 4. 8 Intensitas Fluoresensi *Tryptophan-like* pada Variasi pH dan Waktu Kontak 35
Tabel 4. 9 Intensitas Fluoresensi *Tyrosine-like* pada Variasi pH dan Waktu Kontak 37
Tabel 4. 10 Koefisien Korelasi Pada Tiap pH 42
Tabel 4. 11 Koefisien Korelasi dengan UV 254 Pada Berbagai pH 43
Tabel 4. 12 Koefisien Korelasi *Fulvic Acid-like* dengan Komponen Organik Lainnya pada Berbagai pH 45
Tabel 4. 13 Koefisien Korelasi dengan UV 254 Pada Berbagai pH 47
Tabel 1. Konsentrasi Ozon 54
Tabel 2. Dosis Ozon 56
Tabel 3. Sisa Ozon 56
Tabel 4. Dosis Ozon yang Terpakai 56

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Integrasi Regional Fluoresensi 8
Gambar 2. 2 Reaksi Pembentukan Ozon (O_3)..... 9
Gambar 2. 3 Ozon Generator 10
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian 15
Gambar 3. 2 Pembuatan Air Sintetis..... 16
Gambar 3. 3 Pembuatan Variasi pH..... 16
Gambar 3. 4 Diagram Alir Proses Ozonasi..... 17
Gambar 3. 5 Skema Proses Ozonasi 18
Gambar 3. 6 Spektrofluorofotometer Shimadzu RF-6000..... 19
Gambar 3. 7 Hitachi UH5300 UV/VIS Spectrophotometer..... 19
Gambar 3. 8 Spectrophotometer UV/VIS 20
Gambar 4. 1 Grafik Konsentrasi Ozon Pada Uji Dosis Menggunakan Larutan KI 23
Gambar 4. 2 Hasil Pembacaan Intensitas Fluoresensi 29
Gambar 4. 3 Grafik Intensitas Fluoresensi *Fulvic Acid-like* pada Variasi pH dan Waktu Kontak..... 31
Gambar 4. 4 Grafik Intensitas Fluoresensi *Humic Acid-like* pada Variasi pH dan Waktu Kontak..... 34
Gambar 4. 5 Grafik Intensitas Fluoresensi *Tryptophan-like* pada Variasi pH dan Waktu Kontak..... 36
Gambar 4. 6 Grafik Intensitas Fluoresensi *Tyrosine-like* pada Variasi pH dan Waktu Kontak..... 39
Gambar 4. 7 UV 254 pada Variasi pH dan Waktu Kontak..... 40

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Perhitungan Dosis Ozon 54
Lampiran 2: *Peak Picking Fulvic Acid-like, Humic Acid-like, Tryptophan-like,* dan *tyrosine-like* 59
Lampiran 3: Efisiensi Removal 71
Lampiran 4: Dokumentasi 72

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan sumber daya alam penting yang mendukung kehidupan manusia dan ekosistem. Namun, dalam beberapa tahun terakhir peningkatan urbanisasi, perubahan gaya hidup, dan aktivitas manusia lainnya telah meningkatkan tekanan terhadap kualitas air. Kualitas dan kuantitas air menjadi penting untuk diperhatikan dalam memenuhi kebutuhan air minum bagi masyarakat. Salah satu tantangan utama dalam pengolahan air minum adalah keberadaan Bahan Organik Alami atau *Natural Organic Matter* (NOM).

NOM adalah campuran senyawa organik kompleks yang berasal dari sumber alami seperti tanaman, hewan, dan mikroorganisme. Keberadaan NOM dapat menyebabkan sejumlah masalah dalam proses pengolahan air terutama saat proses desinfeksi. Selama proses desinfeksi, interaksi antara senyawa-senyawa organik dalam NOM dengan desinfektan dapat menghasilkan Disinfection By-Products (DBP).

Pembentukan *Disinfection By-Products* (DBP) dalam pengolahan air minum dapat menghasilkan senyawa berbahaya, termasuk *aliphatic halogenated trihalomethanes* (THM), *haloacetic acids* (HAA), *haloacetonitriles* (HAN), haloketones, dan *trichloronitromethane* (Bond *et al.,* 2012). Keberadaan DBP dalam air minum pada konsentrasi tinggi dapat berdampak negatif pada kesehatan manusia. Oleh karena itu, pengolahan dan pengurangan kandungan *Natural Organic Matter* (NOM) menjadi sangat penting untuk menjaga keamanan air minum dan meminimalkan potensi risiko terhadap kesehatan masyarakat.

Penggunaan ozon merupakan solusi yang tepat dalam pengelolaan kandungan NOM. Ozon bertindak sebagai oksidator yang kuat, mampu menguraikan senyawa organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana. Kemampuan ini berasal dari sifat oksidatif radikal ozon, yang dihasilkan selama proses dekomposisi. Dalam

proses ini, ozon terurai menjadi oksigen (O_2) dan menghasilkan radikal bebas seperti HO_2, OH, dan H. Radikal-radikal ini memiliki sifat sangat reaktif dan mampu menyerang ikatan dalam senyawa organik, yang mengakibatkan degradasi senyawa tersebut menjadi bentuk yang lebih sederhana dan lebih mudah dihilangkan dari air (Sugiharto, 1987).

Kemampuan ozon sebagai oksidator untuk mendegradasi senyawa organik merupakan alternatif pengolahan yang aman, setelah bereaksi dan mendegradasi senyawa organik, ozon akan kembali membentuk oksigen, sehingga tidak menimbulkan residu kimia lain dalam jumlah besar (Usada *et al.,* 2002). Maka dari itu, penggunaan ozon merupakan pilihan terbaik untuk pengolahan air yang mengandung NOM.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Berapa dosis ozon yang paling efektif untuk menurunkan kandungan NOM dalam air?
2. Bagaimana perubahan intensitas fluoresensi setelah melalui proses ozonasi pada air yang mengandung NOM?
3. Bagaimana pengaruh variasi pH terhadap efektivitas penggunaan ozon dalam menurunkan kandungan NOM dalam air?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis dosis ozon yang paling efektif untuk menurunkan kandungan NOM.
2. Menganalisis perubahan *Fluorencence Intensity* setelah melalui proses ozonasi.
3. Menganalisis pengaruh pH terhadap kinerja ozon untuk menurunkan NOM.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan metode pengolahan air yang lebih efektif dan efisien.
2. Proses ozonasi dapat menjadi alternatif yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan metode pengolahan air yang menggunakan bahan kimia tertentu.
3. Penelitian ini dapat memberikan wawasan baru tentang ozonasi.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah:

1. Sampel menggunakan air buatan (air sintetik)
2. Parameter yang diuji yaitu pH, waktu kontak, UV 254, dan *Fluorescence intensity*
3. Pengujian sampel dilaksanakan di Laboratorium Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Natural Organic Matter (NOM)

NOM atau Bahan Organik Alami adalah campuran kompleks dari berbagai senyawa organik yang berasal dari tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme. Senyawa-senyawa ini memiliki berbagai ukuran dan sifat kimia yang dipengaruhi oleh gugus fungsi yang terkandung didalamnya. Gugus fungsi ini menentukan interaksi dan reaktivitas NOM terhadap lingkungan sekitarnya. Contoh gugus fungsi yang umum ditemukan dalam NOM meliputi karboksilat (-COOH), hidroksil (-OH), dan amina ($-NH_2$). Asam humat dan asam fulvat yang merupakan komponen utama NOM, mengandung gugus fungsi seperti karboksilat dan fenolat yang berperan dalam interaksi dengan ion logam dan bahan kimia lainnya dalam proses pengolahan air (Matilainen *et al*., 2011).

NOM merupakan campuran heterogen dari senyawa organik alami dengan polaritas, keasaman, kepadatan muatan dan massa molekul yang berbeda. Ukuran dan bentuk NOM dipengaruhi oleh pH air dan kekuatan ionik. Pada pH rendah dengan kekuatan ionik yang rendah akan membentuk filamen linier yang fleksibel. Konsentrasi dan sifat NOM dapat bervariasi karena perbedaan proses hidrologi dan biogeokimia yang akan mempengaruhi asal usul NOM (Aiken *et al*, 1995).

Menurut Aiken (1995) berdasarkan sumbernya NOM berasal dari dua sumber alami, yaitu *allochthonous* dan *autochthonous*. *Allochthonous* berasal dari ekosistem darat, dimana bahan organik terbentuk dari dekomposisi tumbuhan kompleks (*higher plants*) oleh bakteri dan jamur yang kemudian terbawa ke badan air melalui aliran hujan atau limpasan permukaan tanah. Sedangkan *autochthonous* berasal dari dalam badan air itu sendiri yang terbentuk melalui pertumbuhan dan dekomposisi plankton, alga, serta bakteri akuatik yang hidup di ekosistem perairan. (Firella, 2009).

Disinfection By-Products (DBP) telah menjadi fokus perhatian dalam

pengolahan air selama beberapa dekade terakhir. Lebih dari 700 senyawa DBP telah dikonfirmasi, diantaranya *trihalomethanes* (THMs) dan *haloacetic acids* (HAA) merupakan dua kelompok yang paling umum ditemukan di seluruh dunia. Disinfektan seperti klorin, klorin dioksida, dan kloramin, yang umumnya digunakan masing-masing menghasilkan rangkaian senyawa DBP dalam air minum (Krasner *et al.,* 2006). Menurut USEPA, NOM memiliki peran penting sebagai prekursor utama dalam pembentukan DBP.

Kehadiran NOM di alam menimbulkan banyak permasalahan bagi kesehatan manusia dan lingkungan. Terdapat peningkatan kasus pencemaran NOM yang ditemukan dalam beberapa tahun terakhir yang menyebabkan berbagai masalah kualitas air seperti perubahan warna, rasa, dan bau air tawar mempercepat pertumbuhan mikroorganisme yang akan meningkatkan kekeruhan air dan volume lumpur (Feng *et al,* 2022).

2.2 Karakterisasi NOM

Terdapat berbagai metode yang dapat digunakan untuk melakukan karakterisasi NOM. Pada umumnya NOM diukur menggunakan metode Absorbance UV (UV254) dan Fluorescence Intensity.

2.2.1 UV 254

UV 254 merupakan pengukuran seberapa banyak cahaya yang dapat diserap oleh sampel setelah melewati atau memantul dari permukaan sampel pada panjang gelombang 254 nm. Prinsip kerja teknik ini didasarkan pada spektroskopi UV-Vis, yang mengukur intensitas cahaya yang diserap oleh zat pada berbagai panjang gelombang untuk mengidentifikasi senyawa dan menghitung konsentrasinya dalam larutan. Menurut Hukum Beer-Lambert, absorbansi pada panjang gelombang tertentu sebanding dengan konsentrasi zat tersebut, sehingga memungkinkan perhitungan konsentrasi analit berdasarkan besarnya cahaya yang diserap pada panjang gelombang tertentu.

Pada sampel yang mengandung NOM, spektrum serapan UV cenderung menurun seiring dengan peningkatan panjang gelombang. Panjang gelombang antara 220 hingga 280 nm dianggap ideal untuk mengukur

kandungan NOM, karena di rentang tersebut banyak kromofor yang menyerap cahaya (Hur et al., 2006). Kromofor adalah bagian dari molekul yang bertanggung jawab atas penyerapan cahaya. Absorptivitas molar NOM dapat bervariasi tergantung pada struktur kimia dan kromofor yang terkandung di dalamnya.

Pada 220 nm, serapan umumnya dikaitkan dengan keberadaan kromofor karboksilat dan aromatik, sedangkan serapan pada 254 nm lebih spesifik untuk mengukur gugus aromatik dalam NOM yang memiliki tingkat aktivasi berbeda (Korshin et al., 2009). Oleh karena itu, pengukuran pada 254 nm sangat penting dalam mempelajari keberadaan senyawa aromatik, yang merupakan komponen penting dari NOM.

2.2.2 *Fluorescence Intensity*

Fluoresensi adalah metode spektrokimia yang digunakan untuk mengukur radiasi yang dipancarkan oleh molekul yang tereksitasi pada panjang gelombang tertentu. Teknik ini memiliki peran penting dalam analisis NOM karena sensitivitas dan selektivitasnya dalam mendeteksi senyawa organik yang berfluoresensi. Dalam pengukuran fluoresensi, molekul-molekul seperti fluorofor dapat diidentifikasi, yang memberikan informasi struktural mengenai komponen-komponen bahan organik alami. *Fluorescence Excitation-Emission Matrix* (EEM) adalah teknik yang umum digunakan untuk mengidentifikasi fluorofor dalam air alami, yang membantu memetakan keberadaan dan jenis komponen asam humat serta protein dalam NOM (Bieroza et al., 2009).

Spektrum EEM mampu mendeteksi berbagai puncak fluoresensi, termasuk *fulvic acid-like, humic acid-like,* dan *tryptophan-like,* yang masing-masing berasosiasi dengan komponen organik spesifik dalam air. Tanda tangan fluoresensi ini memberikan wawasan penting terkait karakterisasi bahan organik yang dapat diolah lebih lanjut, serta memfasilitasi identifikasi jenis NOM yang ada pada berbagai kondisi lingkungan (Spencer et al., 2007).

Intensitas fluoresensi pada berbagai fraksi NOM memberikan wawasan penting terkait karakteristiknya. Pola fluoresensi EEM sering digunakan

untuk memodelkan sifat-sifat NOM, dan analisis data multivariat memungkinkan karakterisasi yang lebih rinci dari sampel air yang berasal dari berbagai sumber atau tahap pengolahan (Marhaba et al., 2009).

Tabel 2. 1 Panjang Gelombang Eksitasi dan Emisi untuk Intensitas *Peak Fluorescence*

Peak		λ_{ex} (nm)	λ_{em} (nm)
Humic	A	237–260	400–500
Humic	C	300–370	400–500
(Highly coloured)	C_1	320–340	410–430
	C_2	370–390	460–480
Tyrosine	B_1	225–237	309–321
	B_2	275	310
Tryptophan	T_1	275	340
	T_2	225–237	340–381
Humic (marine)	M	290–310	370–410

Sumber : (Bieroza et al, 2011)

Menurut Bieroza *et al*, (2011), panjang gelombang eksitasi dan emisi dari beberapa komponen organik, yang diukur melalui puncak fluoresensi, memiliki rentang yang berbeda-beda. Komponen ini termasuk *humic substances*, *tyrosine*, dan *tryptophan*, yang masing-masing memiliki karakteristik fluoresensi yang khas. Rentang panjang gelombang ini membantu dalam menganalisis kandungan senyawa organik menggunakan metode spektrofluorometri, karena bisa digunakan untuk mengidentifikasi komponen organik yang ada di dalam sampel.

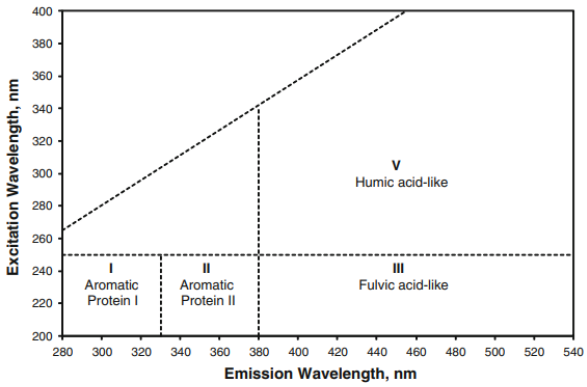
Tabel 2. 2 Jenis Komponen Fluoresensi dan Rentang Eksitasi-Emisinya

Range of excitation (nm)	*Range of emission (nm)*	*Component type*
270-280	310-320	*Tyrosine-like, protein like*
270-285 (220-235)	340-360	*Tryptophan-like, protein like*
320-350	400-450	*Fulvic-like*
310-320	380-420	*Humic-like (marine humic-like)*
330-390	420-500	*Humic-like*

Sumber : (Coble, 1996; Leenher and Croue, 2003; Spencer et al., 2007; Baghoth et al., 2009)

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Coble (1996), Leenher dan Croue (2003), serta sumber-sumber lainnya, informasi tambahan mengenai rentang panjang gelombang eksitasi dan emisi untuk intensitas puncak fluoresensi juga dijabarkan. Tabel 2.2 mengelompokkan komponen organik

seperti *tyrosine-like, tryptophan-like, fulvic-like,* dan *humic-like substances*. Variasi dalam panjang gelombang eksitasi dan emisi antar komponen ini memudahkan identifikasi lebih mendetail terhadap senyawa-senyawa organik yang terdapat dalam sampel air.



Gambar 2. 1 Integrasi Regional Fluoresensi
Sumber: Chen et al.2003

Gambar 2.1 di atas menggambarkan grafik yang mengintegrasikan panjang gelombang eksitasi dan emisi berdasarkan wilayah fluoresensi regional. Berdasarkan penelitian Chen *et al,* (2003), grafik ini mengidentifikasi area fluoresensi untuk senyawa organik seperti *fulvic acid-like* dan *humic acid-like,* serta komponen aromatik protein. Grafik ini membantu memvisualisasikan dan memetakan wilayah fluoresensi dari berbagai komponen organik dalam sampel, sesuai dengan rentang panjang gelombang yang telah diidentifikasi dalam Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.

2.3 Ozonasi

Ozonasi merupakan teknologi multifungsi yang sering digunakan dalam pengolahan air untuk tujuan desinfeksi, menghilangkan rasa, warna, dan bau. Dua oksidan utama dalam ozonasi adalah ozon (O_3) dan radikal hidroksil (OH) yang terbentuk selama proses ozonasi. Ozonasi adalah proses pengolahan air di mana ozon (O_3) digunakan sebagai oksidator kuat untuk mengurangi kandungan NOM dalam air. Ketika ozon diinjeksikan ke dalam air, ia terurai menjadi radikal hidroksil (OH), yang sangat reaktif dan mampu mengoksidasi berbagai senyawa organik, termasuk NOM. Proses ini sering disertai dengan terbentuknya

gelembung-gelembung kecil saat ozon terlarut dalam air. Gelembung-gelembung ini meningkatkan kontak antara ozon dan NOM, sehingga meningkatkan efisiensi reaksi oksidasi (Crittenden, 2012).

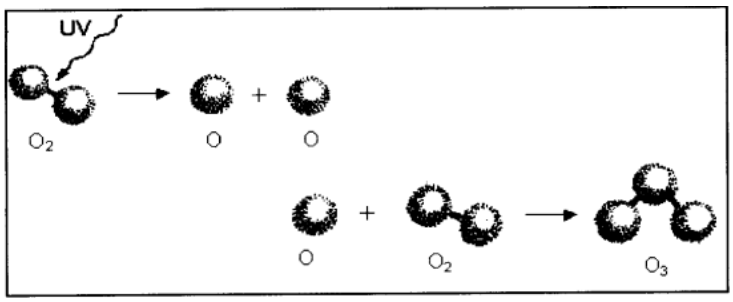
Menurut penelitian Beltrand dan J. Fernando (2004), ozon memiliki potensi oksidasi yang sangat tinggi dan dapat berinteraksi dengan senyawa dalam air untuk menghancurkan kontaminan organik kompleks. Radikal hidroksil yang dihasilkan dari dekomposisi ozon berperan sebagai oksidator kuat yang tidak selektif (Hoigni et al., 1985).

Ozon di alam terbentuk secara alami melalui radiasi ultraviolet dari sinar matahari yang disebut *photolysis*. Radiasi ultraviolet ini mampu memecah molekul O_2 di udara menjadi dua atom oksigen. Atom oksigen tersebut secara alami bertumbukan dengan molekul O_2 lainnya dan membentuk ozon, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 di bawah ini.

Reaksi yang terjadi:

$$O_2 + \text{radiasi UV} \rightarrow 2\,O \qquad (1)$$

$$O + O_2\,M \rightarrow O_3 + M \qquad (2)$$



Gambar 2. 2 Reaksi Pembentukan Ozon (O_3)

Dalam persamaan reaksi tersebut, M adalah partikel ketiga yang diperlukan seperti O_2, N_2, atau partikel lain dalam atmosfer. Partikel-partikel ini akan menyerap energi yang dilepaskan selama pembentukan O_3. Tanpa keberadaan partikel-partikel ini, O_3 yang terbentuk akan cepat terurai kembali menjadi O_2 karena energi yang cukup besar (Kogelschatz dan Boveri, 1988).

Reaksi yang terjadi antara ozon dan bahan organik adalah (Von Gunten, 2003):

$$O_3 + \text{NOM 1} \rightarrow \text{NOM1}_{ox} \qquad (3)$$

$$O_3 + \text{NOM 2} \rightarrow \text{NOM2}^{+\bullet} + O_3^{\bullet -} \qquad (4)$$

Sedangkan reaksi yang terjadi antara OH radikal dan NOM adalah (Von Gunten, 2003):

$$^{\bullet}OH + NOM3 \rightarrow NOM3^{\bullet} + H_2O \text{ or } NOM3^{\bullet} + OH^{-} \quad (5)$$

$$NOM3^{\bullet} + O_2 \rightarrow NOM - O_2^{\bullet} \rightarrow NOM3^{+} + O_2^{\bullet -} \quad (6)$$

2.4 Ozon Generator

Ozon dapat diproduksi melalui proses tumbukan dengan melewatkan gas oksigen (O_2) pada daerah yang dikenai tegangan tinggi menggunakan ozon generator. Salah satu metode yang digunakan dalam pembuatan ozon adalah metode lucutan plasma. Metode ini bertujuan untuk menghasilkan gas ozon dengan konsentrasi rendah, berkisar 0,01 ppm sampai 4,00 ppm. Ozon yang dihasilkan oleh ozon generator cenderung tidak stabil karena memiliki tiga atom oksigen yang berdekatan, menyebabkan adanya hamburan muatan elektronik di antara atom-atom tersebut, yang membuat ozon mudah terurai (Purwadi, 2006).

Secara umum, ozon generator terdiri dari beberapa komponen utama, termasuk sumber tegangan tinggi, elektroda, dan bahan dielektrik yang ditempatkan di dalam reaktor ozon. Pada ozon generator yang menggunakan elektroda plat paralel, medan listrik yang terbentuk di sekitar elektroda tidak merata. Medan listrik di bagian tepi elektroda cenderung lebih lemah dibandingkan dengan medan listrik di bagian tengah elektroda. Perbedaan medan listrik ini berpengaruh pada efisiensi produksi ozon, karena konsentrasi ozon yang dihasilkan dapat bervariasi tergantung pada distribusi medan listrik (Facta *et al,* 2008).



Gambar 2. 3 Ozon Generator

2.5 Uji Korelasi

Uji korelasi adalah metode statistik yang digunakan untuk mengukur kekuatan dan arah hubungan linier antara dua variabel. Dalam konteks penelitian ilmiah, uji korelasi membantu memahami sejauh mana dua variabel memiliki hubungan yang dapat dijelaskan secara linier. Korelasi Pearson adalah salah satu uji yang paling umum digunakan, terutama ketika variabel yang dianalisis bersifat kontinu. Nilai koefisien korelasi Pearson (r) berkisar antara -1 hingga 1, di mana nilai mendekati 1 menunjukkan korelasi positif yang kuat, nilai mendekati -1 menunjukkan korelasi negatif yang kuat, dan nilai mendekati 0 menunjukkan tidak adanya hubungan linier yang signifikan antara kedua variabel (Schober & Schwarte, 2018).

Dalam pengaplikasiannya, uji korelasi dapat digunakan untuk berbagai keperluan, seperti mengevaluasi hubungan antara waktu kontak ozonasi dan penurunan kadar senyawa organik dalam air. Sebagai contoh, dalam penelitian pengolahan air, uji korelasi dapat membantu menentukan variabel mana yang memiliki pengaruh paling signifikan terhadap hasil akhir proses. Korelasi yang kuat antara dua variabel ini menunjukkan bahwa perubahan dalam satu variabel cenderung diikuti oleh perubahan dalam variabel lainnya, yang dapat menjadi dasar untuk pengambilan keputusan dalam pengoptimalan proses pengolahan air.

2.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu berguna sebagai referensi, pembanding, atau bahkan acuan yang digunakan penulis dalam penelitian ini. Dengan memiliki penelitian terdahulu, penulis dapat memperbanyak teori yang akan dibutuhkan dalam penelitian ini. Berikut merupakan beberapa penelitian terdahulu:

Tabel 2. 3 Penelitian Terdahulu

Nama Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
Abdi *et al*., 2017	Pengaruh Ozonasi Terhadap Penurunan Intensitas Warna Dan Kadar Besi (Fe) Pada Air Gambut	Penyisihan kadar Fe dalam air menggunakan ozonisasi lebih efektif pada waktu kontak yang lebih pendek, yaitu 10 menit dengan persentasi penyisihan sebesar 23,81%. Namun, pada waktu kontak yang lebih lama, efisiensi penyisihan menurun, yang kemungkinan disebabkan oleh konsentrasi ozon yang semakin meningkat dan ketidakseimbangan ion dalam larutan. Selain itu, kondisi pH yang menurun selama proses ozonisasi dan suhu air yang meningkat juga berkontribusi pada rendahnya penyisihan Fe, karena pH asam dan suhu tinggi menyebabkan kelarutan ozon berkurang, sehingga ozon lebih cepat terdekomposisi menjadi oksigen.
Cinthya *et al*., 2019	Efektivitas Proses ooznasi Studi Kasus: IPA dan *Miniplant* Dago Pakar	Berdasarkan penelitian yangg telah dilakukan, air baku pada IPA dan Miniplant Dago Pakar mengalami penyisihan kekeruhan masing-masing sebesar 77% dan 39%. Namun, konsentrasi BOD pada kedua sampel justru meningkat, dengan kenaikan sebesar 20% pada air baku Miniplant dan 9% pada air baku IPA Dago Pakar. Peningkatan BOD ini kemungkinan disebabkan oleh oksidasi bahan organik dalam air baku yang mengubah senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana, sehingga lebih mudah terurai secara biologis.

Nama Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
Sururi *et al*., 2012	Penyisihan Bahan Organik Alami Pada Air Permukaan Dengan Oozonasi dan Ozonasi-Filtrasi	Penyisihan bahan organik aromatik dan organik tak jenuh alami yang terkandung pada air baku dapat dilakukan dengan ozonisasi, dan ozonisasi ditambah filtrasi. Semakin tinggi konsentrasi dan waktu kontak ozon, juga semakin tebal media karbon aktif, semakin tinggi pula efisiensi penyisihan UV254. Indikasi tersebut menunjukan penurunan UV254, dan menunjukan bahwa ozonisasi akan merubah karakter bahan organik yang ada pada air, dari bahan organik hirofobik menjadi hidrofilik.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi

Pengujian kandungan *Natural Organic Matter* (NOM) dilakukan dengan menganalisis sejumlah parameter yang telah ditetapkan di Laboratorium Kualitas Air, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Proses pengujian ini dilaksanakan dari tanggal 1 Mei hingga 17 Juli 2024.

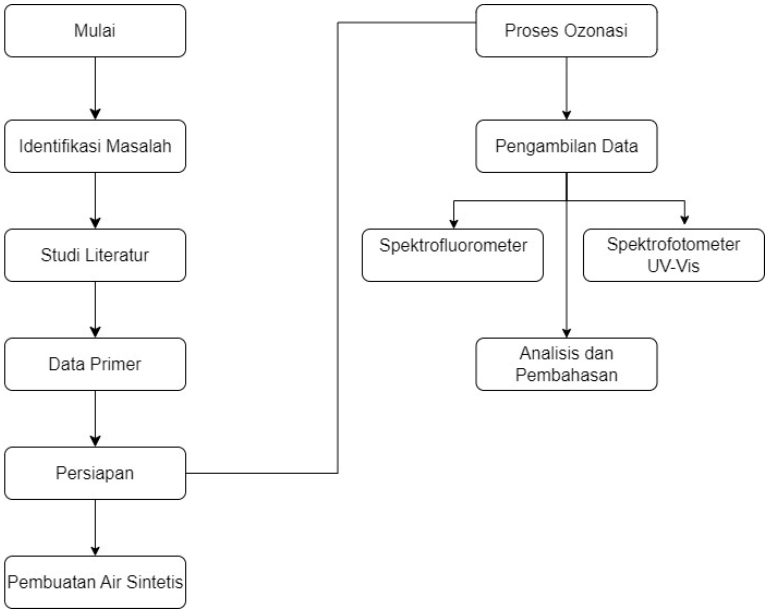
3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut: Spektrofluorometer Shimadzu RF-6000, Hitachi UH5300 UV/VIS Spectrophotometer, Spektrofotometer UV-Vis single beam, Rocker 300 Vacum Pump, *Magnetic Stirrer, Hot Plate, Ozon Generator, Filtering Flask* 2000 ml, selang, erlenmeyer 250 ml, gelas beker 1000 ml, alumunium foil, pH meter universal, batang pengaduk, spatula, kertas timbang, timbangan analitik, jerigen 5 L, botol hdpe 500 ml, botol duran 250 ml, gelas ukur 100 ml, cawan petri, kertas saring membrane filter 0,45 μm, pinset, kuvet, buku dan alat tulis.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut: KI 2%, HCL 2N, NaOH 1N, aquades, dan asam fulvat.

3.3 Prosedur Analisis Data

Berikut merupakan diagram alir dari penelitian yang akan dilakukan:

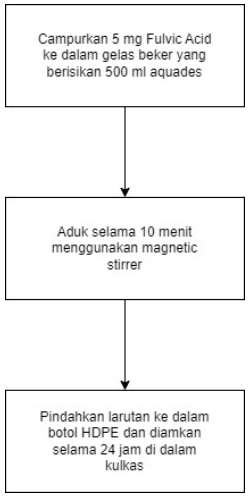


Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini menerapkan metode kuantitatif dengan pengumpulan data primer. Data diperoleh dari sampel air buatan yang menggabungkan aquades dengan asam fulvat. Parameter seperti pH, dosis ozon, UV 254, dan *Fluorescence Intensity* diukur dalam sampel. Data primer tersebut kemudian dianalisis secara statistik.

3.3.1 Pembuatan Air Sintetis

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *fulvic acid*. Pembuatan air sintetis dilakukan dengan menambahkan *fulvic acid* sebanyak 5 mg ke dalam gelas beker 500 ml yang berisikan air kran. Larutan ini diaduk selama 10 menit menggunakan magnetic stirrer yang ditempatkan di atas hot plate untuk memastikan pencampuran yang homogen. Setelah proses pengadukan selesai, larutan dipindahkan ke dalam botol HDPE dan diamkan selama 24 jam di dalam kulkas. Proses pendinginan ini bertujuan untuk menjaga stabilitas kandungan yang terdapat dalam air sintetis tersebut.



Gambar 3. 2 Pembuatan Air Sintetis

3.3.2 Pembuatan Variasi pH

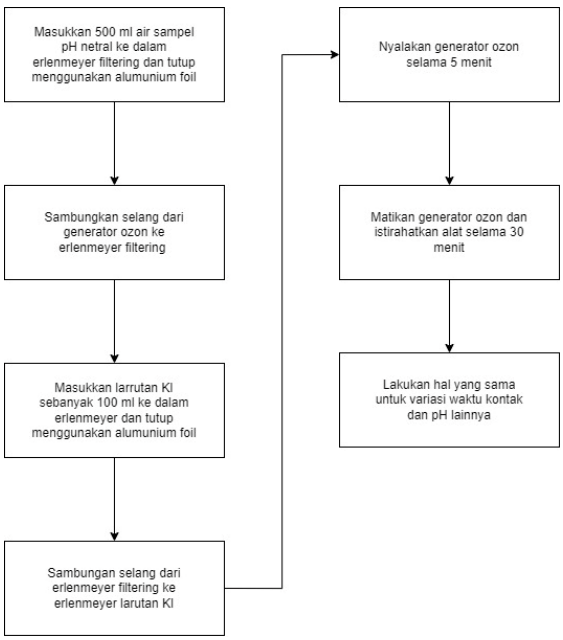
Pembuatan air sintetis dilakukan dengan variasi pH yang berbeda, yaitu pH 4, pH 7, dan pH 9. Proses pengecekan pH dilakukan menggunakan kertas pH universal. Untuk mencapai pH yang diinginkan, tambahkan HCl secara bertahap untuk menurunkan pH atau tambahkan NaOH untuk menaikkan pH. Setelah pH yang diinginkan tercapai, larutan diaduk kembali menggunakan magnetic stirrer selama 5 menit untuk memastikan pencampuran yang homogen.



Gambar 3. 3 Pembuatan Variasi pH

3.3.3 Proses Ozonasi

Proses ozonasi dilakukan dengan beberapa variasi waktu yaitu 5, 10, 15, 20, 25, dan 30 menit dan juga variasi pH yaitu asam, netral, dan basa. Sebanyak 500 ml air sintetis dimasukkan ke dalam erlenmeyer, lalu bagian atasnya ditutup dengan alumunium foil. Dua selang pertama dihubungkan ke dalam reaktor ozon. Selang-selang ini dilengkapi dengan elektroda yang menghasilkan gelembung, untuk mendispersikan ozon secara merata ke dalam air sampel selama proses ozonasi. Selanjutnya, selang ketiga menghubungkan reaktor ozon dengan erlenmeyer yang berisi 100 ml larutan KI, yang berfungsi sebagai penjerap untuk menangkap sisa ozon yang tidak bereaksi selama proses ozonasi. Setelah persiapan selesai, generator ozon dinyalakan dan ozon dialirkan melalui selang-selang. Mesin dimatikan sesuai dengan variasi waktu yang telah ditentukan.



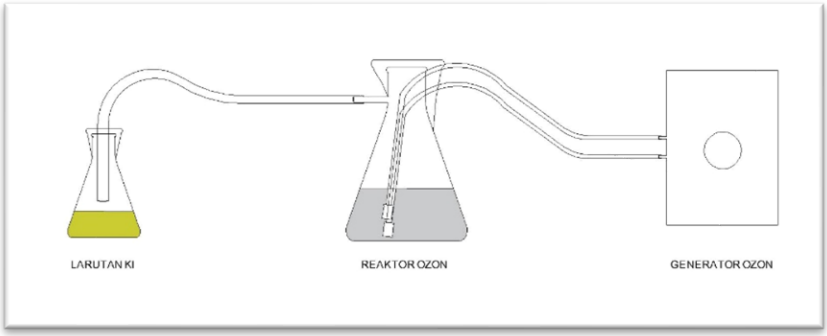
Gambar 3. 4 Diagram Alir Proses Ozonasi

Proses ozonasi dilakukan pada tiga kondisi pH, yaitu asam, netral, dan basa, dengan waktu kontak yang bervariasi mulai dari 5 hingga 30 menit. Tabel berikut memberikan informasi mengenai kombinasi pH dan waktu kontak yang diterapkan selama proses ozonasi untuk memantau perubahan konsentrasi senyawa organik pada masing-masing kondisi.

Tabel 3. 1 Variasi pH dan Waktu Kontak dalam Proses Ozonasi

pH	Waktu Kontak					
Asam	5 menit	10 menit	15 menit	20 menit	25 menit	30 menit
Netral	5 menit	10 menit	15 menit	20 menit	25 menit	30 menit
Basa	5 menit	10 menit	15 menit	20 menit	25 menit	30 menit

Skema di bawah ini menggambarkan alur proses ozonasi, mulai dari pembentukan ozon, pengalirannya ke dalam sampel air, hingga terjadinya reaksi oksidasi terhadap senyawa-senyawa organik di dalamnya. Skema ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih jelas mengenai mekanisme kerja ozon selama proses berlangsung.



Gambar 3. 5 Skema Proses Ozonasi

3.3.4 Analisis Parameter

a. Fluorescence Intensity

Analisis intensitas fluoresensi dalam penelitian ini dilakukan menggunakan Spektrofluorofotometer Shimadzu RF-6000. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis intensitas fluoresensi yang terdapat pada air sampel. Proses analisis dimulai dengan menyiapkan sampel yang akan dianalisis, yang kemudian disaring untuk memastikan kemurniannya. Setelah itu, instrumen dinyalakan dan dibiarkan selama 15 menit agar kondisi instrumen stabil sebelum pembacaan dilakukan. Panjang gelombang eksitasi dan emisi yang digunakan adalah 220 nm sampai 550 nm.



Gambar 3. 6 Spektrofluorofotometer Shimadzu RF-6000

b. UV254

Analisis spektrofotometri UV-Vis pada panjang gelombang 254 nm dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis Hitachi UH5300. UV254 berfungsi sebagai indikator untuk mengukur kandungan senyawa aromatik dalam sampel air (Matilainen *et al*., 2011). Panjang gelombang yang digunakan dalam analisis ini adalah 220 nm – 550 nm.



Gambar 3. 7 Hitachi UH5300 UV/VIS Spectrophotometer

c. Dosis Ozon

Analisis dosis ozon dilakukan dengan menggunakan dua pendekatan, yaitu perhitungan dari produksi ozon oleh generator ozon dan pengukuran dosis ozon menggunakan larutan KI yang dianalisis dengan spektrofotometri UV-Vis. Langkah pertama adalah menentukan panjang gelombang terbaik untuk menyerap larutan KI,

yang dilakukan dengan pemindaian spektrum absorbansi. Panjang gelombang optimal ditemukan pada 267 nm, yang sesuai dengan rentang panjang gelombang 220 hingga 280 nm, rentang yang umum digunakan untuk mengukur NOM. Setelahnya, dibuat kurva standar menggunakan larutan KI dengan konsentrasi 0,1%, 0,2%, 0,5%, 1%, dan 2%. Pengujian larutan KI yang telah melalui proses ozonasi kemudian dilakukan pada panjang gelombang 267 nm berdasarkan kurva standar ini.



Gambar 3. 8 Spectrophotometer UV/VIS

3.3.5 Metode Analisis Data

a. Perhitungan Dosis Ozon

1. Perhitungan Dosis Ozon Berdasarkan Generator Ozon

Dosis ozon berdasarkan generator ozon adalah perhitungan dosis ozon menggunakan nilai produksi ozon per jam yaitu 2000 mg/jam yang tercantum pada alat serta volume air sampel yang digunakan saat proses ozonasi.

Rumus Dosis Ozon:

$$\text{Dosis Ozon} = \frac{produksi\ ozon\ per\ menit\left(\frac{mg}{menit}\right) \times waktu\ kontak(menit)}{volume\ larutan\ (L)}$$

2. Perhitungan Dosis Ozon yang Terpakai

Dosis ozon sebenarnya dianalisis menggunakan metode spektrofotometri, dimana pada penelitian ini menggunakan

spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 267 nm. Dosis ozon sebenarnya diperoleh dari generator ozon yang langsung masuk ke dalam larutan KI. Sementara itu, sisa ozon adalah dosis ozon yang diperoleh melalui skema generator ozon yang terlebih dahulu masuk ke air sampel, kemudian ke larutan KI. Untuk menghitung dosis ozon yang terpakai dalam ozonasi, dosis ozon sebenarnya dikurangi sisa ozon, yaitu sebagai berikut:

$$\text{Dosis Ozon} = dosis\ ozon - sisa\ ozon$$

b. Perhitungan Penurunan Kadar NOM

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, data yang didapatkan berupa nilai fluoresensi intensitas yang terbaca dari spektrofluorofotometer dan juga nilai absorbansi dari spektrofotometer UV-Vis. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penurunan NOM setelah proses pengolahan menggunakan ozonasi. Adapun rumus yang digunakan untuk mengetahui persentase penurunannya yaitu sebagai berikut:

$$\text{Persentase Penurunan} = \left(\frac{(A-B)}{A}\right) \times 100\%$$

Keterangan:

A = Nilai Awal

B = Nilai Akhir

Dalam persamaan tersebut, A mewakili nilai awal atau nilai referensi dari parameter sebelum perlakuan diberikan, sedangkan B mewakili nilai parameter setelah perlakuan diberikan. Untuk menghitung persentase penurunan, kita mengurangi nilai awal (A) dari nilai akhir (B), lalu hasilnya dibagi dengan nilai awal (A), dan akhirnya hasilnya dikalikan dengan 100%. Hal ini memungkinkan kita untuk melihat seberapa besar perubahan yang terjadi pada setiap parameter.

BAB IV
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Dosis Ozon

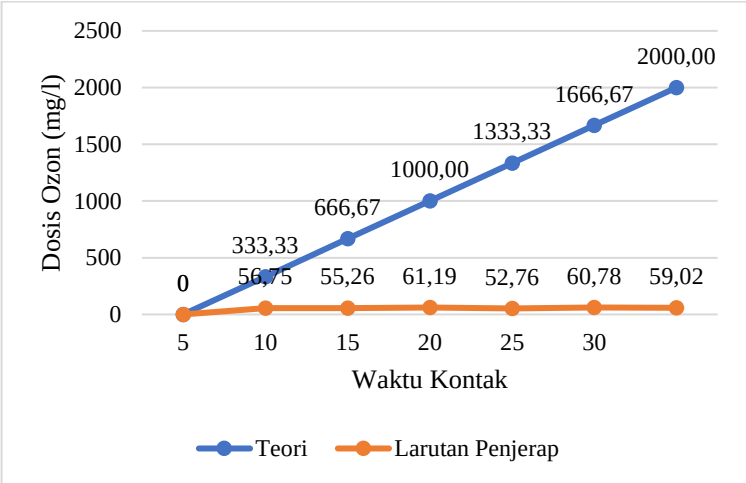
4.1.1 Pengaruh Waktu Kontak terhadap Konsentrasi Ozon

Konsentrasi ozon diukur berdasarkan variasi waktu kontak yaitu 5, 10, 15, 20, 25, dan 30 menit. Metode yang digunakan untuk menentukan dosis ozon adalah metode spektrofotometri dengan menggunakan Kalium Iodida (KI) sebagai reagen penjerap. Dalam metode ini, ozon bereaksi dengan KI membentuk I_2, yang kemudian diukur secara spektrofotometri untuk menentukan konsentrasi ozon dalam larutan. Adapun hasil pengujian interaksi antara ozon dan larutan KI adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Dosis Ozon

Waktu Kontak (menit)	Dosis Ozon Sebenarnya	
	Teori (mg/l)	Larutan Penjerap (mg/l)
0	0	0
5	333,33	56,75
10	666,67	55,26
15	1000,00	61,19
20	1333,33	52,76
25	1666,67	60,78
30	2000,00	59,02

Tabel 4.1 memperlihatkan hasil perhitungan dosis ozon yang diterapkan dalam penelitian, baik secara teoritis maupun yang terukur pada larutan penjerap. Setiap nilai dihasilkan dari variasi waktu kontak yang diberikan selama proses ozonasi, mulai dari 0 hingga 30 menit. Selanjutnya, grafik di bawah ini menggambarkan bagaimana perubahan dosis ozon tersebut, yang memudahkan visualisasi perbedaan antara nilai teoritis dengan hasil yang diperoleh dari larutan penjerap.



Gambar 4. 1 Grafik Konsentrasi Ozon Pada Uji Dosis Menggunakan Larutan KI

Dosis ozon berdasarkan teori dihitung dari kapasitas produksi generator ozon yang sebesar 2000 mg/jam. Nilai ini kemudian dipecah sesuai dengan waktu kontak dalam menit. Misalnya, untuk 5 menit, dosis teoritisnya adalah 333,33 mg/l, yang didapat dari 2000 mg/jam dibagi menjadi per menit. Hal yang sama berlaku untuk waktu kontak lainnya seperti 10 menit (666,67 mg/l), 15 menit (1000 mg/l), 20 menit (1333,33 mg/l), 25 menit (1666,67 mg/l), dan 30 menit (2000 mg/l). Dari hasil pengukuran, terlihat bahwa dosis ozon yang terjerap dalam larutan KI berbeda dari nilai teoritis. Contohnya, untuk waktu kontak 5 menit, nilai teoritis adalah 333,33 mg/l, tapi yang terjerap di larutan KI hanya 56,75 mg/l. Oleh karena itu, untuk memverifikasi hubungan antara dosis teoritis dan dosis yang terjerap, dilakukan uji korelasi menggunakan software SPSS.

Perbedaan antara dosis ozon teoritis dan yang terjerap dalam larutan KI dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Salah satu alasan utama adalah volatilitas ozon itu sendiri. Ozon merupakan gas yang sangat reaktif dan mudah terurai, terutama ketika berada dalam larutan atau terkena udara. Sebagian ozon mungkin terdekomposisi sebelum bereaksi sepenuhnya dengan larutan KI, sehingga dosis yang terjerap menjadi lebih rendah dari yang diharapkan. Selain itu, volatilitas yodium yang dihasilkan dari oksidasi

KI oleh ozon juga bisa menyebabkan hasil yang lebih rendah. Karena yodium bersifat volatil, sebagian dari yodium yang dihasilkan mungkin hilang sebelum terukur secara penuh (Izumi *et al*., 2017).

Tabel 4. 2 Tabel Koefisien Korelasi antara Dosis Teori dan Dosis KI

		Dosis teori	Dosis KI
Dosis teori	Pearson Correlation	1	0,641
	Sig. (2-tailed)		0,121
	N	7	7
Dosis KI	Pearson Correlation	0,641	1
	Sig. (2-tailed)	0,121	
	N	7	7

Meskipun ada korelasi positif sedang antara Dosis teori dan Dosis KI ($r = 0.641$), korelasi ini tidak signifikan secara statistik ($p = 0.121$). Hal ini menunjukkan bahwa meskipun ada kecenderungan peningkatan Dosis teori diikuti oleh peningkatan Dosis KI, hubungan ini mungkin bersifat kebetulan dan tidak dapat dipastikan secara statistik. Untuk memastikan hasil yang lebih akurat, diperlukan tambahan data atau analisis lebih mendalam. Selain itu, pengukuran sisa ozon dalam larutan penjerap selama variasi waktu kontak juga penting untuk menilai efektivitas ozonasi. Tabel berikut menunjukkan data sisa ozon dengan waktu kontak 0-30 menit:

Tabel 4. 3 Sisa Ozon

Waktu Kontak (menit)	**Sisa Ozon (mg/l)**
0	0
5	5,092
10	9,710
15	15,050
20	20,326
25	24,905
30	29,920

Dari tabel di atas, dapat dilihat sisa ozon pada berbagai waktu kontak. Dengan data ini, kita dapat menghitung dosis ozon yang terpakai dengan

rumus dosis ozon dikurangi sisa ozon. Hasil perhitungan ini menunjukkan jumlah ozon yang sebenarnya bereaksi dalam proses ozonasi. Adapun hasil perhitungan yang didapat yaitu sebagai berikut:

Tabel 4. 4 Dosis Ozon yang Terpakai

Waktu Kontak (menit)	Dosis Ozon yang Terpakai (mg/l)
0	0
5	51,66
10	45,55
15	46,14
20	32,44
25	35,88
30	29,10

Tabel 4.4 menunjukkan dosis ozon yang terpakai pada berbagai waktu kontak, yang dihitung dari perbedaan antara dosis ozon awal dan sisa ozon setelah kontak. Dari tabel tersebut, terlihat bahwa dosis ozon yang terpakai menurun seiring dengan meningkatnya waktu kontak. Hal ini menunjukkan bahwa pada waktu kontak yang lebih lama, lebih sedikit ozon yang bereaksi dengan larutan, kemungkinan disebabkan oleh saturasi atau efisiensi reaksi yang menurun. Secara keseluruhan, data ini memberikan gambaran yang jelas tentang dinamika konsumsi ozon selama proses ozonasi, yang penting untuk optimasi pengolahan air yang mengandung NOM.

4.1.2 Pengaruh Variasi pH terdahap Konsentrasi Ozon

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui dosis ozon yang bereaksi dengan air sampel pada berbagai variasi pH. Konsentrasi ozon diukur dengan menggunakan metode spektrofotometri menggunakan larutan Kalium Iodida (KI). Eksperimen ini mencakup pengukuran konsentrasi ozon pada pH asam (pH 4), netral (pH 7), dan basa (pH 9). Data hasil pengukuran disajikan dalam tabel berikut untuk menunjukkan pengaruh pH terhadap konsentrasi ozon dalam larutan pada setiap interval waktu yang ditentukan.

Tabel 4. 5 Sisa Ozon Berdasarkan Waktu Kontak dan pH

Waktu (menit)	pH 4 (mg/l)	pH 7 (mg/l)	pH 9 (mg/l)
5	5,10	5,09	5,39
10	10,33	9,71	9,79
15	14,58	15,05	14,80
20	19,90	20,33	19,98
25	24,69	24,91	24,60
30	30,42	29,92	30,47

Tabel 4.5 memperlihatkan sisa ozon dalam air sampel setelah proses ozonasi pada berbagai pH (asam, netral, dan basa) dan waktu kontak. Pada pH asam (pH 4), sisa ozon meningkat dari 5,095 mg/l pada menit ke-5 menjadi 30,419 mg/l pada menit ke-30. Pada pH netral (pH 7), sisa ozon juga meningkat dari 5,092 mg/l pada menit ke-5 menjadi 29,920 mg/l pada menit ke-30, dengan kenaikan yang lebih stabil dan bertahap setiap interval waktu. Pada pH basa (pH 10), sisa ozon meningkat dari 5,386 mg/l pada menit ke-5 menjadi 30,469 mg/l pada menit ke-30.

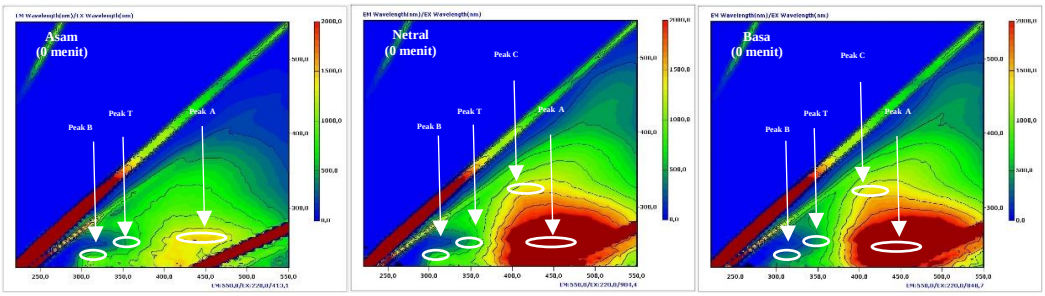
Perbandingan antara ketiga pH menunjukkan bahwa pada semua kondisi pH, terdapat peningkatan sisa ozon seiring bertambahnya waktu kontak. Namun, pada pH basa, sisa ozon yang terukur cenderung lebih tinggi dibandingkan pH netral dan asam, menunjukkan bahwa ozon lebih stabil pada kondisi basa. Pada pH netral, kenaikan sisa ozon terlihat lebih stabil, menunjukkan reaktivitas yang sedang. Pada pH asam, meskipun terjadi peningkatan sisa ozon, jumlahnya relatif lebih rendah dibandingkan pH basa, mengindikasikan bahwa ozon lebih reaktif pada kondisi asam dan lebih cepat bereaksi dengan NOM.

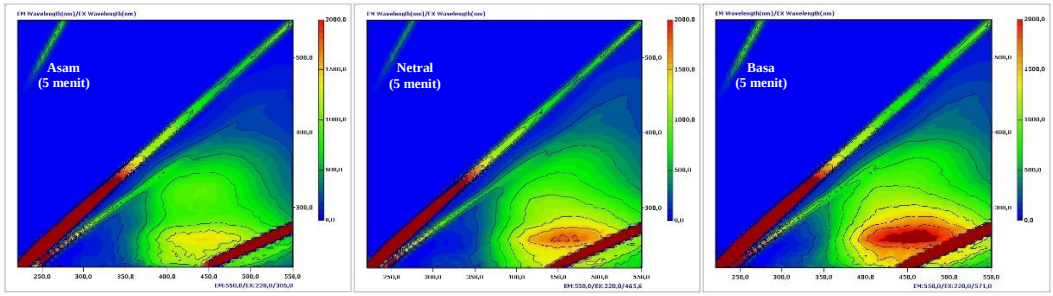
Secara teoritis, ozon (O_3) adalah agen oksidasi yang sangat kuat dan reaktivitasnya sangat dipengaruhi oleh pH. Pada pH rendah (asam), ozon lebih cenderung mengalami dekomposisi cepat menjadi oksigen dan radikal hidroksil ($OH\cdot$), yang juga merupakan oksidan kuat dan bereaksi cepat dengan bahan organik. Pada pH netral, ozon tetap reaktif tetapi tingkat dekomposisinya lebih lambat dibandingkan pada kondisi asam. Sementara

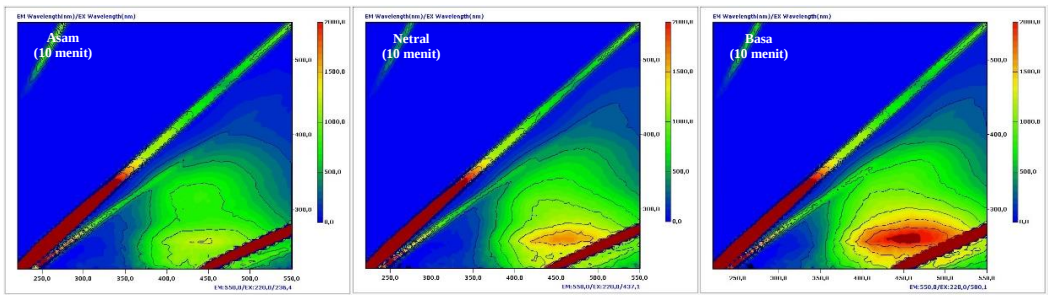
itu, pada pH tinggi (basa), ozon lebih stabil dan dekomposisi menjadi radikal bebas terjadi lebih lambat, sehingga lebih banyak ozon yang tersisa dalam larutan. Hal ini membuat ozon pada pH basa lebih efektif dalam jumlah yang lebih lama untuk mengoksidasi bahan organik dalam air. Analisis ini menunjukkan bahwa pemilihan pH sangat penting dalam proses ozonasi untuk memaksimalkan efektivitas penurunan kandungan NOM dan sisa ozon yang terukur.

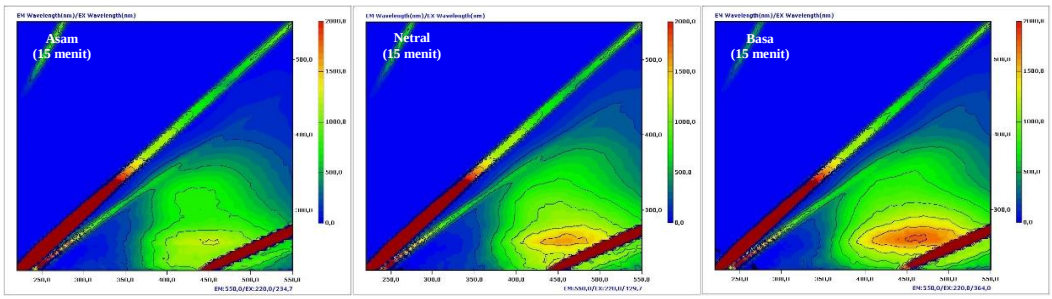
4.2 Pengujian *Fluorescence EEM*

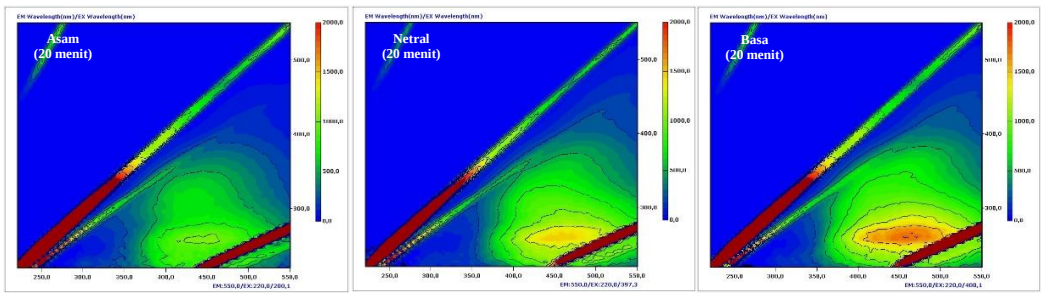
Pengujian *Fluorescence EEM* dianalisis menggunakan alat Spektrofluorofotometer Shimadzu RF-6000. Metode yang digunakan dalam analisis NOM ini adalah metode peak picking, dimana pada metode ini senyawa NOM akan dikelompokan menjadi beberapa puncak yang akan ditunjukan dalam hasil eksitasi emisinya. Puncak-puncak tersebut dikelompokan menjadi 4 yaitu: peak T (*Tryptophan*), peak B (*tyrosine*), peak A (*Fulvic-like*), peak C (*Humic-like*). Dalam penelitian ini dilakukan pengujian NOM dengan variasi waktu kontak yaitu 5, 10, 15, 20, 25, dan 30 menit serta variasi pH yaitu pH asam, netral, dan basa. Adapun hasil pengujian menggunakan spektrofuorometer yaitu sebagai berikut.

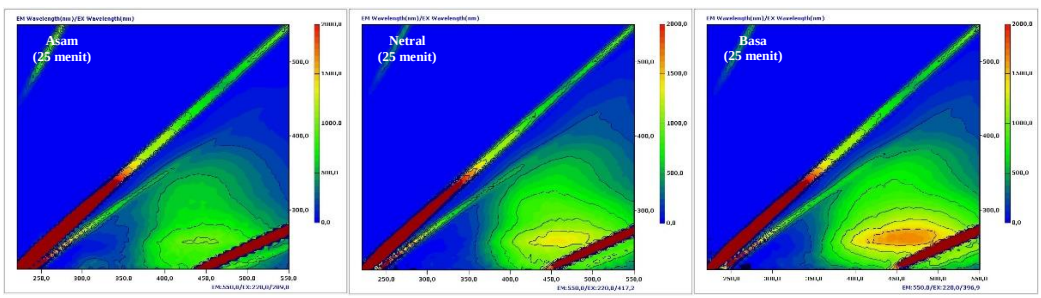


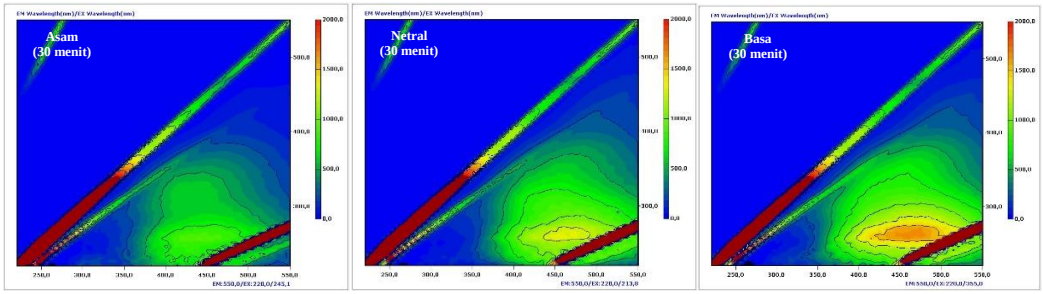

Asam
(5 menit)
Netral
(5 menit)
Basa
(5 menit)


Asam
(10 menit)
Netral
(10 menit)
Basa
(10 menit)


Asam
(15 menit)
Netral
(15 menit)
Basa
(15 menit)


Asam
(20 menit)
Netral
(20 menit)
Basa
(20 menit)


Asam
(25 menit)
Netral
(25 menit)
Basa
(25 menit)



Gambar 4. 2 Hasil Pembacaan Intensitas Fluoresensi

4.2.1 Pengaruh pH dan Waktu Kontak terhadap *Fulvic Acid-like*

Fulvic Acid-like merupakan salah satu komponen dari bahan organik alami yang sering ditemukan dalam air alami. *Fulvic Acid-like* memiliki struktur molekul yang kompleks dan bervariasi, serta sifat kimia yang dapat berinteraksi dengan berbagai zat dalam air. *Fulvic Acid-like* (Peak A) terletak pada panjang gelombang dengan eksitasi 250 nm dan emisi 380 – 460 nm. Pada tabel berikut, disajikan data intensitas fluoresensi Fulvic Acid-like pada berbagai variasi pH dan waktu kontak, yang menunjukkan hasil setelah proses ozonasi.

Tabel 4. 6 Intensitas Fluoresensi *Fulvic Acid-like* pada Variasi pH dan Waktu Kontak

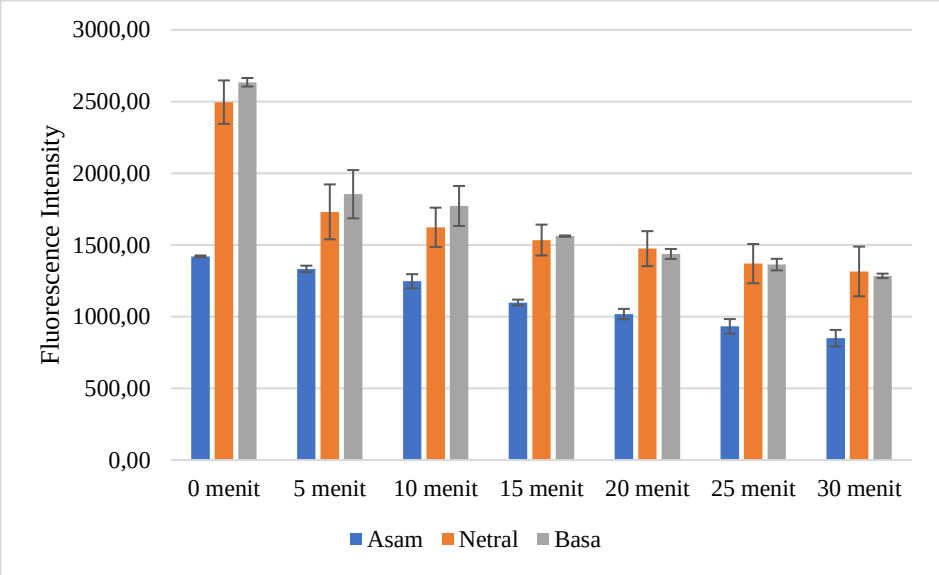
No	pH	Waktu	Pengujian 1	Pengujian 2	Rata-rata	Standar Deviasi
1	Asam (pH 4)	0 menit	1415,38	1424,72	1420,05	6,60
2		5 menit	1348,99	1317,28	1333,13	22,42
3		10 menit	1212,37	1281,83	1247,10	49,12
4		15 menit	1112,65	1083,73	1098,19	20,45
5		20 menit	992,18	1043,41	1017,79	36,23
6		25 menit	896,38	968,17	932,27	50,76
7		30 menit	808,71	890,53	849,62	57,86
8	Netral (pH 7)	0 menit	2602,57	2388,22	2495,40	151,56
9		5 menit	1595,10	1865,96	1730,53	191,53
10		10 menit	1526,31	1719,73	1623,02	136,77
11		15 menit	1457,92	1610,25	1534,08	107,71
12		20 menit	1388,02	1560,49	1474,26	121,95
13		25 menit	1272,92	1466,22	1369,57	136,68

No	pH	Waktu	Pengujian 1	Pengujian 2	Rata-rata	Standar Deviasi
14		30 menit	1192,50	1437,80	1315,15	173,45
15	Basa (pH 9)	0 menit	2655,32	2613,25	2634,28	29,75
16		5 menit	1972,59	1734,76	1853,68	168,17
17		10 menit	1870,37	1673,23	1771,80	139,40
18		15 menit	1564,69	1558,11	1561,40	4,65
19		20 menit	1461,73	1412,77	1437,25	34,62
20		25 menit	1391,58	1334,46	1363,02	40,39
21		30 menit	1295,38	1273,19	1284,29	15,69

Fulvic acid merupakan komponen dari NOM yang mengandung gugus fungsi seperti karboksilat (-COOH) dan fenolat (-OH) (Rajca & Bodzek, 2013). Gugus ini dapat terprotonasi atau terdeprotonasi tergantung pada pH lingkungan. Pada pH asam (pH 4), gugus karboksilat berada dalam bentuk terprotonasi (-COOH), sehingga lebih stabil dan tidak bermuatan. Kondisi ini justru membuat interaksi dengan ozon dan radikal hidroksil menjadi kurang efektif, karena senyawa *fulvic acid* sulit terdegradasi dalam kondisi asam. Akibatnya, proses degradasi fulvic acid pada pH asam berjalan lebih lambat.

Pada pH netral (pH 7), sebagian besar gugus karboksilat terdeprotonasi menjadi karboksilat bermuatan negatif ($-COO^-$), sehingga senyawa lebih reaktif terhadap ozon dan radikal hidroksil. Meskipun ozon sedikit kurang stabil dibandingkan dengan kondisi asam, radikal hidroksil yang dihasilkan masih efektif dalam mengoksidasi *fulvic acid*. Hal ini menyebabkan degradasi yang cukup signifikan pada pH netral.

Pada pH basa (pH 9), hampir semua gugus karboksilat dan fenolat terdeprotonasi, menghasilkan banyak muatan negatif. Meskipun ozon cepat terurai dalam kondisi basa, radikal hidroksil yang dihasilkan dalam jumlah banyak menjadi agen oksidasi yang sangat efektif untuk *mengoksidasi fulvic acid*. Oleh karena itu, pada pH basa, degradasi *fulvic acid* lebih cepat dan efektif dibandingkan pH asam dan netral, menyebabkan penurunan intensitas fluoresensi yang lebih besar.



Gambar 4. 3 Grafik Intensitas Fluoresensi *Fulvic Acid-like* pada Variasi pH dan Waktu Kontak

Grafik yang ditampilkan pada Gambar 4.9 menunjukkan tren penurunan intensitas fluoresensi *Fulvic Acid-like*. Pada pH asam, intensitas fluoresensi menurun sebesar 40% dari 0 menit hingga 30 menit. Penurunan ini menunjukkan reaksi cepat ozon terhadap senyawa organik dalam waktu singkat. Pada pH basa, terjadi penurunan yang lebih besar yaitu 51%, sementara pada pH netral penurunan mencapai 47%. Penurunan intensitas fluoresensi pada waktu kontak awal (0-5 menit) pada pH netral dan basa menunjukkan bahwa ozon memiliki efektivitas tinggi dalam mengoksidasi senyawa-senyawa organik. Pada fase ini, konsentrasi ozon masih cukup besar untuk menghasilkan radikal hidroksil yang dapat memecah molekul organik secara efisien (Sari et al., 2013).

Selama waktu kontak 10-20 menit, meskipun penurunan intensitas fluoresensi masih terjadi, laju penurunannya lebih lambat dibandingkan dengan waktu kontak awal. Hal ini disebabkan oleh berkurangnya konsentrasi ozon yang tersedia setelah bereaksi dengan senyawa-senyawa organik sebelumnya. Meskipun demikian, proses ozonasi tetap efektif dalam mengurangi kandungan *Fulvic Acid-like*, menunjukkan bahwa ozon masih dapat berfungsi meskipun dalam konsentrasi yang lebih rendah

Pada fase waktu kontak yang lebih panjang (25-30 menit), penurunan intensitas fluoresensi menunjukkan kecenderungan stabil dan kurang signifikan. Hal ini mengindikasikan bahwa sebagian besar senyawa organik yang mudah teroksidasi telah terdegradasi pada waktu kontak sebelumnya. Pada tahap ini, ozonasi berfokus pada degradasi senyawa organik yang lebih kompleks dan sulit dioksidasi yang memerlukan waktu dan konsentrasi ozon yang lebih tinggi untuk mencapai hasil yang diinginkan.

4.2.2 Pengaruh pH dan Waktu Kontak terhadap *Humic Acid-like*

Humic Acid-like (Peak C) terletak pada panjang gelombang dengan eksitasi 350 nm dan emisi 400 – 460 nm. Tabel 4.7 di bawah ini menunjukkan perubahan intensitas fluoresensi *Humic Acid-like* pada variasi pH dan waktu kontak selama proses ozonasi.

Tabel 4. 7 Intensitas Fluoresensi *Humic Acid-like* pada Variasi pH dan Waktu Kontak

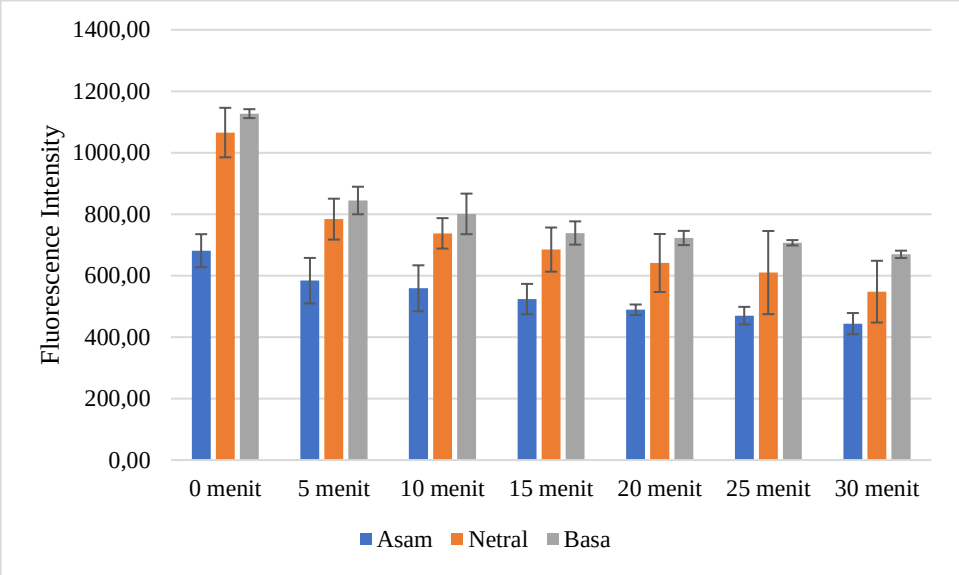
No	pH	Waktu	Pengujian 1	Pengujian 2	Rata-rata	Standar Deviasi
1	Asam (pH 4)	0 menit	643,37	719,27	681,32	53,67
2		5 menit	531,39	636,10	583,74	74,04
3		10 menit	506,22	611,83	559,02	74,67
4		15 menit	489,02	558,75	523,88	49,30
5		20 menit	477,13	501,26	489,20	17,06
6		25 menit	449,79	490,16	469,97	28,55
7		30 menit	419,35	468,30	443,82	34,61
8	Netral (pH 7)	0 menit	1122,59	1008,63	1065,61	80,58
9		5 menit	736,86	831,01	783,94	66,58
10		10 menit	702,66	772,73	737,70	49,55
11		15 menit	634,12	735,63	684,87	71,78
12		20 menit	574,47	707,98	641,22	94,41
13		25 menit	514,38	705,73	610,05	135,30
14		30 menit	476,92	619,01	547,97	100,47
15	Basa (pH 9)	0 menit	1137,50	1116,93	1127,21	14,55
16		5 menit	876,27	812,86	844,56	44,84
17		10 menit	847,66	754,28	800,97	66,03
18		15 menit	765,62	712,08	738,85	37,86

No	pH	Waktu	Pengujian 1	Pengujian 2	Rata-rata	Standar Deviasi
19		20 menit	739,00	706,25	722,62	23,16
20		25 menit	713,26	700,98	707,12	8,68
21		30 menit	677,85	660,88	669,36	12,00

Pada kondisi asam, intensitas fluoresensi *Humic Acid-like* turun dari 681,32 menjadi 443,82 dalam 30 menit, yang setara dengan penurunan sebesar 35%. *Humic acid*, yang memiliki struktur lebih kompleks dibandingkan fulvic acid, mengandung struktur aromatik serta gugus karboksilat (-COOH) dan fenolat (-OH). Pada pH asam, gugus karboksilat dan fenolat ini terprotonasi, sehingga menjadi kurang reaktif terhadap ozon. Akibatnya, degradasi *humic acid* pada kondisi asam berlangsung lambat karena ozon tidak dapat secara efektif bereaksi dengan gugus-gugus fungsional tersebut (Rajca & Bodzek, 2013).

Pada pH netral (pH 7), ozon lebih stabil dan tidak cepat terurai menjadi radikal hidroksil, yang membuatnya lebih efektif dalam mengoksidasi senyawa organik kompleks seperti *humic acid*. Degradasi *humic acid* di pH netral lebih signifikan, dengan penurunan intensitas fluoresensi dari 1065,61 menjadi 547,97 dalam 30 menit, yang setara dengan penurunan sebesar 49%. Ini menunjukkan bahwa pH netral adalah kondisi yang paling optimal untuk ozonasi, karena radikal hidroksil yang terbentuk dapat memecah molekul organik dengan sangat efisien.

Pada pH basa, meskipun radikal hidroksil terbentuk dalam jumlah yang lebih besar, ozon menjadi kurang stabil dan cepat terurai menjadi oksigen sebelum bisa bereaksi dengan *humic acid* secara optimal. Penurunan intensitas fluoresensi dari 913,27 menjadi 669,36 dalam 30 menit, yang setara dengan penurunan sebesar 41%, menunjukkan bahwa meskipun degradasi masih terjadi, proses ini tidak seefektif pada pH netral. Ini disebabkan oleh deprotonasi penuh dari gugus karboksilat dan fenolat, yang membuat reaksi ozon dengan humic acid lebih lambat dibandingkan di pH netral.



Gambar 4. 4 Grafik Intensitas Fluoresensi *Humic Acid-like* pada Variasi pH dan Waktu Kontak

Pada grafik di atas dapat dilihat intensitas fluoresensi terhadap *humic acid-like* menurun sesuai dengan variasi pH dan waktu kontak. Penurunan intensitas fluoresensi pada *humic acid-like* paling besar terjadi dalam 5-10 menit pertama, hal ini menunjukkan bahwa ozon bereaksi cepat dengan *humic acid* dalam waktu singkat. Pada fase awal ini, ozon memiliki konsentrasi tinggi dan dapat menghasilkan radikal hidroksil, yang membantu memecahkan molekul *humic acid-like* (Von Gunten, 2003). Penurunan intensitas fluoresensi terus terjadi selama 15-20 menit tetapi lebih lambat, hal ini disebabkan oleh penurunan konsentrasi ozon yang tersisa setelah bereaksi dengan senyawa organik sebelumnya, sehingga laju degradasi senyawa *Humic Acid-like* juga berkurang. Namun, proses ozonasi tetap berlangsung meskipun dengan efisiensi yang lebih rendah.

Pada waktu kontak yang lebih lama yaitu 25-30 menit, menunjukkan bahwa sebagian besar senyawa humic acid yang mudah teroksidasi telah terdegradasi pada waktu kontak sebelumnya. Pada tahap ini, ozonasi berkonsentrasi pada penghancuran senyawa organik yang lebih kompleks.

4.2.3 Pengaruh pH dan Waktu Kontak terhadap *Tryptophan-like*

Tryptophan-like adalah salah satu dari 20 asam amino yang menyusun protein. *Tryptophan-like* atau yang sering disebut sebagai Peak T, terletak pada panjang gelombang eksitasi 275 nm dan emisi antara 340-360 nm. Data intensitas fluoresensi pada *Tryptophan-like* setelah proses ozonasi dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4. 8 Intensitas Fluoresensi *Tryptophan-like* pada Variasi pH dan Waktu Kontak

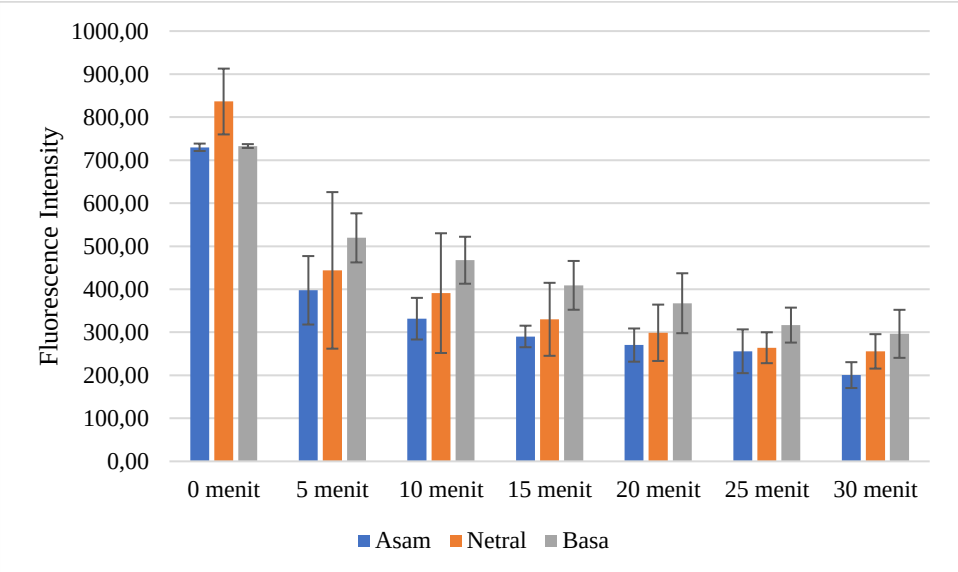
No	pH	Waktu	Pengujian 1	Pengujian 2	Rata-rata	Standar Deviasi
1	Asam (pH 4)	0 menit	736,02	723,84	729,93	8,61
2		5 menit	341,34	453,87	397,60	79,57
3		10 menit	297,42	365,86	331,64	48,40
4		15 menit	272,59	308,03	290,31	25,06
5		20 menit	243,00	297,54	270,27	38,57
6		25 menit	219,90	291,85	255,87	50,87
7		30 menit	179,26	221,75	200,51	30,04
8	Netral (pH 7)	0 menit	890,39	782,28	836,33	76,45
9		5 menit	315,20	572,49	443,85	181,94
10		10 menit	292,64	489,40	391,02	139,13
11		15 menit	270,15	390,11	330,13	84,82
12		20 menit	252,53	345,14	298,83	65,49
13		25 menit	238,74	289,53	264,13	35,91
14		30 menit	227,37	283,95	255,66	40,01
15	Basa (pH 9)	0 menit	736,00	729,72	732,86	4,45
16		5 menit	559,78	479,09	519,43	57,06
17		10 menit	506,06	428,86	467,46	54,58
18		15 menit	449,21	368,97	409,09	56,73
19		20 menit	416,78	318,26	367,52	69,66
20		25 menit	345,42	287,98	316,70	40,62
21		30 menit	335,89	256,98	296,43	55,80

Pada pH asam, intensitas fluoresensi *tryptophan-like* awalnya sebesar 1435,96 dan menurun menjadi 794,15 setelah 30 menit, dengan persentase penurunan sebesar 73%. Hal ini disebabkan oleh kestabilan ozon pada pH rendah, sehingga ozon secara langsung mengoksidasi gugus aromatik dan amina pada *tryptophan-like* dengan cepat. Gugus amina dalam *tryptophan*

lebih rentan terhadap oksidasi pada pH asam, sehingga terjadi penurunan intensitas fluoresensi yang signifikan (Clarke et al., 2024).

Pada pH netral, intensitas fluoresensi *tryptophan-like* menurun dari 1280,01 menjadi 717,25, dengan penurunan sebesar 69%. Meskipun ozon lebih cepat terdekomposisi dibandingkan pada pH asam, radikal hidroksil yang terbentuk tetap efektif dalam merusak gugus aromatik pada *tryptophan-like*. Tidak adanya penurunan awal kandungan NOM karena reaksi dengan asam klorida memungkinkan ozonasi berjalan optimal pada pH netral.

Pada pH basa, intensitas fluoresensi menurun dari 1240,70 menjadi 775,38, atau sebesar 60%. Di pH basa, ozon terdekomposisi lebih cepat menjadi radikal hidroksil, yang merupakan oksidan kuat. Meskipun banyak radikal hidroksil terbentuk, reaksi dominan di sini adalah reaksi dengan radikal, bukan ozon murni. Hal ini membuat degradasi senyawa *tryptophan-like* sedikit lebih lambat dibandingkan dengan pH asam, karena radikal hidroksil lebih efisien dalam menyerang gugus aromatik, tetapi kurang spesifik dalam menyerang gugus amina dibandingkan ozon.



Gambar 4. 5 Grafik Intensitas Fluoresensi *Tryptophan-like* pada Variasi pH dan Waktu Kontak

Intensitas fluoresensi pada *tryptophan-like* menurun dengan cepat selama 5-10 menit kontak. Hal ini menunjukkan reaksi cepat ozon dengan

senyawa ini, menghasilkan radikal hidroksil yang sangat reaktif. Pada awal proses, konsentrasi ozon yang tinggi memungkinkan degradasi substansi yang cepat. Setelah berinteraksi dengan senyawa organik sebelumnya selama 15-20 menit, laju penurunan intensitas fluoresensi mulai melambat. Terlepas dari itu, ozonasi persisten dan efektif dalam mengurangi kandungan *tryptophan-like*. Penurunan intensitas fluoresensi cenderung lebih stabil selama kontak yang lebih lama, menunjukkan bahwa sebagian besar senyawa *tryptophan-like* yang mudah teroksidasi telah terdegradasi. Pada tahap ini, ozonasi berfokus pada senyawa organik yang lebih kompleks, yang membutuhkan waktu yang lebih lama untuk terdegradasi.

4.2.4 Pengaruh pH dan Waktu Kontak terhadap *Tyrosine-like*

Tyrosine-like (Peak B) merupakan salah satu senyawa yang sering ditemukan dalam air yang mengandung bahan organik alami, terutama dari sumber biologis. Senyawa ini berhubungan erat dengan asam amino, yang sering muncul dalam air akibat kontaminasi dari aktivitas biologis atau limbah domestik. Ty*rosine-like* (Peak B) terletak pada panjang gelombang dengan eksitasi 275 nm dan emisi 310 – 320 nm. Data intensitas fluoresensi *Tyrosine-like* pada variasi pH dan waktu kontak setelah proses ozonasi disajikan dalam tabel berikut, yang menggambarkan bagaimana proses ozonasi dapat mempengaruhi keberadaan senyawa ini dalam air.

Tabel 4. 9 Intensitas Fluoresensi *Tyrosine-like* pada Variasi pH dan Waktu Kontak

No	pH	Waktu	Pengujian 1	Pengujian 2	Rata-rata	Standar Deviasi
1	Asam (pH 4)	0 menit	1474,20	1397,73	1435,96	54,07
2		5 menit	1073,17	1095,05	1084,11	15,47
3		10 menit	1009,80	1043,68	1026,74	23,96
4		15 menit	955,50	925,72	940,61	21,06
5		20 menit	906,23	891,55	898,89	10,38
6		25 menit	850,80	832,86	841,83	12,69
7		30 menit	791,86	796,43	794,15	3,23
8		0 menit	1299,25	1260,76	1280,01	27,22

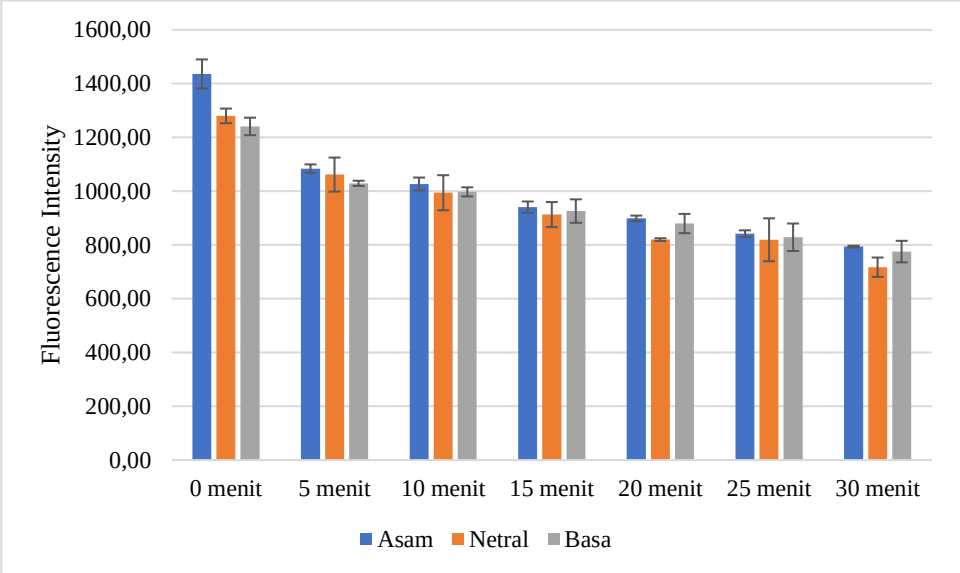
No	pH	Waktu	Pengujian 1	Pengujian 2	Rata-rata	Standar Deviasi
9	Netral (pH 7)	5 menit	1016,81	1106,42	1061,61	63,36
10		10 menit	948,14	1040,35	994,25	65,20
11		15 menit	880,14	945,91	913,03	46,50
12		20 menit	823,58	816,34	819,96	5,12
13		25 menit	762,84	875,73	819,29	79,83
14		30 menit	691,74	742,77	717,25	36,08
15	Basa (pH 9)	0 menit	1217,66	1263,73	1240,70	32,57
16		5 menit	1035,93	1022,29	1029,11	9,64
17		10 menit	985,37	1009,39	997,38	16,98
18		15 menit	895,20	956,94	926,07	43,66
19		20 menit	854,24	904,97	879,60	35,88
20		25 menit	792,61	864,84	828,72	51,07
21		30 menit	747,03	803,74	775,38	40,10

Pada pH asam, ozon menunjukkan kestabilan yang lebih tinggi karena tidak mudah terdekomposisi. Ozon secara langsung menyerang gugus aromatik pada molekul *tyrosine-like*, menyebabkan degradasi yang signifikan. Penurunan intensitas fluoresensi dari 1435,96 menjadi 794,15 dalam waktu 30 menit mencerminkan penurunan sebesar 45%. Proses oksidasi ini sangat efektif karena ozon mampu bereaksi langsung dengan molekul organik tanpa terlalu banyak terurai menjadi radikal hidroksil, yang cenderung terbentuk lebih banyak pada pH basa (Clarke et al., 2024).

Pada pH netral, ozon lebih cepat terdekomposisi menjadi oksigen dan radikal hidroksil, tetapi tetap cukup efektif dalam mengoksidasi senyawa *tyrosine-like*. Intensitas fluoresensi pada kondisi ini menurun dari 1280,01 menjadi 717,25 dalam 30 menit, dengan persentase penurunan sebesar 44%. Meskipun ozon terurai lebih cepat pada pH netral dibandingkan pH asam, radikal hidroksil yang terbentuk masih cukup untuk mengoksidasi senyawa ini secara efektif.

Pada pH basa, ozon terdekomposisi dengan lebih cepat dan menghasilkan banyak radikal hidroksil, yang merupakan oksidan kuat. Namun, penurunan intensitas fluoresensi dari 1240,70 menjadi 775,38, dengan persentase penurunan sebesar 38%, menunjukkan bahwa radikal

hidroksil di pH basa kurang efektif dibandingkan ozon pada pH asam. Hal ini karena reaksi radikal hidroksil cenderung lebih lambat dalam menargetkan senyawa *tyrosine-like* yang spesifik, dan ozon yang terdekomposisi dengan cepat tidak dapat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap proses oksidasi.

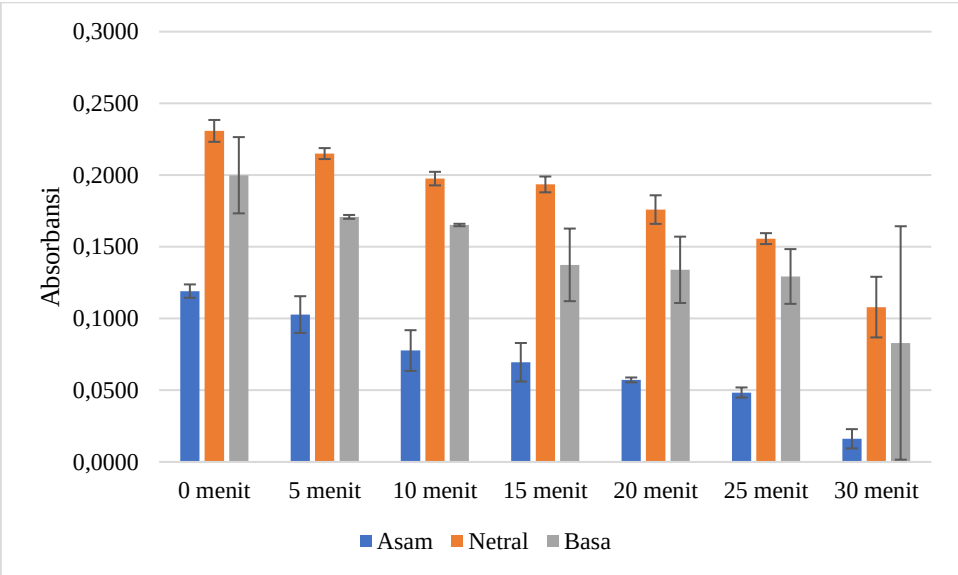


Gambar 4. 6 Grafik Intensitas Fluoresensi *Tyrosine-like* pada Variasi pH dan Waktu Kontak

Pada awal ozonasi, intensitas fluoresensi *tyrosine-like* menurun dengan cepat, menunjukkan reaksi awal yang intensif. Dalam fase ini, ozon yang masih berlimpah dapat segera mengoksidasi senyawa organik, menghasilkan penurunan intensitas fluoresensi yang signifikan. Penurunan intensitas fluoresensi melambat pada menit ke-15 dan 20, menunjukkan bahwa banyak senyawa yang mudah dioksidasi telah terdegradasi. Penurunan konsentrasi ozon aktif juga menjadi faktor yang mempengaruhi laju degradasi yang lebih lambat. Pada menit ke-25 dan 30, penurunan intensitas fluoresensi menjadi lebih lambat dan stabil. Ini menunjukkan bahwa ozonasi telah mengatasi sebagian besar komponen *tyrosine-like* yang lebih mudah dioksidasi, dan degradasi lebih lanjut membutuhkan waktu lebih lama, terutama untuk senyawa yang lebih kompleks (Westerhoff et al., 2004).

4.3 Pengujian UV 254

UV 254 adalah indikator utama bahan organik alami. Absorbansi UV-Vis pada panjang gelombang 254 nm biasanya digunakan untuk mendeteksi keberadaan senyawa aromatik. Nilai absorbansi yang lebih tinggi menunjukkan kandungan senyawa aromatik yang lebih besar dalam air (Matilainen et al., 2011). Pengujian ini dilakukan menggunakan spektrofotometer dengan variasi pH asam, netral, dan basa, serta waktu kontak antara 5 hingga 30 menit. Hasil pengaruh ozonasi terhadap UV 254 pada sampel air dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 7 UV 254 pada Variasi pH dan Waktu Kontak

Penelitian ini juga menilai pengaruh ozonasi terhadap absorbansi UV 254 pada berbagai kondisi pH, yakni asam, netral, dan basa. Data menunjukkan bahwa pada pH asam, absorbansi UV 254 awalnya adalah 0,1191 dan menurun menjadi 0,0162 setelah 30 menit ozonasi. Pada pH netral, absorbansi awal adalah 0,2308 dan menurun menjadi 0,1080 setelah 30 menit. Sedangkan pada pH basa, absorbansi awal adalah 0,1999 dan menurun menjadi 0,0814 setelah 30 menit. Penurunan absorbansi UV 254 ini mengindikasikan bahwa ozonasi efektif dalam mengurangi konsentrasi senyawa organik yang terserap pada panjang gelombang tersebut, dengan efektivitas tertinggi pada pH asam dan terendah pada pH basa. Hal ini sesuai dengan sifat ozon yang lebih stabil dan efektif dalam menghasilkan

radikal hidroksil pada kondisi asam, yang dapat mengoksidasi senyawa organik lebih efisien. Penurunan absorbansi UV 254 ini lebih jelas ditampilkan pada grafik di bawah, yang menunjukkan perbandingan absorbansi pada berbagai kondisi pH dan waktu kontak.

Penurunan absorbansi UV 254 selama proses ozonasi menunjukkan adanya degradasi senyawa organik aromatik dalam air sampel. Absorbansi UV 254 sering digunakan sebagai indikator keberadaan senyawa organik aromatik, khususnya yang mengandung ikatan ganda terkonjugasi, seperti *humic* dan *fulvic acids* (Matilainen et al., 2011). Ozonasi, sebagai metode oksidasi lanjut, efektif dalam memutus ikatan kimia dalam senyawa organik ini, menghasilkan produk oksidasi yang lebih sederhana dan kurang terkonjugasi, yang menyerap lebih sedikit pada panjang gelombang 254 nm (Von Gunten, 2003).

Reaksi ozon dengan senyawa organik dapat terjadi dalam dua cara utama: melalui reaksi langsung dengan molekul ozon dan melalui reaksi tidak langsung dengan radikal hidroksil yang terbentuk selama dekomposisi ozon dalam air. Reaksi langsung ozon cenderung lebih selektif terhadap ikatan ganda dan gugus aromatik, sementara radikal hidroksil yang sangat reaktif dapat menyerang berbagai macam senyawa organik (Camel & Bermond, 1998).

Penurunan yang signifikan dalam absorbansi UV 254 selama 30 menit ozonasi menunjukkan bahwa baik ozon maupun radikal hidroksil berperan dalam degradasi senyawa organik dalam air sampel. Hal ini mendukung temuan bahwa ozonasi adalah teknik yang efektif untuk pengolahan air yang mengandung senyawa organik kompleks, meningkatkan kualitas air dengan mengurangi potensi pembentukan produk sampingan disinfeksi yang berbahaya (Richardson, 2003).

4.4 Uji Korelasi

Uji korelasi dilakukan untuk menentukan hubungan antar parameter seperti intensitas fluoresensi komponen organik (*Fulvic Acid-like*, *Humic Acid-like*, *Tryptophan-like*, dan *Tyrosine-like*) dengan dosis ozon dan absorpsi UV254. Analisis ini penting untuk memahami interaksi antar parameter dan bagaimana

masing-masing parameter tersebut saling berhubungan dalam proses ozonasi, yang kemudian dapat memberikan wawasan lebih mendalam tentang efektivitas ozonasi dalam mengurangi kandungan senyawa NOM.

4.4.1 Uji Korelasi Intensitas Fluoresensi dengan Dosis Ozon

Uji korelasi dilakukan untuk melihat hubungan antara intensitas fluoresensi komponen organik dengan dosis ozon pada berbagai pH. Analisis ini dilakukan untuk memahami sejauh mana perubahan intensitas fluoresensi dipengaruhi oleh peningkatan dosis ozon pada kondisi pH yang berbeda, baik asam, netral, maupun basa.

Tabel 4. 10 Koefisien Korelasi Pada Tiap pH

pH	**Koefisien Korelasi (r)**				**Keterangan**
	Fulvic Acid	**Humic Acid**	**Tryptophan-like**	**Tyrosine-like**	
pH Asam	-0,190	-0,430	-0,675	-0,579	Korelasi Negatif
pH Netral	-0,670	-0,576	-0,688	-0,415	Korelasi Negatif
pH Basa	-0,591	-0,655	-0,521	-0,470	Korelasi Negatif

Tabel tersebut menunjukkan koefisien korelasi (r) antara intensitas fluoresensi komponen organik (seperti *Fulvic Acid-like, Humic Acid-like, Tryptophan-like,* dan *Tyrosine-like*) dengan dosis ozon pada berbagai pH (asam, netral, dan basa). Dari hasil uji korelasi, semua nilai korelasi (r) menunjukkan hubungan negatif antara dosis ozon dengan intensitas fluoresensi pada setiap pH. Hal ini berarti, semakin tinggi dosis ozon yang diberikan, intensitas fluoresensi komponen organik cenderung menurun, yang mengindikasikan adanya degradasi atau oksidasi bahan organik oleh ozon.

Korelasi negatif ini dapat dijelaskan oleh sifat reaktif ozon yang kuat sebagai oksidan, yang dapat merusak struktur molekul organik seperti yang terdapat pada *Fulvic Acid-like, Humic Acid-like, Tryptophan-like,* dan *Tyrosine-like*. Ketika ozon bereaksi dengan komponen organik tersebut,

ikatan kimia dalam molekul cenderung terputus, menyebabkan penurunan fluoresensi yang terdeteksi (Crittenden, 2012) .

Nilai korelasi yang lebih mendekati -1 menunjukkan hubungan yang lebih kuat. Misalnya, pada pH netral, *Fulvic Acid-like* memiliki koefisien korelasi sebesar -0,670, yang menunjukkan hubungan yang cukup kuat antara peningkatan dosis ozon dengan penurunan intensitas fluoresensi. Demikian pula, *Tryptophan-like* pada pH asam memiliki korelasi sebesar -0,675, yang menunjukkan hubungan yang signifikan.

Pada pH netral, korelasi antara dosis ozon dengan semua komponen juga lebih kuat dibandingkan pada pH asam dan basa, mengindikasikan bahwa ozon lebih efektif dalam mengoksidasi bahan organik pada pH netral. Sedangkan, pada pH basa, meskipun korelasi negatif tetap ada, intensitas fluoresensi komponen organik seperti *Tryptophan-like* lebih sedikit terpengaruh, dengan korelasi sebesar -0,521, yang menunjukkan bahwa reaktivitas ozon terhadap bahan organik pada pH basa tidak sekuat pada pH lainnya.

Dalam kesimpulannya, hasil uji korelasi ini mendukung bahwa pH berperan dalam efektivitas ozonasi dalam mengurangi intensitas fluoresensi komponen organik, dan bahwa peningkatan dosis ozon cenderung menurunkan fluoresensi, yang sesuai dengan mekanisme degradasi bahan organik oleh ozon.

4.4.2 Uji Korelasi Intensitas Fluoresensi dengan UV 254

Uji korelasi antara intensitas fluoresensi komponen organik dan absorbansi UV 254 dilakukan untuk memahami hubungan antara kedua parameter pada berbagai pH dalam proses ozonasi.

Tabel 4. 11 Koefisien Korelasi dengan UV 254 Pada Berbagai pH

pH	**Koefisien Korelasi (r)**				**Keterangan**
	Fulvic Acid	**Humic Acid**	**Tryptophan-like**	**Tyrosine-like**	
pH Asam	0,975	0,954	0,856	0,905	Korelasi Positif

pH	Koefisien Korelasi (r)				Keterangan
	Fulvic Acid	**Humic Acid**	**Tryptophan-like**	**Tyrosine-like**	
pH Netral	0,769	0,838	0,736	0,898	Korelasi Positif
pH Basa	0,888	0,863	0,910	0,942	Korelasi Positif

Hasil uji korelasi yang ditampilkan dalam tabel menunjukkan bahwa semua nilai koefisien korelasi (r) adalah positif, menandakan adanya hubungan searah antara intensitas fluoresensi komponen organik dengan hasil absorbansi UV 254 nm pada berbagai kondisi pH (asam, netral, dan basa). Korelasi positif ini menunjukkan bahwa peningkatan intensitas fluoresensi akan diikuti oleh peningkatan absorbansi UV 254 nm, yang mencerminkan adanya keterkaitan erat antara kedua parameter tersebut.

Dalam kondisi pH rendah, nilai koefisien korelasi untuk *Fulvic Acid* mencapai 0,975, menunjukkan hubungan yang sangat kuat antara intensitas fluoresensi *Fulvic Acid* dan absorbansi UV 254 nm. Korelasi serupa juga terlihat pada *Humic Acid* (0,954), *Tryptophan-like* (0,856), dan *Tyrosine-like* (0,905), yang secara keseluruhan menunjukkan bahwa pada kondisi asam, keterkaitan antara fluoresensi komponen organik dan absorbansi UV 254 nm sangat erat.

Saat kondisi berubah menjadi pH netral, koefisien korelasi untuk *Fulvic Acid* sedikit menurun menjadi 0,769, meskipun tetap menunjukkan hubungan yang kuat. Hal yang sama berlaku untuk *Humic Acid* (0,838), *Tryptophan-like* (0,736), dan *Tyrosine-like* (0,898). Pada pH yang lebih tinggi, *Fulvic Acid* menunjukkan koefisien korelasi sebesar 0,888, yang menunjukkan bahwa hubungan antara intensitas fluoresensi dan absorbansi UV 254 nm tetap kuat. *Humic Acid* (0,863), *Tryptophan-like* (0,910), dan *Tyrosine-like* (0,942) juga menunjukkan korelasi positif yang tinggi, mendekati nilai yang diperoleh pada pH asam. Ini menunjukkan bahwa pada kondisi basa, komponen organik masih memiliki keterkaitan erat antara fluoresensi dan absorbansi UV, sejalan dengan hasil yang diperoleh pada kondisi pH lainnya.

Secara keseluruhan, hasil korelasi ini menggambarkan bahwa intensitas fluoresensi dan absorbansi UV 254 nm memiliki hubungan yang kuat dan konsisten, terlepas dari variasi pH, dengan sedikit perbedaan dalam kekuatan interaksi di berbagai kondisi.

4.4.3 Uji Korelasi Intensitas Fluoresensi *Fulvic Acid-like* dengan Komponen Organik Lainnya

Uji korelasi antara intensitas fluoresensi komponen *Fulvic Acid-like* dengan komponen organik lainnya dilakukan untuk memahami hubungan antara komponen-komponen tersebut dalam kondisi berbagai pH selama proses ozonasi.

Tabel 4. 12 Koefisien Korelasi *Fulvic Acid-like* dengan Komponen Organik Lainnya pada Berbagai pH

pH		**Koefisien Korelasi (r)**			
		Fulvic Acid	**Humic Acid**	**Tryptophan-like**	**Tyrosine-like**
Asam	**Fulvic Acid**	1,000	0,963	0,839	0,906
	Humic Acid	0,963	1,000	0,951	0,985
	Tryptophan-like	0,839	0,951	1,000	0,988
	Tyrosine-like	0,906	0,985	0,988	1,000
Netral	**Fulvic Acid**	1,000	0,992	0,998	0,950
	Humic Acid	0,992	1,000	0,986	0,982
	Tryptophan-like	0,998	0,986	1,000	0,942
	Tyrosine-like	0,950	0,982	0,942	1,000
Basa	**Fulvic Acid**	1,000	0,995	0,994	0,987
	Humic Acid	0,995	1,000	0,982	0,969
	Tryptophan-like	0,994	0,982	1,000	0,995
	Tyrosine-like	0,987	0,969	0,995	1,000

Hasil uji korelasi yang disajikan dalam tabel menunjukkan bahwa semua pasangan komponen organik memiliki nilai koefisien korelasi positif yang tinggi di seluruh rentang pH yang diuji (asam, netral, dan basa). Hal ini menandakan adanya hubungan yang kuat antara intensitas fluoresensi dari satu komponen organik dengan komponen lainnya.

Hubungan antara intensitas fluoresensi dan komponen organik pada pH asam menunjukkan bahwa *Fulvic Acid* dan *Humic Acid* memiliki koefisien korelasi sebesar 0,963. Ini menandakan adanya interaksi yang sangat kuat antara keduanya dalam mempengaruhi fluoresensi. Begitu pula, korelasi yang kuat antara *Tryptophan-like* dan *Tyrosine-like* dengan nilai 0,988 mengindikasikan keterkaitan yang kuat pada pH asam.

Ketika larutan berada pada pH netral, korelasi antara *Fulvic Acid* dan *Humic Acid* meningkat hingga 0,992. Meskipun begitu, terdapat sedikit penurunan korelasi antara pasangan *Tryptophan-like* dan *Tyrosine-like* yang memiliki nilai korelasi sebesar 0,942. Ini mungkin disebabkan oleh perubahan sifat kimia komponen organik pada pH netral yang memengaruhi interaksi fluoresensi.

Dalam kondisi basa, interaksi antara *Fulvic Acid* dan *Humic Acid* tetap sangat kuat dengan koefisien korelasi sebesar 0,995. Selain itu, *Tryptophan-like* dan *Tyrosine-like* juga menunjukkan korelasi tinggi dengan nilai 0,995, menunjukkan bahwa meskipun berada dalam kondisi basa, hubungan fluoresensi antar komponen organik ini masih signifikan.

Secara keseluruhan, hasil korelasi ini memperlihatkan bahwa intensitas fluoresensi dari berbagai komponen organik yang diuji memiliki keterkaitan yang erat di semua rentang pH yang diteliti. Keterkaitan yang kuat ini kemungkinan besar disebabkan oleh kesamaan dalam struktur kimia atau adanya interaksi fisik antara komponen-komponen tersebut, yang kemudian memengaruhi karakteristik fluoresensi mereka. Hal ini menunjukkan bahwa struktur molekul dan interaksi kimia antar senyawa organik memainkan peran penting dalam menentukan sifat fluoresensi dalam larutan.

4.4.4 Uji Korelasi UV 254 dengan Dosis Ozon

Uji korelasi antara intensitas fluoresensi komponen organik dan absorbansi UV 254 dilakukan untuk memahami hubungan antara kedua parameter pada berbagai pH dalam proses ozonasi. Hasil uji korelasi ini memberikan gambaran mengenai bagaimana perubahan pH mempengaruhi interaksi antara komponen organik yang diukur melalui fluoresensi dengan absorbansi UV 254. Korelasi yang ditemukan dapat memberikan wawasan lebih lanjut tentang efisiensi proses ozonasi dalam berbagai kondisi pH.

Tabel 4. 13 Koefisien Korelasi dengan UV 254 Pada Berbagai pH

pH	**Koefisien Korelasi (r)**	**Keterangan**
Asam	-0,212	Korelasi Negatif
Netral	-0,103	Korelasi Negatif
Basa	-0,250	Korelasi Negatif

Berdasarkan hasil uji korelasi, terlihat bahwa koefisien korelasi (r) antara UV254 dan dosis ozon pada pH yang berbeda memiliki nilai negatif untuk semua kondisi. Hal ini menunjukkan adanya korelasi negatif, yang berarti semakin tinggi dosis ozon, semakin rendah nilai absorbansi UV254.

Koefisien korelasi -0,212 menunjukkan adanya korelasi negatif lemah. Artinya, ada sedikit penurunan absorbansi UV254 seiring dengan peningkatan dosis ozon pada pH asam. Pada pH netral, korelasi negatif sangat lemah dengan koefisien -0,103, yang menunjukkan hubungan yang hampir tidak signifikan antara dosis ozon dan penurunan absorbansi UV254. Korelasi negatif paling kuat terdapat pada pH basa dengan koefisien -0,250, meskipun masih dalam kategori korelasi negatif lemah.

Secara keseluruhan, meskipun semua kondisi menunjukkan korelasi negatif, besarnya pengaruh dosis ozon terhadap penurunan absorbansi UV254 lebih signifikan pada pH basa dibandingkan dengan pH asam dan netral. Hal ini dapat disebabkan oleh perbedaan struktur atau konsentrasi senyawa organik yang teroksidasi oleh ozon pada masing-masing kondisi pH.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian dan juga analisis yang sudah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Waktu optimum dan dosis optimum untuk menurunkan kandungan NOM paling efektif terjadi pada pH netral (pH 7) dengan waktu kontak selama 30 menit, di mana dosis ozon sebesar 29,10 mg/L. Kondisi ini menunjukkan bahwa ozonasi pada pH netral dengan waktu kontak 30 menit memberikan hasil yang paling stabil dan efisien dalam menguraikan komponen NOM.

2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ozonasi secara signifikan mengurangi intensitas fluoresensi senyawa-senyawa organik dalam air sampel. Pada pH asam senyawa *fulvic acid-like* terjadi penurunan sebesar 40%, senyawa *humic acid-like* sebesar 35%, senyawa *tryptophan-like* sebesar 73%, dan untuk *tyrosine-like* terjadi penurunan sebesar 45%. Pada pH netral senyawa *fulvic acid-like* terjadi penurunan sebesar 47%, senyawa *humic acid-like* sebesar 49%, senyawa *tryptophan-like* sebesar 69%, dan untuk *tyrosine-like* terjadi penurunan sebesar 44%. Sedangkan pada pH basa senyawa *fulvic acid-like* terjadi penurunan sebesar 51%, senyawa *humic acid-like* sebesar 41%, senyawa *tryptophan-like* sebesar 60%, dan untuk *tyrosine-like* terjadi penurunan sebesar 38%.

3. Hasil analisis menunjukkan bahwa pH memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja ozon dalam menurunkan kandungan NOM. Pada pH netral (pH 7), efisiensi penghilangan NOM oleh ozon paling tinggi karena kondisi ini mendukung pembentukan radikal hidroksil (OH) yang efektif untuk mengoksidasi gugus-gugus organik seperti karboksilat (-COOH) dan

fenolat (-OH), yang cenderung lebih mudah dioksidasi. Pada pH asam, meskipun ozon lebih stabil dan menghasilkan radikal hidroksil dalam jumlah yang lebih besar, gugus organik seperti karboksilat dan fenolat lebih terprotonasi, sehingga kurang rentan terhadap oksidasi. Sementara itu, pada pH basa, efektivitas ozonasi menurun karena ozon lebih cepat terdekomposisi menjadi oksigen, yang mengurangi pembentukan radikal hidroksil, meskipun terjadi deprotonasi pada gugus-gugus organik. Oleh karena itu, pH netral merupakan kondisi yang paling optimal untuk ozonasi karena ozon tetap stabil dan efisien dalam mengoksidasi senyawa organik dalam NOM.

5.2 Saran

Berdasarkan dari hasil penelitian dan juga analisis yang sudah dilakukan, saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut :

1. Untuk memastikan hasil yang lebih stabil dan akurat, disarankan agar generator ozon dikalibrasi secara berkala. Kalibrasi yang tepat akan meningkatkan keandalan dan performa alat, sehingga hasil yang diperoleh lebih konsisten dan valid.

2. Disarankan untuk menggunakan metode titrasi dalam pengukuran dosis ozon. Metode spektrofotometri yang digunakan dalam penelitian ini mungkin tidak mampu mengukur semua konsentrasi ozon secara akurat. Metode titrasi dapat menjadi alternatif yang lebih tepat untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

Abdi, D., Kusuma, H., & Hasanah, U. (2017). Pengaruh Ozonasi Terhadap Penurunan Intensitas Warna Dan Kadar Besi (Fe) Pada Air Gambut. Jurnal Pengolahan Air, 15(2), 123-130.

Aiken, G., and Cotsaris, E. 1995. Soil and Hydrology: Their Effect On NOM. Journal American Water Works Association, 87(1): 36-45.

Beltrand, Fernando J. 2004. Ozone Reaction Kinetics For water and Wastewater. 22th ed. America Public Health Association: Washington, DC.

Bieroza, M., Baker, A., & Bridgeman, J. (2009). Relating Freshwater Organic Matter Fluorescence to Organic Carbon Removal Efficiency in Drinking Water Treatment. *Science of the Total Environment*, *407*(5), 1765–1774. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.11.013

Bond, T., Goslan, E. H., Parsons, S. A., & Jefferson, B. (2012). A critical review of trihalomethane and haloacetic acid formation from natural organic matter surrogates. Environmental Technology Reviews, 1(1), 93–113. https://doi.org/10.1080/09593330.2012.705895

Camel, V., & Bermond, A. (1998). The Use of Ozone and Associated Oxidation Processes in Drinking Water Treatment. Water Reasearch, 3(2(11), 3208-3222.

Cinthya, D., Wibisono, A., & Setiawan, T. (2019). Efektivitas Proses ozonasi: Studi Kasus IPA san Miniplant Dago Pakar. Jurnal Pengolahan Air Bersih, 21(1), 85-92.

Clarke, K. T., Hopkins, S. L., Krosch, M. N., Cresswell, S. L., & Gee, W. J. (2024). Showcasing Water-Based Delivery of An Amino Acid Targeting Fingermark Developer in A Hydrogel. *Forensic Science International*, *360*. https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2024.112045

Crittenden, J. C. . (2012). *Water treatment principles and design*. John Wiley.

Facta, M., Z. Salam, A. Jusoh, and Z. Bin Buntat. 2008. Improvementin Ozone Generation With Low Voltage High Frequency Power Converters. In Power and Energy Conference, 2008. PECon 2008. iEE 2nd International, 1446-1450.

Feng, H., Liang, Y. N., & Hu, X. 2022. Natural Organic Matter (NOM), An Underexplored Resource For Environmental Conservation And Remediation. Materials Today Sustainability, 19, 100159.

Firella, M. 2009. Freshwaters: Which NOM Matters. Environmental Chemistry Letters, 7(1), 21-35.

Hoigni~, J., Bader, H., Haag, W. R., & Staehelin, J. (1985). Rate Constants of Reactions of Ozone with Organic and Inorganic Compounds in Water-III Inorganic Compounds and Radicals. In *Water Res* (Vol. 19, Issue 8).

Hur, J., Williams, M. A., & Schlautman, M. A. (2006). Evaluating Spectroscopic and Chromatographic Techniques to Resolve Dissolved Organic Matter Via End Member Mixing Analysis. *Chemosphere*, *63*(3), 387–402. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.08.069

Izumi, K., Utiyama, M., & Maruo, Y. Y. (2017). A Porous Glass-Based Ozone Sensing Chip Impregnated with Potassium Iodide and α-cyclodextrin. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, *241*, 116–122. https://doi.org/10.1016/j.snb.2016.10.026

Kogelschatz, U, 1998., Advanced Ozon Generation in Process Technologifor Water Treatment. Baden, Switzerland: ABB Coorporation Research Ltd.

Korshin, G., Chow, C. W. K., Fabris, R., & Drikas, M. (2009). Absorbance Spectroscopy-Based Examination of Effects of Coagulation on The Reactivity of Fractions of Natural Organic Matter with Varying Apparent Molecular Weights. *Water Research*, *43*(6), 1541–1548. https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.12.041

Krasner, S. W., Mitch, W. A., McCurry, D. L., Hanigan, D., & Westerhoff, P. (2006). The Occurrence of Disinfection By-Products (DBPs) of Health Concern in Drinking Water: Results of a Nationwide DBP Occurrence Study. Environmental Science & Technology, 40(23), 7175-7185.

Marhaba, T. F., Borgaonkar, A. D., & Punburananon, K. (2009). Principal Component Regression Model Applied to Dimensionally Reduced Spectral Fluorescent Signature for The Determination of Organic Character and THM Formation Potential of Source Water. *Journal of Hazardous Materials*, *169*(1–3), 998–1004. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.04.047

Matilainen, A., Gjessing, E. T., Lahtinen, T., Hed, L., Bhatnagar, A., & Sillanpää, M. (2011). An Overview of The Methods Used in The Characterisation of Natural Organic Matter (NOM) in Relation to Drinking Water Treatment. In *Chemosphere* (Vol. 83, Issue 11, pp. 1431–1442). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.01.018

Purwadi, A., Widdi, U., Suryadi & Isyuniarto. 2006. Konstruksi Tabung Lucutan Plasma Pembangkit Ozone 100 watt dan Karakteristiknya. Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan, 1(4).

Rajca, M., & Bodzek, M. (2013). Kinetics of Fulvic and Humic Acids Photodegradation in Water Solutions. *Separation and Purification Technology*, *120*, 35–42. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2013.09.019

Richardson, S. D. (2003). Disinfection By-Products and Other Emerging Contaminants in Drinking Water. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, *22*(10), 666–684. https://doi.org/10.1016/S0165-9936(03)01003-3

Sari, N. N., Sururi, M. R., & Pharmawati, K. (2013). Reka Lingkungan. Efek Perlakuan pH pada Ozonisasi. In *Jurnal Institut Teknologi Nasional* (Vol. 1).

Schober, P., & Schwarte, L. A. (2018). Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation. *Anesthesia and Analgesia*, *126*(5), 1763–1768. https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002864

Spencer, R. G. M., Bolton, L., & Baker, A. (2007). Freeze/Thaw and pH Effects on Freshwater Dissolved Organic Matter Fluorescence and Absorbance Properties From a Number of UK Locations. *Water Research*, *41*(13), 2941–2950. https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.04.012

Sugiharto. 1987. Dasar-Dasar Pengolahan Air Limbah. Jakarta Pers.

Sururi, M., Syahrizal, & Kurniawan, B. (2012). Penyisihan Bahan Organik Alami Pada Air Permukaan dengan Ozonasi-Filtrasi. Jurnal Teknologi Pengolahan Air, 8(4), 45-53.

Usada, W. dkk. 2002. Prosiding PPI Litdas IPTEK Nuklir P3TM Bahan, Yogyakarta.

Von Gunten, U. (2003). Ozonation of Drinking Water: Part I. Oxidation Kinetics and Product Formation. In *Water Research* (Vol. 37).

Westerhoff, P., Chao, P., & Mash, H. (2004). Reactivity of Natural Organic Matter with Aqueous Chlorine and Bromine. *Water Research*, *38*(6), 1502–1513. https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.12.014

LAMPIRAN

Lampiran 1: Perhitungan Dosis Ozon

a. Perhitungan Produksi Ozon Berdasarkan Ozon Generator

Tabel 1. Konsentrasi Ozon

Waktu Kontak (menit)	Dosis Ozon	
	Teori (mg/l)	Uji Laboratorium (mg/l)
0	0	0
5	333,33	56,75
10	666,67	55,26
15	1000,00	61,19
20	1333,33	52,76
25	1666,67	60,78
30	2000,00	59,02

Diketahui:

Produksi ozon per jam = 2000 mg/jam

Produksi ozon per menit = 2000 mg/ 60 menit

= 33,33 mg/menit

Produksi ozon = X

Volume larutan = 500 ml = 0,5 L

1. Produksi ozon selama 5 menit

$$X = \frac{33{,}33\frac{mg}{menit} \times 5\ menit}{0{,}5\ L}$$

$$X = 333{,}33\frac{mg}{L}$$

2. Produksi ozon selama 10 menit

$$X = \frac{33{,}33\frac{mg}{menit} \times 10\ menit}{0{,}5\ L}$$

$$X = 666{,}67\frac{mg}{L}$$

3. Produksi ozon selama 15 menit

$$X = \frac{33{,}33\frac{mg}{menit} \times 15\ menit}{0{,}5\ L}$$

$$X = 1000\frac{mg}{L}$$

4. Produksi ozon selama 20 menit

$$X = \frac{33{,}33\frac{mg}{menit} \times 20\ menit}{0{,}5\ L}$$

$$X = 1333{,}33\frac{mg}{L}$$

5. Produksi ozon selama 25 menit

$$X = \frac{33{,}33\frac{mg}{menit} \times 25\ menit}{0{,}5\ L}$$

$$X = 1666{,}67\frac{mg}{L}$$

6. Produksi ozon selama 30 menit

$$X = \frac{33{,}33\frac{mg}{menit} \times 30\ menit}{0{,}5\ L}$$

X = $2000 \frac{mg}{L}$

b. Perhitungan Dosis Ozon yang Terpakai

Tabel 2. Dosis Ozon

Waktu Kontak (menit)	Dosis Ozon	
	Teori (mg/l)	Larutan Penjerap (mg/l)
0	0	0
5	333,33	56,75
10	666,67	55,26
15	1000,00	61,19
20	1333,33	52,76
25	1666,67	60,78
30	2000,00	59,02

Tabel 3. Sisa Ozon

Waktu (menit)	pH 4 (mg/l)	pH 7 (mg/l)	pH 9 (mg/l)
5	5,10	5,09	5,39
10	10,33	9,71	9,79
15	14,58	15,05	14,80
20	19,90	20,33	19,98
25	24,69	24,91	24,60
30	30,42	29,92	30,47

Tabel 4. Dosis Ozon yang Terpakai

Waktu (menit)	pH 4 (mg/l)	pH 7 (mg/l)	pH 9 (mg/l)
5	51,65	51,66	51,36
10	44,93	45,55	45,47
15	46,62	46,14	46,40
20	32,87	32,44	32,79
25	36,10	35,88	36,19
30	28,60	29,10	28,55

Rumus perhitungan:

Dosis ozon yang terpakai = $dosis\ ozon - sisa\ ozon$

Contoh perhitungan pada pH Asam

1. Dosis ozon selama 5 menit

   Dosis ozon = $dosis\ ozon - sisa\ ozon$

   = 56,75 mg/l – 5,10 mg/l

   = 51,65 mg/l

2. Dosis ozon selama 10 menit

   Dosis ozon = $dosis\ ozon - sisa\ ozon$

   = 55,26 mg/l – 10,33 mg/l

   = 44,93 mg/l

3. Dosis ozon selama 15 menit

   Dosis ozon = $dosis\ ozon - sisa\ ozon$

   = 61,19 mg/l – 14,58 mg/l

   = 46,61mg/l

4. Dosis ozon selama 20 menit

   Dosis ozon = $dosis\ ozon - sisa\ ozon$

   = 52,76 mg/l – 19,89 mg/l

   = 32,87 mg/l

5. Dosis ozon selama 25 menit

Dosis ozon = $dosis\ ozon - sisa\ ozon$

= 60,78 mg/l – 24,69 mg/l

= 36,09 mg/l

6. Dosis ozon selama 30 menit

Dosis ozon = $dosis\ ozon - sisa\ ozon$

= 59,02 mg/l – 30,42 mg/l

= 28,6 mg/l

Lampiran 2: *Peak Picking Fulvic Acid-like, Humic Acid-like, Tryptophan-like,* dan *tyrosine-like*

pH	Waktu Kontak	Pengujian1																	Peak Picking 1	Rerata	Standar Deviasi
		Fulvic Acid-Like																			
		Ex : 250																			
		380	385	390	395	400	405	410	415	420	425	430	435	440	445	450	455	460			
Asam (pH 4)	0 menit	908,90	1064,42	1071,58	1171,74	1234,03	1279,12	1382,12	1401,80	1381,82	1402,42	1328,76	1415,38	1361,92	1348,38	1372,32	1329,94	1357,36	1415,38	1420,05	6,60
	5 Menit	803,68	916,24	993,19	1072,39	1100,05	1191,00	1287,29	1272,87	1285,30	1313,88	1335,66	1313,31	1348,99	1289,99	1326,98	1324,82	1286,00	1348,99	1333,13	22,42
	10 Menit	725,68	789,54	852,36	978,41	971,82	1018,56	1059,47	1112,87	1147,52	1172,63	1129,06	1205,56	1173,47	1190,52	1180,46	1212,37	1143,11	1212,37	1247,10	49,12
	15 Menit	695,36	781,88	816,82	910,62	1016,83	1022,98	1037,77	1110,91	1109,45	1101,82	1100,28	1103,54	1103,89	1108,55	1105,85	1112,65	1100,05	1112,65	1098,19	20,45
	20 Menit	636,38	634,14	704,64	781,18	836,24	874,01	881,45	869,31	929,68	892,00	928,85	926,60	924,59	927,40	992,18	964,92	926,27	992,18	1017,79	36,23
	25 Menit	632,03	694,54	759,54	824,30	819,97	896,38	869,01	861,73	851,23	837,42	846,15	893,74	847,72	844,50	871,99	860,18	844,53	896,38	932,27	50,76
	30 Menit	564,50	593,23	661,21	667,35	740,71	787,24	744,34	742,11	735,43	765,22	799,67	806,42	800,87	801,39	808,71	808,42	804,38	808,71	849,62	57,86
Netral (pH 7)	0 menit	1466,55	1571,36	1728,52	1956,60	2090,65	2201,52	2303,79	2364,39	2459,34	2480,55	2479,16	2494,98	2601,77	2574,89	2510,13	2602,57	2460,00	2602,57	2495,40	151,56
	5 Menit	744,71	859,94	921,16	1105,43	1178,23	1216,97	1317,14	1462,55	1449,83	1480,11	1527,53	1532,11	1549,83	1588,28	1591,69	1573,77	1595,10	1595,10	1730,53	191,53
	10 Menit	687,65	784,12	903,22	983,65	1111,04	1109,24	1199,86	1284,78	1412,64	1409,27	1414,35	1384,82	1460,22	1503,93	1446,81	1433,52	1526,31	1526,31	1623,02	136,77
	15 Menit	705,01	776,16	829,54	951,48	1038,07	1111,51	1197,94	1273,82	1289,47	1317,76	1332,23	1372,68	1338,01	1378,22	1451,59	1401,18	1457,92	1457,92	1534,08	107,71
	20 Menit	655,20	726,26	829,59	888,16	1031,01	1065,81	1077,04	1174,70	1234,80	1212,40	1266,03	1284,61	1327,68	1342,67	1315,94	1388,02	1314,81	1388,02	1474,26	121,95
	25 Menit	570,42	659,77	765,09	806,55	941,81	971,19	1028,25	1117,87	1114,34	1139,29	1208,80	1155,82	1222,55	1192,58	1216,26	1131,99	1272,92	1272,92	1369,57	136,68

	30 Menit	543,42	661,51	697,79	760,68	858,09	882,51	1034,10	1046,59	1053,38	1067,13	1078,23	1151,30	1111,58	1169,19	1192,50	1173,81	1156,48	1192,50	1315,15	173,45
Basa (pH 9)	0 menit	1407,65	1576,30	1740,00	1878,28	2064,43	2270,22	2309,67	2484,07	2510,12	2496,06	2527,10	2524,69	2614,63	2647,57	2536,86	2593,68	2655,32	2655,32	2634,28	29,75
	5 Menit	1178,96	1325,57	1349,40	1514,34	1626,49	1614,59	1801,60	1784,99	1838,95	1899,11	1850,04	1842,02	1842,84	1972,59	1843,07	1847,32	1910,62	1972,59	1853,68	168,17
	10 Menit	1161,74	1242,85	1246,85	1518,13	1558,69	1603,75	1732,94	1729,81	1683,01	1784,88	1778,67	1725,99	1789,35	1851,10	1841,68	1870,37	1852,25	1870,37	1771,80	139,40
	15 Menit	950,54	1045,87	1143,34	1185,84	1310,41	1326,54	1412,26	1403,46	1457,63	1399,82	1437,60	1482,25	1519,68	1509,24	1552,61	1553,50	1564,69	1564,69	1561,40	4,65
	20 Menit	941,55	1018,49	1150,57	1163,14	1231,06	1314,33	1278,49	1382,64	1461,73	1435,33	1452,67	1456,62	1443,06	1456,60	1458,84	1439,74	1443,74	1461,73	1437,25	34,62
	25 Menit	843,50	959,47	1152,64	1150,35	1226,58	1237,45	1329,17	1259,22	1353,91	1371,33	1337,62	1314,93	1306,89	1317,96	1391,58	1351,44	1345,85	1391,58	1363,02	40,39
	30 Menit	903,78	1016,28	997,53	1080,95	1161,35	1234,91	1203,76	1227,12	1206,16	1201,30	1288,43	1287,60	1282,03	1295,38	1247,84	1201,30	1218,59	1295,38	1284,29	15,69
pH	Waktu Kontak	Pengujian 2																	Peak Picking 2		
		Fulvic Acid-Like																			
		Ex : 250																			
		380	385	390	395	400	405	410	415	420	425	430	435	440	445	450	455	460			
Asam (pH 4)	0 menit	911,73	1082,74	1086,83	1192,84	1347,27	1328,92	1424,72	1389,27	1402,16	1390,29	1192,74	1293,02	1324,72	1386,27	1342,75	1401,27	1367,28	1424,72		
	5 Menit	812,37	916,27	975,26	1025,16	1200,16	1182,18	1017,27	1246,02	1201,37	1310,28	1301,82	1293,10	1288,94	1278,19	1317,28	1307,83	1298,84	1317,28		
	10 Menit	865,52	726,18	872,18	916,27	989,93	1081,62	1263,82	1082,65	1182,92	1273,82	1281,83	1201,36	1192,75	1148,63	1234,74	1210,47	1164,29	1281,83		
	15 Menit	666,73	849,74	846,21	901,78	900,33	974,84	983,87	1054,11	1083,73	1020,05	1038,41	1044,09	1060,52	1043,44	1078,13	1031,58	1000,75	1083,73		
	20 Menit	692,57	724,47	778,75	846,78	911,64	940,67	953,00	1043,41	1004,73	1002,94	948,41	984,88	1012,52	1036,85	1034,11	1007,46	988,22	1043,41		
	25 Menit	624,26	733,71	792,64	795,07	845,58	866,33	903,41	937,56	943,89	929,25	968,17	918,31	906,95	896,93	921,48	897,43	936,46	968,17		

	30 Menit	657,86	723,75	776,86	798,08	856,24	876,09	867,05	890,53	867,09	802,91	763,64	723,46	865,88	876,23	889,65	845,65	824,76	890,53		
Netral (pH 7)	0 menit	1363,62	1483,27	1692,25	1752,31	1919,30	2000,94	2080,29	2244,59	2331,18	2237,99	2309,38	2346,22	2279,62	2362,07	2388,22	2350,42	2225,36	2388,22		
	5 Menit	926,92	1110,50	1194,10	1290,62	1433,66	1552,92	1653,97	1662,83	1702,60	1736,30	1775,74	1730,71	1811,68	1865,96	1829,56	1821,50	1812,59	1865,96		
	10 Menit	837,43	970,35	1117,21	1214,01	1290,18	1387,27	1540,91	1523,86	1623,06	1628,78	1639,01	1653,58	1709,88	1719,73	1712,50	1702,59	1648,20	1719,73		
	15 Menit	833,98	933,54	1066,41	1114,91	1157,20	1257,52	1357,34	1416,16	1480,89	1523,40	1572,53	1610,25	1539,42	1572,56	1563,54	1518,28	1561,39	1610,25		
	20 Menit	798,61	917,19	975,60	1081,06	1132,56	1260,30	1341,98	1425,33	1483,28	1413,94	1509,09	1517,56	1512,92	1509,37	1529,16	1560,49	1479,98	1560,49		
	25 Menit	754,19	832,87	867,20	1020,23	1075,49	1205,71	1367,19	1331,31	1333,03	1414,74	1426,34	1425,90	1466,22	1436,85	1415,21	1424,43	1448,45	1466,22		
	30 Menit	699,70	761,98	908,66	946,94	945,58	1063,94	1149,02	1182,79	1285,64	1296,29	1251,05	1333,35	1359,71	1331,36	1346,27	1437,80	1292,65	1437,80		
Basa (pH 9)	0 menit	1501,26	1681,27	1726,18	1826,13	1927,35	2081,36	2273,16	2531,15	2567,17	2381,36	2452,16	2342,16	2613,25	2374,02	2583,16	2361,31	2572,75	2613,25		
	5 Menit	1134,88	1235,99	1379,09	1468,43	1511,09	1670,76	1709,98	1734,76	1690,88	1676,09	1643,24	1611,89	1609,89	1712,63	1711,65	1709,53	1710,76	1734,76		
	10 Menit	1073,10	1136,25	1321,02	1259,49	1399,15	1481,48	1480,75	1503,70	1549,91	1587,53	1584,43	1570,39	1591,90	1632,37	1673,23	1652,37	1624,24	1673,23		
	15 Menit	887,94	1005,03	1083,95	1173,15	1279,04	1325,21	1341,22	1347,10	1436,06	1444,73	1422,70	1497,70	1428,24	1494,33	1510,52	1558,11	1471,45	1558,11		
	20 Menit	986,09	975,54	945,77	890,10	876,35	832,43	821,76	986,09	1000,65	1178,98	1246,89	1346,10	1380,09	1401,55	1412,76	1405,88	1412,77	1412,77		
	25 Menit	916,24	1000,16	1023,14	1102,16	927,36	952,15	976,17	997,26	1024,16	1116,46	1207,16	1216,37	1234,15	1301,36	1314,27	1324,75	1334,46	1334,46		
	30 Menit	861,36	891,27	910,16	934,16	942,36	952,17	972,36	986,16	1062,17	1115,26	1213,37	1219,47	1226,37	1238,10	1257,29	1273,19	1253,19	1273,19		
pH	Waktu Kontak	Pengujian 1													Peak Pick	Rerata	Standar				
		Humic Acid-Like																			

		Ex : 350													ing 1		Devi asi
		400	405	410	415	420	425	430	435	440	445	450	455	460			
Asam (pH 4)	0 menit	643,37	615,32	555,76	549,00	582,31	599,95	612,70	617,27	627,73	628,64	632,63	622,15	622,42	643,37	681,32	53,67
	5 Menit	531,39	495,49	518,36	519,29	530,69	448,28	458,27	462,43	483,33	499,50	498,91	495,87	486,08	531,39	583,74	74,04
	10 Menit	506,08	506,13	505,06	500,63	505,23	500,73	506,22	502,16	416,75	421,83	417,38	425,99	410,05	506,22	559,02	74,67
	15 Menit	425,29	489,02	421,13	407,97	418,68	444,01	458,18	454,96	464,11	484,19	482,21	473,26	473,69	489,02	523,88	49,30
	20 Menit	468,45	428,45	447,13	450,20	453,58	456,97	477,13	384,16	393,71	405,52	393,41	389,91	386,93	477,13	489,20	17,06
	25 Menit	449,79	395,94	436,51	426,72	439,56	357,36	364,65	373,42	369,30	370,69	381,22	376,17	378,57	449,79	469,97	28,55
	30 Menit	407,31	412,26	419,35	401,25	412,71	418,97	327,92	335,32	339,30	349,51	343,48	343,38	349,22	419,35	443,82	34,61
Netral (pH 7)	0 menit	918,73	927,68	927,44	940,26	990,21	996,15	1045,39	1087,16	1106,56	1101,27	1114,82	1122,59	1092,15	1122,59	1065,61	80,58
	5 Menit	650,50	632,40	570,84	578,47	613,16	642,70	665,25	675,84	707,88	716,59	719,25	722,97	736,86	736,86	783,94	66,58
	10 Menit	609,70	584,07	542,01	535,85	559,06	585,05	626,55	639,62	668,93	677,63	689,61	702,66	683,22	702,66	737,70	49,55
	15 Menit	620,76	596,21	544,08	546,87	563,23	599,95	627,34	622,61	626,88	616,20	611,73	634,12	610,94	634,12	684,87	71,78
	20 Menit	563,91	541,06	491,99	494,76	512,70	539,36	550,59	555,03	559,29	508,16	574,47	525,95	516,39	574,47	641,22	94,41
	25 Menit	506,21	510,29	461,66	468,89	496,79	512,05	435,13	454,60	477,62	498,88	509,44	514,38	514,36	514,38	610,05	135,30
	30 Menit	455,85	438,07	451,36	456,81	471,32	474,45	424,00	327,67	348,91	476,92	380,75	396,37	394,58	476,92	547,97	100,47
Basa (pH 9)	0 menit	961,88	978,51	937,62	953,74	993,20	1040,44	1072,83	1065,52	1111,53	1135,73	1137,50	1133,66	1136,38	1137,50	1127,21	14,55

	5 Menit	808,75	773,49	731,53	736,93	772,14	785,54	812,64	830,93	836,69	852,31	876,27	861,89	858,18	876,27	844,56	44,84
	10 Menit	825,09	800,00	738,38	771,04	785,92	790,92	828,94	824,01	845,88	839,30	847,66	824,36	846,22	847,66	800,97	66,03
	15 Menit	708,89	674,92	611,62	624,89	642,49	674,32	691,40	717,74	725,63	734,30	737,77	751,57	765,62	765,62	738,85	37,86
	20 Menit	722,62	696,14	626,44	647,77	649,89	678,37	698,11	699,25	719,87	727,95	734,47	739,00	737,00	739,00	722,62	23,16
	25 Menit	686,14	645,29	579,90	584,14	628,59	636,84	661,94	683,12	684,08	706,29	712,78	711,70	713,26	713,26	707,12	8,68
	30 Menit	677,85	651,34	587,80	583,67	610,68	628,27	648,70	662,47	677,76	666,30	615,28	613,86	604,12	677,85	669,36	12,00
pH	Waktu Kontak	Pengujian 2													Peak Picking 2		
		Humic Acid-Like															
		Ex : 350															
		400	405	410	415	420	425	430	435	440	445	450	455	460			
Asam (pH 4)	0 menit	719,27	691,17	674,16	618,03	591,62	556,17	589,07	615,29	624,83	634,48	654,04	625,90	612,04	719,27		
	5 Menit	636,10	594,14	526,04	510,84	521,16	535,53	539,11	545,22	549,25	555,51	573,25	560,99	557,97	636,10		
	10 Menit	611,83	567,03	479,26	465,11	475,93	489,13	486,79	490,14	486,42	518,52	499,79	515,19	491,97	611,83		
	15 Menit	523,58	558,75	473,58	460,34	470,77	493,42	484,70	510,08	503,54	514,77	503,58	507,65	502,70	558,75		
	20 Menit	501,26	498,25	478,25	467,01	452,35	441,03	478,22	456,78	453,29	434,86	410,98	478,34	491,27	501,26		
	25 Menit	472,62	489,02	490,16	457,41	442,61	437,10	410,27	390,17	387,26	376,25	356,93	345,21	342,86	490,16		
	30 Menit	468,30	456,26	443,27	427,08	401,73	389,08	376,82	356,03	342,79	310,29	358,68	340,28	330,28	468,30		
Netral (pH 7)	0 menit	863,19	863,26	840,73	858,69	897,57	921,83	943,52	965,30	971,08	1003,37	978,03	1001,91	1008,63	1008,63		

	5 Menit	738,00	723,42	666,99	695,89	715,51	734,72	752,80	779,32	786,07	816,41	811,14	818,31	831,01	831,01		
	10 Menit	686,43	650,32	619,51	621,47	651,34	675,81	706,66	718,93	752,21	750,51	772,73	759,71	757,68	772,73		
	15 Menit	661,03	651,13	589,43	580,39	614,48	645,56	655,38	675,41	701,23	712,60	735,63	733,77	703,97	735,63		
	20 Menit	645,02	613,74	560,91	565,68	573,86	611,82	642,30	661,85	678,07	698,17	700,62	707,98	700,89	707,98		
	25 Menit	624,87	600,41	543,42	559,91	588,71	600,22	624,56	645,11	660,04	675,95	686,47	705,73	685,87	705,73		
	30 Menit	583,79	548,73	480,41	483,23	503,25	535,55	550,88	563,43	582,74	599,15	606,01	607,19	619,01	619,01		
Basa (pH 9)	0 menit	916,27	956,10	901,25	962,05	989,03	1090,30	1110,18	1112,36	1028,64	1067,28	1098,27	1116,93	1113,09	1116,93		
	5 Menit	737,04	713,49	668,21	676,96	698,67	716,89	742,67	760,08	784,55	799,58	812,86	798,94	801,66	812,86		
	10 Menit	698,51	674,31	620,87	614,32	640,74	674,56	680,17	704,96	723,65	729,76	736,18	749,11	754,28	754,28		
	15 Menit	653,64	634,88	580,35	567,34	600,23	630,08	650,12	680,95	700,75	701,46	712,08	700,23	678,87	712,08		
	20 Menit	612,09	609,79	568,36	534,10	575,45	600,24	636,99	672,12	698,46	700,49	706,25	694,35	678,10	706,25		
	25 Menit	589,06	567,90	534,76	489,56	534,01	576,88	601,32	630,75	684,23	694,34	700,98	686,34	657,50	700,98		
	30 Menit	556,95	518,33	498,65	456,09	501,23	545,88	589,08	626,09	643,12	652,02	660,88	643,99	634,01	660,88		

pH	Waktu Kontak	Pengujian 1					Peak Picking 1	Rerata	Standar Deviasi
		Tryptophan-Like							
		Ex : 275							
		340	345	350	355	360			
Asam (pH 4)	0 menit	649,09	659,16	667,65	671,92	736,02	736,02	729,93	8,61

	5 Menit	236,60	242,04	262,69	296,53	341,34	341,34	397,60	79,57
	10 Menit	171,98	189,65	212,72	236,07	297,42	297,42	331,64	48,40
	15 Menit	200,68	231,85	234,05	269,88	272,59	272,59	290,31	25,06
	20 Menit	206,59	219,75	239,09	234,02	243,00	243,00	270,27	38,57
	25 Menit	219,90	208,94	218,59	200,25	218,89	219,90	255,87	50,87
	30 Menit	173,81	179,26	105,75	119,75	146,53	179,26	200,51	30,04
Netral (pH 7)	0 menit	639,30	717,96	723,45	787,22	890,39	890,39	836,33	76,45
	5 Menit	191,20	201,41	237,41	255,60	315,20	315,20	443,85	181,94
	10 Menit	162,10	185,86	187,41	242,42	292,64	292,64	391,02	139,13
	15 Menit	160,66	188,23	200,56	239,57	270,15	270,15	330,13	84,82
	20 Menit	172,03	180,28	183,17	233,44	252,53	252,53	298,83	65,49
	25 Menit	132,02	152,59	166,04	211,99	238,74	238,74	264,13	35,91
	30 Menit	148,28	156,92	193,78	208,92	227,37	227,37	255,66	40,01
Basa (pH 9)	0 menit	500,37	541,64	572,87	648,73	736,00	736,00	732,86	4,45
	5 Menit	322,74	353,42	395,36	473,02	559,78	559,78	519,43	57,06
	10 Menit	294,25	311,97	358,66	415,07	506,06	506,06	467,46	54,58

	15 Menit	216,64	237,48	279,35	327,95	449,21	449,21	409,09	56,73
	20 Menit	242,50	272,21	298,02	357,46	416,78	416,78	367,52	69,66
	25 Menit	235,85	262,34	295,23	345,42	293,47	345,42	316,70	40,62
	30 Menit	241,47	252,04	285,14	335,89	253,40	335,89	296,43	55,80
pH	Waktu Kontak	Pengujian 2					Peak Picking 2		
		Tryptophan-Like							
		Ex : 275							
		340	345	350	355	360			
Asam (pH 4)	0 menit	623,87	655,73	630,77	699,03	723,84	723,84		
	5 Menit	227,42	241,67	280,13	291,84	453,87	453,87		
	10 Menit	234,49	263,33	267,26	189,64	365,86	365,86		
	15 Menit	214,75	236,87	227,98	297,18	308,03	308,03		
	20 Menit	241,07	235,43	270,17	293,02	297,54	297,54		
	25 Menit	227,42	241,67	280,13	291,85	249,86	291,85		
	30 Menit	187,43	213,65	190,86	221,75	201,75	221,75		
Netral (pH 7)	0 menit	574,68	600,33	636,35	692,35	782,28	782,28		
	5 Menit	527,49	493,47	532,91	542,04	572,49	572,49		
	10 Menit	343,02	342,82	389,07	410,18	489,40	489,40		

	15 Menit	293,61	310,66	327,29	356,27	390,11	390,11		
	20 Menit	238,06	258,71	280,20	345,14	307,85	345,14		
	25 Menit	244,58	252,46	277,02	289,53	276,88	289,53		
	30 Menit	216,12	226,28	240,76	283,95	234,87	283,95		
Basa (pH 9)	0 menit	572,82	551,86	610,73	642,92	729,72	729,72		
	5 Menit	327,74	321,76	246,87	268,97	479,09	479,09		
	10 Menit	319,95	335,75	361,49	236,09	428,86	428,86		
	15 Menit	347,98	236,09	312,75	358,98	368,97	368,97		
	20 Menit	245,73	261,83	289,02	279,74	318,26	318,26		
	25 Menit	245,88	278,10	234,86	270,97	287,98	287,98		
	30 Menit	256,64	180,86	190,64	234,07	256,98	256,98		

pH	Waktu Kontak	Pengujian 1			Peak Picking 1	Rerata	Standar Deviasi
		Tyrosine-Like					
		Ex : 275					
		310	315	320			
Asam (pH 4)	0 menit	1474,20	844,32	675,67	1474,20	1435,96	54,07
	5 Menit	1073,17	385,64	235,86	1073,17	1084,11	15,47
	10 Menit	1009,80	332,41	176,19	1009,80	1026,74	23,96

	15 Menit	955,50	305,03	181,96	955,50	940,61	21,06
	20 Menit	906,23	326,42	142,35	906,23	898,89	10,38
	25 Menit	850,80	296,25	163,28	850,80	841,83	12,69
	30 Menit	791,86	284,66	133,60	791,86	794,15	3,23
Netral (pH 7)	0 menit	1299,25	752,66	623,51	1299,25	1280,01	27,22
	5 Menit	1016,81	319,56	170,61	1016,81	1061,61	63,36
	10 Menit	948,14	262,66	111,15	948,14	994,25	65,20
	15 Menit	880,14	292,09	147,40	880,14	913,03	46,50
	20 Menit	823,58	286,74	153,12	823,58	819,96	5,12
	25 Menit	762,84	301,94	170,23	762,84	819,29	79,83
	30 Menit	691,74	306,11	142,60	691,74	717,25	36,08
Basa (pH 9)	0 menit	1217,66	573,37	439,40	1217,66	1240,70	32,57
	5 Menit	1035,93	325,19	188,19	1035,93	1029,11	9,64
	10 Menit	985,37	325,11	174,63	985,37	997,38	16,98
	15 Menit	895,20	340,92	191,87	895,20	926,07	43,66
	20 Menit	854,24	319,61	216,00	854,24	879,60	35,88

	25 Menit	792,61	310,19	202,56	792,61	828,72	51,07
	30 Menit	747,03	293,54	159,61	747,03	775,38	40,10
pH	Waktu Kontak	Pengujian 2			Peak Picking 2		
		Tyrosine-Like					
		Ex : 275					
		310	315	320			
Asam (pH 4)	0 menit	1397,73	824,51	701,74	1397,73		
	5 Menit	1095,05	309,92	175,13	1095,05		
	10 Menit	1043,68	317,16	162,06	1043,68		
	15 Menit	925,72	360,62	190,14	925,72		
	20 Menit	891,55	322,94	179,19	891,55		
	25 Menit	832,86	310,75	160,74	832,86		
	30 Menit	796,43	279,07	180,52	796,43		
Netral (pH 7)	0 menit	1260,76	717,00	565,39	1260,76		
	5 Menit	1106,42	483,83	327,29	1106,42		
	10 Menit	1040,35	408,25	341,16	1040,35		
	15 Menit	945,91	327,37	168,98	945,91		
	20 Menit	816,34	369,50	209,28	816,34		

	25 Menit	875,73	308,18	181,13	875,73		
	30 Menit	742,77	327,00	221,29	742,77		
Basa (pH 9)	0 menit	1263,73	530,86	450,73	1263,73		
	5 Menit	1022,29	407,99	367,12	1022,29		
	10 Menit	1009,39	324,80	209,95	1009,39		
	15 Menit	956,94	346,97	357,08	956,94		
	20 Menit	904,97	298,07	205,75	904,97		
	25 Menit	864,84	421,86	207,54	864,84		
	30 Menit	803,74	276,95	190,63	803,74		

Lampiran 3: Efisiensi Removal

No	pH	Waktu Kontak	Ozonisasi Tyrosin-Like (Peak B) Ex : 275	Ozonisasi Tryptophan-Like (Peak T) Ex : 275	Ozonisasi Fulvic -Like (Peak A) Ex : 250	Ozonisasi Humic-Like (Peak C) Ex : 350
1	Asam (pH 4)	5 Menit	25%	46%	6%	14%
2		10 Menit	28%	55%	12%	18%
3		15 Menit	34%	60%	23%	23%
4		20 Menit	37%	63%	28%	28%
5		25 Menit	41%	65%	34%	31%
6		30 Menit	45%	73%	40%	35%
7	Netral (pH 7)	5 Menit	17%	47%	31%	26%
8		10 Menit	22%	53%	35%	31%
9		15 Menit	29%	61%	39%	36%
10		20 Menit	36%	64%	41%	40%
11		25 Menit	36%	68%	45%	43%
12		30 Menit	44%	69%	47%	49%
13	Basa (pH 9)	5 Menit	17%	29%	30%	25%
14		10 Menit	20%	36%	33%	29%
15		15 Menit	25%	44%	41%	34%
16		20 Menit	29%	50%	45%	36%
17		25 Menit	33%	57%	48%	37%
18		30 Menit	38%	60%	51%	41%

Lampiran 4: Dokumentasi



Proses Pembuatan Air Sintetis



Larutan KI Sebelum Ozonasi



Proses Ozonasi



Larutan KI Setelah Ozonasi



Setelah Proses Penyaringan



Penyimpanan Air Sampel



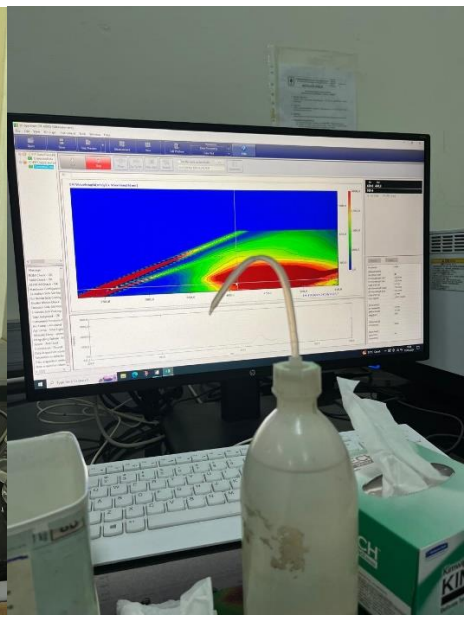
Spektrofluorofotometer



UV/VIS Spectrophotometer



UV/VIS Spectrophotometer



Pengujian Fluorescence EEM