

TUGAS AKHIR

**PENURUNAN PARAMETER COD DAN WARNA PADA
LIMBAH BATIK DENGAN MENGGUNAKAN OZON**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Lingkungan**



INDAH NOVITA PUTRI

12 513 148

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

YOGYAKARTA

2016

HALAMAN PERSEMBAHAN

Untuk yang tercinta,

Bapak (Alm.) Fazilly Kosim dan Ibu Nurwati

Atas setiap do'a, perhatian, semangat, cinta dan kasih sayang, perjuangan dan dukungan yang selalu mengiringi langkahku.

*Untuk saudara tersayang, Kakak Norman Prabowo dan Adik Namira
Khoirunnisa*

Atas segala keceriaan, semangat, cinta dan do'a kalian untukku

Untuk sahabat-sahabat yang kusayang dan kucinta

MOTTO

اللَّهُ يَرْفَعُ الدِّينَ عَآمِنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ وَتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ

Artinya :

Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat (Q.s. al-Mujadalah : 11)

"Bosan adalah penyakit yang mematikan, membunuh cita-cita seseorang sebesar sifat bosan yang ada pada dirinya. Setiap kali orang itu menyerah terhadap kebosanan, maka ilmunya akan semakin berkurang" (Ummu-abdillah)

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur kita panjatkan kehadiran Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya dan shalawat kepada junjungan Nabi besar Muhammad S.A.W yang telah diberikan kepada Penyusun sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir. Adapun laporan ini disusun dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat Sarjana Strata 1 pada Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Penyusun memilih topik penelitian dengan judul :

“PENURUNAN PARAMETER COD DAN WARNA PADA LIMBAH BATIK MENGGUNAKAN OZON”

Dalam pelaksanaan penelitian ini penyusun ingin mengucapkan terima kasih kepada segala pihak yang membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini, diantaranya kepada :

1. Bapak Hudori, S.T. M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan FTSP UII Yogyakarta sekaligus pembimbing pertama tugas akhir ini.
2. Bapak Supriyanto, S.T. M.SC. M.Eng. selaku koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP UII.
3. Bapak Tasyono, Bapak Iwan, Mba Nuri dan Mba Diah selaku laboran Laboratorium Teknik Lingkungan yang memberikan arahan dan bimbingan kepada penyusun selama penelitian di laboratorium serta Mbak Ratna dan Mas Heri yang banyak membantu dalam urusan administrasi.

4. Seluruh dosen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan pengarah dan pembelajaran ilmu pengetahuan kepada penyusun.
5. Teristimewa kepada kedua orang tuaku atas doanya, pengorbanan, semangat, dukungan, perhatian dan kasih sayang sehingga penyusun dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Kakakku tercinta Norman Prabowo dan adikku Namira Khoirunnisa, atas segala semangat, doa, perhatian dan kasih sayang serta kebahagiaan.
7. Keluarga besar Bapak Rochmadi yang selalu memberikan dukungan dan motivasi serta doa.
8. Deby Pratiwi sebagai partner pengerjaan skripsi ini yang selalu setia dalam hal akademik maupun non akademik dan selalu sabar mendengar kecerewatan saya.
9. Sahabatku tersayang Zahra, Woro, Dwi, Fitri dan Ame yang saling menyemangati dan mendoakan selama menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Teman-teman kost Agita, Ian dan Dewi. Terima kasih atas bantuan dan doanya selama ini, kalianlah teman sekaligus keluarga terbaik ditempat rantauan ini.
11. Sahabatku Singgih Setiawan dan Christina Nilawati yang selalu menanyakan “kapan pendaran?” sebagai bentuk perhatian kalian kepadaku.
12. Teman-teman KKN Unit 235 (Ame, Kak Ning, Tami, Rio, Bang Ryan, Ifan dan Bang Dian). Terima kasih sudah menjadi keluarga baru yang sangat menyenangkan dan selalu memotivasi dalam menyusun skripsi.
13. Teman-teman penelitian Raka, Yevan, Rian, Ridwan dan Arini atas segala kebaikan dan ketulusan membantu dalam penelitian ini.
14. Seluruh teman-teman seperjuangan TL 2012, atas semangat, persaudaraan, kebaikan, motivasi, bantuan-bantuannya, kebersamaan, pengalaman dan ketulusannya.

15. Pihak-pihak lainnya yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah banyak membantu dalam penyusunan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik dari pembaca. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, Agustus 2016

Penulis

TUGAS AKHIR

PENURUNAN PARAMETER COD DAN WARNA PADA LIMBAH BATIK DENGAN MENGGUNAKAN OZON

*REMOVAL OF COD AND COLOR PARAMETERS IN BATIK WASTEWATER
USING OZONE*

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



Disusun Oleh:

INDAH NOVITA PUTRI
12 513 148

Telah diperiksa dan disetujui Oleh:

Penguji I

Hudori, S.T., M.T.

Tanggal: 20/9/2016

Penguji II

Lutfia Isna Ardhayanti, S.Si. M.Sc

Tanggal: 20/9/2016

Penguji III

Puji Lestari, S.Si. M.Sc

Tanggal: 20/09 - 2016

Mengetahui:

Ketua Jurusan Teknik Lingkungan FTSP UII

Hudori, S.T., M.T.

Tanggal: 23/9/2016

HALAMAN 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. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, Agustus 2016

Yang membuat pernyataan,



Indan Novita Putri

12 513 148

ABSTRACT

Batik industries produce wastewater that comes from the process of making batik. Batik wastewater will cause pollution on the environment if there is no treatment to control it. This research will find out batik industrial waste management by using ozone to reduce COD (Chemical Oxygen Demand) and colors that contained in batik wastewater. This research takes the effluent from one of batik industries which is located in Ngaglik, Sleman, Yogyakarta. The purpose of the study is to find out utilizing ozone in the process of AOPs (Advanced Oxidation Process) in COD reduction and color also to know the optimal time required efficiency. AOPs process by adding hydrogen peroxide compound as 0,25ml per 500ml of wastewater as an oxidizing agent study was conducted on a laboratory scale with a contact time used is 1 minute, 3 minutes, 6 minutes and 9 minutes. COD most optimal parameters appropriate contact time at 42.14% and 99.63% of the dye at the same contact time is 9 minutes.

Keywords : *Ozone, Waste Batik, AOPs*

ABSTRAK

Industri batik menghasilkan limbah cair yang berasal dari proses pembuatan batik. Limbah cair batik mengakibatkan timbulnya pencemaran pada lingkungan apabila tidak ada upaya pengolahan. Pada penelitian ini akan mengetahui pengelolaan limbah industri batik dengan menggunakan ozon untuk menurunkan parameter COD (Chemical Oxygen Demand) dan warna yang terkandung dalam limbah batik. Penelitian ini mengambil limbah cair dari salah satu industri batik yang berada di Ngaglik, Sleman, Yogyakarta. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui penggunaan ozon dengan proses AOPs (Advanced Oxidation Process) dalam penurunan COD dan warna serta mengetahui efisiensi waktu optimal yang dibutuhkan. Proses AOPs dengan menambahkan senyawa hidrogen peroksida sebanyak 0,25ml setiap 500ml air limbah sebagai zat oksidator Penelitian dilakukan pada skala laboratorium dengan waktu kontak yang digunakan yaitu 1 menit, 3 menit, 6 menit dan 9 menit. Penurunan COD paling optimal sesuai waktu kontak sebesar 42,14% dan zat warna sebesar 99,63% pada waktu kontak yang sama yaitu 9 menit.

Kata Kunci : Ozon, Limbah Batik, AOPs

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
MOTTO.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRACT.....	xv
ABSTRAK	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pengertian Limbah Cair Batik	5
2.2 Karakteristik Limbah Cair Batik	7
2.3 Chemical Oxygen Demand (COD).....	10
2.4 Warna.....	11
2.5 Ozon (O ₃).....	13
2.6 Advanced Oxidation Process (AOPs).....	17
2.7 Metode Spektrofotometri.....	19

2.8 Metode Batch.....	19
2.9 Keaslian Penelitian	19
BAB III METODOLOGI	
3.1 Penelitian Secara Umum.....	21
3.2 Variabel Penelitian.....	21
3.3 Alat dan Bahan	22
3.4 Bagan Alir	23
3.5 Desain Alat	24
3.6 Persiapan Pengujian.....	26
3.7 Prosedur Percobaan	28
3.8 Analisis Data.....	30
3.9 Metode Pengujian Sampel.....	31
3.9.1 Pengukuran Chemical Oxygen Demand (COD).....	31
3.9.2 Pengukuran Warna.....	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Umum	34
4.2 Proses Uji Dosis Ozon	35
4.3 Pengaruh Ozon Terhadap Penurunan COD dan Warna	38
4.4 Pengaruh Ozon dan Larutan Hidrogen Peroksida Terhadap Penurunan COD dan Warna	41
4.5 Hasil Ozonisasi Air Limbah Batik Terhadap COD dan Warna.....	46
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	50
5.2 Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	xii
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	23
Gambar 3.2 Rangkaian Reaktor Batch Untuk Pengujian Air Limbah.....	24
Gambar 3.3 Skema Reaktor Batch.....	25
Gambar 3.4 Ozon Generator	26
Gambar 3.5 Larutan Kalium Iodida	27
Gambar 3.6 Larutan KI Yang Siap Diabsorbansi	27
Gambar 3.7 Proses Ozonisasi Air Limbah.....	29
Gambar 3.8 Pengukuran COD Menggunakan Refluk Tertutup.....	30
Gambar 3.9 Grafik Kurva Standar Untuk Pengujian COD.....	32
Gambar 3.10 Grafik Kurva Standar Untuk Pengujian Warna.....	33
Gambar 4.1 Grafik Konsentrasi Ozon Pada Uji Dosis Menggunakan Larutan KI	36
Gambar 4.2 Grafik Hasil Penurunan Uji COD Menggunakan Ozon.....	38
Gambar 4.3 Grafik Hasil Pengujian Warna Menggunakan Ozon.....	40
Gambar 4.4 Grafik Hasil Penurunan Uji COD Menggunakan Ozon dan Larutan Hidrogen Peroksida	42
Gambar 4.5 Grafik Hasil Penurunan Uji Warna Menggunakan Ozon dan Larutan Hidrogen Peroksida	44

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Bahan Serta Buangan Pada Proses Batik	7
Tabel 2.2 Jenis Zat Warna dan Zat Pencemarnya	9
Tabel 2.3 Karakteristik Air Limbah Batik	10
Tabel 4.1 Karakteristik Awal Limbah Batik	34
Tabel 4.2 Konsentrasi Ozon.....	35
Tabel 4.3 Persentase Removal Pengujian COD Menggunakan Ozon	38
Tabel 4.4 Persentase Removal Pengujian Warna Menggunakan Ozon	40
Tabel 4.5 Persentase Removal Pengujian COD Menggunakan Ozon dan Larutan Hidrogen Peroksida.....	42
Tabel 4.6 Persentase Removal Pengujian Warna Menggunakan Ozon dan Larutan Hidrogen Peroksida.....	45

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Langkah Kerja Pengjian Limbah Menggunakan Ozon

Lampiran 2: Data Penelitian

Lampiran 3: Dokumentasi Penelitian

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Batik merupakan salah satu dari produk kebudayaan Indonesia berupa kain bermotif. Di Indonesia, industri batik sangat potensial untuk dikembangkan. Keanekaragaman batik sudah tersebar di seluruh nusantara mulai dari batik Cirebon, Pekalongan, Solo, Yogyakarta sampai ke batik Ubud di daerah timur Indonesia.

Industri batik menghasilkan limbah cair yang berasal dari proses pembuatan batik. Limbah industri batik juga mengandung bahan-bahan sintetik yang sukar larut atau sukar diuraikan. Kondisi air limbah dari industri batik kebanyakan belum memiliki sistem pengelolaan dan pengolahan air limbah yang sesuai sehingga masih perlu dikaji lagi. Air limbah yang baik harus memiliki kandungan parameter dibawah baku mutu Pergub DIY No. 7 Tahun 2010 tentang Baku Mutu Air Limbah. Apabila air limbah batik tersebut langsung dibuang ke badan air tanpa dilakukan pengelolaan terlebih dahulu maka senyawa organik *non-biodegradable* akan menyebabkan pencemaran lingkungan di perairan.

Parameter COD dan warna merupakan parameter yang kadarnya sering melebihi ambang batas diperbolehkan baku mutu. Jika parameter tersebut melebihi ambang batas yang diperbolehkan, maka gejala yang paling mudah diketahui adalah matinya organisme perairan. Begitu juga dengan limbah cair dari pewarnaan batik. Pewarna jenis indigosol sering digunakan karena menghasilkan warna yang cerah dan tidak mudah memudar, namun air bekas cucuannya dapat mengakibatkan gangguan terhadap lingkungan. Limbah batik yang mengandung senyawa indigosol sangat berbahaya karena dapat mengakibatkan penyakit kulit (Sugiharto, 1987).

Nasution (2009) mengatakan bahwa warna merupakan indikator pencemaran air. Pembuangan air limbah berwarna tidak hanya merusak estetika badan air penerima tapi juga meracuni biota air. Di samping ini, kepekatan warna dapat menghalangi tembusnya sinar matahari sehingga akan menghambat proses fotosintesis di air. Akibatnya, oksigen yang dibutuhkan untuk kehidupan biota air akan berkurang.

Berdasarkan penelitian yang telah ada, pengolahan warna pada air limbah diantaranya degradasi dengan metode oksidasi katalik (Suparno, 2010) dan adsorpsi karbon aktif (Mizwar dan Nurin, 2012). Sedangkan untuk pengolahan COD pada air limbah diantaranya pemilihan desain IPAL dengan metode *life cycle cost* (Miranti, dkk, 2015), efisiensi IPAL dengan metode fisika-kimia dan biologi (Muljadi, 2009) dan Sumantri, dkk pada tahun 1998 melakukan pengolahan limbah cair industri kecil batik dengan bak anaerobik bersekat (*anaerobic baffled reactor*).

Dalam penelitian ini akan melakukan penurunan kadar COD dan zat warna air limbah batik dengan menggunakan teknologi ozon. Teknologi pengolahan air limbah batik menggunakan ozon dapat menguraikan berbagai macam senyawa organik beracun yang terkandung dalam limbah sehingga air limbah menjadi layak untuk dibuang ke badan air. Proses ozon tersebut dikontakkan dengan air limbah melalui diffuser yang terbuat dari batuan yang berpori-pori. Sebelum dikontakkan dengan ozon, air limbah batik tersebut dicampur hidrogen peroksida atau disebut juga dengan proses *Advanced Oxidation Process* (AOPs). Reaksi ozon dengan hidrogen peroksida ditujukan untuk pembentukan radikal aktif hidroksil. Radikal aktif hidroksil ini yang berperan memecah organik rantai panjang zat warna menjadi organik dengan rantai yang lebih pendek dan bersifat lebih degradable.

Keuntungan dari menggunakan metode AOPs berbasis ozonisasi yakni diantaranya berpotensi menurunkan tingkat toksisitas dan kemungkinan mengalami mineralisasi lengkap terhadap zat organik yang terolah, tidak timbul lumpur, tidak memerlukan pemekatan untuk proses pengolahan seperti pada pengolahan dengan membran, mudah dikontrol dan membutuhkan

sedikit lahan serta semua ozon yang tidak digunakan dalam proses maka akan lepas atau terdekomposisi menjadi karbon dioksida (Sharma, dkk, 2011). Karena kelebihan tersebut AOPs dapat dipilih untuk mengolah limbah yang mengandung bahan sintetik seperti limbah batik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian tersebut dapat dirumuskan permasalahan yang menjadi objek penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh dosis dan waktu kontak dalam penurunan konsentrasi COD dan warna pada limbah batik dengan menggunakan ozon?
2. Apakah proses dengan metode ozon akan menghasilkan efisiensi removal pada COD dan warna pada limbah batik?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka penelitian yang dilakukan mempunyai tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui kondisi optimum pada variasi dosis dan waktu kontak terhadap efisiensi penurunan COD dan warna.
2. Menentukan kemampuan efisiensi penggunaan ozon terhadap penurunan kadar COD dan warna pada air limbah batik secara *batch*.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian yang akan dilakukan ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Mengetahui waktu dan efisiensi penurunan kadar bahan organik COD dengan dosis ozon dan waktu kontak pada air limbah.
2. Memberikan alternatif pengolahan air limbah batik dengan menggunakan ozon dalam pemanfaatan teknologi tepat guna.

1.5 Ruang Lingkup

Adapun batasan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Limbah yang dipergunakan sebagai sampel uji adalah limbah batik dari outlet *home industry* batik yang berada di daerah Ngaglik, Sleman, Yogyakarta;
2. Pembahasan mengenai permasalahan limbah batik, serta pengolahannya dilakukan dengan cara studi literatur / kajian pustaka yang merujuk pada jurnal internasional dan penelitian terdahulu;
3. Metode yang akan dipakai dengan menggunakan metode batch;
4. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat ozon generator;
5. Parameter yang akan diuji pada penelitian ini adalah COD dan warna;
6. Penambahan senyawa H_2O_2 sebagai oksidator kuat;
7. Dosis ozon dan waktu kontak merupakan variabel pada penelitian ini;
8. Waktu kontak yang digunakan pada penelitian ini yaitu 1, 3, 6 dan 9 menit.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Limbah Cair Batik

Limbah cair industri batik berasal dari berbagai proses pembuatan batik yang menggunakan bahan-bahan kimia. Kualitas limbah cair industri batik sangat dipengaruhi oleh jenis proses yang dilalui, pada umumnya bersifat basa dan mengandung zat-zat organik dengan konsentrasi tinggi (Kasam dkk, 2009).

Pencemaran limbah batik terutama bersumber dari limbah cair berupa zat warna yang dihasilkan dari sisa bahan pewarna, proses pencucian dan pembilasan kain batik. Warna merupakan indikator pencemaran air. Pembuangan air limbah berwarna tidak hanya merusak estetika badan air penerima tapi juga meracuni biota air. Disamping itu, kepekatan warna dapat menghalangi tembusnya sinar matahari sehingga akan menghambat proses fotosintesis di air. Akibatnya, oksigen yang dibutuhkan untuk kehidupan biota air akan berkurang (Nasution, 2009).

Menurut Dae-Hee, dkk, (1999), limbah zat warna yang dihasilkan dari industri tekstil umumnya merupakan senyawa organik *non-biogradable*, yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan terutama lingkungan perairan. Senyawa zat warna di lingkungan perairan sebenarnya dapat mengalami dekomposisi secara alami oleh adanya cahaya matahari, namun reaksi ini berlangsung relatif lambat, karena intensitas cahaya UV yang sampai ke permukaan bumi relatif rendah sehingga akumulasi zat warna ke dasar perairan atau tanah lebih cepat daripada fotodegradasinya.

Air limbah tekstil merupakan penyebab utama pencemaran air dan juga memiliki efek pada ekologi dan lingkungan. Warna air limbah yang mempengaruhi estetika sumber daya air, menghentikan kapasitas reoksigenasi air yang masuk lewat cahaya matahari dan mengganggu proses biologis air yang bisa merubah keseimbangan ekosistemnya (Suphitcha dkk, 2013).

Apabila industri batik tersebut membuang limbah cair langsung tanpa diolah dahulu, maka aliran limbah tersebut akan melalui perairan di sekitar pemukiman dan mutu lingkungan tempat tinggal penduduk menjadi turun. Limbah tersebut dapat menaikkan kandungan organik seperti COD, BOD, TSS dan pH. Jika hal ini melampaui ambang batas yang diperbolehkan, maka gejala yang paling mudah diketahui adalah matinya organisme perairan (Al-kdasi, 2004).

Menurut Al-kdasi (2004), berdasarkan struktur kimianya zat warna dibagi menjadi bermacam-macam, antara lain: zat warna nitroso, nitro, azo, stilben, difenil metana, trifenil metana, akridin, kinolin, indigoida, aminokinon, anin dan indofenol. Namun secara garis besar zat warna digolongkan menjadi dua golongan yaitu zat warna alami dan zat warna sintetik.

Salah satu contoh zat warna yang banyak dipakai industri tekstil adalah remazol *black*, *red* dan *golden yellow*. Dalam pewarnaan, senyawa ini hanya digunakan sekitar 5% sedangkan sisanya yaitu 95% akan dibuang sebagai limbah. Senyawa ini cukup stabil sehingga sangat sulit untuk terdegradasi di alam dan berbahaya bagi lingkungan apalagi dalam konsentrasi yang sangat besar karena dapat menaikkan *Chemical Oxygen Demand* (COD).

Dengan banyaknya zat pencemar yang ada di dalam air limbah, akan menyebabkan menurunnya kadar oksigen yang terlarut dalam air. Hal ini mengakibatkan matinya ikan dan bakteri-bakteri di dalam air, juga dapat menimbulkan kerusakan pada tanaman atau tumbuhan air, sehingga proses

self purification yang seharusnya dapat terjadi pada air limbah menjadi terhambat (Sugiharto, 1987).

2.2 Karakteristik Limbah Batik

Jenis-jenis buangan yang dihasilkan dari proses batik menentukan gangguan lingkungan yang akan terjadi. Dalam industri batik ada 3 jenis buangan yang dihasilkan yaitu: buangan padat, buangan cair dan uap/gas seperti pada **Tabel 2.1**

Tabel 2.1

Bahan serta Buangan Pada Proses Batik

No	Bahan	Tahapan Proses	Buangan
1.	Kain putih atau mori, soda abu, minyak, kacang, air tapioka, air	PERSIAPAN Penyediaan kain Pengetelan dan pencucian Penganjian tipis Pengeringan Penghalusan Pemolaan	Potongan mori Air bekas proses ketelan, Air pencucian Air bekas proses kanjian.
2.	Mori hasil persiapan, Lilin batik	PEMBATIKAN Pembatikan cap Pembatikan tulis	Tetes atau cipratan lilin, uap lilin batik.
3.	ZW. Alam: Jambal, Tingi, Tegeran, Nila, Tunjung, Tawas, Kapur, Tapioka. ZW. Sintetik: ZW. Naphtol, Garam Naphtol, ZW. Reaktif, ZW.	PEWARNAAN Pencelupan Pencucian 1 Pencucian 2 Penganjian tipis Pengeringan Pencelupan 1	Buangan padat: porongan kayu, daun nila, kapur air. Buangan: tunjung, tawas, air kapur, kanji. Larutan bekas

No	Bahan	Tahapan Proses	Buangan
.	Indigosol, ZW. Rapid, ZW. Indanthren. Kostik soda, TRO, Natrium nitrit, Asam klorida, Garam dapur, Soda abu, Natrium silikat, Natrium Hidrosulfit, Asam asetat, Air	Pencelupan 2 Pencucian 2, dst. Penganjian tipis Pengerangan	pencelupan air bekas pencucian 1 Uap dari asam klorida, uap asam asetat, uap natrium hidrosulfit. Larutan bekas asam klorida. Larutan bekas penganjian.
4.	Tapioka, Soda Abu, Natrium Silikat, Air	PELEPASAN LILIN BATIK Lorodan, kerokan, remukan Pencucian.	Buangan lilin batik air bekas lorodan, air pencucian uap air lorodan.
5.	Tapioka, Softener, Air	PENYEMPURNAA N Penyempurnaan Pengerangan	Larutan bekas penyempurnaan.

Sumber : Buku Panduan Pengelolaan Lingkungan Pada Industri Perbatikan, 2008

Jenis limbah cair yang mengandung zat kimia yaitu pada proses pewarnaan, seperti tercantum pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Jenis Zat Warna dan Zat Pencemarnya

No.	Pewarnaan	Zat Pencemar
1.	Naphtol	Zat warna Naphtol, Garam Naphtol, Kostik soda (NaOH), TRO, Kanji.
2.	Indigosol	Zat warna Indigosol, Natrium nitrit (NaNO ₂), Asam Khlorida (HCl), Asam Sulfat (H ₂ SO ₄), TRO, Kanji.
3.	Reaktif dingin	Zat warna Reaktif, garam dapur, kostik soda (NaOH), soda abu (Na ₂ CO ₃), Natrium Silikat (Na ₂ SiO ₃), zat pembasah, zat kation aktif, kanji.
4.	Rapid	Zat warna Rapid, kostik soda (NaOH), kanji
5.	Indanthreen	Zat warna Indanthreen, kostk soda (NaOH), Natrium Hidrosulfit (Na ₂ S ₂ O ₄), zat pembasah, garam dapur, hidrogen peroksida (H ₂ O ₂), asam asetat (CH ₃ COOH), kanji.

Sumber: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Industri Kerajinan dan Batik.

Zat warna yang biasa digunakan pada pembuatan batik berupa Reaktif dingin, Naphtol, Indigosol, Rapid, Indanthren dan zat warna alam. Ada beberapa zat warna yang sudah dilarang oleh negara dalam penggunaannya yaitu zat warna Naphtol dan Rapid yang diduga bersifat karsinogenik. Akan tetapi masih banyak pengrajin yang menggunakan zat warna tersebut karena biaya yang murah, cepat, dan variasi warnanya lebih mudah untuk didapatkan (Sulaeman, 2001).

Berdasarkan penelitian yang telah ada, karakteristik air limbah batik dapat dilihat pada tabel 2.3 berikut ini.

Tabel 2.3 Karakteristik Air Limbah Batik

No.	Parameter	Satuan	BML*	Pratiwi dkk,2012	Agustina dkk, 2011	Bong-Yulet al., 2015
1.	COD	mg/l	150	1800	4230	2210
2.	BOD	mg/l	60	960	-	1140
3.	TSS	mg/l	50	540	535	2340
4.	TDS	mg/l	1000	1672	-	-
5.	Ph	-	6 – 9	13	-	8,4
6.	Suhu	°C	± 3 °C	30	-	-
7.	Warna	Pt-Co			-	2,4
8.	Timbal	mg/l			0,2349	
9.	Besi	mg/l			2,0587	
10.	Sulfida	mg/l			0,040	

* Baku Mutu Limbah Cair Batik menurut Keputusan Gubernur DIY Nomor7 Tahun 2010

2.3 *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Chemical Oxygen Demand (COD) menggambarkan jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi, baik yang dapat di degradasi secara biologis (*biodegradable*) maupun yang sukar di degradasi secara biologis (*non-biodegradable*) menjadi CO₂ dan H₂O. Pengukuran *Chemical Oxygen Demand (COD)* didasarkan pada kenyataan bahwa hampir semua bahan organik dapat dioksidasi menjadi karbondioksida dan air dengan bantuan oksidator kuat (kalium dikromat K₂Cr₂O₇) dalam suasana asam. Diperkirakan sekitar 95-100% bahan organik dapat dioksidasi dengan menggunakan asam dikromat sebagai oksidator (Hefni, 2010 dalam Megawati 2012).

COD juga merupakan parameter yang umum dipakai untuk menentukan tingkat pencemaran bahan organik pada air limbah. COD adalah

banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi secara kimia bahan organik di dalam air.

2.4 Warna

Salah satu ciri fisik air yang paling mudah diamati ialah warna. Pengukuran warna dapat menggunakan suatu metode yang memanfaatkan panjang gelombang cahaya. Warna pada air dapat menunjukkan kandungan dari air, misalnya air yang tercemar logam cenderung akan berwarna merah. Air yang memiliki tingkat TSS tinggi cenderung berwarna keruh, dan lain-lain. Selain itu, warna yang tidak putih bening pada air di lingkungan juga dapat menurunkan nilai estetika pada lingkungan tersebut.

Industri batik dan tekstil merupakan salah satu penghasil limbah cair yang berasal dari proses pewarnaan. Selain kandungan zat warnanya tinggi, limbah industri batik dan tekstil juga mengandung bahan-bahan sintetik yang sukar larut atau diuraikan. Setelah proses pewarnaan selesai, akan menghasilkan limbah cair yang berwarna keruh dan pekat. Biasanya warna air limbah tergantung pada zat-zat kimia dan pewarna yang digunakan. Limbah air yang berwarna-warni ini yang menyebabkan masalah terhadap lingkungan. Limbah zat warna yang dihasilkan dari industri tekstil umumnya merupakan senyawa organik *non-biodegradeble*, yang dapat menyebabkan masalah terhadap lingkungan terutama lingkungan perairan. Senyawa zat warna di lingkungan perairan sebenarnya dapat mengalami dekomposisi secara alami oleh adanya cahaya matahari, namun reaksi ini berlangsung relatif lambat, karena intensitas cahaya UV yang sampai ke permukaan bumi relatif rendah sehingga akumulasi zat warna ke dasar perairan atau tanah lebih cepat daripada fotodegradasinya (Dae-Hee et al. 1999 dan Al-kdasi 2004 dalam Putri 2010).

Penggolongan zat warna menurut “Colours Index” volume 3, yang terutama menggolongkan atas dasar sistem kromofor yang berbeda misalnya zat warna Azo, Antrakuinon, Ftalasia, Nitroso, Indigo, Benzodifuran, Okazin,

Polimetil, Di- dan Tri-Aril Karbonium, Poliksilik dan lain-lain (Heaton, 1994). Penggolongan lain yang biasa digunakan terutama pada proses pencelupan dan pencapan pada industri tekstil adalah penggolongan berdasarkan aplikasi (cara pewarnaan).

Indigo dengan rumus molekul $C_{16}H_{10}O_2N_2$ dan memiliki massa molekul relatif 262,269 sma adalah zat penting dengan warna biru khas, awalnya indigo berasal dari beberapa jenis tanaman, akan tetapi hampir semua senyawa turunan Indigo yang diproduksi pada saat ini adalah sintetis, senyawa ini terutama digunakan untuk pencelupan kain katun agar berwarna biru (Suparno, 2010).

Zat warna indigosol atau bejana larut adalah zat warna yang ketahanan lunturnya baik, berwarna rata dan cerah. Zat warna ini dapat dipakai secara pencelupan dan coletan. Warna dapat timbul setelah dibangkitkan dengan natrium nitrit dan asam seperti asam sulfat atau asam florida. Jenis warna indigosol antara lain:

Indigosol Yellow Indigosol Green IB

Indigosol Yellow JGK Indigosol Blue 0 4 B

Indigosol Orange HR Indigosol Grey IBL

Indigosol Pink IR Indigosol Brown IBR

Indigosol Violet ARR Indigosol Brown IRRD

Indigosol Violet 2R Indigosol Violet IBBF

Dalam pewarnaan batik penggunaan zat warna sintetis yang lebih banyak yaitu zat warna indigosol. Senyawa indigo tidak larut dalam air dan menjadi larut setelah tereduksi menjadi leuco-indigo. Leuco-indigo setelah terserap kedalam serat kain akan dengan cepat teroksidasi kembali oleh oksigen dalam udara dan menjadi tidak larut. Hal inilah yang menyebabkan zat warna indigo tidak mudah memudar berwarna rata dan cerah (Suparno, 2010).

2.5 Ozon (O₃)

Ozon pertama kali ditemukan oleh C F Schonbein pada tahun 1840. Penamaan ozon diambil dari bahasa Yunani *OZEIN* yang berarti smell atau bau. Ozon dikenal sebagai gas yang tidak memiliki warna. Solet pada tahun 1867 mengumumkan bahwa ozon adalah sebuah molekul gas yang terdiri tiga buah atom oksigen.

Ozon (O₃) dapat diaplikasikan dalam sistem akuakultur yang meliputi pembentukan ozon, transfer ozon ke dalam air, waktu kontak ozon untuk bereaksi, dan penghilangan/penetralkan ozon dengan memastikan bahwa tidak ada residu ozon yang masuk ke dalam wadah budidaya (Summerfelt dan Hochheimer, 1997).

Pada umumnya ozon terbentuk dari perpaduan antara pengayaan gas umpan oksigen dengan sebuah lucutan korona elektrik. Lucutan korona atau disebut juga lucutan elektrostatis terjadi karena adanya proses ionisasi fluida yang mengelilingi sebuah konduktor dan terjadi saat gradien potensial (kekuatan medan listrik) melebihi nilai tertentu. Pengayaan gas oksigen murni dalam pembentukan ozon sering dilakukan karena mampu menghemat energi hingga 2-3 kali dibandingkan dengan menggunakan oksigen dari udara bebas (Masschelein, 1998)

Gas ozon dapat berfungsi sebagai pembersih, penghilang bau serta desinfektan yang mampu membunuh semua mikroorganisme seperti bakteri, virus, jamur dan sebagainya. Ozon dihasilkan dari oksigen maupun udara sebagai sumber yang dilewatkan 2 elektroda dengan diberi tegangan tinggi dan diberi tekanan untuk mengalirkan gas oksigen melalui celah lucutan pada alat ozonizer (Tri Joko, 2010).

Ozon termasuk oksidator kuat diantara bahan-bahan kimia yang biasa digunakan dalam pengolahan air. Senyawa ini mampu mengoksidasi banyak bahan organik dan anorganik yang terdapat dalam air. Penggunaannya

sebagai bahan pengolah air dimulai sejak tahun 1893 di Belanda (EPA, 1999a).

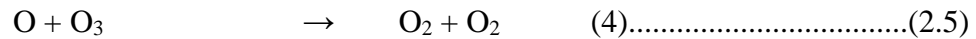
Ozon mampu mengoksidasi berbagai senyawa dalam air dengan dua cara yaitu reaksi langsung dan reaksi tidak langsung. Secara langsung dilakukan oleh ozon itu sendiri yang terlarut dalam air. Sedangkan cara tidak langsung yaitu dengan memproduksi OH radikal sebagai hasil dari proses dekomposisi. Pembentukan OH radikal tersebut berasal dari serangkaian rantai reaksi yang terdiri dari reaksi inisiasi, reaksi propagasi, dan reaksi terminasi. Inisiasi radikal bebas dapat disebabkan oleh cahaya dan peroksida (yang mengandung ikatan -O-O- yang mudah putus) (Fressenden & Fressenden, 1990).

Ozon merupakan molekul yang tidak stabil, jadi pembentukannya dilakukan sesaat sebelum digunakan. Pembentukan ozon dapat dilakukan dengan memecah molekul oksigen menjadi atom oksigen yang akan berikatan satu sama lain menjadi molekul ozon. Metode yang banyak dilakukan dalam memproduksi ozon diantaranya dengan *Plasma Corona Discharge* dan *Electrical Discharge*. Reaksi pembentukan ozon berasal dari molekul oksigen yang bereaksi secara endotermal dan membutuhkan masukan energi (EPA, 1999a). Berikut ini reaksi pembentukan ozon.



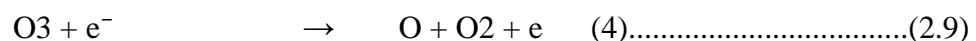
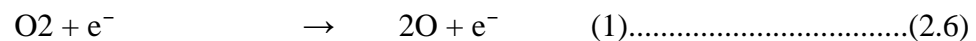
Pembentukan ozon melalui proses penyerapan cahaya melibatkan empat reaksi yang dikenal sebagai reaksi Chapman. Reaksi ini bisa terjadi dengan antuan sinar ultraviolet (uv). Adapun reaksinya adalah sebagai berikut: (Anggraini, 2011)





Gas oksigen (O_2) dapat menyerap radiasi ultraviolet (uv) pada panjang gelombang kurang dari 240 nm, sedangkan ozon dapat menyerap radiasi ultraviolet pada panjang gelombang antara 220-280 nm. Apabila gas oksigen menyerap radiasi ultraviolet pada panjang gelombang kurang dari 240 nm, maka gas oksigen tersebut akan terurai menjadi dua atom O (reaksi 1). Reaksi (2) merupakan reaksi yang menghasilkan ozon, yaitu atom oksigen hasil reaksi (1) yang sangat reaktif bereaksi dengan O_2 membentuk O_3 (Anggraini, 2011).

Pada alat ozon generator yang digunakan akan terjadi reaksi yang berbeda dengan reaksi ozon di ultraviolet. Adapun reaksinya sebagai berikut:



Pada reaksi 1, gas oksigen yang berada pada ozon generator bereaksi dengan elektron yang berasal dari sumber listrik sehingga gas oksigen menghasilkan dua atom O dan elektron. Salah satu atom O bereaksi dengan oksigen dan molekul lain sehingga menghasilkan ozon dan molekul lain (reaksi 2). Kemudian ozon yang terbentuk bereaksi dengan atom O sehingga menghasilkan 2 gas oksigen (reaksi 3). Dan ozon juga bereaksi dengan elektron sehingga menghasilkan atom O, oksigen dan elektron (reaksi 4). Reaksi tersebut terjadi berkali-kali selama alat ozon generator dialirkan sumber listrik.

Dalam keadaan padat, ozon berwarna biru-hitam. Bila dicairkan akan berwarna biru tua, dan menjadi hitam pada waktu dididihkan dan akhirnya berbentuk gas yang tidak stabil.

Ozon yang dihasilkan dari udara bebas ataupun oksigen murni harus ditransfer ke dalam air untuk menonaktifkan mikrobiologi atau tujuan oksidatif lainnya. Gas ozon dapat diinjeksi kedalam air dengan menggunakan perangkat khusus untuk mentransfer oksigen sebagai gas umpan (Summerfelt dan Hochheimer, 1997).

Kecepatan transfer dan dekomposisi ozon sangat tergantung pada efisiensi sistem kontak dan laju reaksi terhadap partikel-partikel dalam air (seperti suhu air, konsentrasi dan jenis partikel). Laju reaksi dengan bahan anorganik dan organik teroksidasi akan mempertahankan kesetimbangan konsentrasi dan meningkatkan laju transfer ozon dalam cairan dibandingkan dengan tanpa bahan anorganik dan organik tersebut. Ozon akan bereaksi sangat cepat kemudian dapat terurai di permukaan gas dan tidak tertransfer kedalam air. Oleh karena itu, kemampuan laju ozon terinjeksi di dalam air meningkat ketika ozon diserap dan digunakan secara cepat oleh partikel dalam air (Bablon et al., 1991).

Reaksi oksidasi membutuhkan oksidator yang sangat kuat dan pada penelitian kadar COD dan warna ini oksidator yang dipilih adalah ozon. Ozon termasuk oksidator yang ramah lingkungan dan banyak digunakan khususnya pada pengolahan air minum dan limbah. Ozon dalam air akan mengoksidasi senyawa organik dengan dua cara, yaitu oksidasi langsung dengan molekul O_3 atau dengan membentuk radikal bebas hidroksil. Radikal bebas hidroksil ini sangat reaktif dan diharapkan mampu mendegradasikan molekul warna menjadi tidak berwarna dan juga mampu menurunkan kandungan bahan organik (COD) limbah. Laju reaksi ozon dapat ditingkatkan dengan katalis yang merupakan oksida logam, seperti TiO_2 , MnO_2 atau garam ion logam seperti Mn^{2+} , Mn^{4+} , Fe^{2+} yang dapat memacu pembentukan radikal hidroksil.

Zeolit yang teraktivasi dengan perlakuan asam dapat menjadi promotor atau inisiator pada reaksi pembentukan radikal sehingga laju dekomposisi ozon dalam air meningkat (Valdes et al., 2008 dalam Suparno, 2010).

Menurut Prado et al, 1992, keuntungan penggunaan ozon adalah sebagai berikut:

1. Mudah diproduksi dari udara atau oksigen melalui lucutan listrik.
2. Mudah bereaksi dengan senyawa organik dan anorganik disebabkan oleh potensial reduksi yang tinggi dan reaktifitasnya.
3. Tidak menghasilkan produk samping yang bersifat toksik.
4. Ozonisasi menghasilkan penurunan COD, warna, bau dan kekeruhan air.
5. Kelebihan ozon dalam air akan terdekomposisi menghasilkan oksigen tanpa meninggalkan residu.

2.6 Advanced Oxidation Process (AOPs)

Advanced Oxidation Process (AOPs) didefinisikan oleh Glaze et al. (1987) sebagai proses yang melibatkan pembentukan radikal aktif hidroksil (HO^\cdot) dalam jumlah yang cukup untuk proses penguraian air limbah dengan menggunakan oksidator kuat. Teori AOPs merupakan proses oksidasi lanjut dengan menggunakan kombinasi dari beberapa proses seperti ozon, hidrogen peroksida, ultraviolet, katalis, karbon aktif dan beberapa proses lainnya untuk menghasilkan hidroksil radikal. Adapun kombinasi AOPs sebagai berikut:

a. Kombinasi ozon dengan hidrogen peroksida

Hidrogen peroksida merupakan asam lemah. Ketika dikombinasikan dengan air akan terdisosiasi dalam bentuk hidro peroksida ion. Molekul hidrogen peroksida bereaksi sangat lambat dengan ozon, dimana hidro peroksida anion sangat reaktif (Taube and Bray, 1940).

b. Kombinasi ozon dengan ultraviolet

Fungsi dari kombinasi ozon dan ultraviolet adalah untuk menghasilkan hydroxyl radikal (OH), dimana sebuah radikal bebas yang memiliki potensial oksidasi yang sangat tinggi. Sedangkan lampu ultraviolet pada panjang gelombang tertentu akan efektif dalam proses membunuh bakteri.

c. Kombinasi ozon dengan katalis

Katalis adalah substansi yang mempercepat reaksi tetapi tidak dikonsumsi pada reaksi tersebut. Senyawa antara yang dihasilkan bersifat sangat aktif sehingga secara cepat dapat mengalami perubahan mengikuti tahap reaksi yang berlangsung sampai akhirnya menjadi produk dan meninggalkan katalis kembali ke bentuk semula. Hal ini disebabkan karena katalis dapat menurunkan energi aktivasi suatu reaksi.

d. Kombinasi ozon dengan karbon aktif

Dalam teknik ozonasi-adsorpsi, karbon aktif tak hanya bertindak sebagai adsorben, tetapi juga sebagai katalis dalam meningkatkan reaksi oksidasi ozon mengindikasikan bahwa teknik ini dapat mendegradasi senyawa fenolik dalam limbah cair lebih cepat dan efisien dari teknik ozonasi dan adsorpsi tunggal. Mekanisme kombinasi ozonasi-adsorpsi terdiri dari reaksi kimia yang melibatkan adsorpsi, *surface reaction*, desorpsi dan reaksi lainnya pada larutan (Qu *et al.*, 2007).

Permasalahan yang sering muncul pada pengolahan air limbah dengan proses ozonasi adalah timbulnya busa, terbentuknya endapan kalsium oksalat, kalsium karbonat dan feri hidroksida yang mudah menyumbat aliran cairan dalam reaktor, perpipaan, katup dan pompa. Disamping itu kendala lain penggunaan ozon sebagai oksidator adalah biaya operasional pengadaan listrik yang cukup mahal. Sedangkan keuntungan dari penggunaan ozon dibanding oksidator maupun desinfektan lain adalah tidak menghasilkan samping senyawa organik halogen seperti dioksin (Rudi dan Ikbal, 2005).

2.7 Metode Spektrofotometri

Spektrofotometri merupakan salah satu metode dalam kimia analisis yang digunakan untuk menentukan komposisi suatu sampel baik secara kuantitatif dan kualitatif yang didasarkan pada interaksi antara materi dengan cahaya. Cahaya yang dimaksud dapat berupa cahaya visibel, UV dan inframerah, sedangkan materi dapat berupa atom dan molekul namun yang lebih berperan adalah elektron valensi.

Metode spektrofotometri ini menggunakan suatu alat pengukur gelombang cahaya yang disebut spektrofotometer. Spektrofotometer memiliki jenis yang beragam, namun dalam penelitian ini akan digunakan spektrofotometer jenis UV-VIS *single beam* merek genesis.

2.8 Metode Batch

Dalam penelitian ini, metode ozonisasi menggunakan sistem batch reaktor. Metode batch dilakukan dengan skala laboratorium dengan mereaksikan air limbah batik bersama ozon dalam satu wadah berkapasitas tertentu. Tujuan dari proses batch ini adalah untuk mengetahui penurunan kadar COD air limbah batik sesuai dengan pemodelan yang bisa diaplikasikan pada industri batik.

2.9 Keaslian Penelitian

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat dirangkum sebagai berikut:

- a. Pada penelitian Rudi dan Iqbal (2005), melakukan penelitian pengolahan air limbah berwarna industri tekstil dengan proses AOPs. Teknologi AOPs menggunakan ozon dan hidrogen peroksida sebagai oksidator dapat digunakan dengan sangat efektif untuk menghilangkan warna pada air limbah industri. Reaksi penurunan warna dengan AOPs dapat diilustrasikan sebagai reaksi kimia orde 1 dengan konstanta kecepatan reaksi sebesar 0,38 per jam.

- b. Pada penelitian Mizwar, Andi dan Nurin Nisa Farah Diena (2012). melakukan penelitian pada limbah cair industri sasirangan dengan metode adsorpsi menggunakan karbon aktif. Hasil menunjukkan bahwa penurunan warna diantara 20,75% - 39,16% dengan waktu kontak optimum selama 60 menit dan desain penelitian menggunakan Isoterm Langmuir dengan nilai adsorpsi maksimum 29,412 mg/g.
- c. Pada penelitian Qian Wu, dkk (2015), melakukan penelitian untuk menghilangkan flourescent terlarut dalam material biologi pada limbah tekstil dengan ozonisasi-biologi penyaring sebagai penyaring aerasi. Ozonisasi *biologis aerasi filter* (O₃-BAF) telah terbukti efektif untuk air limbah tekstil biologis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan peningkatan biodegradabilitas oleh ozonisasi, kombinasi ozonisasi dan BAF bisa mengurangi COD air limbah sebesar 50 mg/L. Sedangkan pada analisis EEM (Excitation-Emission-Matrix) menunjukkan yang paling dominan meremoval tinggi warna dan UV 254 selama proses ozonisasi. Penelitian ini memberikan pemahaman yang lebih baik tentang mekanisme penghilangan warna dari ozonisasi dan membantu untuk membangun sistem optimasi otomatis dalam pengolahan lanjutan dari limbah tekstil.

BAB III

METODOLOGI

3.1. Penelitian Secara Umum

Tahap persiapan penelitian adalah melakukan persiapan-persiapan alat dan bahan yang diperlukan. Alat yang akan digunakan adalah *reactor batch* dan *ozon generator*, serta air limbah batik yang diambil langsung dari industri batik di daerah Ngaglik, Sleman, Yogyakarta. Dimensi dari *reactor batch* yang digunakan yaitu berbentuk bulat dengan diameter 16 cm dan tinggi 20 cm. Selain *reactor batch* diperlukan juga wadah larutan penjerap dengan dimensi diameter 8 cm dan tinggi 10 cm. Ozon generator yang digunakan memiliki kemampuan menghasilkan ozon sebesar 0,5 L/menit.

Pada tahapan pelaksanaan penelitian, terbagi dalam dua tahapan pengerjaan yaitu penentuan nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan warna serta perbandingannya. Penelitian yang akan dilakukan adalah penelitian laboratorium dengan maksud untuk mengetahui waktu optimal penurunan kadar dan efisiensi pada parameter COD dan zat warna menggunakan *reactor batch*.

3.2. Variabel Penelitian

Penelitian ini dilakukan menggunakan variabel penelitian sebagai bahan perbandingan serta untuk memperoleh hasil variasi optimum dalam penurunan kadar COD dan warna pada air limbah batik. Variabel tersebut yaitu :

1. Variabel Bebas (*Independent Variabel*)

Dalam melakukan penelitian ini, variabel bebas meliputi:

- a. Dosis : 1,9 mg/L, 5.8 mg/L, 11,6 mg/L, 17,4 mg/L
- b. Waktu kontak : 1, 3, 6 dan 9 menit

2. Variabel Terikat (*Dependent* Variabel)

Parameter yang diukur pada penelitian ini adalah COD dan warna.

3.3. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang diperlukan pada pengujian ini berupa

a. Alat

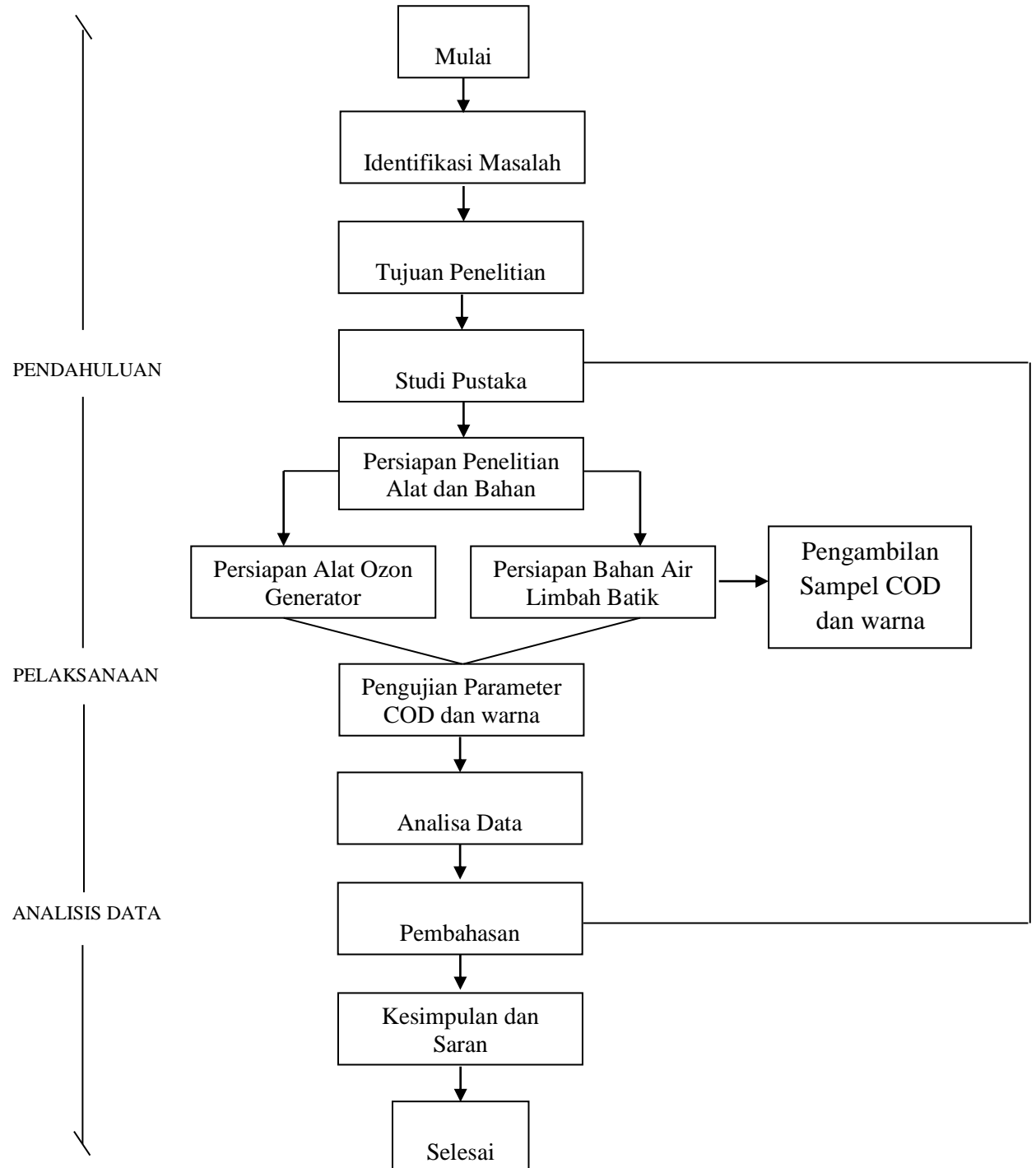
1. Ozon Generator
2. Gelas beker 1000 ml
3. Tabung reflux
4. Reactor batch
5. Spektrofotometer
6. Pipet volume 5ml
7. Pipet volume 10ml
8. Spatula
9. Thermo reactor
10. Rak tabung reflux
11. Karet hisap
12. Corong
13. Timbangan analitik

b. Bahan

1. Sampel air limbah batik;
2. Air suling;
3. Kertas Saring;
4. Larutan KI;
5. Hidrogen Peroksida;
6. H₂SO₄ COD;
7. Digestion Solution;
8. KHP

3.4 Bagan Alir

Pada penelitian ini, berikut ini adalah susunan kerangka proses penelitian secara keseluruhan:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.5 Desain Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu reaktor *batch* berbentuk bulat dengan diameter 16 cm dan tinggi 20 cm. Air limbah batik dimasukkan kedalam reaktor batch sebanyak 500ml dengan waktu pengujian yang sudah ditetapkan. Rangkaian reaktor *batch* dapat dilihat pada **gambar 3.2** berikut.



Gambar 3.2 Rangkaian reaktor batch untuk pengujian air limbah

Bagian atas reaktor *batch* tertutup dan diberi lubang untuk selang yang disambungkan ke ozon generator. Kemudian ujung selang yang dimasukkan kedalam air limbah diberi diffuser (batu berpori) untuk mereaksikan ozon generator dengan air limbah batik.



Gambar 3.4 Ozon generator

Ozon generator yang digunakan memiliki spesifikasi input AC22v/50 Hz, power < 15w, G.W/N.W : 1,3 kg/ 1,0 kg, size : 370x680x88mm.

3.6 Persiapan Pengujian

Penurunan kadar COD dan warna air limbah batik sangat dipengaruhi oleh dosis ozon yang sudah ditentukan. Semakin besar dosis ozon yang direaksikan maka semakin banyak penurunan kadar COD dan warna pada air limbah batik. Namun, penurunan kadar COD dan warna juga memiliki nilai optimum berdasarkan dosis yang direaksikan antara air limbah batik dengan ozon. Ozon yang bereaksi memiliki titik jenuh dalam penurunan kadar COD dan warna air limbah batik. Dosis ozon yang bereaksi dapat dihitung berdasarkan rumus yang ada pada teori dan juga dapat berdasarkan pada nilai absorbansi serapan ozon di larutan penjerap Kalium Iodida yang terbaca menggunakan alat spektrofotometri UV-VIS.

Waktu kontak untuk pengujian mempunyai nilai yang berbeda-beda. Lamanya waktu kontak sudah ditentukan sebelum pengujian dilakukan. Waktu kontak diperlukan untuk melakukan reaksi antara air limbah batik dan ozon.



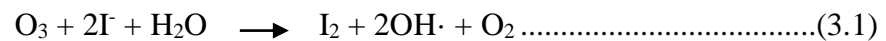
Gambar 3.5 Larutan Kalium Iodida

Sebelum air limbah diinjeksikan dengan ozon generator, terlebih dahulu mempersiapkan larutan KI. Persiapan larutan KI dilakukan dengan cara membuat larutan penjerap KI itu sendiri kemudian melakukan uji pendahuluan larutan penjerap KI dengan ozon.



Gambar 3.6 Larutan KI yang siap diabsorbansi menggunakan Spektrofotometri

Setelah melakukan pengujian larutan kalium iodida secara triplo, larutan tersebut diukur nilai absorbansinya menggunakan spektrofotometri UV-VIS. Larutan kalium iodida yang semula berwarna bening berubah menjadi kuning kecoklatan. Warna ini merupakan warna I₂ yang terbentuk melalui reaksi oksidasi I⁻. Adapun reaksinya:



Reaksi tersebut menunjukkan bahwa mol I₂ yang terbentuk sebanding dengan mol ozon yang diperlukan untuk mengoksidasi KI sehingga mol I₂ dapat dipergunakan untuk menghitung mol ozon yang diproduksi ozon generator.

3.7 Prosedur Percobaan

Pada penelitian ini, prosedur percobaan dapat diawali dengan mempersiapkan sampel air limbah batik yang diambil dari *home industry* batik di Ngaglik Sleman, Yogyakarta dan alat ozon generator dipersiapkan di laboratorium kualitas air FTSP UII.

Sebelum melakukan injeksi ozonisasi dengan air limbah, air limbah tersebut diukur terlebih dahulu kandungan COD awal dengan metode refluk tertutup secara spektrofotometri. Kemudian mencatat nilai absorbansi sebelum melakukan ozonisasi.

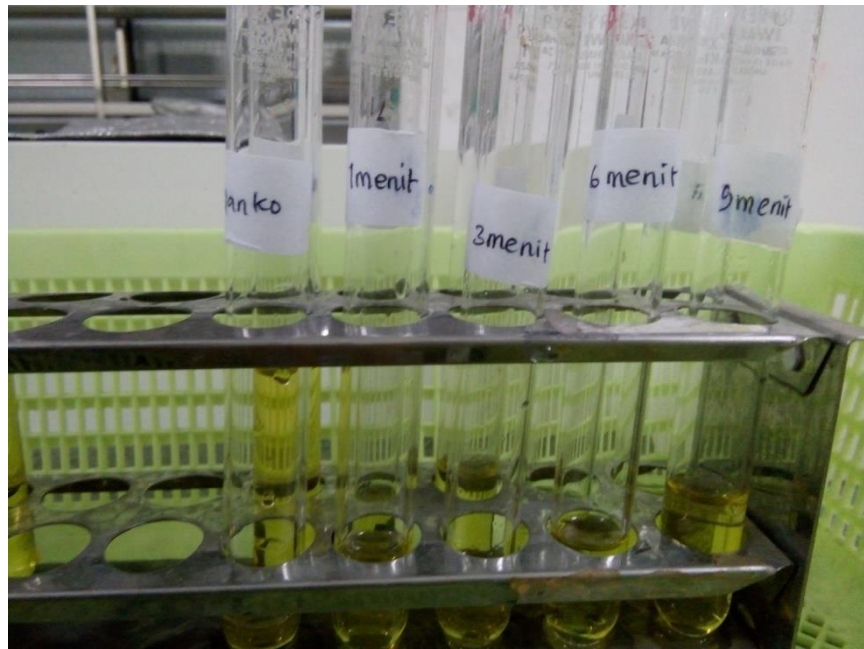
Setelah melakukan pengukuran kandungan COD awal, dilanjutkan dengan melakukan proses ozonisasi air limbah. Proses yang akan dilakukan pada proses ozonisasi ini adalah dengan sistem *batch* dimana air limbah akan diproses menggunakan ozon generator.



Gambar 3.7 Proses Ozonisasi Air Limbah

Prinsip kerja dari sistem *batch* adalah air limbah diposisikan didalam reaktor, kemudian dialirkan ozon dari ozon generator. Pada proses ini, gas ozon yang dihasilkan oleh ozon generator tidak boleh keluar terlepas ke udara bebas, karena bersifat racun. Oleh karena itu, diperlukan senyawa KI untuk menjerap ozon agar tidak bereaksi ke udara bebas. Larutan KI diletakkan di wadah yang berbeda dalam keadaan tertutup. Kemudian diberi lubang dan dialirkan selang dari wadah reaktor limbah batik.

Sebelum limbah batik diozonisasi sesuai waktu kontak, terlebih dahulu limbah batik dicampurkan dengan larutan H_2O_2 sebanyak 0,25 ml pada setiap pengujian. Kemudian diaduk dan diozonisasi. Waktu kontak proses ozonisasi dilakukan sebanyak 4 kali. Variasi waktu kontak yang digunakan yaitu 1 menit, 3 menit, 6 menit dan 9 menit. Variasi waktu tersebut digunakan untuk mengetahui nilai dari penurunan kadar COD dan warna pada air limbah batik menggunakan ozon.



Gambar 3.8 Pengukuran COD menggunakan refluk tertutup

Kemudian melakukan pengukuran panjang gelombang penurunan kadar COD dan warna dengan menggunakan metode kolorimetri, refluk tertutup dengan menggunakan spektrofotometer UV-VIS.

Analisis data yang akan dilakukan yaitu dengan cara membandingkan panjang gelombang cahaya yang terjadi pada setiap waktu kontak ozonisasi.

3.8. Analisis Data

Dari hasil penelitian maka diperoleh data yang akan dibuat dalam bentuk tabel dan grafik. Data tersebut menunjukkan hasil dari pengujian kadar COD dan warna menggunakan waktu kontak yang memiliki hasil paling optimal dalam penurunan COD dan warna.

Adapun dalam menghitung seberapa banyak COD yang telah terdegradasi menggunakan ozon dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\% \text{ removal} = [(C_0 - C) / C_0] \times 100 \dots \dots \dots (3.2)$$

Keterangan : C_0 = Konsentrasi awal

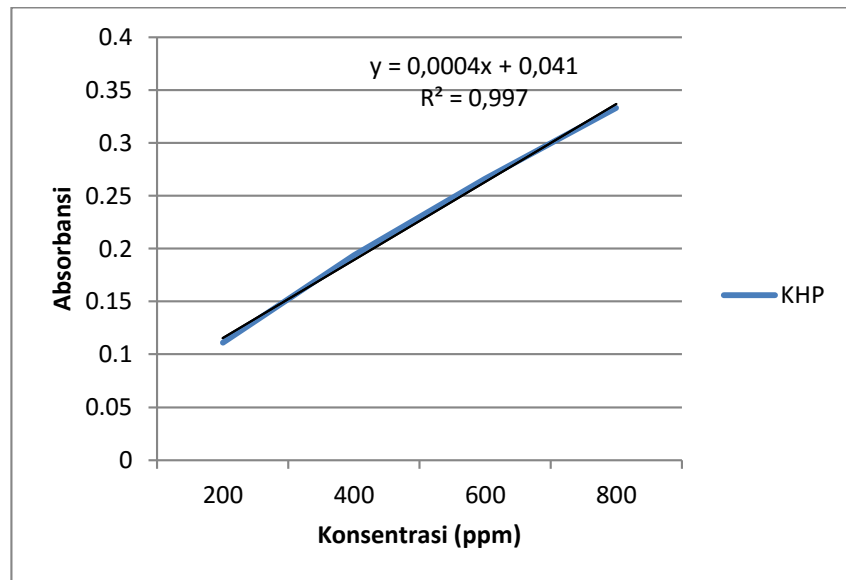
C = Konsentrasi yang diperoleh

3.9 Metode Pengujian Sampel

Data hasil penelitian akan dibuat dalam bentuk tabel dan grafik. Untuk mengetahui konsentrasi dan efisiensi penurunan pada parameter digunakan acuan sebagai berikut.

3.9.1 Pengukuran *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Pemeriksaan parameter COD dilakukan di laboratorium Kualitas Air Jurusan Teknik Lingkungan FTSP UII dengan mengacu pada SNI 06-6989-2009. Untuk menetapkan kadar COD air limbah digunakan satuan mg/l. Cara kerja dari penurunan kadar COD yaitu sebelumnya air limbah telah diencerkan dengan proses air limbah asli diambil sebanyak 5 ml kemudian dimasukkan kedalam labu ukur berukuran 50 ml kemudian dimampatkan dengan aquadest sampai tanda batas. Setelah itu sampel air limbah yang telah diencerkan diambil sebanyak 2,5 ml dimasukkan kedalam tabung reaksi khusus COD yang kemudian ditambahkan 1,5 ml *digester solution* tinggi dan 3,5 ml H_2SO_2 dan kemudian dimasukkan ke dalam thermoreaktor selama 2 jam pada temperatur $150^\circ C$, kemudian dibaca nilai absorbansinya menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 600nm.



Gambar 3.9 Grafik Kurva Standar Untuk Pengujian COD

Pada **gambar 3.9**, merupakan nilai absorbansi yang diperoleh pada kurva standar untuk mendapatkan nilai konsentrasi COD. Konsentrasi COD dapat dihitung dengan persamaan 3.3

$$\text{COD mg O}_2/\text{l} = \frac{(A-B) \times C \times 8 \times 1000}{\text{ml contoh air}} \dots\dots\dots(3.3)$$

Keterangan :

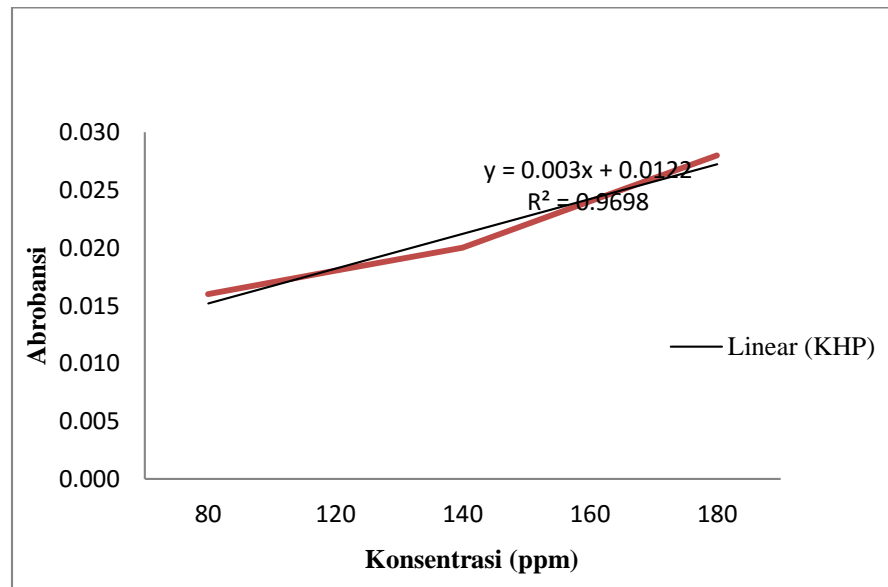
A = ml FAS untuk blangko

B = ml FAS untuk sampel

C = Normalitas FAS

3.9.2 Pengukuran Warna

Pemeriksaan parameter Warna dilakukan di laboratorium Kualitas Air Jurusan Teknik Lingkungan FTSP UII dengan mengacu pada SNI 6989.80:2011. Untuk menetapkan kadar warna air limbah digunakan satuan PtCo.



Gambar 3.10 Grafik Kurva Standar Untuk Pengujian Warna

Pada **gambar 3.10**, merupakan nilai absorbansi yang diperoleh pada kurva standar untuk pengujian warna. Pengukuran warna sebenarnya (*true color*) berdasarkan hukum Beers. Konsentrasi warna sebagai unit PtCo dapat dihitung dengan persamaan 3.4.

$$\text{Unit PtCo} = C \times f_p \dots \dots \dots (3.4)$$

Keterangan :

C = nilai yang didapat dari kurva kalibrasi, dinyatakan dalam unit Pt-Co

f_p = faktor pengenceran

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Pada penelitian penurunan parameter COD dan warna pada limbah batik dilakukan dengan menggunakan ozon. Air limbah batik yang diteliti berasal dari salah satu *home industry* batik di Ngaglik, Sleman.

Parameter COD dan warna merupakan parameter yang kadarnya sering melebihi ambang batas diperbolehkan baku mutu. Hal inilah yang menjadi penyebab terkontaminasinya lingkungan apabila tidak diupayakan penanganannya. Adapun karakteristik awal limbah batik yang akan diteliti sebagai berikut:

Tabel 4.1 Karakteristik Awal Limbah Batik

Karakteristik	Kadar	Pergub DIY No. 7 Th 2010	Satuan
Kekeruhan	540	-	NTU
COD	8252	150	mg/L
Warna	1072	-	Pt-Co
pH	5	6,0 - 9,0	

Berdasarkan **tabel 4.1**, karakteristik awal air limbah batik pada parameter COD memiliki konsentrasi diatas baku mutu Pergub DIY No. 7 Tahun 2010. Oleh karena itu, air limbah batik perlu ada pengolahan agar tidak mencemari lingkungan.

Pengujian air limbah dilakukan sebanyak 4 kali dengan menggunakan ozon. Kemudian dilakukan pengujian kembali dengan menggunakan ozon dan larutan hidrogen peroksida. Sebelum dikontakkan dengan ozon generator, air limbah terlebih dahulu diberi larutan hidrogen peroksida sebanyak 0,25ml dan diaduk. Reaksi ozon dengan hidrogen peroksida ditujukan untuk pembentukan radikal aktif hidroksil. Radikal aktif hidroksil ini yang berperan memecah organik rantai panjang zat warna menjadi organik dengan rantai yang lebih pendek dan bersifat lebih degradable.

4.2 Proses Uji Dosis Ozon

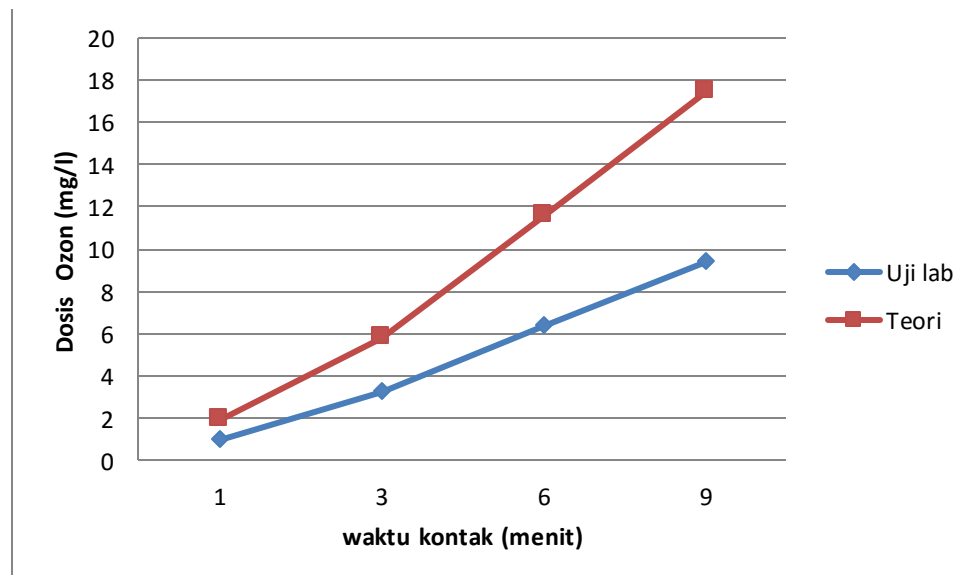
Pada proses pengujian ini dilakukan untuk mengetahui dosis ozon yang akan bereaksi pada air limbah ketika dilakukan pengujian. Konsentrasi ozon ditentukan oleh variasi waktu kontak oksidasi yaitu 1 menit, 3 menit, 6 menit dan 9 menit.

Metode yang digunakan dalam pengujian dosis ozon adalah metode spektrofotometri menggunakan Kalium Iodide (KI). Pengukuran uji dosis ozon ini dilakukan secara triplo agar memperoleh hasil yang lebih akurat. Berdasarkan hasil uji antara ozon dan larutan penjerap KI, didapatkan hasilnya sebagai berikut:

Tabel 4.2 Konsentrasi Ozon

Waktu Kontak (Menit)	Dosis Ozon	
	Uji Laboratorium (mg/l)	Perhitungan Teori (mg/l)
0	0	0
1	0,95	1,9
3	3,25	5,8
6	6,35	11,6
9	9,35	17,4

Berdasarkan **tabel 4.2**, jika dibandingkan konsentrasi ozon antara uji laboratorium dan perhitungan teori terlihat berbeda. Akan tetapi kedua konsentrasi ozon tersebut masing-masing menunjukkan kenaikan konsentrasi dari setiap dosisnya. Hasil pengujian antara teori dan percobaan tidak sama karena bisa jadi ketika percobaan ozon dikontakkan ke dalam air, ozon terikat oleh larutan tersebut tidak semuanya terikat. Penyebabnya bisa terjadi kemungkinan adanya pengaruh dari proses transfer ozon dari bentuk gas ke bentuk cair (K. Bancroft, Chostowki dkk, 1984 dalam Eka, 2010). Sehingga perbandingan tingkat konsentrasi antara percobaan dengan teori dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 4.1 Grafik konsentrasi ozon pada uji dosis menggunakan larutan KI

Pada **gambar 4.1**, menunjukkan bahwa hubungan antara waktu kontak dan dosis ozon cukup berpengaruh. Semakin lama dilakukan kontak maka dosis pun akan meningkat pula. Disamping itu polanya adalah garis lurus atau dikenal dengan sebagai linear. Hubungan semacam ini dikenal sebagai hubungan linear positif (langsung) (Damanhuri, 1993).

Hasil pengujian diperoleh konsentrasi yang berbeda-beda sesuai dengan waktu kontak pengujian yang dilakukan. Debit alat ozon generator

0,5 L/menit, setelah dilakukan pengukuran didapatkan konsentrasi ozon 0,0323 mg/l dalam waktu satu detik.

Dari **gambar 4.1** di atas hasil pembacaan nilai absorbansi dan perhitungan konsentrasi ozon terjerap pada larutan KI dapat terlihat bahwa pada waktu kontak 1 menit diperoleh konsentrasi ozon sebesar 0,95 mg/l sedangkan konsentrasi yang seharusnya diperoleh berdasarkan perhitungan yang dilakukan secara teori untuk waktu 1 menit ozon yang bereaksi sebanyak 1,9 mg/l. Selanjutnya, untuk waktu kontak 3 menit diperoleh konsentrasi ozon sebesar 3,25 mg/l sedangkan konsentrasi yang seharusnya diperoleh berdasarkan perhitungan yang dilakukan secara teori sebanyak 5,8 mg/l.

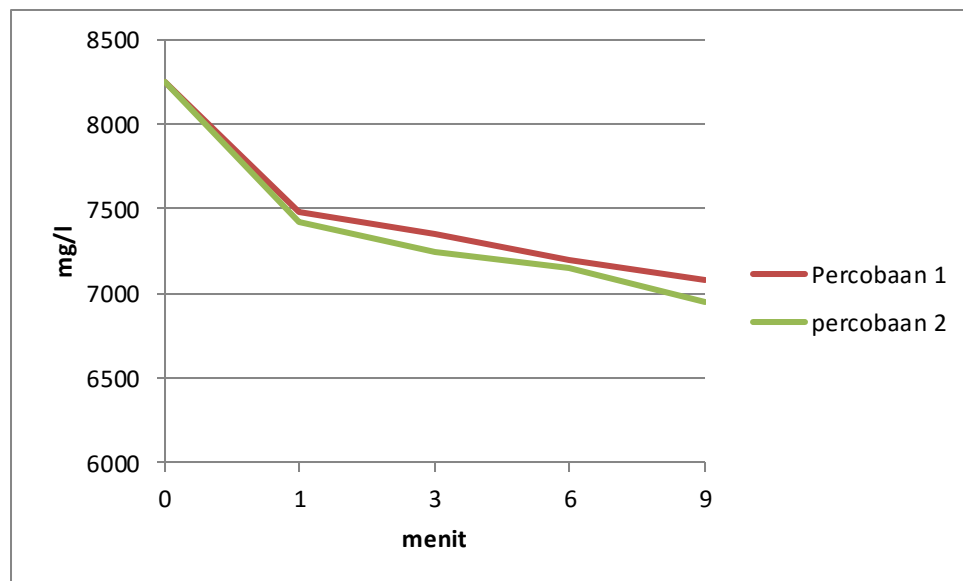
Begitu juga hasil waktu kontak pada 6 dan 9 menit. Untuk waktu kontak 6 menit diperoleh konsentrasi ozon sebesar 6,35 mg/l sedangkan konsentrasi yang seharusnya diperoleh berdasarkan perhitungan yang dilakukan secara teori untuk waktu 6 menit ozon yang bereaksi sebanyak 11,6 mg/l.

Dalam pengujian pada waktu kontak 9 menit diperoleh konsentrasi ozon sebesar 9,35 mg/l sedangkan konsentrasi yang seharusnya diperoleh berdasarkan perhitungan yang dilakukan secara teori untuk waktu 6 menit ozon yang bereaksi sebanyak 17,4 mg/l.

Berdasarkan seluruh pengujian yang telah dilakukan dalam penentuan dosis ozon, dapat dilihat bahwa tidak semua ozon dapat bereaksi dengan larutan penjerap KI. Dari uji laboratorium yang telah dilakukan, faktor yang mempengaruhi hal ini yaitu berkurangnya oksigen yang akan membantu proses pembentukan ozon didalam generator dan suplaynya kelarutan, tidak seluruh larutan tereaksi oleh ozon.

4.3 Pengaruh Ozon Terhadap Penurunan COD dan Warna

Pada penelitian ini dilakukan pengujian sesuai dengan waktu kontak yang telah ditentukan. Air limbah batik sebanyak 500ml dimasukkan kedalam reaktor batch dan diinjeksikan langsung dengan ozon generator. Berikut ini adalah grafik hasil pengujian COD air limbah batik setelah dilakukan percobaan berdasarkan waktu kontak:



Gambar 4.2 Grafik hasil penurunan uji COD menggunakan ozon

Berdasarkan **gambar 4.2**, dapat dilihat persentase removal pengujian COD sehingga adapun tabel pengujian COD seperti dibawah ini:

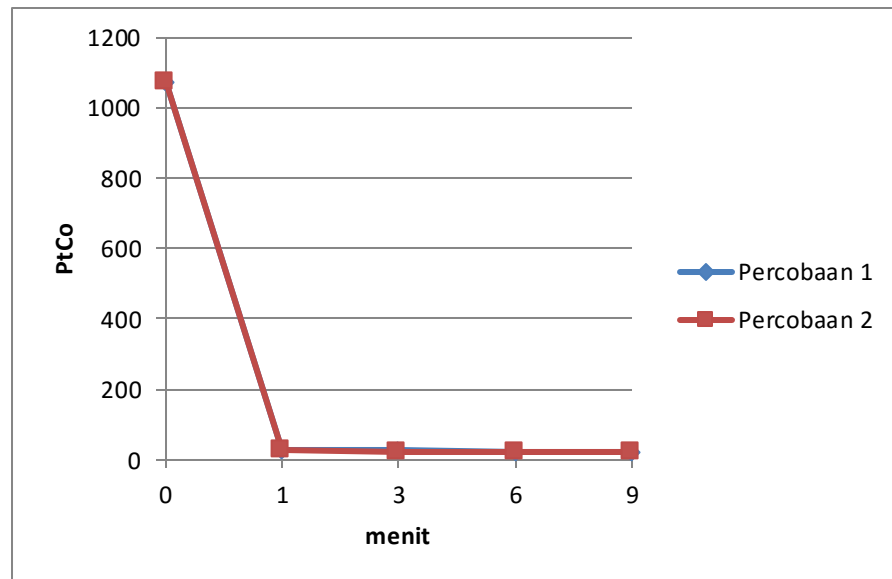
Tabel 4.3 Persentase Removal Pengujian COD Menggunakan Ozon

t (menit)	Removal Percobaan 1 (%)	Removal Percobaan 2 (%)
1	9,42	10,02
3	10,93	12,14
6	12,75	13,35
9	14,26	15,78

Berdasarkan **tabel 4.3**, dapat dilihat bahwa data yang diperoleh menunjukkan hasil penurunan COD yang berbeda-beda disetiap menit pengujian. Hasil pengujian COD pada limbah batik awal sebelum dikontakkan dengan ozon generator adalah sebesar 8252 mg/l. Setelah dilakukan kontak dengan ozon generator sesuai waktu kontaknya terjadi penurunan COD disetiap menitnya.

Konsentrasi limbah batik sebelum dilakukan pengujian ialah sebesar 8252 mg/l. Setelah air limbah batik diinjeksikan dengan ozon generator, pada percobaan pertama untuk waktu kontak 1 menit COD air limbah batik menjadi sebesar 7475 mg/l dan pada percobaan kedua untuk waktu kontak 1 menit COD air limbah batik menjadi sebesar 7425 mg/l. Di menit ke 3 percobaan pertama COD air limbah batik juga terjadi penurunan menjadi sebesar 7350 mg/l dan percobaan kedua COD air limbah batik menjadi sebesar 7250 mg/l. Kemudian pada waktu pengujian selama 6 menit percobaan pertama COD air limbah batik menurun kembali menjadi 7200 mg/l dan percobaan kedua COD air limbah batik menjadi sebesar 7150 mg/l. Begitu juga pada waktu pengujian selama 9 menit percobaan pertama COD air limbah batik menurun menjadi 7075 mg/l dan percobaan kedua COD air limbah batik menjadi 6950 mg/l.

Pada pengujian warna juga dilakukan pengujian menggunakan ozon generator. Setelah diozon sesuai waktu kontak, air limbah batik dilakukan pengukuran uji warna. Berikut ini adalah grafik hasil penurunan uji warna:



Gambar 4.3 Grafik hasil pengujian warna menggunakan ozon

Berdasarkan **gambar 4.3**, dapat dilihat data persentase removal pengujian warna seperti dibawah ini:

Tabel 4.4 Persentase Removal Pengujian Warna Menggunakan Ozon

t (menit)	Removal Percobaan 1 (%)	Removal Percobaan 2 (%)
1	97,46	97,52
3	97,70	97,76
6	97,83	97,87
9	98,06	98,09

Pada **tabel 4.4**, diperoleh data hasil pengujian warna yang bervariasi disetiap menit pengujian. Sebelum melakukan pengujian warna dengan ozon, warna awal air limbah batik sebesar 1072 PtCo. Kemudian air limbah batik diinjeksikan dengan ozon sesuai waktu kontak yang ditentukan. Hasil air limbah batik yang dikontakkan dengan ozon selama 1 menit pada percobaan pertama menjadi sebesar 27,17 PtCo dan percobaan kedua sebesar 26,57 PtCo. Pada waktu kontak 3 menit terjadi penurunan warna sehingga

percobaan pertama diperoleh sebesar 24,57 PtCo dan percobaan kedua sebesar 23,97 PtCo. Selanjutnya, pada waktu kontak 6 dan 9 menit juga terjadi penurunan warna yakni untuk waktu kontak 6 menit percobaan pertama mengalami penurunan sebesar 23,17 PtCo dan percobaan kedua sebesar 22,77 PtCo. Begitu juga pada pengujian dengan waktu kontak 9 menit terjadi penurunan warna air limbah untuk percobaan pertama sebesar 20,77 PtCo dan percobaan kedua sebesar 20,37 PtCo.

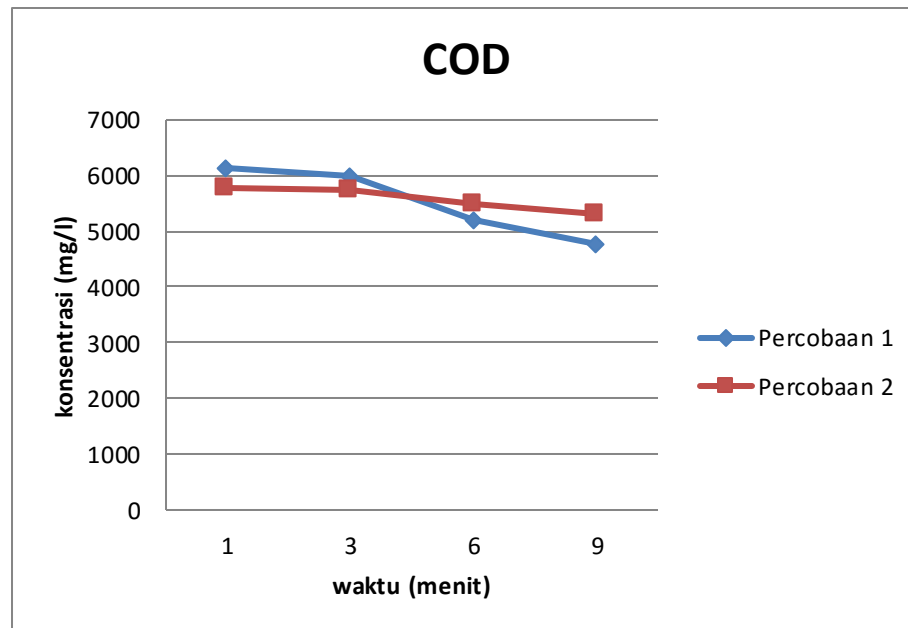
Dari pengujian COD dan warna tersebut terjadi perbedaan selisih nilai konsentrasi yang diperoleh dari setiap masing-masing waktu kontak. Namun, selisih nilai konsentrasi dari kedua percobaan tersebut tidak jauh berbeda sehingga data yang diperoleh akurat.

Penurunan COD dan warna tersebut terjadi karena adanya perubahan kandungan COD air limbah batik setelah dikontakkan pada ozon generator yang mengoksidasi COD dan warna. Selain ozon adanya OH radikal hasil dekomposisi ozon yang berperan mengoksidasi bahan organik COD dan warna menjadi senyawa yang lebih sederhana.

4.4 Pengaruh Ozon dan Larutan Hidrogen Peroksida Terhadap Penurunan COD dan Warna

Pada penelitian ini dilakukan pengujian air limbah batik dengan menggunakan ozon dan larutan hidrogen peroksida. Larutan hidrogen peroksida dimasukkan kedalam air limbah batik sebanyak 0,25 ml sebelum diinjeksikan dengan ozon generator. Pengujian dilakukan dengan dua kali percobaan agar hasil yang diperoleh lebih akurat. Hasil yang diperoleh dari pengujian penurunan COD dan warna pada limbah batik bervariasi setiap masing-masing pengujian.

Berikut ini adalah grafik hasil pengujian COD air limbah batik setelah dilakukan percobaan berdasarkan waktu kontak:



Gambar 4.4 Grafik hasil penurunan uji COD menggunakan ozon dan larutan hidrogen peroksida

Berdasarkan **gambar 4.4**, dapat dilihat persentase removal pengujian COD sehingga adapun tabel pengujian COD seperti dibawah ini:

Tabel 4.5 Persentase Removal Pengujian COD Menggunakan Ozon dan Larutan Hidrogen Peroksida

t (menit)	Removal Percobaan 1 (%)	Removal Percobaan 2 (%)
1	25,78	30,02
3	27,59	30,62
6	36,98	33,65
9	42,14	35,77

Berdasarkan **tabel 4.5**, dapat dilihat bahwa data yang diperoleh menunjukkan hasil penurunan COD yang berbeda-beda disetiap menit pengujian. Hasil pengujian COD pada limbah batik awal sebelum dikontakkan dengan ozon generator adalah sebesar 8252 mg/l. Setelah

dilakukan kontak dengan ozon generator sesuai waktu kontaknya terjadi penurunan COD disetiap menitnya.

Konsentrasi limbah batik sebelum dilakukan pengujian ialah sebesar 8252 mg/l. Setelah air limbah batik diinjeksikan dengan ozon generator, pada percobaan pertama untuk waktu kontak 1 menit COD air limbah batik menjadi sebesar 6125 mg/l dan pada percobaan kedua untuk waktu kontak 1 menit COD air limbah batik menjadi sebesar 5775 mg/l. Di menit ke 3 percobaan pertama COD air limbah batik juga terjadi penurunan menjadi sebesar 5975 mg/l dan percobaan kedua COD air limbah batik menjadi sebesar 5725 mg/l. Kemudian pada waktu pengujian selama 6 menit percobaan pertama COD air limbah batik menurun kembali menjadi 5200 mg/l dan percobaan kedua COD air limbah batik menjadi sebesar 5475 mg/l. Begitu juga pada waktu pengujian selama 9 menit percobaan pertama COD air limbah batik menurun menjadi 4775 mg/l dan percobaan kedua COD air limbah batik menjadi 5300 mg/l.

Dari pengujian COD tersebut terjadi perbedaan selisih nilai konsentrasi yang diperoleh dari setiap masing-masing waktu kontak. Namun, selisih nilai konsentrasi dari kedua percobaan tersebut tidak jauh berbeda sehingga data yang diperoleh akurat.

Penurunan COD tersebut terjadi karena adanya perubahan kandungan COD air limbah batik setelah dikontakkan pada ozon generator yang mengoksidasi COD. Selain ozon adanya OH radikal hasil dekomposisi ozon yang berperan mengoksidasi bahan organik COD menjadi senyawa yang lebih sederhana.

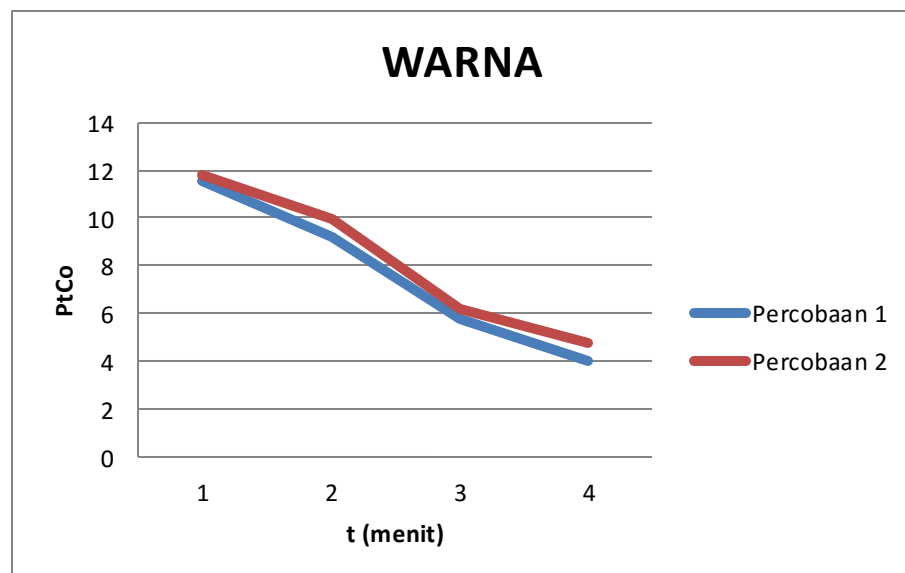
Dari **gambar 4.4**, menunjukkan bahwa waktu kontak ozon berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi COD. Itu artinya, semakin lama waktu kontak ozon terhadap air limbah batik maka semakin banyak terjadinya penurunan COD. Hal ini membuktikan bahwa ozon dapat menguraikan dan

mengoksidasi sebagian senyawa-senyawa yang ada didalam air limbah batik menjadi senyawa-senyawa lain.

Berdasarkan grafik yang diperoleh terlihat bahwa hasil optimal penurunan COD air limbah batik terjadi pada pengujian selama waktu kontak 9 menit pada pengujian tersebut. Peningkatan waktu kontak ozon menyebabkan jumlah ozon yang masuk kedalam air limbah bertambah dan ozon semakin tersebar karena tekanan gas bertambah. Maka, semakin lama waktu pengontakkan ozon akan semakin sempurna juga penurunan COD.

Hasil pengujian tersebut diperoleh prosentase penurunan COD air limbah batik. Prosentase penurunan COD paling besar setelah dilakukan pengujian terjadi pada waktu kontak 9 menit yakni sebanyak 42,14 %.

Pada penurunan warna, pengujian dilakukan sesuai dengan waktu kontak yang sama seperti pengujian COD. Pengujian dilakukan dengan dua kali percobaan agar hasil yang diperoleh lebih akurat. Hasil yang diperoleh dari pengujian warna menggunakan ozonisasi juga beragam dari setiap menit pengujian. Berikut ini adalah grafik hasil pengujian warna:



Gambar 4.5 Grafik hasil penurunan uji warna menggunakan ozon dan larutan hidrogen peroksida

Berdasarkan **gambar 4.5**, dapat dilihat data persentase removal pengujian warna seperti dibawah ini:

Tabel 4.6 Persentase Removal Pengujian Warna Menggunakan Ozon dan Larutan Hidrogen Peroksida

t (menit)	Removal Percobaan 1 (%)	Removal Percobaan 2 (%)
1	98,92	98,90
3	99,14	99,07
6	99,46	99,42
9	99,63	99,55

Pada **tabel 4.6**, diperoleh data hasil pengujian warna yang bervariasi disetiap menit pengujian. Sebelum melakukan pengujian warna dengan ozon, warna awal air limbah batik sebesar 1072 PtCo. Kemudian air limbah batik diinjeksikan dengan ozon sesuai waktu kontak yang ditentukan dan diberi larutan hidrogen peroksida sebanyak 0,25 ml. Hasil air limbah batik yang dikontakkan dengan ozon selama 1 menit pada percobaan pertama menjadi sebesar 11,57 PtCo dan percobaan kedua sebesar 11,77 PtCo. Pada waktu kontak 3 menit terjadi penurunan warna sehingga percobaan pertama diperoleh sebesar 9,17 PtCo dan percobaan kedua sebesar 9,97 PtCo. Selanjutnya, pada waktu kontak 6 dan 9 menit juga terjadi penurunan warna yakni untuk waktu kontak 6 menit percobaan pertama mengalami penurunan sebesar 5,77 PtCo dan percobaan kedua sebesar 6,17 PtCo. Begitu juga pada pengujian dengan waktu kontak 9 menit terjadi penurunan warna air limbah untuk percobaan pertama sebesar 3,97 PtCo dan percobaan kedua sebesar 4,77 PtCo.

Penurunan warna pada air limbah batik setelah diozonisasi terjadi karena transfer gas dari alat ozonisasi dan faktor larutan hidrogen peroksida yang telah dicampur dengan air limbah batik. Pencampuran larutan hidrogen

peroksida atau disebut juga dengan proses AOPs mempengaruhi penurunan konsentrasi warna sehingga warna mengalami perubahan.

Berdasarkan **gambar 4.6**, terlihat bahwa hasil optimal penurunan warna air limbah batik terjadi pada percobaan pertama selama waktu kontak 9 menit dengan presentase removal sebesar 99,63%. Peningkatan waktu kontak ozon menyebabkan jumlah ozon yang masuk kedalam air limbah bertambah dan ozon semakin tersebar karena tekanan gas bertambah. Maka, sama seperti pengujian COD, semakin lama waktu pengontakkan ozon akan semakin sempurna juga penurunan warna.

4.5 Hasil Ozonisasi Air Limbah Batik Terhadap COD dan Warna

Pada pengujian COD dan warna air limbah batik terjadi penurunan terhadap kedua parameter tersebut setelah dikontakkan dengan ozon generator. Penurunan tersebut disebabkan oleh adanya penyisihan bahan organik karena ozon akan mengoksidasi bahan organik menjadi senyawa yang lebih sederhana. Reaksi yang terjadi untuk mendegradasi limbah batik menggunakan ozon adalah sebagai berikut:

1. Tahap Inisiasi

Tahap inisiasi secara definisi ialah tahap permulaan terbentuknya radikal bebas. Radikal bebas yang dimaksud disini ialah terbentuknya radikal hidroksil ($\text{OH}\cdot$). Kemudian reaksi ion OH^- sebagai inisiator. Inisiator adalah zat yang dalam kondisi reaksi tertentu menghasilkan sejumlah radikal bebas. Sehingga reaksi ion OH^- dan ozon membentuk superoksida radikal ($\text{O}_2\cdot^-$) dan hidroperoksida radikal ($\text{HO}_2\cdot$).



2. Rantai radikal

Superoksida radikal ($O_2\bullet^-$) bereaksi dengan ozon sehingga membentuk anion ozon radikal ($O_3\bullet^-$) yang telah terdekomposisi menjadi hidroksil radikal ($OH\bullet$). Reaksinya sebagai berikut:



Anion ozon radikal ($O_3\bullet^-$) berada pada reaksi kesetimbangan dimana $O_3\bullet^-$ besarnya akan sebanding dengan $HO_3\bullet$. Sehingga reaksinya yang terjadi sebagai berikut:



Dalam reaksi 3, hidroksil radikal ($OH\bullet$) yang terbentuk dapat bereaksi dengan ozon melalui:



Disisi lain molekul organik (R) yang ada didalam limbah batik akan bereaksi dengan $OH\bullet$ membentuk organik radikal $R\bullet$. Reaksinya sebagai berikut:



Jika terdapat oksigen (O_2) didalam limbah batik maka molekul organik dapat terbentuk yaitu peroksiradikal ($ROO\bullet$). Reaksinya sebagai berikut:



Jadi, terdekomposisinya ozon karena terinisiasinya ion OH^- memicu terbentuknya $\text{OH}\cdot$ yang bereaksi sangat cepat dan non selektif. Hidroksil radikal memiliki waktu paruh $10\ \mu\text{s}$ pada konsentrasi $10^{-4}\ \text{M}$ yang artinya sangat baik untuk mendegradasi senyawa organik.

Dari setiap proses ozonisasi yang dilakukan selalu berdasarkan pada mekanisme reaksi langsung dan tidak langsung. Hal ini selalu berkaitan dengan pembentukan radikal $\text{OH}\cdot$ pada desintegrasi ozon dalam air yang merupakan oksidator lebih kuat dari reaksi dengan ozon secara langsung. Proses degradasi bahan organik pada air limbah batik menggunakan ozon dapat terjadi karena disebabkan oleh terbentuknya radikal bebas hidroksil ($\text{OH}\cdot$), mula-mula oksidasi oleh ozon akan dilanjutkan lagi oleh radikal $\text{OH}\cdot$ sampai terbentuk senyawa stabil yang tidak beracun lagi (Suparno, 2010).

Proses AOPs dalam pengujian air limbah batik menggunakan ozon ini dapat memutuskan rantai senyawa organik yang terkandung dalam air limbah. Sehingga proses AOPs ini apabila waktu reaksinya diperlama maka akan semakin turun pula kandungan COD dan warnanya. Adapun reaksinya sebagai berikut:



Berdasarkan penelitian-penelitian yang terdahulu dengan proses AOPs, pengujian kadar COD limbah batik diperoleh antara 380 - 260 mg/l. Sedangkan pada penelitian ini kadar COD limbah batik diperoleh 4775 mg/l dengan persentase removal 42,14%. Perbedaan ini disebabkan oleh beberapa faktor yang dapat menyebabkan hasil yang diperoleh pada pengujian, salah satunya yaitu dikarenakan oleh kandungan zat alami dan zat kimia yang terkandung didalam air limbah batik yang digunakan dalam setiap proses pembatikan berbeda-beda jumlahnya sehingga konsentrasi dari bahan organik yang terdapat didalam air limbah juga berbeda-beda. Kemudian juga disebabkan oleh waktu kontak yang kurang lama sehingga alat ozon generator pada pengujian tidak bisa meremoval secara maksimal.

Penurunan warna pada air limbah batik dipengaruhi oleh larutan hidrogen peroksida atau disebut juga proses AOPs. Turunnya konsentrasi warna setelah proses AOPs disini menunjukkan bahwa ikatan kimia rantai panjang yang menimbulkan sifat berwarna sudah mengalami perubahan atau putus menjadi rantai yang lebih pendek. Dengan putusnya rantai kimia panjang menjadi rantai yang lebih pendek, maka sifat warna dan sifat racun akan dapat berkurang (Rudi, 2005).

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Rudi dan Ikbal pada tahun 2005, pengujian zat warna limbah batik diperoleh antara 780 - 550 PtCo. Sedangkan pada penelitian ini zat warna air limbah batik diperoleh 4,776 PtCo dengan persentase removal sebesar 99,63%. Ada beberapa faktor yang menyebabkan perbedaan hasil pengujian yaitu dikarenakan oleh kandungan zat alami dan zat kimia yang terkandung didalam air limbah batik yang digunakan dalam setiap proses pembatikan berbeda-beda jumlahnya sehingga konsentrasi dari bahan organik yang terdapat didalam air limbah juga berbeda-beda. Kemudian juga disebabkan oleh waktu kontak yang kurang lama sehingga alat ozon generator pada pengujian tidak bisa meremoval secara maksimal.

Hasil ozonisasi air limbah batik dengan proses AOPs dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya derajat keasaman (pH), dosis ozon, waktu kontak dan objek yang diolah, dan suhu.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian penurunan parameter COD dan warna pada limbah batik menggunakan ozon, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kondisi optimum pada variasi dosis dan waktu kontak terhadap efisiensi penurunan COD dan warna dengan menggunakan ozon yaitu pada waktu kontak 9 menit dari variabel waktu 1 menit sampai 9 menit
2. Kemampuan efisiensi removal ozon terhadap penurunan kadar COD dan warna pada air limbah batik sebanyak 42,14% untuk pengujian COD dan 99,63% PtCo untuk pengujian warna.

1.2 Saran

Adapun saran dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagi peneliti selanjutnya perlu menambahkan waktu kontak yang lebih lama agar mendapatkan hasil penurunan COD dan warna lebih maksimal.
2. Perlu dilakukannya upaya terhadap faktor-faktor yang paling baik untuk proses AOPs sehingga hasilnya lebih efektif.

Daftar Pustaka

- Al-Kdasi, A., Idris, A., Saed, K. dan Guan, C.T., 2004. **Treatment of Textile Wastewater by Advanced Oxidation Processes**. *Global Nest the Int. J.* 6: 222-230.
- Anggita, E.P. 2014. **Efektivitas Penurunan Warna Menggunakan Ozon pada Pengolahan Air Limbah Batik**. Tugas Akhir. UII. Yogyakarta.
- Anggraini, U. 2011. **Studi Sintesis Ozon dengan Metode Lucutan Plasma**. Tugas Akhir. Universitas Brawijaya, Malang.
- Bablon et al. 1991. **Ozone in Water Treatment: Application and Engineering**. American Water Works Association Research Foundation, Denver, CO, pp. 11-132
- Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Industri Kerajinan dan Batik, **Buku Panduan Teknologi Pengolahan Limbah Industri Kecil Batik**, No. DP/BPPI/BBKB/12/01, Yogyakarta, 2001.
- Bong-Yul Tak., Bong-sik Tak., Young-Ju Kim., Yong-jin Park., Young-hun Yoon., Gil-ho Min. 2015. **Optimization of Color and COD Removal From Livestock Wastewater by Electrocoagulation Process: Application of Box-Behnken Design (BBD)**. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 307-315
- Dae-Hee A., Won-Seok C., Tai-II Y. 1999. **Dyestuff wastewater treatment using chemical oxidation, physical adsorption and fixed bed biofilm process**, *Process Biochemistry* 34: 429-439.

- Damanhuri, Enry. 1993. **Catatan Kuliah Statistika Lingkungan**. ITB. Bandung
- Eka, P, Anggita., 2014. **Efektivitas Penurunan Warna Menggunakan Ozon pada Pengolahan Air Limbah Batik. Tugas Akhir**. UII. Yogyakarta
- Fessenden, R. J., & Fessenden, J.S. (1990). **Kimia Organik (Aloysius, Trans. 1 ed.)**. Jakarta: Erlangga.
- Glaze, W.H, Kang, J.W., Chapin, D.H. 1987. **The chemistry of water treatment involving ozone hydrogen peroxide and ultraviolet radiation**. – Ozone Science and Engineering, 9: 335-342 [The first publication on the concept of “advanced oxidation processes]
- Heaton, Alan, **The Chemical Industry**. Second edition. Blackie Academic and Profesional. Chapman & Hal London, 1994
- Joko, Tri. 2010. **Unit Produksi dalam Sistem Penyediaan Air Minum**. Graha Ilmu. Yogyakarta
- Kasam., A. Yulianto, & A.E Rahmayanti. 2009. **Penurunan COD dan Warna Pada Limbah Industri Batik dengan Menggunakan *Aerobic roughing filter aliran horizontal***. *Logika*, 6(1); 27-31.
- Masschelein, W.J., 1998. **Ozone generation: use of air, oxygen, or air simpsonized with oxygen**. Ozone Science and Engineering 20, 191-203
- Megawati, R. 2012. **Pengolahan Limbah Laundry Menggunakan Reaktor Elektrokoagulasi Sitem Up Flow**. Tugas Akhir. UII. Yogyakarta
- Miranti Marina Sari, Sri Hartini, Sudarno. 2015. **Pemilihan Desain Instalasi Pengelolaan Air Limbah Batik Yang Efektif Dan Efisien Dengan**

Menggunakan Metode Life Cycle Cost. Universitas Diponegoro, Semarang.

Mizwar, Andy dan Nurin Nisa Farah Dina. 2012. **Penyisihan Warna Pada Limbah Cair Industri Sasirangan dengan Adsorpsi Karbon Aktif.** *Jurnal Info Teknik* Volume 13 Nomor 1, Juli 2012

Muljadi. 2009. **Efisiensi Instalasi Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Cetak dengan Metode Fisika-Kimia dan Biologi Terhadap Penurunan Parameter Pencemar BOD, COD, dan Logam Berat KROM (Cr).** Program Studi Ilmu Lingkungan Pasca Sarjana, Universitas Sebelas Maret. Surakarta.

Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor : 7 Tahun 2010. **Tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri, Pelayanan Kesehatan, dan Jasa Pariwisata**

Prado, J.; Chamarro, E. And Esplugas, S. 1992. **Wastewater treatment with ozone and UV radiation.** *Tecnología del agua*, 93, 26-32.

Qian Wu, Wen-Tao Li, Wei-Hua Yu, Yan Li, Ai Min Li. 2015. **Removal of Fluorescent Dissolved Organik Matter in Biologically Treated Textile Wastewater by Ozonatin-Biological Aerated Filter.** *Taiwan Institute of Chemical Engineers.*

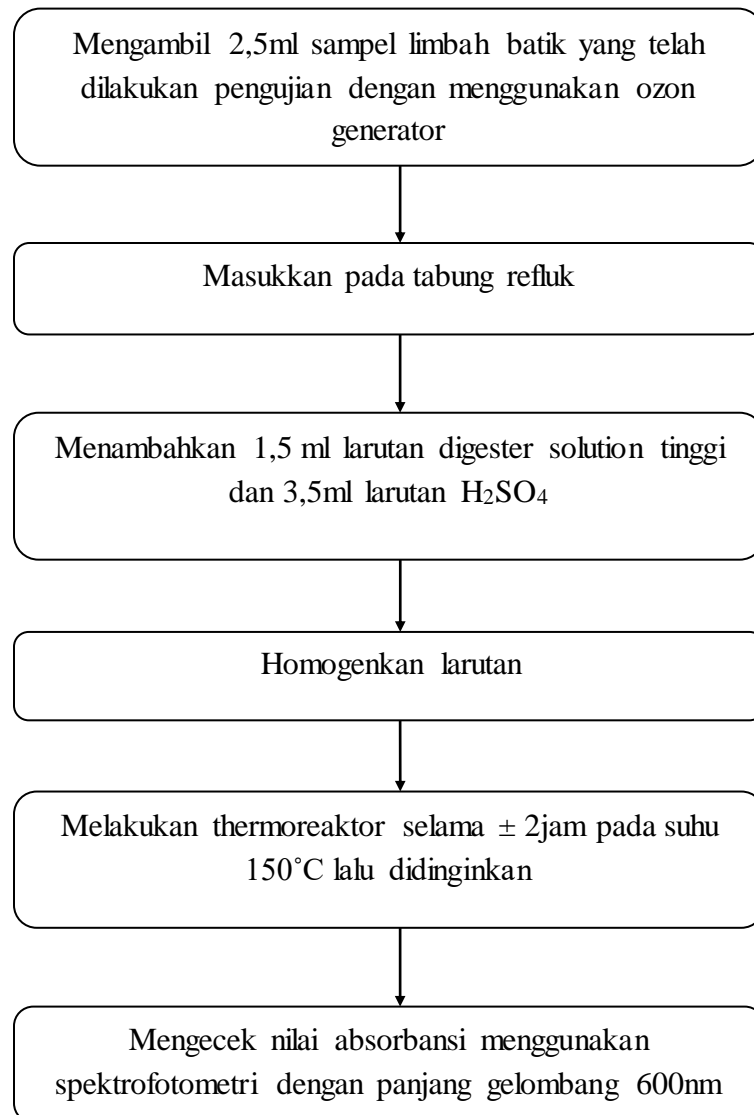
Rudi Nugroho dan Ikbal. 2005. **Kinetika Proses AOPs untuk Penghilangan Warna Air Limbah Produksi Batik.** *Jurnal Air Indonesia.* Vol 1 no 3 2005

- Sharma, S., Rupaelia, J. P., & Patel, M. L. 2011. **A general review on Advanced Oxidation Processes for waste water treatment.** Internasional Conference on Current Trends in Technology, 08, P.7.
- Sugiharto. 1987, **Dasar-dasar Pengolahan Air Limbah.** Universitas Indonesia (UI Press), Jakarta.
- Summerfelt, S.T., Hochheimer, 1997. **Review of ozone processes and applications as an oxidizing agent in aquaculture.** The Progressive Fish-Culturist 59, 94-105
- Suparno. 2010. **Degradasi Zat Warna Indigosol Dengan Metode Oksidasi Katalitik Menggunakan Zeolit Alam Teraktivasi dan Ozonasi.** Tesis. UI. Depok.
- Suphitcha Wijannarong, Sayam Aroomsrimorakat, Patana Thavipoke, Acharaporn Kumsopa dan Suntree Sangjan. 2013. **Removal of Reactive Dyes from Textile Dyeing Industrial Effluent by Ozonation Process.** *ICESD.* Dubai, UAE.
- Valdés H., Farfán V. J., Manoli J. A. & Zaror C. A. 2008. **Catalytic ozone aqueous decomposition promoted by natural zeolite and volcanic sand.** J. Hazard. Mater.

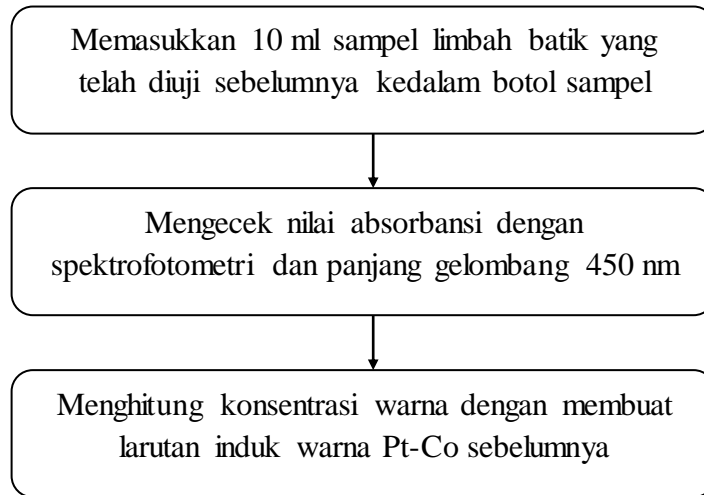
LAMPIRAN

Lampiran 1 : Langkah kerja pengujian limbah menggunakan ozon

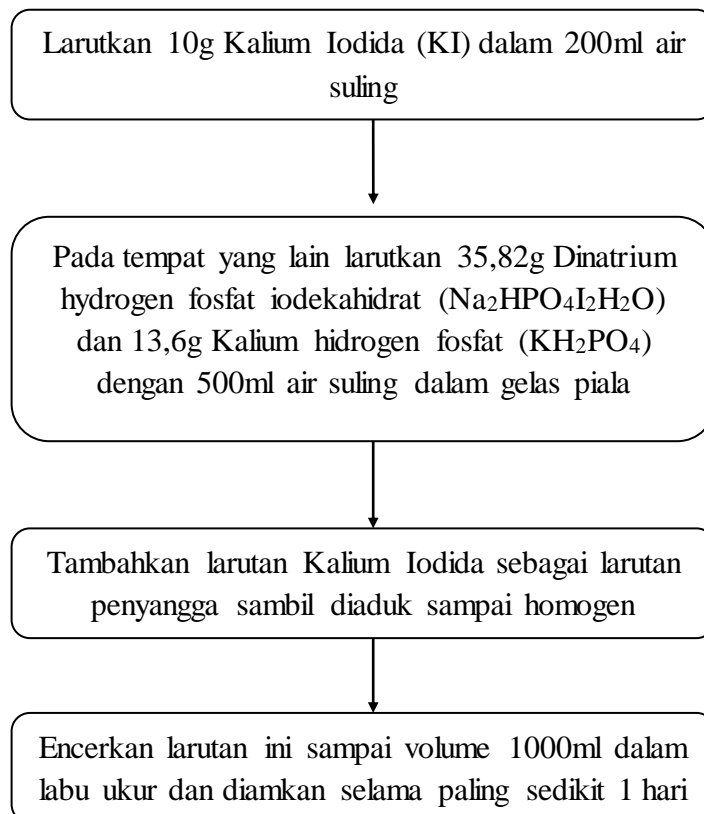
a. Prosedur Pengujian COD



b. Prosedur Pengujian Warna



c. Persiapan Larutan KI



Kemudian atur pH pada $6,8 \pm 0,2$ menggunakan larutan Natrium hydrogen fosfat (b/v) atau asam fosfat (H_3PO_4) 1% (b/v)

d. Uji Pendahuluan Larutan Penjerap KI

Persiapan larutan penjerap KI

Masukkan kedalam 12 labu takar masing-masing sebanyak 100ml (pengujian dilakukan secara triplo)

Mereaksikan ozon dengan larutan penjerap KI berdasarkan waktu kontak 1, 3, 6 dan 9 menit

Setelah pengujian selesai, catat nilai absorbansi pada panjang gelombang 508nm menggunakan spektrofotometer UV-VIS

Lampiran 2 : Data Penelitian

a. Hasil Pengujian Dosis Ozon dengan Larutan Penjerap

Tabel 1. Konsentrasi Ozon

Menit	Dosis Ozon	
	Uji Laboratorium (mg/l)	Perhitungan Teori (mg/l)
0	0	0
1	0,95	1,9
3	3,25	5,8
6	6,35	11,6
9	9,35	17,4

Perhitungan dosis ozon

Diperoleh :

$$Y_1 = 0,028$$
$$Y_2 = 0,074$$
$$Y_3 = 0,136$$
$$Y_4 = 0,196$$

Untuk mendapatkan dosis ozon yang akan digunakan, dihitung menggunakan persamaan :

$$Y = 0,020X + 0,009$$

a. Sampel 1 menit

$$Y = 0,020X + 0,009$$
$$0,020x = 0,028 - 0,009$$
$$X = \frac{0,028 - 0,009}{0,020}$$
$$X = \frac{0,019}{0,020}$$
$$X = 0,95 \text{ mg/L}$$

b. Sampel 3 menit

$$Y = 0,020X + 0,009$$

$$0,020x = 0,074 - 0,009$$

$$X = \frac{0,074 - 0,009}{0,020}$$

$$X = \frac{0,065}{0,020}$$

$$X = 3,25 \text{ mg/L}$$

c. Sampel 6 menit

$$Y = 0,020X + 0,009$$

$$0,020x = 0,136 - 0,009$$

$$X = \frac{0,136 - 0,009}{0,020}$$

$$X = \frac{0,127}{0,020}$$

$$X = 6,35 \text{ mg/L}$$

d. Sampel 9 menit

$$Y = 0,020X + 0,009$$

$$0,020x = 0,196 - 0,009$$

$$X = \frac{0,196 - 0,009}{0,020}$$

$$X = \frac{0,187}{0,020}$$

$$X = 9,35 \text{ mg/L}$$

b. Hasil Perhitungan COD

Kurva Kalibrasi COD

Tabel 2. Persamaan garis linear

No	Konsentrasi (X)	Absorbansi (Y)	X ²	XY
1	200	0,111	40000	22,2
2	400	0,194	160000	77,6
3	600	0,266	360000	159,6
4	800	0,333	640000	266,4
Total	2000	0,904	1200000	525,8
Rata-rata	500	0,226	300000	131,45

Mencari nilai a dan b untuk persamaan garis $Y = bx + a$

$$b = \frac{\sum x_i y_i - ((\sum x_i \sum y_i)/n)}{\sum x_i^2 - ((\sum x_i)^2)/n}$$

$$b = \frac{525,8 - ((2000 \times 0,904)/4)}{1200000 - ((2000)^2/4)}$$
$$= 0,0004$$

$$a = [0,904 - (0,0004 \times 2000)]/4$$
$$= 0,041$$

Diperoleh nilai absorbansi COD awal:

$$Y = 0,346$$

$$Y = bx + a$$

$$X = \frac{((0,346 - 0,041))}{0,0004} \times 100$$

$$= 8252 \text{ mg/l}$$

Jadi konsentrasi awal limbah batik sebesar 8252 mg/l

Pengujian COD menggunakan Ozon

a. Percobaan Pertama

Nilai absorbansi setelah dilakukan running dengan volume sampel 500ml pada percobaan pertama adalah:

$$1 \text{ menit} = 0,340$$

$$3 \text{ menit} = 0,335$$

$$6 \text{ menit} = 0,329$$

$$9 \text{ menit} = 0,324$$

Menit ke 1

$$\begin{aligned} X &= \frac{(0,340 - (0,041))}{0,0004} \times 10 \\ &= 7475 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

Menit ke 3

$$\begin{aligned} X &= \frac{(0,335 - (0,041))}{0,0004} \times 10 \\ &= 7350 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

Menit ke 6

$$\begin{aligned} X &= \frac{(0,329 - (0,041))}{0,0004} \times 10 \\ &= 7200 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

Menit ke 9

$$\begin{aligned} X &= \frac{(0,324 - (0,041))}{0,0004} \times 10 \\ &= 7075 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

b. Percobaan Kedua

Nilai absorbansi setelah dilakukan running dengan volume sampel 500ml pada percobaan kedua adalah:

$$1 \text{ menit} = 0,338$$

$$3 \text{ menit} = 0,331$$

$$6 \text{ menit} = 0,327$$

$$9 \text{ menit} = 0,319$$

Menit ke 1

$$\begin{aligned} X &= \frac{(0,338 - (0,041))}{0,0004} \times 10 \\ &= 7425 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

Menit ke 3

$$\begin{aligned} X &= \frac{(0,331 - (0,041))}{0,0004} \times 10 \\ &= 7250 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

Menit ke 6

$$\begin{aligned} X &= \frac{(0,327 - (0,041))}{0,0004} \times 10 \\ &= 7150 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

Menit ke 9

$$\begin{aligned} X &= \frac{(0,319 - (0,041))}{0,0004} \times 10 \\ &= 6950 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

Menghitung nilai persentase penurunan kadar COD

$$\% \text{ removal} = [(C_o - C) / C_o] \times 100$$

a. Percobaan Pertama

$$\begin{aligned} \text{Menit ke 1} &= [(8252 - 7475) / 8252] \times 100 \\ &= 9,42\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Menit ke 3} &= [(8252 - 7350) / 8252] \times 100 \\ &= 10,93\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Menit ke 2} &= [(8252 - 7200) / 8252] \times 100 \\ &= 12,75\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Menit ke 2} &= [(8252 - 7075) / 8252] \times 100 \\ &= 14,26\% \end{aligned}$$

b. Percobaan Kedua

$$\begin{aligned} \text{Menit ke 1} &= [(8252 - 7425) / 8252] \times 100 \\ &= 10,02\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Menit ke 3} &= [(8252 - 7250) / 8252] \times 100 \\ &= 12,14\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Menit ke 2} &= [(8252 - 7150) / 8252] \times 100 \\ &= 13,35\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Menit ke 2} &= [(8252 - 6950) / 8252] \times 100 \\ &= 15,78\% \end{aligned}$$

Pengujian COD menggunakan Ozon dan Hidrogen Peroksida

a. Percobaan Pertama

Nilai absorbansi setelah dilakukan running dengan volume sampel 500ml pada percobaan pertama adalah:

$$1 \text{ menit} = 0,286$$

$$3 \text{ menit} = 0,280$$

$$6 \text{ menit} = 0,249$$

$$9 \text{ menit} = 0,232$$

Menit ke 1

$$\begin{aligned} X &= \frac{(0,286 - (0,041))}{0,0004} \times 10 \\ &= 6125 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

Menit ke 3

$$\begin{aligned} X &= \frac{(0,280 - (0,041))}{0,0004} \times 10 \\ &= 5975 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

Menit ke 6

$$\begin{aligned} X &= \frac{(0,249 - (0,041))}{0,0004} \times 10 \\ &= 5200 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

Menit ke 9

$$\begin{aligned} X &= \frac{(0,232 - (0,041))}{0,0004} \times 10 \\ &= 4775 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

b. Percobaan Kedua

Nilai absorbansi setelah dilakukan running dengan volume sampel 500ml pada percobaan kedua adalah:

$$1 \text{ menit} = 0,272$$

$$3 \text{ menit} = 0,270$$

$$6 \text{ menit} = 0,260$$

$$9 \text{ menit} = 0,253$$

Menit ke 1

$$\begin{aligned} X &= \frac{(0,272 - (0,041))}{0,0004} \times 10 \\ &= 5775 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

Menit ke 3

$$\begin{aligned} X &= \frac{(0,270 - (0,041))}{0,0004} \times 10 \\ &= 5725 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

Menit ke 6

$$\begin{aligned} X &= \frac{(0,260 - (0,041))}{0,0004} \times 10 \\ &= 5475 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

Menit ke 9

$$\begin{aligned} X &= \frac{(0,253 - (0,041))}{0,0004} \times 10 \\ &= 5300 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

Menghitung nilai persentase penurunan kadar COD

$$\% \text{ removal} = [(C_o - C) / C_o] \times 100$$

a. Percobaan Pertama

$$\begin{aligned} \text{Menit ke 1} &= [(8252 - 6125) / 8252] \times 100 \\ &= 25,78\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Menit ke 3} &= [(8252 - 5975) / 8252] \times 100 \\ &= 27,59\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Menit ke 2} &= [(8252 - 5200) / 8252] \times 100 \\ &= 36,98\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Menit ke 2} &= [(8252 - 4775) / 8252] \times 100 \\ &= 42,14\% \end{aligned}$$

b. Percobaan Kedua

$$\begin{aligned} \text{Menit ke 1} &= [(8252 - 5775) / 8252] \times 100 \\ &= 30,02\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Menit ke 3} &= [(8252 - 5725) / 8252] \times 100 \\ &= 30,62\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Menit ke 2} &= [(8252 - 5475) / 8252] \times 100 \\ &= 33,65\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Menit ke 2} &= [(8252 - 5300) / 8252] \times 100 \\ &= 35,77\% \end{aligned}$$

c. Hasil Perhitungan Warna

Tabel 10. Persamaan garis linear

No	X	Y	(Xi-Xr)	(Xi-Xr) ²	X ²	XY
1	80	0,016	65	4209	6400	1,28
2	120	0,018	105	11000	14400	2,16
3	140	0,02	125	15595	19600	2,8
4	160	0,024	145	20990	25600	3,84
5	180	0,028	165	27185	32400	5,04
Total	680	0,106		78980	98400	10,08
Rata-rata	136	0,0212			19680	2,52

Mencari nilai a dan b untuk persamaan garis $Y = bX + a$

$$b = \frac{\sum xi yi - ((\sum xi \sum yi)/n)}{\sum xi^2 - ((\sum xi)^2)/n}$$

$$b = \frac{15,12 - ((680 \times 0,106)/5)}{98400 - ((680)^2)/5}$$

$$= 0,00012$$

$$a = [0,106 - (0,00012 \times 680)]/5$$

$$= 0,0050$$

$$Y = bX + a$$

$$X = \frac{[(0,054 - (0,0050)]}{0,00012} \times 100$$

$$= 1072 \text{ mg/l Pt-Co}$$

Jadi konsentrasi limbah warna awal sebesar 1072 mg/l Pt-Co

Pengujian Warna Menggunakan Ozon

a. Percobaan Pertama

Nilai konsentrasi setelah dilakukan running dengan volume 500ml pada percobaan pertama adalah:

$$1 \text{ menit} = 27,176$$

$$3 \text{ menit} = 24,576$$

$$6 \text{ menit} = 23,176$$

$$9 \text{ menit} = 20,776$$

b. Percobaan Kedua

Nilai konsentrasi setelah dilakukan running dengan volume 500ml pada percobaan kedua adalah:

$$1 \text{ menit} = 25,576$$

$$3 \text{ menit} = 23,976$$

$$6 \text{ menit} = 22,776$$

$$9 \text{ menit} = 20,376$$

Menghitung nilai persentase penurunan kadar warna

$$\% \text{ removal} = [(C_0 - C) / C_0] \times 100$$

a. Percobaan Pertama

$$\begin{aligned} \text{Menit ke 1} &= [(1072 - 27,176) / 1072] \times 100 \\ &= 97,17\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Menit ke 3} &= [(1072 - 24,576) / 1072] \times 100 \\ &= 97,70\% \end{aligned}$$

$$\text{Menit ke 6} = [(1072 - 23,276) / 1072] \times 100$$

$$= 97,83\%$$

$$\begin{aligned}\text{Menit ke 9} &= [(1072 - 20,776) / 1072] \times 100 \\ &= 98,06\%\end{aligned}$$

b. Percobaan Kedua

$$\begin{aligned}\text{Menit ke 1} &= [(1072 - 26,576) / 1072] \times 100 \\ &= 97,56\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Menit ke 3} &= [(1072 - 23,976) / 1072] \times 100 \\ &= 97,76\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Menit ke 6} &= [(1072 - 22,776) / 1072] \times 100 \\ &= 97,87\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Menit ke 9} &= [(1072 - 20,376) / 1072] \times 100 \\ &= 98,09\%\end{aligned}$$

Pengujian Warna Menggunakan Ozon dan Hidrogen Peroksida

a. Percobaan Pertama

Nilai konsentrasi setelah dilakukan running dengan volume 500ml pada percobaan pertama adalah:

$$1 \text{ menit} = 11,576$$

$$3 \text{ menit} = 9,176$$

$$6 \text{ menit} = 5,776$$

$$9 \text{ menit} = 3,976$$

b. Percobaan Kedua

Nilai konsentrasi setelah dilakukan running dengan volume 500ml pada percobaan kedua adalah:

1 menit	= 11,776
3 menit	= 9,976
6 menit	= 6,176
9 menit	= 4,776

Menghitung nilai persentase penurunan kadar warna

$$\% \text{ removal} = [(C_o - C) / C_o] \times 100$$

a. Percobaan Pertama

$$\begin{aligned} \text{Menit ke 1} &= [(1072 - 11,576) / 1072] \times 100 \\ &= 98,92\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Menit ke 3} &= [(1072 - 9,176) / 1072] \times 100 \\ &= 99,14\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Menit ke 6} &= [(1072 - 5,776) / 1072] \times 100 \\ &= 99,46\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Menit ke 9} &= [(1072 - 3,976) / 1072] \times 100 \\ &= 99,63\% \end{aligned}$$

b. Percobaan Kedua


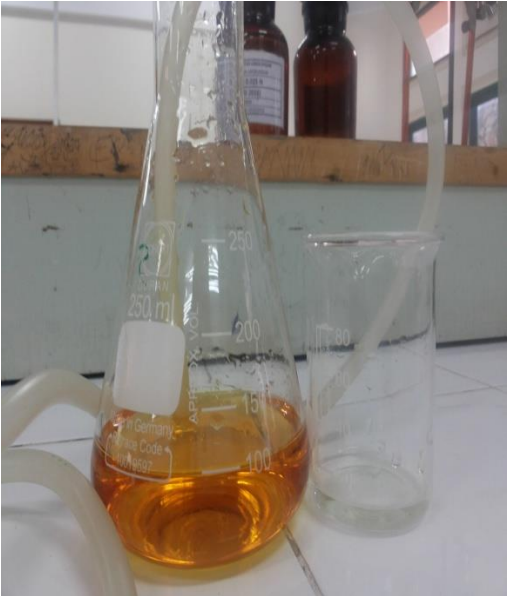
$$\begin{aligned} \text{Menit ke 1} &= [(1072 - 11,776) / 1072] \times 100 \\ &= 98,90\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Menit ke 3} &= [(1072 - 9,976) / 1072] \times 100 \\ &= 99,07\% \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{Menit ke 6} &= [(1072 - 6,176) / 1072] \times 100 \\ &= 99,42\% \end{aligned}$$


$$\begin{aligned} \text{Menit ke 9} &= [(1072 - 4,776) / 1072] \times 100 \\ &= 99,55\% \end{aligned}$$

LAMPIRAN 3 : DOKUMENTASI PENELITIAN

No	Gambar	Keterangan
1.	 A photograph showing a dark brown glass bottle on the left and a beaker on the right. The beaker contains a light green liquid and has a glass tube inserted into it. The beaker has the number '0.98' written on it in blue ink. The background shows a laboratory setting with a white tiled surface.	Larutan KI untuk penjerap ozon
2.	 A photograph showing a 250 ml Erlenmeyer flask on the left containing an orange liquid. A glass tube is inserted into the flask. To the right of the flask is a beaker. The background shows a laboratory setting with a white tiled surface and some bottles on a shelf.	Proses Uji Ozon dengan Larutan Penjerap KI

No.	Gambar	Keterangan
3.		Larutan KI yang siap diabsorbansi
4		Pengadukan Air Limbah Batik Sebelum dilakukan Pengujian

No	Gambar	Keterangan
5		<p>Pengujian Air Limbah Batik dengan menggunakan Ozon Generator</p>
6		<p>Proses Penyaringan untuk uji Warna</p>

No	Gambar	Keterangan
7		Larutan siap uji COD pada spektrofotometer