



UNIVERSITAS INDONESIA

**SIGNIFIKANSI PENGGUNAAN ZEOLIT ALAM PADA
PROSES OZONASI UNTUK DISINFEKSI HAMA BAKTERI
Xanthomonas oryzae pv. oryzae PADA TANAMAN PADI**

SKRIPSI

FEMMY KARIMA YANUARTA

0806456543

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA**

DEPOK

JANUARI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

**SIGNIFIKANSI PENGGUNAAN ZEOLIT ALAM PADA
PROSES OZONASI UNTUK DISINFEKSI HAMA BAKTERI
Xanthomonas oryzae pv. oryzae PADA TANAMAN PADI**

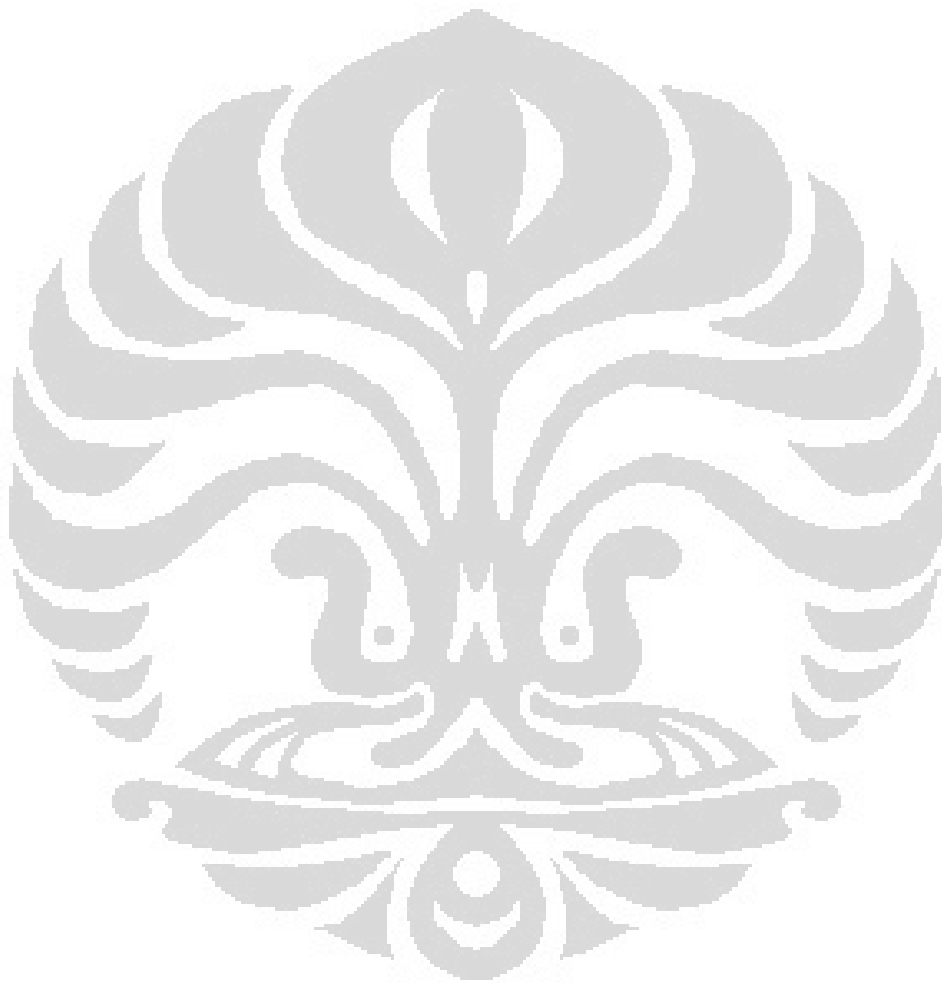
SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik**

FEMMY KARIMA YANUARTA

0806456543

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
DEPOK
JANUARI 2012**

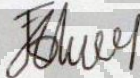


HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Femmy Karima Yanuarta

NPM : 0806456543

Tanda Tangan : 

Tanggal : 19 Januari 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Femmy Karima Yanuarta
NPM : 0806456543
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Signifikansi Penggunaan Zeolit Alam pada Proses Ozonasi untuk Disinfeksi Hama Bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* pada Tanaman Padi

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Eva Fathul Karamah, M.T.

Penguji : Prof. Dr. Ir. Setijo Bismo, DEA

Penguji : Prof. Ir. Sutrasno Kartohardjono, MSc., PhD

Penguji : Dr. Ing. Donni Adinata, ST, M.Eng. Sc

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 19 Januari 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Kimia pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. Eva Fathul Karamah, M.T. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran, serta kesabaran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
2. Keluarga (mami, papi, dan Agita) yang telah memberi dukungan dan doa, baik secara langsung maupun tidak langsung.
3. Prof. Dr. Ir. Setijo Bismo, DEA selaku Kepala Laboratorium Teknologi Intensifikasi Proses.
4. Para dosen dan karyawan Departemen Teknik Kimia FTUI yang telah memberi ilmu dan membagi wawasannya.
5. Mbak Tiwi, Kak Ius, Mas Eko, Mang Ijal, Kang Jajat, Mas Taufik, Mas Heri, Mas Sri, Mas Rinan, dan Mas Mugeni atas bantuannya selama ini.
6. Bu Suci dan Bu Rita, selaku mentor dan pembimbing dari Lab. Biokimia Mikrobiologi LIPI Cibinong.
7. Dr. Wibowo Mangun Wardoyo, M.Sc. dari Fakultas MIPA UI atas bantuannya dalam hal pengukuran jumlah bakteri.
8. Fami Adetyas, Ibnu Syafiq, Yan Mulders Togar, dan Andry Prasthio selaku partner di laboratorium yang sangat membantu selama proses penelitian.
9. Tania Desela, Servatius Bismandityo, Chandra Hadiwijaya, Nadhila Andhanis, Hilman Utama, Kenny Viriya, Gregorius Stefanus, dan Habibburahman atas kerjasamanya selama semester 7.
10. Ronaldo Putra, Elvina Fitriasia, Ariyani Raidah, Yosmarina Harahap, Sara Mutiara, Sari Pratiwi, Glifanny Ramadhani, Mondya Purna, Diana Augusta,

Rendi Akbar, Arif Frianda, Rizky Dirga, dan Agastya Sesarianda atas dukungan, bantuan, dan semangat yang selalu diberikan.

11. Teman – teman di riset grup Teknologi Intensifikasi Proses, yang telah membantu dan memberikan suasana segar di laboratorium selama penelitian.
12. Teman – teman di Laboratorium Teknologi Bioproses dan Laboratorium Dasar Proses Kimia, yang telah membantu dan memberikan suasana segar di laboratorium selama penelitian.
13. Teman – teman Teknik Kimia 2008 atas semangat dan informasinya selama ini.
14. Pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah memberikan bantuannya selama penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Januari 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Femmy Karima Yanuarta

NPM : 0806456543

Program Studi : Teknik Kimia

Departemen : Teknik Kimia

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**Signifikansi Penggunaan Zeolit Alam pada Proses Ozonasi untuk Disinfeksi
Hama Bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* pada Tanaman Padi**

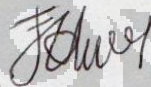
serta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 19 Januari 2012

Yang menyatakan



(Femmy Karima Yanuarta)

ABSTRAK

Nama : Femmy Karima Yanuarta
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Penelitian : Signifikansi Penggunaan Zeolit Alam pada Proses Ozonasi untuk Disinfeksi Hama Bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* pada Tanaman Padi

Salah satu penyakit yang menyebabkan turunnya produktivitas beras di Indonesia adalah Kresek, yang disebabkan oleh bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* yang menyebar lewat air hujan dan/atau air irigasi, dan menyerang daun tanaman padi. Teknologi ozon yang dikombinasi dengan zeolit alam Lampung sebagai konsentrator adsorptif untuk meningkatkan efektivitas ozonasi dapat mendisinfeksi bakteri tersebut. Pada penelitian ini akan diuji disinfeksi bakteri menggunakan proses ozonasi dengan dan tanpa zeolit pada air yang terkontaminasi bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*, dengan variasi dosis zeolit. Tingkat efektivitas disinfeksi ditentukan dengan menganalisis sampel sebelum dan sesudah disinfeksi dengan metode *Total Plate Count*. Dari penelitian ini, disimpulkan bahwa penggunaan zeolit dapat menyebabkan turunnya jumlah ozon yang digunakan untuk proses disinfeksi. Dengan menggunakan zeolit, jumlah ozon yang diperlukan untuk mendisinfeksi bakteri lebih rendah dibandingkan tanpa menggunakan zeolit, dan semakin besar dosis zeolit yang digunakan akan memperendah jumlah ozon yang diperlukan untuk mendisinfeksi bakteri.

Kata kunci: Ozon, zeolit, disinfeksi, *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*, bakteri padi, Kresek

ABSTRACT

Name : Femmy Karima Yanuarta
Study Program : Chemical Engineering
Title : The Significance of Natural Zeolite Utilization in Ozonation process for Disinfection *Xanthomonas oryzae pv.oryzae* Bacteria at Paddy Plant

One of the disease that cause the degradation of hulled rice productivity at Indonesia is Kresek which caused by *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* bacteria that can spread through rain water or irrigation that attack the leafs on paddies. Ozone technology combined with Lampung Natural Zeolite as the adsorption concentrator to enhance the effectiveness of ozonation which could disinfect those bacteria. In this experiment, the bacteria disinfection will be tested using the ozonation process both using and not using the zeolite at the water contaminated by the *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* bacteria. Various dosage of zeolite will be the variable for this experiment. The effectiveness of disinfection process is analyzed by Total Plate Count method. From this experiment, it can be concluded that the using of natural zeolite, the amount of ozone used to disinfect the bacteria will decrease compare to experiment without using zeolite and also by the increase of zeolite dosages that is used will decrease the amount of ozone needed to disinfect the bacteria.

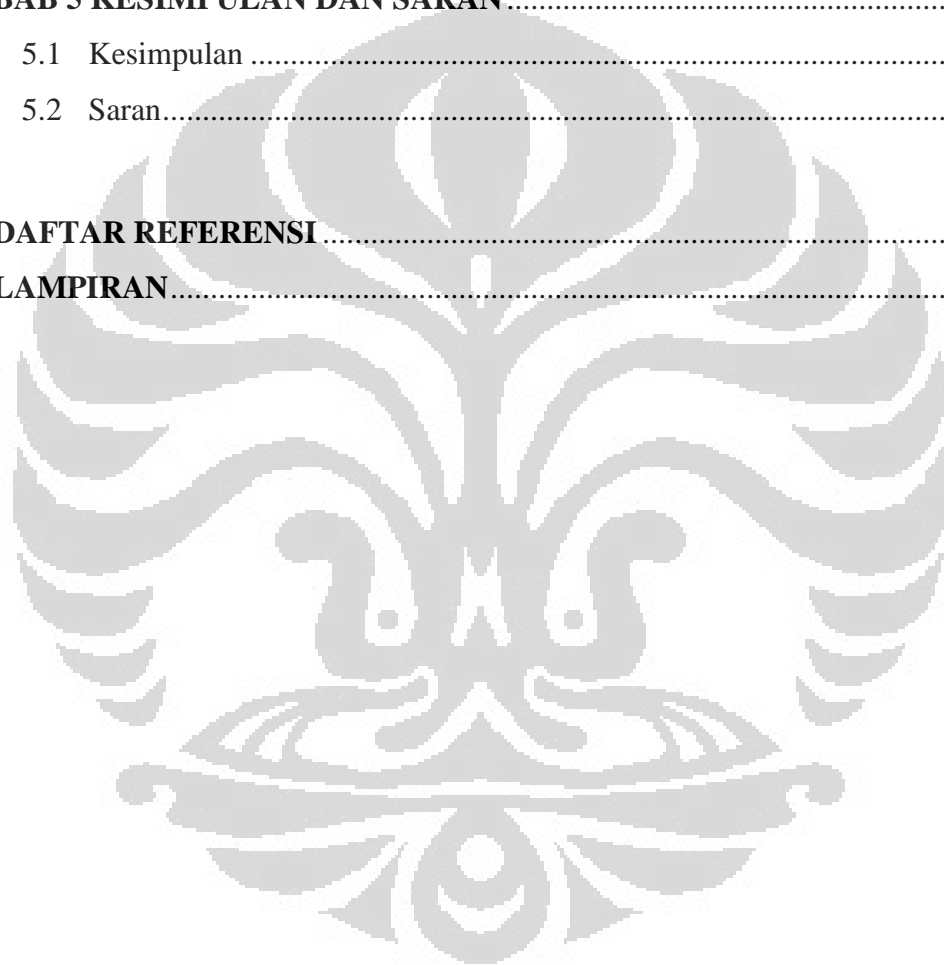
Keyword : Ozone, zeolite, disinfection, *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*, paddy, Kresek

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Penelitian.....	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Bakteri <i>Xanthomonas oryzae pv. oryzae</i>	6
2.1.1 Klasifikasi Bakteri <i>Xanthomonas oryzae pv. oryzae</i>	6
2.2 Penyakit Kresek/BLB (<i>Bacterial Leaf Bright</i>).....	8
2.3 Ozon	11
2.3.1 Sifat Fisika dan Kimia Ozon.....	12
2.3.2 Ozon Sebagai Disinfektan.....	14
2.3.3 Ozon dalam Air	16
2.4 Zeolit	17
2.4.1 Struktur dan Jenis Zeolit	18

2.4.2 Sifat-Sifat Zeolit.....	19
2.5 Zeolit Alam Lampung Berjenis Klinoptilolit.....	21
2.6 Kemampuan Zeolit Mengabsorpsi Bakteri	22
2.7 Kombinasi Proses Ozonasi dan Zeolit Alam	24
2.7.1 Kombinasi Ozon dan Zeolit dalam Proses Disinfeksi Bakteri.....	25
2.7.2 Analisis Efektivitas Disinfeksi Bakteri	26
BAB III METODE PENELITIAN	27
3.1 Diagram Alir Penelitian	27
3.2 Skema Alat Penelitian	29
3.3 Variabel dalam Penelitian	30
3.4 Alat dan Bahan Penelitian.....	30
3.4.1 Alat.....	30
3.4.2 Bahan.....	32
3.5 Tahap Inkubasi Bakteri	33
3.5.1 Prosedur Inkubasi Bakteri.....	33
3.6 Tahap Preparasi Zeolit Alam	34
3.6.1 Prosedur <i>Pre-Treatment</i> Zeolit	34
3.7 Proses Disinfeksi.....	35
3.7.1 Preparasi Bahan-bahan yang Dibutuhkan	35
3.7.2 Prosedur Penelitian.....	36
3.7.2.1 Uji Produktivitas Ozon.....	36
3.7.2.2 Disinfeksi dengan Ozon.....	36
3.7.2.3 Disinfeksi dengan Ozon dan Zeolit.....	37
3.7.3 Analisis Sampel.....	38
3.7.3.1 Uji Produktivitas Ozon.....	38
3.7.3.2 Uji Konsentrasi Ozon yang Terlarut dalam Air Sampel	38
3.7.3.3 Uji Konsentrasi ozon pada Gas Keluaran	38
3.7.3.4 Analisis Jumlah Koloni Bakteri	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1 Analisis Produktivitas Ozonator <i>Resun</i>	40

4.2	Karakterisasi Zeolit Alam Lampung.....	42
4.3	Disinfeksi Bakteri <i>Xanthomonas oryzae pv. oryzae</i> dengan Proses Ozonasi.....	45
4.4	Disinfeksi Bakteri dengan Proses Ozonasi dan Zeolit Alam Lampung.....	47
4.5	Pengaruh Penambahan Zeolit Alam pada Proses Ozonasi dalam Disinfeksi.....	49
4.6	Pengaruh Aktivasi Zeolit Alam pada Proses Ozonasi dalam Disinfeksi Bakteri	56
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....		58
5.1	Kesimpulan	58
5.2	Saran.....	60
DAFTAR REFERENSI.....		61
LAMPIRAN.....		64



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Bakteri dalam Kelompok Basil	6
Gambar 2. 2 Koloni <i>Xanthomonas oryzae pv. oryzae</i> Pada Media Agar.....	7
Gambar 2. 3 Daun Padi yang Terkena Penyakit Kresek	9
Gambar 2. 4 Struktur Resonansi Ozon.....	13
Gambar 2. 5 Disinfeksi Bakteri oleh Ozon	15
Gambar 2. 6 Tetrahedra Alumina dan Silika pada Struktur Zeolit	18
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 3. 2 Skema Penelitian	29
Gambar 4. 1 Pengaruh Aktivasi dan Preparasi pada Luas Permukaan Zeolit Alam	43
Gambar 4. 2 Pengaruh Aktivasi dan Preparasi pada Volume Pori Zeolit Alam	43
Gambar 4. 3 Pengaruh Aktivasi dan Preparasi pada Ukuran Pori Zeolit Alam.....	44
Gambar 4. 4 Hasil Analisa TPC Tanpa Zeolit	50
Gambar 4. 5 Hasil Analisa TPC Dengan Zeolit.....	51
Gambar 4. 6 Perbandingan Massa Ozon sebagai Disinfektan <i>X. oryzae pv. oryzae</i>	53
Gambar 4. 7 Presentase Disinfeksi Bakteri <i>X. oryzae pv. oryzae</i>	54
Gambar 4. 8 Perbandingan Massa ozon dan Rasio Disinfeksi Bakteri.....	55

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sifat Fisik Ozon	12
Tabel 2. 2 Hubungan Suhu dan kelarutan Ozon dalam Air	13
Tabel 2. 3 Oksidator dan Potensial Oksidasinya.....	14
Tabel 2. 4 Kapasitas Tukar Kation pada Zeolit	20
Tabel 2. 5 Karakteristik Zeolit Alam Indonesia.....	21
Tabel 2. 6 Komponen Penyusun Zeolit Alam Lampung.....	22
Tabel 3. 1 Daftar Alat yang Digunakan dalam Penelitian	31
Tabel 3. 2 Daftar Bahan yang Digunakan dalam Penelitian	32
Tabel 4. 1 Data Percobaan pada Analisis Produktivitas Ozonator.....	41
Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan pada Analisis Produktivitas Ozonator	42
Tabel 4. 3 Hasil Disinfeksi dengan Proses Ozonasi Tanpa Zeolit	46
Tabel 4. 4 Hasil Disinfeksi dengan Proses Ozonasi dengan 2 g/L Zeolit	48
Tabel 4. 5 Hasil Disinfeksi dengan Proses Ozonasi dengan 4 g/L Zeolit	48
Tabel 4. 6 Hasil Disinfeksi dengan Proses Ozonasi dengan 6 g/L Zeolit	48
Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan Ozon di Larutan pada Percobaan Tanpa Bakteri.....	50
Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan Ozon di Larutan pada Percobaan dengan Bakteri	51
Tabel 4. 9 Massa Ozon sebagai Disinfektan	52
Tabel 4. 10 Presentase Disinfeksi Bakteri <i>Xanthomonas oryzae pv. oryzae</i>	54
Tabel 4. 10 Hasil Disinfeksi Menggunakan Zeolit Tanpa Proses Aktivasi	56
Tabel 4. 11 Perbandingan Disinfeksi dengan Perbedaan Proses Aktivasi Zeolit	56

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pengukuran Kadar Ozon dengan Metode Iodometri	64
Lampiran 2. Karakteristik Zeolit Alam Sebelum Proses Preparasi dan Aktivasi	65
Lampiran 3. Karakterisasi Zeolit Alam Setelah Proses Preparasi dan Aktivasi	67
Lampiran 4. Data Perhitungan Ozon Off Gas pada Disinfeksi Bakteri dengan Ozonasi.....	69
Lampiran 5. Data Perhitungan Ozon Off Gas pada Percobaan Tanpa Bakteri	70



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Perubahan iklim yang tidak menentu menjadi salah satu faktor terjadinya gagal panen pada tanaman padi di berbagai daerah di Indonesia. Selain itu, gagal panen juga banyak disebabkan oleh serangan wereng, penggerek batang, dan adanya hama. Buruknya musim tanam padi terjadi secara merata dan berdampak terhadap penurunan produksi padi nasional sebanyak 5 hingga 8 persen. Hal ini menyebabkan harga gabah meningkat cukup tajam. Harga gabah kering panen kualitas standar di tingkat petani saat ini Rp 3.000-Rp 3.300 per kilogram, jauh di atas harga pembelian pemerintah yang hanya Rp 2.640 per kilogram. Disamping itu, penurunan produksi padi nasional juga mengakibatkan kurangnya asupan pangan sehingga mendorong pemerintah untuk mengimpor beras untuk menambah stok beras pada Bulog. Menko Perekonomian Hatta Rajasa mengatakan, hingga saat ini Indonesia yang merupakan salah satu negara penghasil beras, telah mengimpor 500 ribu ton beras untuk pasokan Bulog (Hida, 2010). Untuk menyelesaikan masalah ini, salah satu cara yang dapat dilakukan adalah mengatasi masalah gagal panen yang sering terjadi.

Salah satu penyebab terjadinya gagal panen belakangan ini adalah penyakit kresek atau hawar daun bakteri yang disebabkan oleh adanya bakteri *Xanthomonas oryzae* pv. *Oryzae*. Penyakit hawar daun bakteri merupakan penyakit yang tersebar luas di pertanaman padi sawah dan bisa menurunkan hasil panen hingga 36% (Andayani, 2010). Bakteri penyakit ini dapat menyebar melalui angin dan hujan, dan terutama melalui banjir dan air irigasi (Dath and Devadath, 1983).

Salah satu cara disinfektasi bakteri adalah dengan metode ozonasi. Ozon memiliki keunggulan sebagai oksidator kuat dan disinfektan bakteri dan virus. Ozon sebagai disinfektan mampu membunuh berbagai jenis mikroorganisme, contohnya virus, jamur, dan bakteri, 3000 kali lebih cepat dibandingkan klorin tanpa menghasilkan produk dekomposisi yang berbahaya (Bocci, 2002). Pada penelitian mengenai proses ozonasi pada bakteri *Xanthomonas oryzae* pv. *Oryzae*

yang telah dilakukan sebelumnya, terbukti bahwa proses ozonasi dengan laju alir 300 ml/min selama 3 menit pada bakteri dengan konsentrasi sel 0,008 OD pada 540 nm dapat mendisinfeksi bakteri (Mohan et al., 2005).

Pada penelitian ini proses ozonasi yang dilakukan digabungkan dengan penggunaan zeolit alam yang berfungsi sebagai adsorben sekaligus katalis. Selama ini, penggunaan zeolit dalam proses ozonasi adalah untuk degradasi senyawa organik (Fujita et al., 2004a, Fujita et al., 2004b, Amin et al., 2010) dan belum digunakan untuk disinfeksi bakteri. Ketersediaan zeolit alam sangat melimpah di Indonesia, harganya relatif terjangkau dan mudah didapatkan. Hal ini didukung dengan letak geografis Indonesia yang berada di jalur pegunungan berapi dunia membuatnya menjadi kaya akan potensi sumber daya alam, seperti batuan gunung berapi yang merupakan sumber mineral zeolit. Untuk kepentingan komersial, zeolit alam yang ada di Indonesia belum dimanfaatkan secara optimal. Zeolit alam digunakan dalam penelitian ini karena luas permukaan zeolit yang besar dapat melekatkan mikroorganisme seperti bakteri (Kallo, 2001, Widiastuti et al., 2008), zeolit memiliki kemampuan mengadsorpsi bakteri secara selektif bergantung pada pH (Kubota et al., 2008). Zeolit juga dapat mengadsorpsi ozon dalam jumlah tertentu (Fujita et al., 2004a, Fujita et al., 2004b), sehingga memungkinkan kombinasi teknologi ozon dengan zeolit. Melalui proses ozonasi dengan adsorben zeolit alam pada air irigasi pada sawah, bakteri *Xanthomonas oryzae pv. Oryzae* dapat terdisinfeksi, sehingga dapat mengatasi gagal panen yang merupakan salah satu permasalahan nasional belakangan ini.

Dalam penelitian ini, akan diselidiki signifikansi penggunaan zeolit alam untuk disinfeksi bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* dengan ozon. Bakteri akan diuji disinfeksi hanya dengan ozon, dan pengujian lainnya dengan kombinasi ozon dan zeolit. Hasilnya akan dibandingkan dengan cara menganalisis kandungan bakteri sebelum dan sesudah ozonasi untuk masing-masing perlakuan tersebut. Penelitian ini akan menggunakan sampel air yang dibuat menyerupai air irigasi yang mengandung bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*, zeolit alam Lampung sebagai adsorben, dan ozon dari generator ozon berjenis *Resun RSO – 9805* yang terdapat di Departemen Teknik Kimia UI. Kandungan bakteri dalam air sampel

sebelum dan sesudah ozonasi dianalisis menggunakan metode *total plate count* (TPC).

Disinfeksi bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* dengan kombinasi ozon dan zeolit alam diharapkan dapat membunuh hama padi tersebut lebih baik dari disinfeksi hanya dengan ozon, agar dapat meminimalisasi resiko gagal panen akibat hama tersebut, sehingga meningkatkan produksi serta kualitas beras, memenuhi kebutuhan beras nasional, dan mengurangi ketergantungan terhadap impor.

1.2. Perumusan Masalah

Masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah pengaruh penggunaan zeolit alam dalam proses disinfeksi hama tanaman padi, bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*, dengan menggunakan teknologi ozon. Zeolit alam sebagai material berpori dapat mengadsorpsi dan berperan sebagai konsentrator bagi ozon dan bakteri. Maka, penggunaan zeolit alam diasumsikan dapat memperbesar kontak antara ozon dengan bakteri sehingga dapat membasmi bakteri dengan lebih efektif.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menentukan signifikansi penggunaan zeolit alam dalam proses disinfeksi bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* dengan teknologi ozon.
2. Menentukan pengaruh konsistensi zeolit yang digunakan dalam proses disinfeksi.
3. Menentukan pengaruh proses preparasi dan aktivasi zeolit pada proses disinfeksi bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* dengan teknologi ozonasi.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi dengan:

1. Sampel yang digunakan adalah air yang dimodelkan sebagai air irigasi yang terkontaminasi bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*.

2. Zeolit yang digunakan adalah zeolit alam Lampung yang berjenis *clinoptilolite*, dengan beberapa tahap preparasi dan aktivasi.
3. Generator ozon yang digunakan adalah generator ozon berjenis *Resun RSO* – 9805 yang terdapat di Laboratorium Teknologi Intensifikasi Proses Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.
4. Penelitian dilakukan di Laboratorium Intensifikasi Proses, Laboratorium Bioproses, dan Laboratorium Dasar Proses Kimia yang terdapat di Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.
5. Perhitungan jumlah bakteri dilakukan di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Cibinong.
6. Variasi yang dilakukan adalah konsistensi zeolit yang digunakan pada proses disinfeksi dan kondisi zeolit (sebelum dan setelah proses preparasi dan aktivasi).

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan makalah skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang penelitian dan penulisan, rumusan masalah yang dibahas, tujuan dilakukannya penelitian, manfaat penelitian, batasan-batasan masalah, serta sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tinjauan mengenai hal-hal yang terkait dalam penelitian ini. Penjelasan terdiri dari penjelasan mengenai bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*, ozon dan zeolit. Penjelasan mengenai bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* antara lain adalah penjelasan umum mengenai bakteri tersebut, klasifikasi bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*, *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* sebagai hama tanaman padi, dan penyakit kresek yang menyerang air irigasi pada tanaman padi akibat adanya bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*. Penjelasan mengenai ozon antara

lain, sifat fisika dan sifat kimia ozon, ozon sebagai disinfektan, dan kelarutan ozon dalam air. Penjelasan mengenai zeolit antara lain struktur dan jenis zeolit, sifat-sifat zeolit, kemampuan zeolit untuk mengabsorpsi bakteri, dan karakteristik zeolit alam Lampung yang berjenis klinoptilolit. Kemudian dijelaskan juga mengenai kombinasi ozon dan zeolit dalam proses disinfeksi bakteri, dan juga metode analisis untuk mengetahui tingkat efektivitas disinfeksi bakteri.

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini berisi diagram alir penelitian, skema alat penelitian, serta deskripsi langkah kerja yang akan dilakukan dalam membiakkan bakteri *X. oryzae pv. oryzae*, preparasi zeolit alam, proses disinfeksi, dan proses analisis hasil disinfeksi.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi data hasil percobaan, hasil pengolahan data percobaan, analisis dan pembahasan mengenai hasil percobaan, dan analisa mengenai fenomena yang terjadi selama percobaan berlangsung.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan hasil dan analisa dari percobaan serta saran-saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

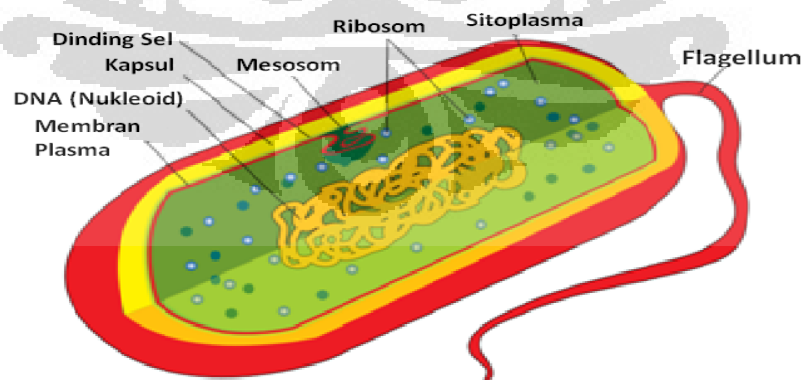
2.1. Bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*

Bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* pertama kali ditemukan di Jepang pada tahun 1911 dengan nama *Bacillus oryzae*. Bakteri tersebut diganti namanya pada tahun 1922 menjadi *Pseudomonas oryzae*, dan kemudian menjadi *Xanthomonas oryzae*. Pada tahun 1978, bakteri tersebut diklasifikasi ulang menjadi *Xanthomonas campestris pv. oryzae* Dye. Barulah pada tahun 1990 bakteri ini dikenal dan berubah statusnya menjadi spesies baru bernama *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*.

Bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* tersebar di Asia, Afrika, Australia, Amerika Utara, Amerika Tengah dan Karibia, Amerika Selatan, serta Oseania. Namun bakteri ini paling banyak terdapat di Asia dan sebagian Afrika Barat, terutama di India, Cina, dan Indonesia, di mana populasinya telah tersebar luas hingga mewabah. (EPPO dan CABI, 1997; Nino-Liu et al., 2006)

2.1.1. Klasifikasi Bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*

Berdasarkan bentuknya, bakteri *Xanthomonas oryzae* merupakan bakteri yang termasuk dalam kelompok bakteri basil karena berbentuk batang seperti yang terdapat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Bakteri dalam Kelompok Basil (EPPO and CABI, 1997)

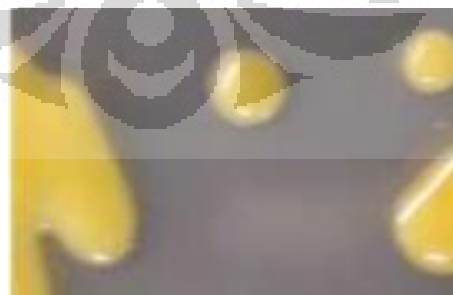
Xanthomonas oryzae adalah bakteri yang memiliki alat gerak berupa flagel. Ukuran flagel bakteri ini sangat kecil, tebalnya 0,02 – 0,1 mikro, dan panjangnya melebihi

panjang sel bakteri. Bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* berukuran $1,1-2,0 \times 0,4-0,6 \mu\text{m}$, sedangkan flagelnya berukuran lebih panjang, yaitu $6-8 \mu\text{m}$. Flagel yang dimilikinya hanya satu sehingga bakteri *Xanthomonas oryzae* termasuk dalam golongan bakteri *monotrik*. Bentuk tubuh/morfologi bakteri, termasuk bakteri *Xanthomonas oryzae* dipengaruhi oleh keadaan lingkungan, medium dan usia (EPPO and CABI, 1997, Andayani, 2010).

Klasifikasi bakteri *X. oryzae pv. oryzae* adalah sebagai berikut:

Kingdom : Bacteria
 Filum : Proteobacteria
 Kelas : Gamma Proteobacteria
 Orde : Xanthomonadales
 Family : Xanthomonadaceae
 Genus : *Xanthomonas*
 Spesies : *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*

Bentuk bakteri ini dapat dilihat pada Gambar 2.2. Koloni bakteri ini berbentuk bulat cembung, berlendir dengan permukaan licin, berwarna kuning keputihan hingga kuning kecoklatan, dan tumbuh dengan lambat. Sel bakteri tersebut memproduksi kapsul polisakarida ekstraseluler (EPS) dalam jumlah sangat banyak. EPS ini sangat penting dalam pembentukan butiran atau untaian *exudate* bakteri dari dedaunan yang terinfeksi bakteri tersebut, memberikannya perlindungan dari desikasi dan membantu penyebaran melalui angin dan hujan. (EPPO dan CABI, 1997; Nino-Liu et al., 2006; Andayani, 2010)



Gambar 2.2. Koloni *Xanthomonas oryzae* pada media agar. (Nino-Liu et al., 2006; Andayani, 2010)

Seperti bakteri pada umumnya, bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* juga berkembang biak secara vegetatif atau aseksual, yaitu dengan cara membelah diri

atau divisio. Karena bakteri ini termasuk golongan bakteri basil, pembelahan diri bakteri hanya terjadi dalam satu jurusan saja. Dinding yang membagi dua bakteri-bakteri itu tegak lurus pada poros ujung ke ujung. Jika faktor-faktor luar menguntungkan, maka setelah membelah diri, sel-sel bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* baru bisa membesar sampai masing-masing bakteri menjadi sebesar sel induknya.

Kondisi lingkungan yang mendukung dapat memacu pertumbuhan dan reproduksi bakteri ini. Faktor-faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap pertumbuhan dan reproduksi bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* adalah suhu, kelembapan, dan cahaya. Suhu optimum untuk perkembangan bakteri ini adalah 30°C. Perpindahan bakteri ini dapat melalui percikan air, hujan angin. Apabila terjadi peningkatan suhu rata-rata akan mendorong perkembangan bakteri ini. Itulah sebabnya mengapa bakteri ini banyak dijumpai di daerah yang beriklim sedang dan tropis.

Bakteri *Xanthomonas oryzae* termasuk dalam bakteri heterotrof, karena membutuhkan suatu zat organik untuk kehidupannya, ini menyebabkan bakteri *Xanthomonas oryzae* merupakan salah satu bakteri parasit. Bakteri ini juga menimbulkan penyakit yang mengganggu inangnya sehingga disebut juga bakteri patogen.

2.2. Penyakit Kresek/BLB (*Bacterial Leaf Blight*)

Penyakit Hawar Daun Bakteri/*Bacterial Leaf Blight* (HDB/BLB) atau yang juga dikenal dengan penyakit Kresek adalah penyakit pada tanaman padi yang disebabkan oleh hama bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*. Penyakit ini banyak terjadi di negara-negara Asia, khususnya Indonesia. Penyakit HDB ini sendiri pertama kali ditemukan di Fukuoka, Jepang, pada tahun 1884, di mana pada awalnya penyakit ini diduga disebabkan oleh keasaman tanah. Barulah pada tahun 1909 diselidiki keberadaan bakteri pada tanaman ini, dan pada tahun 1911 ditemukan bakteri penyebabnya. Pada awal abad 20, penyakit ini telah diketahui tersebar luas hampir di seluruh Jepang kecuali di pulau Hokkaido. Di Indonesia, penyakit ini mula-mula ditemukan oleh Reitsma dan Schure pada tanaman muda di daerah Bogor dengan gejala layu. Penyakit ini dinamai kresek dan patogennya

dinamai *Xanthomonas kresek Schure*. Terbukti bahwa penyakit ini sama dengan penyakit hawar daun bakteri yang terdapat di Jepang.

Penyakit HDB dapat menurunkan hasil panen hingga 36-60%. Di Jepang, kerugian akibat penyakit HDB dilaporkan sebanyak 20 hingga 30%, bahkan yang paling tinggi mencapai 50%. Di negara-negara tropis, penyakit ini menimbulkan kerugian yang lebih parah. Dari Filipina, Indonesia, dan India, kerugian yang disebabkan oleh penyakit ini mencapai 60-75%, bergantung pada cuaca, tempat, dan varietas beras. Di Indonesia, luas penularan penyakit kresek pada tahun 2006 mencapai lebih dari 74000 ha. Angka ini lebih tinggi dibandingkan dengan luas penularan pada tahun 2005 yang baru mencapai 33800 ha. Data lima tahunan menunjukkan, puncak penularan penyakit kresek terjadi pada bulan Maret (rata-rata 5832 ha) dan terendah pada bulan November (rata-rata 636 ha). Kerusakan secara kuantitatif akibat penyakit ini adalah turunnya hasil panen dan rendahnya bobot biji padi, sedangkan kerusakan secara kualitatif akibat penyakit ini ditunjukkan oleh tidak sempurnanya pengisian gabah dan gabah mudah pecah pada saat digiling. Kerusakan sedang berkisar antara 10-20%, sementara kerusakan berat mencapai lebih dari 50%. Penurunan hasil padi akibat penyakit kresek umumnya berkisar antara 15-23% (Nino-Liu et al., 2006; Andayani, 2010).



Gambar 2.3. Daun padi yang terkena penyakit kresek (Andayani, 2010)

Penyakit HDB pada tanaman padi bersifat sistemik dan dapat menginfeksi tanaman pada berbagai stadium pertumbuhan, umumnya terjadi pada musim hujan atau lembab >75%, terutama pada lahan sawah yang selalu tergenang dengan

pemupukan N yang tinggi. Gejala penyakit berupa bercak berwarna kuning sampai putih berawal dari terbentuknya garis lebam berair pada bagian tepi daun (Andayani, 2010). Bercak bisa mulai dari salah satu atau kedua tepi daun yang rusak, dan berkembang hingga menutupi seluruh helaian daun seperti yang terlihat pada Gambar 2.3. Pada varietas yang rentan, bercak bisa mencapai pangkal daun terus ke pelepah daun. Infeksi pada pembibitan menyebabkan bibit menjadi kering. Bakteri menginfeksi masuk sistem vaskular tanaman padi pada saat tanam pindah atau sewaktu dicabut dari tempat pembibitan dan akarnya rusak, atau sewaktu terjadi kerusakan daun. Apabila sel bakteri masuk menginfeksi tanaman padi melalui akar dan pangkal batang, tanaman bisa menunjukkan gejala kresak. Seluruh daun dan bagian tanaman lainnya menjadi kering. Infeksi dapat terjadi mulai dari fase persemaian sampai awal fase pembentukan anakan. Sumber infeksi dapat berasal dari jerami yang terinfeksi, tunggul jerami, singgang dari tanaman yang terinfeksi, benih, dan gulma inang (Andayani, 2010b, Dath and Devadath, 1983, EPPO and CABI, 1997). Sel-sel bakteri membentuk butir-butir embun pada waktu pagi hari yang mengeras dan melekat pada permukaan daun.

Penyakit ini tidak hanya merusak tanaman pada fase bibit tetapi juga pada fase generatif. Kerugian yang ditimbulkannya bervariasi berkisar antara 20-30%, bergantung pada varietas yang ditanam dan musim tanam. *Xanthomonas oryzae* mempunyai kemampuan variabilitas virulensi yang tinggi dan membentuk strain baru di lapang sejalan dengan perkembangan penggunaan varietas padi. Hal ini menyebabkan ketahanan varietas padi seringkali menurun. Berdasarkan karakteristik fenotipik maupun genotipiknya, *Xanthomonas oryzae* dikelompokkan ke dalam strain (*pathotype*) maupun *haplotype* yang berbeda antar geografi yang berbeda. Di Indonesia paling tidak telah dijumpai 11 kelompok strain *Xanthomonas oryzae* dengan tingkat virulensi yang berbeda.

Pertumbuhan dan reproduksi bakteri *Xanthomonas oryzae* *pv.* *oryzae* dapat dipacu oleh kondisi lingkungan, di antaranya oleh faktor suhu, kelembapan, dan cahaya. Suhu optimum untuk perkembangan bakteri ini adalah 25 hingga 30°C. Peningkatan suhu rata-rata akan mendorong perkembangan bakteri ini, karena itu, bakteri ini banyak dijumpai di daerah beriklim sedang dan tropis seperti Indonesia. Bakteri ini masuk ke tumbuhan dari hidatoda atau luka pada daun maupun akar.

Penyebaran bakteri dilakukan oleh angin dan hujan, namun terutama pada genangan air dan air irigasi. Penyebaran bakteri dalam jarak jauh dapat terjadi melalui bibit padi yang terinfeksi bakteri. Namun, penyebaran melalui bibit ini bukan cara utama penyebaran bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* di negara-negara yang terinfeksi bakteri ini. (EPPO dan CABI, 1997; Andayani, 2010)

Hingga saat ini, cara yang dilakukan untuk mengendalikan hama bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* cenderung pada perbaikan cara bercocok tanam, yaitu menggunakan varietas tahan, pergiliran tanam, penanaman varietas unggul dari benih yang sehat, pengolahan tanah secara optimal, pengaturan pola tanam dan waktu tanam serempak dalam satu hamparan, pembuatan persemaian kering atau tidak terendam air, jarak tanam tidak terlalu rapat, tidak memotong akar dan daun bibit yang akan ditanam, pengaturan sistem pengairan sesuai dengan fase pertumbuhan tanam, pemupukan berimbang (N, P, K dan unsur mikro) sesuai fase pertumbuhan dan musim, serta menghindari pemberian pupuk N yang terlalu tinggi. Usaha lainnya yaitu sanitasi lingkungan, dan disinfeksi hama bakteri hanya dilakukan melalui pemberian pestisida atau bakterisida, yang dapat memberi dampak negatif pada lingkungan. (Andayani, 2010) Oleh karena itu, diperlukan cara lain yang lebih ramah lingkungan untuk membasmi secara langsung hama bakteri yang menyerang padi ini.

Bakteri Penyakit kresek/BLB (*bacterial leaf blight*) pada padi oleh *Xanthomonas oryzae* menjadi penyakit terpenting di bidang pertanian dalam tiga tahun terakhir. Sepuluh tahun yang lalu penyakit ini tidak pernah dianggap sebagai penyakit penting sehingga penelitian terhadapnya pun juga kurang. Suhu optimum untuk perkembangan penyakit adalah 30°C. Karena penularan utamanya melalui percikan air, hujan angin akan sangat memperberat penyakit karena apabila terjadi peningkatan suhu rata-rata akan mendorong perkembangan penyakit ini.

2.3. Ozon

Ozon ditemukan pertama kali oleh filsuf kebangsaan Belanda yang bernama Van Marun pada tahun 1775. Kata ozon berasal dari *ozein* (bahasa Yunani) yang berarti mencium. Ozon yang keberadaannya pada bagian atas dan bawah dari lapisan stratosfer berfungsi untuk melindungi bumi dari radiasi berlebihan oleh

sinar ultraviolet, namun pada lapisan troposfer ozon merupakan polutan dan sangat berbahaya bagi makhluk hidup. Ozon dapat mengganggu kesehatan manusia karena dapat menimbulkan iritasi pada mata dan pernafasan manusia. Karena toksisitasnya, *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) telah menetapkan paparan batasan maksimum ozon terhadap manusia, yaitu sebesar 0,06 ppm dalam periode delapan jam, lima hari seminggu, dan untuk dosis maksimum 0,30 ppm dalam 15 menit (Suslow, 2004).

2.3.1. Sifat Fisika dan Kimia Ozon

Ozon (O_3) merupakan bentuk alotropik dari oksigen (O_2) yang tidak berwarna (pada suhu kamar) dan dapat mengembun membentuk suatu cairan biru pada suhu -112°C dan akan membeku pada suhu $-251,4^\circ\text{C}$. Pada suhu diatas 100°C , ozon akan dengan cepat mengalami dekomposisi. Ozon mempunyai bau pedas (*pungent*), tajam (*acrid*), seperti bahan pemutih klor. Bau ini biasanya terdeteksi oleh manusia pada konsentrasi antara 0,01 dan 0,04 ppm (Suslow, 2004).

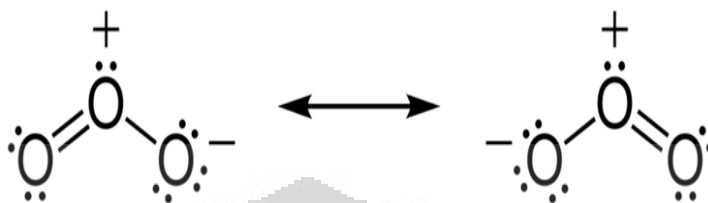
Sebagai suatu komponen, ozon memiliki sifat-sifat fisik sebagai berikut :

Tabel 2.1. Sifat Fisik Ozon

Karakteristik	Nilai
Berat molekul	48 g/mol
Titik leleh	$-192,5 \pm 0,4^\circ\text{C}$
Titik didih	$-111,9 \pm 0,3^\circ\text{C}$
Temperatur kritis	$-12,1^\circ\text{C}$
Tekanan kritis	54,6 atm
Densitas (0°C dan 1 atm)	$2,143 \text{ kg/m}^3$
Densitas relatif (di udara)	$1,6667 \text{ kg/m}^3$
Energi	142,3 kJ/mol
Potensial oksidasi	2,07 volt
Waktu paruh dalam larutan cair (20°C)	20 – 30 menit
Waktu paruh (pada udara kering)	12 jam

Sumber : Manley dan Niegowski, 1967

Tiga atom oksigen pada molekul ozon tersusun pada suatu sudut tumpul dimana atom oksigen pusat terikat dengan dua atom oksigen dengan jarak yang ekuivalen, dengan sudut berkisar $116^{\circ} 49'$ dan panjang ikatannya adalah $1,278 \text{ \AA}$. Struktur resonansi ozon ditunjukkan pada Gambar 2.4. (Oehlschlaeger, 1978).



Gambar 2.4. Struktur Resonansi Ozon (Lide, 2009)

Ozon terbentuk dalam stratosfer, kabut dan asap fotokimia dan lampu sterilisasi UV, pancaran listrik tegangan tinggi, dan radiasi gamma (Mustafa, 1990). Pada temperatur ruang, ozon terdekomposisi dengan cepat (Peleg, 1976). Ozon ditemukan dalam konsentrasi rendah di alam. Ozon mempunyai waktu paruh yang lebih lama ketika berupa gas dibandingkan dalam larutan yang mengandung air (Rice, 1986). Ozon dalam air murni cukup cepat terurai menjadi oksigen, dan bahkan lebih cepat dalam larutan yang tidak murni. Kelarutan ozon dalam air 13 kali lebih cepat dibandingkan oksigen, dan semakin lebih cepat larut dalam air dingin. Dekomposisi ozon lebih cepat dalam temperature air yang lebih tinggi (Rice, 1986).

Tabel 2.2. Hubungan Suhu dan Kelarutan Ozon dalam Air

Suhu (oC)	Kelarutan (l ozon/ l air)
0	0,640
15	0,456
27	0,270
40	0,112
60	0,000

Sumber : Mailfert, 1894

Sebagai senyawa yang tidak stabil, ozon mudah terdekomposisi kembali menjadi oksigen, dan laju dekomposisinya akan bertambah besar sesuai dengan kenaikan suhu dan pH. Selain itu, kelarutan ozon pada air juga sebanding dengan waktu kontak yang diperlakukan.

2.3.2. Ozon Sebagai Disinfektan

Ozon pertama kali digunakan sebagai germisida pada tahun 1886 di Prancis yang dilakukan oleh de Meritens dengan mendemonstrasikan bahwa ozon terlarut dalam udara dapat mensterilkan air yang tercemar (de la Coux, 1904). Pembangkit ozon yang pertama digunakan untuk pengolahan air dibangun di Oudshoorn, Belanda pada tahun 1893. Ozon pertama kali digunakan sebagai disinfektan pada tahun 1906 di Prancis.

Tabel 2.3. Oksidator dan Potensial Oksidasinya

Oksidator	Potensial Oksidasi (mV)
Fluorin	3,06
Ozon	2,07
Permanganat	1,67
Klorin Dioksida	1,50
Asam Hipokloro	1,49
Gas Klorin	1,36

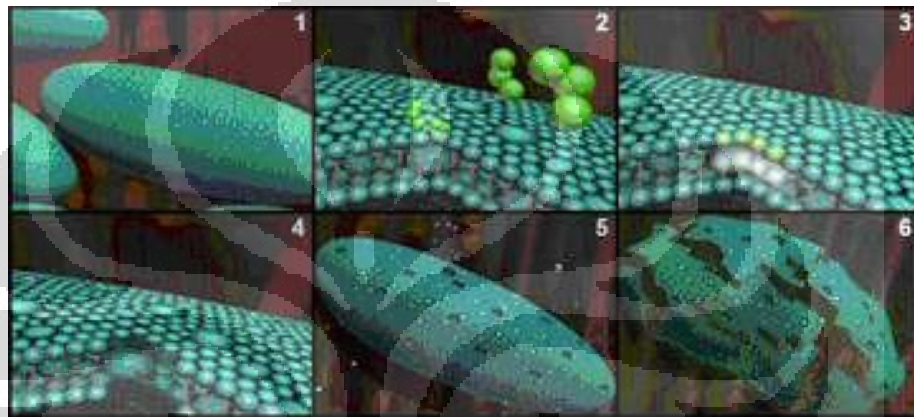
Sumber : Manley dan Niegowski, 1967

Ozon merupakan molekul gas alami yang mudah larut dalam air dan tidak beracun. Molekul ozon bersifat tidak stabil dan akan selalu berusaha untuk dapat melepaskan satu atom oksigen melalui oksidasi, sehingga dapat berubah menjadi molekul oksigen yang stabil (O_2). Karena sifat oksidatornya yang sangat kuat, maka ozon sangat unggul untuk disinfeksi (membunuh kuman), detoksifikasi (menetralkan zat beracun) dan deodorisasi (menghilangkan bau tidak sedap) dalam air dan udara (Ikehata et al., 2008, Miao and Tao, 2009, Rodríguez et al., 2008).

Dalam hal disinfeksi/sterilisasi, metode ozonasi merupakan teknologi yang paling unggul dan sangat efektif. Ozon dapat menghancurkan kuman, bakteri, virus, jamur, spora, kista, lumut dan zat organik lainnya (Kowalski et al., 1998, Taylor et al., 2000, Miao and Tao, 2009). Selain itu, ozon juga dapat menetralkan zat organik atau mineral yang berlebihan. Penggunaan Ozon tidak menghasilkan zat sisa yang membahayakan kesehatan, bahkan sebaliknya, akan menambahkan kadar oksigen dalam air (Voidarou et al., 2007).

Mekanisme disinfeksi dengan menggunakan ozon terdiri atas (Salomon et al., 1999) :

- Oksidasi langsung / penghancuran dinding sel dengan mengeluarkan isi dari sel tersebut
- Reaksi dengan radikal dari produk samping dekomposisi ozon
- Merusak asam nukleat (purin dan pirimidin)
- Memutuskan ikatan karbon-nitrogen sehingga terjadi depolimerisasi



Gambar 2.5. Disinfeksi Bakteri oleh Ozon (Khadre, 2001)

Terdapat enam tahap proses disinfeksi bakteri oleh ozon seperti yang terlihat pada Gambar 2.5., yaitu :

1. Sel bakteri sebelum terkena proses disinfeksi
2. Ozon menyerang molekul sel pada dinding bakteri
3. Ozon menetrasi dinding sel dan menyebabkan korosi
4. Ozon menyebabkan dinding sel mengalami kerusakan
5. Sel-sel bakteri mengalami kontak dengan molekul ozon
6. Sel mengalami destruksi (lisis)

Hal penting yang harus diperhatikan dalam disinfeksi dengan menggunakan ozon adalah nilai CT. C merepresentasikan konsentrasi ozon (mg/L) dan T merepresentasikan nilai waktu kontak (menit). Ozon harus diinjeksikan dengan baik agar tetap aman dan berada pada kondisi yang efektif. Kadar ozon yang terlalu tinggi dalam air dapat menyebabkan terjadinya reaksi samping yang tidak diinginkan.

Ozon sebagai disinfektan memiliki kelebihan-kelebihan sebagai berikut (EPA, 1999) :

- Lebih efektif dalam membasmi virus dan bakteri dibandingkan dengan klorin
- Waktu kontak yang dibutuhkan relatif singkat (sekitar 10 – 30 menit)
- Tidak menghasilkan zat sisa yang harus ditangani lebih lanjut karena ozon cepat terdekomposisi
- Aman karena ozon digenerasi secara insitu
- Meningkatkan kadar oksigen terlarut dalam air sehingga tidak diperlukan lagi proses aerasi
- Tidak ditemukannya pertumbuhan kembali dari mikroorganisme kecuali yang diproteksi oleh partikulat dalam aliran pengolahan air

Ozon sebagai disinfektan juga memiliki beberapa kekurangan, antara lain (EPA, 1999) :

- Tidak efektif membunuh beberapa jenis kuman, bakteri, dan spora, jika digunakan dalam dosis rendah
- Proses disinfeksi dengan ozon lebih kompleks daripada disinfeksi dengan menggunakan klorin atau radiasi UV sehingga membutuhkan peralatan yang canggih dan waktu kontak yang efisien
- Tidak efektif untuk digunakan pada air yang kandungan padatan terlarut, kebutuhan oksigen biokimia (BOD – *Biochemical Oxygen Demand*), kebutuhan kimia oksigen, dan total karbon organik yang tinggi
- Membutuhkan biaya investasi dan perawatan yang cukup tinggi

2.3.3. Ozon dalam Air

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, ozon dapat digunakan untuk membunuh kuman penyakit atau sebagai germisida. Untuk memusnahkan kuman yang terdapat di udara, ozon yang telah terbentuk kemudian dilepas di udara bebas. Berbeda dengan udara, untuk membasmi kuman yang berada dalam air memerlukan cara yang lebih sulit karena ozon yang dihasilkan harus diinjeksikan dalam air yang akan didisinfeksi. Injektor diperlukan karena ozon dan air tidak dapat bersatu karena perbedaan fasa keduanya. Injektor memperkecil luas permukaan ozon yang dihasilkan dengan mengubahnya menjadi gelembung-

gelembung kecil sehingga ozon dapat mengalami kontak dengan air, akibatnya laju perpindahan massa ozon dalam air akan meningkat.

Meningkatnya laju perpindahan massa ozon dalam air dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah (Choiriah, 2004) :

- Daya kelarutan ozon dalam air
- Konsentrasi ozon yang dihasilkan
- Umpan yang digunakan dalam menghasilkan ozon (oksigen murni atau udara)
- Metode kontak yang digunakan
- Waktu kontak
- Tekanan dan temperatur operasi

2.4. Zeolit

Zeolit merupakan suatu kristal alumina silikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah. Zeolit pertama kali ditemukan pada tahun 1756 oleh Baron Cronstedt, seorang ahli mineral berkebangsaan Swedia. Kata zeolit berasal dari dua kata dalam bahasa Yunani yaitu "zeo" yang berarti mendidih, dan "litos" yang berarti batuan. Karena pada saat dipanaskan zeolit akan mengeluarkan banyak gelembung sehingga disebut sebagai "batuan mendidih" (Yuliusman, 1993).

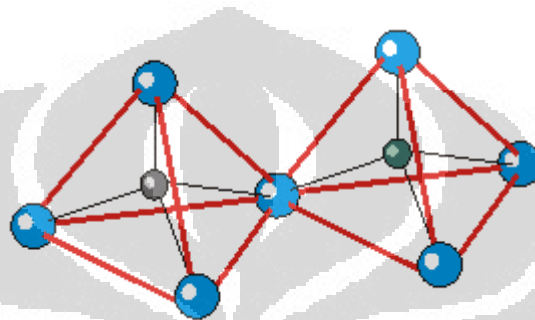
Zeolit adalah hasil dari pengkristalan alumino silikate yang terbentuk kristal yang memiliki pori-pori yang seragam. Zeolit terdiri dari SiO_4 dan AlO_4 tetrahedra, dimana tetrahedra tersusun oleh 4 anion oksigen yang menyebar mengelilingi suatu ion silicon dan ion aluminium. Setiap atom oksigen bermuatan -2, tiap atom silicon bermuatan +4 dan akan membentuk silika tetrahedral yang tidak bermuatan (netral) sedangkan atom aluminium akan membentuk juga alumina tetrahedral dengan mengikat sisa muatan -1 dari tiap atom oksigen sehingga terjadi keseimbangan ion dan membentuk kristal yang mempunyai pori-pori dimensi molekular dan menjadi molekul-molekul yang dapat menetrasi.

Pertukaran ion-ion ini terjadi menuju ke posisi susunan rangka yang lebih cocok sehingga menjadi komposisi yang kuat sebagai adsorben. Pertukaran kation dengan menggunakan *ion exchange* akan sangat membantu menjadi adsorben yang kuat. Struktur mikropori yang membentuk kristal akan mempunyai ukuran pori yang seragam tanpa diketahui ukuran pori semula. Permukaan ini yang

membedakan zeolit sebagai adsorben dari permukaan pori yang dimiliki oleh adsorben lainnya.

2.4.1. Struktur dan Jenis Zeolit

Struktur kristal zeolit dimana semua atom Si dan Al dalam bentuk tetrahedra (TO_4) disebut Unit Bangun Primer, zeolit hanya dapat diidentifikasi berdasarkan Unit Bangun Sekunder (UBS) sebagaimana terlihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Tetrahedra alumina dan silika (TO_4) pada struktur zeolit (Ariyo, 2008)

Menurut proses pembentukannya, zeolit dapat digolongkan menjadi dua jenis, yaitu zeolit alam dan zeolit sintetis.

- Zeolit Alam

Zeolit alam terbentuk karena adanya proses perubahan alam dari bebatuan vulkanik dan banyak dijumpai dalam lubang-lubang batuan lava dan dalam batuan sedimen. Zeolit alam biasanya masih tercampur dengan mineral lainnya seperti kalsit, gipsum, feldspar, dan kuarsa, dan ditemukan di daerah sekitar gunung berapi atau mengendap pada daerah sumber air panas (*hot spring*).

- Zeolit Sintetik

Zeolit sintetis merupakan modifikasi dari susunan atom atau komposisi zeolit agar sesuai dengan yang diinginkan. Hal ini pertama kali dilakukan oleh R.M. Milton dan rekan dari Union Carbide pada tahun 1948 yang berhasil mensintesis zeolit sehingga memiliki sifat khusus sesuai dengan keperluannya. Zeolit ini terbentuk berdasarkan proses termal dari senyawa-senyawa alumina, silika, dan logam alkali.

2.4.2. Sifat-Sifat Zeolit

Zeolit memiliki struktur berongga dan biasanya rongga ini berisi air kation-kation yang dapat dipertukarkan dan memiliki ukuran pori tertentu. Oleh karena itu, zeolit dapat dimanfaatkan sebagai penyaring molekuler, penukar ion, adsorben, dan sebagai katalis. Sifat zeolit meliputi :

- Sifat Dehidrasi Zeolit

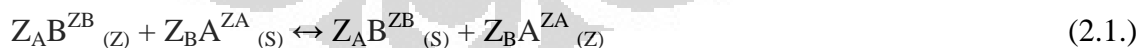
Sifat dehidrasi dari zeolit akan berpengaruh terhadap sifat adsorpsinya. Zeolit dapat melepaskan molekul air dari dalam rongga permukaan yang menyebabkan medan listrik meluas ke dalam rongga utama dan akan terinteraksi dengan molekul yang teradsorpsi. Jumlah molekul air sesuai dengan jumlah pori-pori atau volume ruang hampa yang akan terbentuk bila unit sel kristal tersebut dipanaskan.

- Sifat Adsorpsi Zeolit

Pada keadaan normal, ruang kosong dalam kristal zeolit terisi oleh molekul air bebas yang berada di sekitar kation. Bila kristal zeolit dipanaskan, maka air tersebut akan keluar sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan.

- Sifat Penukar Ion

Kemampuan zeolit sebagai penukar ion bergantung pada banyaknya kation tukar pada zeolit. Banyaknya kation tukar pada zeolit ditentukan oleh banyaknya kation Si^{4+} yang digantikan oleh kation lain yang bervalensi 3 atau 5. Pertukaran kation pada zeolit akan mencapai kesetimbangan sesuai dengan persamaan di bawah ini :



Dimana A dan B adalah kation yang dipertukarkan, Z_B dan Z_A adalah muatan masing-masing kation, (Z) adalah zeolit dan (S) adalah larutan.

Sifat pertukaran ion dipengaruhi oleh hal-hal berikut :

- Ukuran rongga zeolit

Semakin besar rongga zeolit akan meningkatkan kemampuan zeolit untuk melakukan pertukaran ion.

- Rasio Si/Al

Semakin kecil rasio Si/Al akan menambah kapasitas tukar kation suatu zeolit. Kapasitas tukar kation dari beberapa jenis zeolit dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.4. Kapasitas Tukar Kation pada Zeolit

Jenis Zeolit	Ukuran Rongga	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	Kapasitas Tukar Kation
Clinoptilolite	3,7 Å x 4,2 Å	4	4,9
Erionite	3,6 Å x 5,5 Å	5	3,3
Ferrierite	3,6 Å x 5,2 Å	11	2,4
Modernite	6,7 Å x 7,0 Å	10	2,6
Phillipsite	4,2 Å x 4,0 Å	4,4	4,7

Sumber : Simbolon, 2007

- Volume ion

Semakin kecil volume ion, maka laju pertukaran ion akan semakin cepat.

- Temperatur

Semakin tinggi temperatur, maka semakin cepat pula laju pertukaran ionnya.

- Sifat Katalis

Zeolit dapat digunakan sebagai katalis ataupun sebagai penyangga katalis untuk reaksi-reaksi katalitik. Ciri paling khusus dari zeolit adalah adanya ruang kosong yang membentuk saluran di dalamnya. Jika zeolit digunakan pada proses katalisis maka akan terjadi proses difusi molekul ke dalam ruang bebas antar kristal dan reaksi kimia juga terjadi di permukaan saluran tersebut.

- Sifat Penyaring/Pemisah

Meskipun terdapat banyak media berpori yang dapat digunakan sebagai penyerap atau pemisah campuran uap atau cair, tetapi distribusi diameter dari pori-pori media tersebut tidak cukup selektif seperti halnya zeolit yang mampu memisahkan berdasarkan perbedaan ukuran, bentuk, dan polaritas dari molekul yang disaring.

2.5. Zeolit Alam Lampung Berjenis Klinoptilolit

Di Indonesia, zeolit ditemukan pada tahun 1985 oleh PPTM Bandung dalam jumlah besar, diantaranya tersebar di beberapa daerah pulau Sumatera dan Jawa. Namun dari 46 lokasi zeolit, baru beberapa lokasi yang ditambang secara intensif antara lain di Bayah, Banten, Cikalong, Tasikmalaya, Cikembar, Sukabumi, Nanggung, Bogor dan Lampung. Pemanfaatan zeolit masih belum banyak diketahui secara luas, yang pada saat ini zeolit di Indonesia dipasarkan masih dalam bentuk alam terutama pada pemupukan bidang pertanian. Hingga saat ini, terdapat lebih dari 50 mineral pembentuk zeolit alam, namun hanya 9 diantaranya yang sering ditemukan, yaitu klinoptilolit, mordenit, analsim, khabasit, erionit, ferierit, heulandit, laumonit dan filipsit.

Indonesia kaya akan zeolit alam mengingat struktur geografis Indonesia. Jenis mineral zeolit yang terdapat di Indonesia adalah modernit dan klinoptilolit (Eddy, 2007). Pada penelitian ini, digunakan zeolit alam yang berjenis klinoptilolit. Selain karena luas rongga yang cukup besar, zeolit alam yang berjenis klinoptilolit sangat cocok digunakan untuk proses disinfeksi, dalam hal ini khususnya dalam proses disinfeksi bakteri. Zeolit alam yang berjenis modernit, yang juga banyak terdapat di Indonesia, kurang cocok digunakan dalam penelitian ini. Zeolit alam yang berjenis modernit, yang juga banyak terdapat di Indonesia, kurang cocok digunakan dalam penelitian ini. Zeolit alam yang berjenis modernit biasanya banyak digunakan sebagai katalis pada proses.

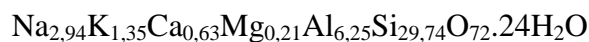
Karakteristik zeolit alam Indonesia sebagai berikut:

Tabel 2.5. Karakteristik Zeolit Alam Indonesia

Sumber	Perbandingan Si/Al	Isi Rongga (m ³ /g)	Luas permukaan (m ² /g)
Malang	2,86	0,5	183,78
Cikalong	3,14	0,6	211,92
Banten	4,01	0,5	163,69
Lampung	3,78	0,4	170,81
Bogor	2,84	0,6	285,72

Sumber : Simbolon, 2007

Zeolit sering digunakan sebagai agen penukar ion pada penjernihan dan pemurnian air. Pada bidang ilmu kimia, zeolit sering digunakan untuk memisahkan molekul-molekul. Pada penelitian ini, zeolit yang digunakan adalah zeolit alam Lampung. Zeolit alam Lampung mempunyai rumus molekul :



Komposisi zeolit alam Lampung sebagian besar adalah SiO_2 . Komponen penyusun lainnya dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 2.6. Komponen Penyusun Zeolit Alam Lampung

Zat Penyusun	Kandungan dalam ZAL (%)
SiO_2	72,6
Al_2O_3	12,4
CaO	3,56
K_2O	2,17
Fe_2O_3	1,19
MgO	1,15
Na_2O	0,45
TiO_2	0,16
Lain-lain	6,32

Sumber : Simbolon, 2007

Sebagian besar zeolit alam Lampung memiliki struktur berjenis klinoptilolit. Zeolit alam berjenis klinoptilolit memiliki diameter rongga cukup besar jika dibandingkan dengan jenis modernit (Sutarti, 1994). Oleh karena itu, zeolit berjenis klinoptilolit sangat cocok digunakan pada proses adsorpsi bakteri.

2.6. Kemampuan Zeolit Mengabsorpsi Bakteri

Zeolit alam bersifat sebagai adsorben dan penyaring molekul, hal ini dimungkinkan karena struktur zeolit yang berongga, sehingga mampu menyerap sejumlah besar molekul yang berukuran lebih kecil atau sesuai dengan ukuran rongganya. Struktur berongga tersebut merupakan akibat perbedaan dari besarnya diameter ruang di antara beberapa mineral, dan sifat kimianya dapat dilihat dari afinitas gugus anion di dalam rongga zeolit terhadap kation yang akan diserapnya.

(Setiawan, 2006; Putra, 2007) Dengan demikian pula, luas permukaan kristal zeolit yang besar dapat melekatkan mikroorganisme seperti bakteri. (Widiastuti et al., 2008) Faktor lainnya yang mendukung kemampuan zeolit mengadsorpsi bakteri yaitu interaksi *electric double layer* dan interaksi hidrofobik. Interaksi *electric double layer* antara sel bakteri dan zeolit dapat ditunjukkan dengan pengukuran potensial zeta. Interaksi ini dihitung dengan suatu persamaan potensial interaksi, di mana jika potensial tersebut kurang dari nol, gaya tarik-menarik akan mendominasi sehingga sel bakteri dapat teradsorpsi pada zeolit. Sebaliknya, jika potensial lebih dari nol maka gaya tolak-menolak akan mencegah sel bakteri mendekati zeolit kecuali jika energi kinetik sel cukup tinggi untuk melebihi penghalang potensial. Sedangkan untuk menentukan interaksi hidrofobik terutama digunakan *MATH (microbial adhesion to hydrocarbon) assay*. *MATH assay* merupakan metode pengujian karakterisasi hidrofobisitas bakteri dengan pengukuran absorbansi spektrofotometrik untuk konsentrasi sel dalam suspensi yang dikontakkan dengan cairan hidrokarbon. Penelitian menunjukkan bahwa zeolit yang mengadsorpsi bakteri paling baik cenderung hidrofobik dibandingkan zeolit lainnya, dan bakteri yang teradsorpsi paling baik pada zeolit juga menunjukkan tingkat hidrofobisitas yang tinggi. (Kubota et al., 2008)

Pori-pori zeolit yang besar menyebabkan spesi yang besar dapat ditampung di pori-pori tersebut, salah satunya dapat berupa sel hidup seperti bakteri. Bakteri berukuran cukup besar, dengan dimensi 1 μm atau lebih, sehingga tidak muat di pori yang kecil. Bakteri membentuk koloni pada material tidak berpori, maka tambahan luas permukaan yang terjadi akibat adanya pori-pori pada zeolit dapat menampung dan membantu perkembangan populasi bakteri yang lebih besar. Beberapa bakteri yang dapat teradsorpsi oleh pori-pori zeolit di antaranya yaitu *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Mycobacterium*, *Corynebacterium*, *Arthrobacterium*, *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Nocardia*, *Achromobacterium*, *Alcaligenes*, *Vibrio*, *Azotobacter*, *Beijerinckia*, *Xanthomonas*, *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, *Methylosinus*, *Methylococcus*, *Methylobacter* dan *Actinomycetes*. Mikroorganisme lainnya termasuk *fungi*, ragi, alga, ataupun protozoa. (Miller et al., 1994)

2.7 Kombinasi Proses Ozonasi dan Zeolit Alam

Penelitian menunjukkan bahwa zeolit dapat mengadsorpsi ozon dalam jumlah tertentu, sehingga memungkinkan kombinasi teknologi ozon dengan zeolit. (Fujita et al., 2004a; Fujita et al., 2004b) Dari penelitian tersebut ditunjukkan bahwa hubungan kesetimbangan adsorpsi ditunjukkan dengan persamaan linear, di mana konstantanya bergantung pada rasio Si/Al dan struktur pori. Semakin besar rasio Si/Al, semakin besar konstanta tersebut. Zeolit ZSM-5 dengan rasio Si/Al 3000, memberi kapasitas adsorpsi tertinggi untuk ozon yang terlarut dalam air, dan mampu mengkonsentrasikan ozon pada bed adsorpsi kira-kira 80 kali lebih baik dibandingkan pada larutan cair. Ozon yang teradsorpsi pada zeolit lebih stabil daripada yang terlarut dalam air. Laju dekomposisi ozon yang teradsorpsi tidak bergantung pada rasio Si/Al pada rentang 30-3000 atau pada larutan dengan nilai pH 4-6. (Fujita et al., 2004a) Penelitian lainnya oleh Fujita (2004) menunjukkan bahwa proses ozonasi untuk pengolahan air dengan zeolit sebagai konsentrator adsorptif untuk ozon terlarut dalam air dan polutan organik menghasilkan peningkatan laju reaksi yang signifikan. Dekomposisi *trichloroethene* (TCE) lebih besar dengan keberadaan zeolit daripada tanpa zeolit. (Fujita et al., 2004b)

Penelitian lainnya oleh Eva F. Karamah (2008) menyelidiki pengaruh ozon sebagai *diffuser* dan konsentrasi zeolit sebagai *bonding agent* pada proses flotasi untuk pengolahan limbah cair yang mengandung logam berat. Penelitian ini menunjukkan bahwa ozon efektif digunakan sebagai *diffuser* untuk proses flotasi, di mana presentasi pemisahan logam besi dengan *diffuser* udara-ozon (baik ozon dari udara maupun oksigen) mencapai 99,7%; lebih besar dari pemisahan dengan *diffuser* udara maupun udara-oksigen (90,8% dan 95,7%). (Karamah et al., 2008)

Penelitian oleh Amin (2010) membandingkan beberapa jenis zeolit untuk penghilangan fenol dan COD dalam proses ozonasi. Hasilnya menunjukkan penghilangan fenol dan COD lebih tinggi pada semua sistem ozon/zeolit, kecuali pada H-modernit dan sistem tanpa zeolit. Penghilangan fenol hampir tidak tergantung pada variasi suhu, sedangkan laju alir udara-ozon dan pH cukup berpengaruh pada laju penghilangan fenol dan COD. Hasil penghilangan fenol maksimum diperoleh pada pH 9 dan laju alir udara-ozon 1,5 L/menit. Laju penghilangan lebih cepat pada 20 menit awal, kemudian menurun secara bertahap.

Sifat adsorben (hidrofilik/hidrofobik), konsentrasi fenol, rasio Si/Al, dan ukuran pori dianggap menjadi faktor lain yang menentukan kesesuaian zeolit untuk dekomposisi bahan organik. Dari penelitian ini ditunjukkan bahwa HZSM-5(80) merupakan zeolit yang paling baik untuk penghilangan fenol dan COD dengan proses ozonasi. (Amin et al., 2010)

Kombinasi ozon dengan zeolit telah digunakan untuk mendegradasi berbagai polutan organik seperti fenol, toluena, dan trikloroetena. Zeolit dalam proses ozonasi ini terutama berperan sebagai konsentrator adsorptif, yang menyediakan permukaan reaksi antara ozon dengan polutan, sehingga meningkatkan laju reaksi dan meningkatkan efektivitas degradasi polutan. (Fujita et al., 2004b; Chao et al., 2007; Amin et al., 2010) Maka, dapat diselidiki apakah penggunaan zeolit dalam proses ozonasi juga berpengaruh dalam proses disinfeksi bakteri, dan seberapa signifikan pengaruhnya.

2.7.1 Kombinasi Ozon dan Zeolit dalam Proses Disinfeksi Bakteri

Ozon yang bersifat oksidator kuat merupakan hal utama yang berpengaruh pada proses disinfeksi pada penelitian ini. Penggunaan zeolit dalam proses ozonasi ini berperan sebagai adsorben dan konsentrator, yang dapat memperbesar luas permukaan reaksi antara ozon dengan polutan, sehingga dapat meningkatkan laju reaksi dan meningkatkan efektivitas disinfeksi bakteri (Amin et al., 2010, Chao et al., 2007, Fujita et al., 2004b).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Bocci pada tahun 2002, dibuktikan bahwa ozon sebagai disinfektan mampu membunuh berbagai jenis mikroorganisme 3000 kali lebih cepat dibandingkan klorin dengan tanpa menghasilkan produk dekomposisi yang berbahaya. Pada penelitian yang dilakukan oleh Mohan pada tahun 2005, dibuktikan bahwa proses ozonasi dengan laju alir 300 ml/menit selama 3 menit pada bakteri dengan konsentrasi sel 0,008 OD pada 540 nm dapat mendisinfeksi bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*. Pada penelitian yang dilakukan oleh Kubota pada tahun 2008, dibuktikan bahwa zeolit memiliki kemampuan mengadsorpsi bakteri secara selektif bergantung pada pH, dan pada penelitian yang dilakukan Fujita pada tahun 2004 dibuktikan bahwa zeolit dapat mengadsorpsi ozon dalam jumlah tertentu.

2.7.2. Analisis Efektivitas Disinfeksi Bakteri

Efektivitas disinfeksi bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* dapat dianalisa dengan melakukan penghitungan kuantitas mikroba tersebut. Terdapat dua cara untuk melakukan penghitungan kuantitas mikroba, yaitu dengan menggunakan metode hitungan cawan total/*total plate count* (TPC), dan menggunakan metode turbiditas (Wilda, 2009).

Metode TPC didasarkan pada anggapan bahwa setiap sel yang dapat hidup akan berkembang biak menjadi satu koloni. Proses yang perlu dilakukan adalah mengencerkan sampel dan mencawakan hasil pengenceran tersebut. Untuk memenuhi persyaratan statistik, cawan yang dipilih untuk penghitungan koloni adalah yang mengandung antara 30-300 koloni.

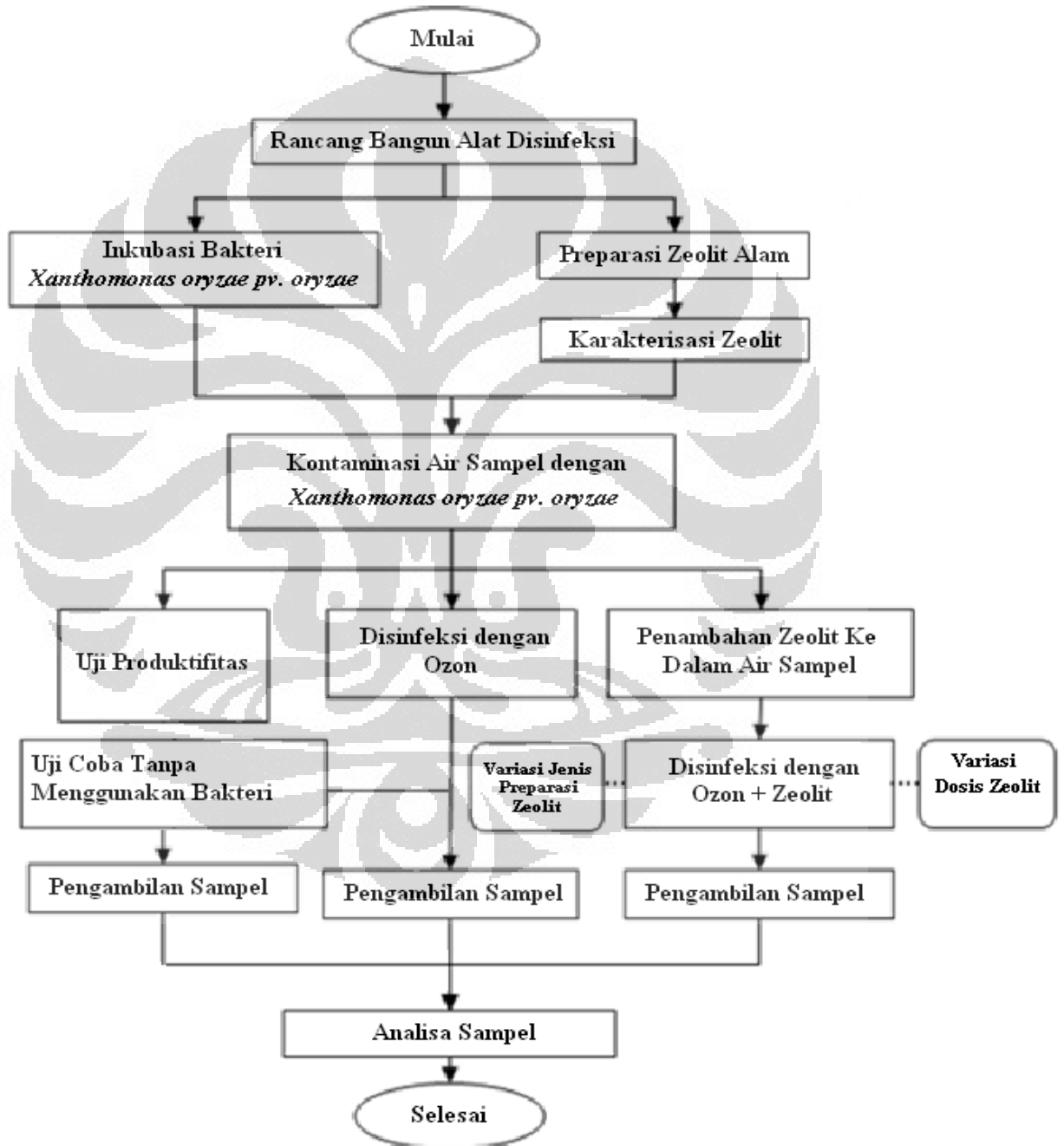
Metode turbidimetrik merupakan metode pengukuran kekeruhan biakan dengan fotokolorimeter. Pada metode ini, diperlukan suatu kurva standar yang menyatakan korelasi antara kekeruhan dengan jumlah organisme per volume (ml) biakan. Kurva semacam ini diperoleh dengan cara menggunakan metode TPC untuk menggunakan metode hitungan organisme di dalam biakan yang kekeruhannya diketahui. Untuk mencatat optical density (OD) atau % transmitans digunakan galvanometer. Semakin besar intensitas cahaya, maka semakin sedikit jumlah sel dalam suspensi. Sebelum digunakan, alat tersebut harus dikalibrasi terlebih dahulu untuk menetapkan 100% T. Setelah dikalibrasi maka kekeruhan sampel biakan dapat dibaca dengan menaruh tabung berisi biakan tersebut kedalam sampel alat tersebut. Melalui perhitungan, nilai %T kemudian diubah dan dinyatakan sebagai nilai absorbans (A) atau rapat optik (*optical density* atau OD).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat dari diagram alir penelitian pada Gambar 3.1 sebagai berikut.



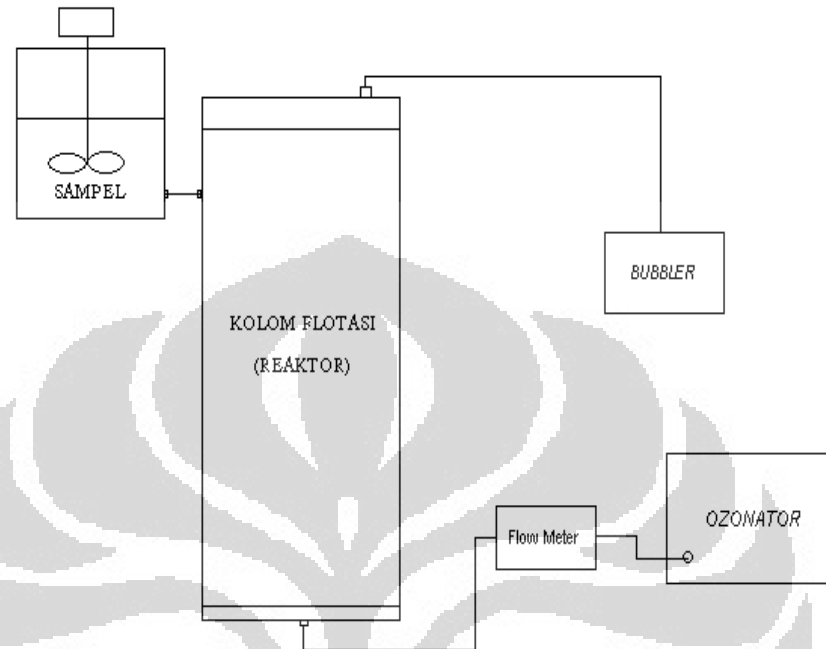
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh penggunaan zeolit alam pada proses disinfeksi hama padi, bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*, dengan proses ozonasi. Penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium Intensifikasi Proses serta Laboratorium Rekayasa Bioproses, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penelitian mengenai disinfeksi bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* dengan ozon dan zeolit ini dimulai dengan melakukan studi literatur dari berbagai jurnal nasional dan internasional terkait bakteri patogen tersebut serta kombinasi proses ozonasi dengan zeolit.

Penelitian dimulai dengan merancang dan menyusun peralatan yang akan digunakan sebagai wadah proses disinfeksi. Selanjutnya dilakukan preparasi dan karakterisasi zeolit alam Lampung yang akan digunakan. Preparasi zeolit bertujuan untuk membersihkan zeolit dari pengotor dan mengaktifkannya agar siap digunakan. Proses preparasi zeolit ini dapat dilakukan bersamaan dengan proses inkubasi bakteri. Inkubasi bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* dilakukan pada media YDCA (*yeast dextrose carbonate agar*) untuk memperoleh kultur bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* dalam jumlah yang cukup banyak untuk dapat diamati karakteristiknya sebelum dan sesudah disinfeksi. Bakteri yang diperoleh dikontaminasikan pada air yang akan digunakan sebagai sampel yang dimodelkan sebagai air irigasi tanaman padi yang terkontaminasi bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*. Sebelum dilakukan disinfeksi dengan ozon, dilakukan uji produktifitas untuk mengetahui produktifitas dari ozonator yang digunakan. Proses disinfeksi dilakukan bervariasi yaitu hanya menggunakan ozon dan dengan ozon-zeolit, di mana sampel diambil sebelum ozonasi, dan setelah diozonasi setiap 5 menit, 15 menit, 30 menit, dan 45 menit. Konsistensi zeolit divariasikan sebanyak 2 g/L, 4 g/L, dan 6 g/L. Air sampel dari kedua perlakuan dalam disinfeksi diambil untuk melakukan analisa terhadap jumlah bakteri sebelum dan sesudah proses disinfeksi dengan menggunakan metode TPC (*total plate count*).

3.2. Skema Alat Penelitian

Skema alat yang akan digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat seperti pada Gambar 3.2 berikut.



Gambar 3.2. Skema alat penelitian

Ozonator yang digunakan merupakan ozonator yang berjenis *Resun RSO - 9805*. Ozonator diletakkan pada jarak yang sangat dekat dengan unit disinfeksi guna mencegah dekomposisi ozon. Campuran gas (udara, oksigen, dan ozon) yang keluar dari ozonator dialirkan menuju kolom flotasi melalui *gas flowmeter* dengan laju alir 400 mL/menit.

Wadah yang digunakan merupakan kolom flotasi berukuran dengan kapasitas 4 L, berbahan *acrylic* transparan, untuk memudahkan pengamatan. Kolom flotasi ini akan digunakan sebagai reaktor atau sebagai wadah disinfeksi air sampel yang terkontaminasi bakteri. Kolom flotasi digunakan sebagai wadah untuk menampung zeolit dan air sampel yang terkontaminasi bakteri, dan dialirkan ozon.

3.3. Variabel Dalam Penelitian

Penelitian ini dibatasi oleh beberapa parameter berupa variabel bebas, variabel kontrol, dan variabel terikat. Adapun variabel-variabel yang terdapat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang divariasikan dengan besar nilai tertentu. Variabel bebas dalam penelitian ini yaitu penggunaan zeolit dan konsistensi zeolit.

Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang dikendalikan atau dibuat dalam keadaan konstan. Variabel kontrol dalam penelitian ini yaitu laju alir ozon, pH sistem dan konsentrasi bakteri yang digunakan.

Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang terjadi akibat adanya variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini yaitu jumlah bakteri yang tersisa setelah didisinfeksi dengan ozon dalam satuan CFU/mL.

3.4. Alat dan Bahan Penelitian

Dalam penelitian untuk disinfeksi bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* dengan proses ozonasi dan zeolit ini digunakan berbagai macam alat dan bahan sebagai berikut.

3.4.1. Alat

Pada Tabel 3.1 berikut ini terdapat rincian peralatan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

Tabel 3.1. Daftar alat yang digunakan dalam penelitian

No.	Alat	Fungsi
1.	Kolom Flotasi	Sebagai reaktor pada proses disinfeksi
2.	Generator Ozon	Menghasilkan ozon untuk proses disinfeksi
3.	<i>Flow Meter</i>	Mengontrol aliran udara dari ozonator menuju reaktor
4.	<i>Bubbler</i>	Mengalirkan ozon ke larutan KI pada proses analisis
5.	Gelas ukur	Alat untuk mengambil larutan dalam jumlah tertentu
6.	Erlenmeyer	Wadah pencampuran larutan
7.	Colorimeter	Untuk mengetahui konsentrasi ozon terlarut dalam sampel
8.	Buret 50 cc	Alat bantu dalam proses titrasi
9.	Statip	Alat bantu dalam proses titrasi
10.	<i>Stopwatch</i>	Menghitung waktu kontak dalam proses ozonasi
11.	<i>Beaker glass</i>	Wadah pencampuran larutan
12.	Kaca Arloji	Wadah untuk menimbang
13.	Tabung Reaksi	Tempat pengenceran larutan
14.	Timbangan	Mengukur berat bahan dan sampel
15.	<i>pH meter dan pH indicator</i>	Alat untuk mengukur pH sampel
16.	Autoklaf	Tempat sterilisasi alat dan bahan
17.	Cawan Petri	Tempat pembiakan bakteri
18.	Spatula	Alat untuk mengambil bakteri / zat yang diperlukan
19.	Bunsen	Memanaskan peralatan yang akan digunakan agar steril
20.	<i>Transfer box</i>	Tempat melakukan metode TPC
21.	Inkubator	Tempat menginkubasi bakteri
22.	Refrigerator	Tempat menyimpan bakteri dan sampel
23.	<i>Hot plate stirrer</i>	Memanaskan medium agar untuk TPC
24.	Pipet	Mengambil sejumlah volume larutan
25.	<i>Micropipet</i>	Mengambil sejumlah volume larutan yang kecil (1000 μ l)
26.	<i>Tip</i>	Mengambil sampel dalam proses TPC

Tabel 3.1. (Lanjutan) Daftar alat yang digunakan dalam penelitian

No.	Alat	Fungsi
27.	Oven	Memanaskan zeolit dan sterilisasi peralatan
28.	Alu dan Lumpang	Untuk memperkecil ukuran zeolit alam
29.	Alat penyaring (<i>mesh</i>)	Menyaring zeolit
30.	Alat Karakterisasi BET	Mengkarakterisasi bakteri pada sampel
31.	Jarum Ose/Batang strik	Mengambil sampel bakteri
32.	Desikator	Untuk menyimpan zeolit yang sudah dipreparasi agar terhindar dari uap air.

3.4.2. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada saat penelitian adalah sebagai berikut:

Tabel 3.2. Daftar bahan yang digunakan dalam penelitian

No.	Bahan	Fungsi
1.	Isolat bakteri <i>Xanthomonas oryzae pv. oryzae</i>	Bakteri yang akan dikontaminasi pada air untuk kemudian diozonasi dan dihitung jumlahnya untuk mengetahui tingkat efektivitas disinfeksi
2.	Agar	Untuk membuat media YDCA
3.	<i>Dextrose</i>	Untuk membuat media YDCA
4.	Ekstrak ragi (<i>yeast</i>)	Untuk membuat media YDCA
5.	Kalsium karbonat (CaCO_3)	Untuk membuat media YDCA
6.	Zeolit alam Lampung	Sebagai konsentrator/adsorben pada proses disinfeksi
7.	Air demin	Sebagai pelarut untuk membuat media agar dan untuk membuat sampel
8.	Reagent Ozon	Untuk mengetahui ozon yang terlarut dalam air sampel
9.	Larutan KI 0,1 N	Bahan dalam proses titrasi
10.	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0,005 M	Bahan dalam proses titrasi
11.	H_2SO_4 2 N	Bahan dalam proses titrasi
12.	Indikator kanji (amilum)	Indikator untuk membantu proses titrasi

3.5. Tahap Inkubasi Bakteri

Tahap ini dilakukan untuk mendapatkan kultur bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* dalam jumlah yang cukup banyak untuk dapat diamati karakteristiknya sebelum dan sesudah disinfeksi.

3.5.1. Prosedur Inkubasi Bakteri

Media yang digunakan dalam perhitungan jumlah koloni bakteri dengan metode TPC adalah media YDCA (*yeast dextrose carbonate agar*). Tahapan pembuatan medium agar adalah sebagai berikut:

1. Mencampurkan bubuk agar sebanyak yang diperlukan (takaran 20 gram untuk aquadest sebanyak 1 liter, dimana satu cawan petri mampu menampung sedikitnya 15 mL larutan nutrisi agar sebagai tempat perkembangbiakan mikroba) dengan ekstrak ragi (*yeast*) 10 gram dan CaCO_3 20 gram, kemudian dilarutkan dengan air 500 mL.
2. Melarutkan *dextrose* sebanyak 20 gram dalam air 500 mL.
3. Mencampurkan kedua larutan sambil mengaduk untuk memastikan CaCO_3 merata.
4. Mendidihkan larutan tersebut dengan suhu 200°C
5. Mensterilisasi larutan dengan autoklaf selama 15 menit.

Setelah diperoleh media YDC agar, dilakukan tahap pembiakan bakteri sebagai berikut:

1. Menyiapkan cairan YDC agar dengan volume 5 mL dalam cawan petri, lalu membalik cawan selama 5 menit apabila cairan sudah mengeras
2. Menyiapkan sampel murni bakteri
3. Menyiapkan jarum ose/batang strik dengan mensterilkannya di atas api Bunsen
4. Mengambil sampel bakteri murni dengan jarum ose/batang strik kemudian mengoleskannya pada media agar padat secara zig-zag
5. Menyimpan media YDC agar yang telah dioles ke dalam inkubator pada suhu 37°C selama 48 jam

3.6. Tahap Preparasi Zeolit Alam

Zeolit alam Lampung yang merupakan jenis klinoptilolit perlu diberi *pre-treatment* sebelum digunakan, untuk membersihkan zeolit dari pengotor serta mengaktifkannya agar dapat digunakan sebagai adsorben/konsentrator. Pada tahap ini ukuran zeolit juga diseragamkan dan dikarakterisasi untuk mengetahui luas permukaan dan diameter pori zeolit.

3.6.1. Prosedur *Pre-treatment* Zeolit

1. Menumbuk/menggerus dan menyaring zeolit untuk menyeragamkan ukuran ($\pm 1,7$ mm)
2. Mencuci zeolit dengan merendamnya dalam air demin sambil diaduk dan dipanaskan dengan suhu $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 30 menit. Zeolit disaring dan kemudian dimasukkan kedalam oven dengan suhu $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga mengering.
3. Menetralkan zat basa dalam zeolit dengan merendamnya dalam larutan HCl 0,05 M sambil diaduk dan dipanaskan dengan suhu $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 30 menit. Zeolit disaring dan kemudian dimasukkan kedalam oven dengan suhu $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga mengering.
4. Menetralkan zat asam dalam zeolit dengan merendamnya dalam larutan NaOH 0,05 M sambil diaduk dan dipanaskan dengan suhu $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 30 menit. Zeolit disaring dan kemudian dimasukkan kedalam oven dengan suhu $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga mengering.
5. Membuat Na-Zeolit dengan merendam zeolit dalam larutan NaCl jenuh sambil diaduk dan dipanaskan dengan suhu $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 30 menit. Zeolit disaring dan kemudian dimasukkan kedalam oven dengan suhu $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga mengering.
6. Memurnikan zeolit dengan merendamnya dalam larutan NH_4OH 0,05 M sambil diaduk dan dipanaskan dengan suhu $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 30 menit. Zeolit disaring dan kemudian dimasukkan kedalam oven dengan suhu $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga mengering.
7. Mengaktivasi zeolit dengan mengkalsinasinya ke dalam oven dengan suhu $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 2 jam.

8. Setelah kering, zeolit siap dipakai. Untuk penyimpanan sebaiknya dimasukkan ke dalam desikator agar tidak menyerap udara maupun air.
9. Melakukan karakterisasi zeolit untuk mengetahui struktur zeolit; ukuran pori, luas permukaan setelah diberikan *pre-treatment*. Karakterisasi zeolit alam dilakukan dengan *BET Autosorb*.

3.7. Proses Disinfeksi

Proses ini dilakukan untuk mengetahui signifikansi penggunaan zeolit dalam proses disinfeksi bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* dengan ozon. Penelitian dilakukan dengan menganalisis sampel air yang mengandung bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* pada konsentrasi tertentu, sebelum dan setelah dilakukan disinfeksi dengan ozon, di mana diberikan perlakuan yang berbeda pada sampel; salah satu sampel didisinfeksi hanya dengan ozon, sedangkan sampel lainnya didisinfeksi dengan kombinasi ozon-zeolit. Sebelum dilakukan uji disinfeksi, terlebih dahulu dilakukan uji sirkulasi untuk menentukan produktivitas dari ozonator yang digunakan.

3.7.1. Preparasi Bahan-bahan yang Dibutuhkan

Proses pembuatan bahan-bahan yang dibutuhkan antara lain :

- Membuat larutan KI 0,1 N dengan cara melarutkan 20 gr KI ke dalam 1000 mL aquades.
- Membuat larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0,005 N dengan cara melarutkan 0,62 gr $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ke dalam 1000 mL aquades.
- Membuat larutan H_2SO_4 2 N dengan cara pengenceran, dimana larutan H_2SO_4 pekat (18 N) sebanyak 14 mL diencerkan dengan aquades sehingga didapat larutan H_2SO_4 2 N sebanyak 250 mL.
- Menyiapkan larutan amilum 1 % yaitu 1 gr padatan *starch* ditambahkan dengan aquades hingga 100 mL, kemudian memanaskannya hingga mendidih. Kemudian didinginkan.

3.7.2. Prosedur Penelitian

Prosedur untuk proses disinfeksi dibagi ke dalam beberapa tahap sebagai berikut.

3.7.2.1. Uji Produktivitas Ozon

1. Memasukkan larutan KI ke dalam *bubbler* yang terdiri dari bagian hulu dan hilir masing-masing sebanyak 200 mL, kemudian menyalakan ozonator, membuka katup laju alir udara dan melewatkannya ke dalam *bubbler*.
2. Mengganti larutan KI yang digunakan pada waktu 5, 10, 15, dan 20 menit.
3. Menitrasi larutan KI untuk mendapatkan nilai produktivitas ozon.

3.7.2.2. Disinfeksi dengan Ozon

1. Mengkontaminasi 3 L aquades dengan bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*
2. Menghubungkan peralatan-peralatan yang digunakan
3. Memasukkan larutan KI ke dalam *bubbler* sebanyak 200 mL, kemudian menyalakan ozonator, membuka katup laju alir udara dan melewatkannya ke dalam *bubbler*.
4. Mengambil sampel air untuk menghitung jumlah *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* yang terkandung dalam air tersebut
5. Menyimpan sampel tersebut dalam refrigerator
6. Mengukur pH sistem
7. Melakukan disinfeksi dengan ozon pada laju alir keluaran ozonator 400 mL/menit selama 5 menit
8. Mengambil sampel untuk menghitung jumlah bakteri setelah disinfeksi
9. Mengambil sampel untuk mengetahui ozon yang terlarut dalam air
10. Mengganti larutan KI yang digunakan
11. Menyimpan satu sampel dalam refrigerator untuk dihitung jumlah koloni bakteri yang terdapat didalamnya
12. Menganalisis sampel kedua dengan menggunakan *colorimeter* untuk mengetahui konsentrasi ozon yang terkandung didalamnya

13. Menganalisis larutan KI yang digunakan sebelumnya untuk mengetahui konsentrasi ozon dalam aliran yang keluar pada fasa gas
14. Perlakuan yang sama pada waktu 15 menit, 30 menit, 45 menit dan 60 menit

3.7.2.3. Disinfeksi dengan Ozon dan Zeolit

1. Mengkontaminasi 3 L aquades dengan bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*
2. Menghubungkan peralatan-peralatan yang digunakan
3. Menambahkan zeolit alam yang telah dipreparasi dan karakterisasi ke dalam air sampel dengan konsistensi 2 g/L
4. Memasukkan larutan KI ke dalam *bubbler* yang terdiri dari bagian hulu dan hilir masing-masing sebanyak 200 mL, kemudian menyalakan ozonator, membuka katup laju alir udara dan melewatkannya ke dalam *bubbler*.
5. Mengambil sampel air untuk menghitung jumlah *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* yang terkandung dalam air tersebut
6. Menyimpan sampel tersebut dalam refrigerator
7. Mengukur pH sistem
8. Melakukan disinfeksi dengan ozon pada laju alir keluaran ozonator 400 mL/menit selama 5 menit
9. Mengambil sampel untuk menghitung jumlah bakteri setelah disinfeksi
10. Mengambil sampel untuk mengetahui ozon yang terlarut dalam air
11. Mengganti larutan KI yang digunakan
12. Menyimpan satu sampel dalam refrigerator untuk dihitung jumlah koloni bakteri yang terdapat didalamnya
13. Menganalisis sampel kedua dengan menggunakan *colorimeter* untuk mengetahui konsentrasi ozon yang terkandung didalamnya
14. Menganalisis larutan KI yang digunakan sebelumnya untuk mengetahui konsentrasi ozon dalam aliran yang keluar pada fasa gas
15. Perlakuan yang sama pada waktu 15 menit, 30 menit, 45 menit dan 60 menit
16. Mengulang disinfeksi untuk konsistensi zeolit 4 g/L dan 6 g/L

3.7.3. Analisis Sampel

Prosedur untuk analisis sampel dibagi ke dalam beberapa tahap sebagai berikut.

3.7.3.1. Uji Produktivitas Ozon

1. Menyiapkan labu erlenmeyer berisi larutan KI yang digunakan dalam percobaan
2. Mengambil 25 mL dari larutan KI tersebut
3. Menambahkan sampel dengan H_2SO_4 sebanyak 4 mL dan indikator amilum sehingga sampel berwarna biru tua (menandakan adanya I_2 dalam sampel)
4. Menitrasi sampel dengan larutan $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$
5. Menghentikan proses titrasi sampai larutan yang berwarna biru tua tepat berubah menjadi bening
6. Perlakuan yang sama terhadap sampel saat 5, 10, 15, dan 20 menit.
7. Perlakuan yang sama terhadap bagian hulu dan hilir.

3.7.3.2. Uji Konsentrasi Ozon yang Terlarut dalam Air Sampel

1. Menyiapkan labu erlenmeyer berisi air sampel hasil disinfeksi
2. Menyiapkan reagent ozon yang digunakan
3. Memasukkan aquades ke dalam reagent ozon sebagai pembanding
4. Memasukkan air sampel hasil disinfeksi ke dalam reagent ozon
5. Mengukur konsentrasi ozon yang terlarut menggunakan alat colorimeter
6. Perlakuan yang sama terhadap sampel 5, 15, 30, dan 45 menit
7. Perlakuan yang sama terhadap sampel disinfeksi dengan ozon dan ozon-zeolit.

3.7.3.3. Uji Konsentrasi Ozon Pada Gas Keluaran

1. Menyiapkan labu erlenmeyer berisi larutan KI yang digunakan dalam percobaan
2. Mengambil 25 mL dari larutan KI tersebut
3. Menambahkan sampel dengan H_2SO_4 sebanyak 4 mL dan indikator amilum sehingga sampel berwarna biru tua (menandakan adanya I_2 dalam sampel)

4. Menitrasi sampel dengan larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
5. Menghentikan proses titrasi sampai larutan yang berwarna biru tua tepat berubah menjadi bening
6. Perlakuan yang sama terhadap sampel saat 5, 15, 30, dan 45 menit.
7. Perlakuan yang sama terhadap sampel disinfeksi dengan ozon dan ozon-zeolit.

3.7.3.4. Analisis Jumlah Koloni Bakteri

Sampel air sebelum dan sesudah didisinfeksi dengan ozon diambil untuk dianalisis dengan metode TPC.

1. Melakukan sterilisasi pada alat yang akan digunakan untuk metode TPC.
2. Menyiapkan media *YDC agar* seperti pada tahap inkubasi bakteri.
3. Mengambil larutan sampel dengan waktu ozonasi tertentu sebanyak 1 mL kemudian melarutkannya dalam 9 mL *aquadest* (untuk membuat rasio dilusi 1:10), mengambil 1 mL larutan dilusi 1:10 kemudian menambahkan 9 mL *aquadest* (untuk membuat rasio dilusi 1:100) dikocok hingga homogen.
4. Mengulangi langkah di atas sehingga diperoleh larutan dilusi dengan rasio $1:10^3$, $1:10^4$, $1:10^5$ sampai $1:10^{12}$.
5. Mengambil larutan dilusi yang sesuai sebanyak 1 mL dan dimasukkan ke dalam cawan petri yang sudah disterilkan.
6. Menambahkan 15-20 mL larutan *nutrient agar* yang sudah didinginkan hingga temperatur $45^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ ke dalam cawan petri yang telah berisi larutan dilusi, memutar cawan petri membentuk angka "8" supaya larutan sampel dan media agar tercampur seluruhnya.
7. Mendinginkan medium agar selama beberapa menit hingga memadat.
8. Menginkubasi cawan petri tersebut pada suhu $34-36^\circ\text{C}$ selama 24-48 jam dengan meletakkan cawan pada posisi terbalik.
9. Menghitung jumlah koloni yang ada pada cawan petri dengan bantuan mikroskop atau kaca pembesar. Hitung jumlah bakteri per mL dengan rumus sebagai berikut :

$$\Sigma \text{ bakteri (CFU/mL)} = \frac{\Sigma \text{ koloni bakteri}}{V \text{ dilusi} \times V \text{ sampel pada cawan petri}} \times \frac{V \text{ sampel}}{V \text{ air pada dilusi 1:10}} \quad (3.1)$$

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

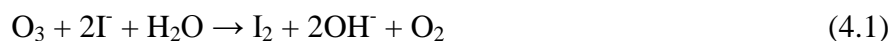
Pada bab ini akan dievaluasi kinerja disinfeksi bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* menggunakan proses ozonasi dan juga pengaruh penggunaan zeolit alam Lampung dalam proses disinfeksi tersebut. Penelitian ini menggunakan metode flotasi udara.

Penelitian ini diawali dengan beberapa tahap inkubasi bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* yang akan digunakan dalam penelitian ini, dan juga preparasi dan aktivasi zeolit alam Lampung untuk mendapatkan kondisi optimum zeolit sebagai absorban dalam proses disinfeksi bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* dalam air sampel. Kemudian dilakukan disinfeksi dengan menggunakan proses ozonasi dan juga disinfeksi dengan kombinasi antara proses ozonasi dan penggunaan zeolit sebagai absorban. Pada tahap penggunaan zeolit, konsistensi zeolit divariasikan untuk mengetahui pengaruh penggunaan zeolit dan juga konsistensi yang optimal digunakan.

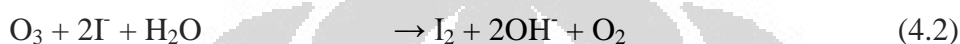
4.1. Analisis Produktivitas Ozonator Resun

Pengujian produktivitas ozonator ini bertujuan untuk mengetahui jumlah ozon yang diproduksi oleh ozonator merk resun RSO 9805 melalui metode iodometri. Data atau parameter utama yang diambil dalam pengamatan ini adalah banyaknya volume penitrasi ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) pada *bubbler* ozon (bagian hulu dan hilir) yang diperlukan untuk menitrasi larutan KI yang berubah warna dari bening menjadi kuning kecokelatan (menunjukkan adanya O_3 yang mengoksidasi KI) untuk mengetahui banyaknya ozon yang diproduksi.

Ozon dikontakkan dengan larutan KI dalam *bubbler*. Akibat dari kontak tersebut akan terjadi reaksi oksidasi antara ozon dan KI yang menyebabkan larutan berubah warna menjadi kuning kecokelatan. Warna ini adalah warna dari I_2 yang terbentuk melalui reaksi oksidasi I sebagai berikut :



Dari persamaan di atas dapat dilihat bahwa mol I_2 yang terbentuk sebanding dengan mol ozon yang diperlukan untuk mengoksidasi KI, sehingga mol I_2 tersebut dapat dipergunakan untuk menghitung mol ozon yang diproduksi oleh ozonator. Cara penentuan jumlah mol I_2 yang terbentuk adalah dengan menitrasi larutan dengan natrium tiosulfat ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$), setelah terlebih dahulu menambahkan asam sulfat dan amilum. Fungsi dari asam sulfat adalah untuk meminimalisasi I_2 yang terlepas ke udara, sedangkan fungsi amilum adalah sebagai indikator (campuran I_2 dengan amilum akan menimbulkan warna biru-ungu). Persamaan reaksi titrasi secara lengkap adalah sebagai berikut :



Titrasi dilakukan sampai jumlah I_2 sebanding secara stoikiometris dengan natrium tiosulfat, yang ditunjukkan oleh warna larutan yang menjadi jernih. Dari persamaan reaksi di atas, maka jumlah mol ozon yang terbentuk oleh ozonator akan sama dengan setengah dari jumlah mol natrium tiosulfat yang terpakai, dan produktivitas ozonator dapat dihitung dengan membagi jumlah mol ozon tersebut dengan waktu kontak ozon dengan larutan KI, sehingga dapat diketahui jumlah ozon yang diproduksi oleh ozonator. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran 1.

Data yang didapatkan dari percobaan adalah sebagai berikut :

Laju alir gas pada ozonator = 400 mL/menit

Tabel 4.1. Data Percobaan pada Analisis Produktivitas Ozonator

t (menit)	V $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$	
	hulu (ml)	hilir (ml)
5	35	2
10	52	7
15	61	11
20	72	20

Kemudian, data tersebut diolah dengan perhitungan yang terlampir pada lampiran. Hasil perhitungan yang didapatkan adalah sebagai berikut :

Tabel 4.2. Hasil perhitungan pada Analisis Produktivitas Ozonator

M Na ₂ S ₂ O ₅ ·0.5H ₂ O	mol Na ₂ S ₂ O ₅ ·0.5H ₂ O	mol O ₃	Massa O ₃ (gr)	Produktivitas Ozonator (gr/jam)
0.005	0.000185	0.0000925	0.00444	0.05328
0.005	0.000295	0.0001475	0.00708	0.08496
0.005	0.00036	0.00018	0.00864	0.10368
0.005	0.00046	0.00023	0.01104	0.13248
Produktivitas Ozon Rata-rata (gr/jam)				0.0936

Jumlah ozon rata-rata berdasarkan perhitungan di atas merupakan nilai produktivitas dari ozonator. Produktivitas ozon dari ozonator merk Resun RSO 9805 dengan laju alir gas sebesar 400 mL/menit adalah sebesar 0,0936 g/jam.

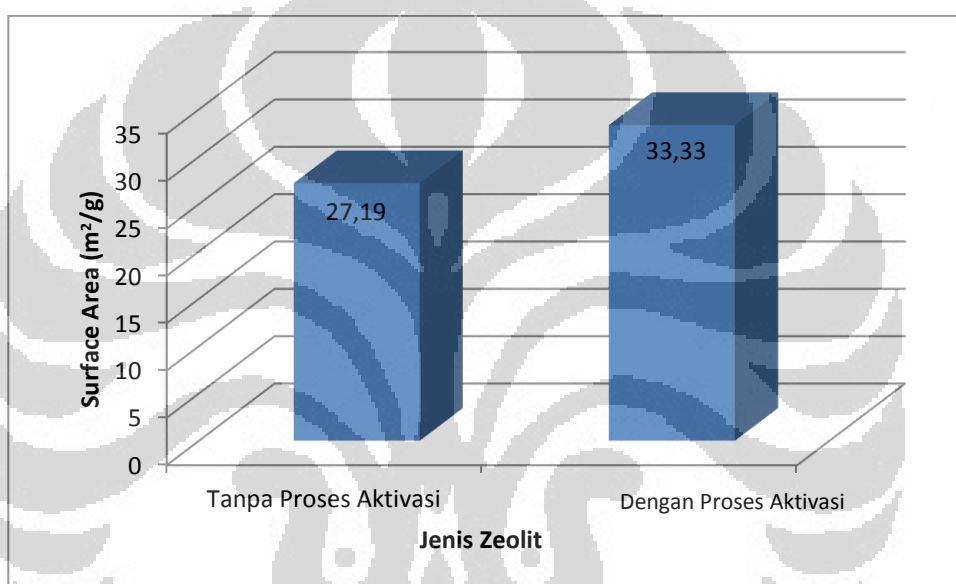
Pengukuran produktivitas ozon rata-rata ini diperuntukan untuk mengetahui massa ozon fasa gas yang masuk ke dalam cairan sampel. Nilai ini berguna untuk menentukan neraca massa dari ozon pada percobaan ini, dan akan digunakan pada perhitungan-perhitungan selanjutnya.

4.2. Karakterisasi Zeolit Alam Lampung

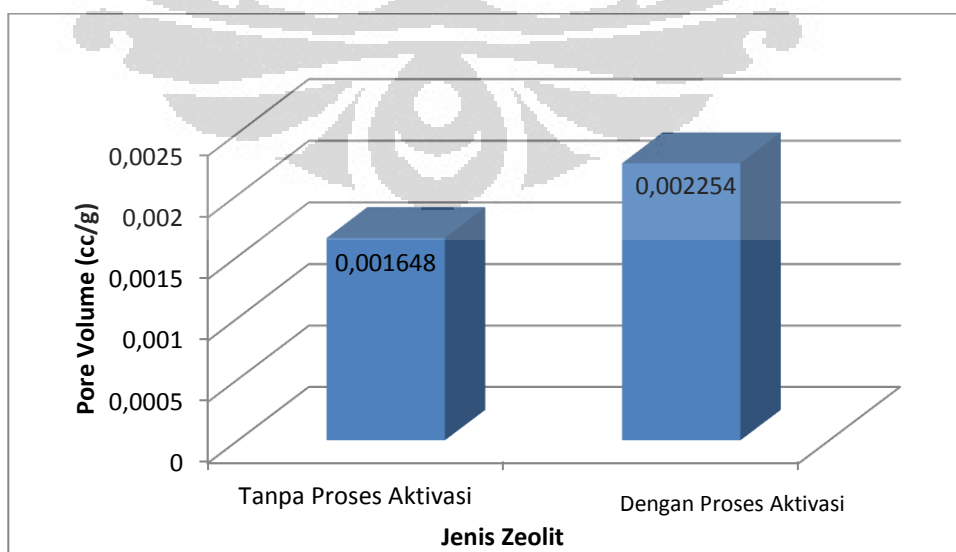
Zeolit alam yang digunakan dalam penelitian ini adalah zeolit alam Lampung. Perlakuan-perlakuan pada tahap aktivasi dan preparasi zeolit alam tersebut antara lain menumbuk zeolit tersebut, dan kemudian mengayaknya untuk mendapat ukuran butiran zeolit sebesar 1,7 mm. Kemudian pencucian dengan aquades untuk membersihkan permukaan zeolit dari pengotor setelah proses penumbukan dan pengayakan. Selain itu pencucian dengan aquades juga berfungsi untuk menetralkan pH. Kemudian dilakukan pencucian dengan HCl dan NaOH untuk membersihkan permukaan pori dari pengotor yang dapat mengganggu proses pertukaran ion dengan melarutkan pengotor yang larut dalam larutan asam dan basa. Setelah itu melarutkannya pada larutan NaCl jenuh untuk mendapatkan Na-Zeolit. Kemudian mencampurkan zeolit dengan larutan NH₄OH untuk menukarkan ion NH₄⁺ yang memiliki selektifitas lebih baik ke dalam rongga zeolit untuk menggantikan kation alkali dan alkali tanah yang ada. Setelah itu dilanjutkan dengan proses kalsinasi yaitu dengan memanaskannya dalam furnace (tungku udara) pada suhu 400°C selama 2 jam. Melalui kalsinasi dalam furnace ini,

Alumina-Silika yang tidak stabil dapat tersusun kembali menjadi lebih stabil dan memiliki struktur Kristal yang lebih baik.

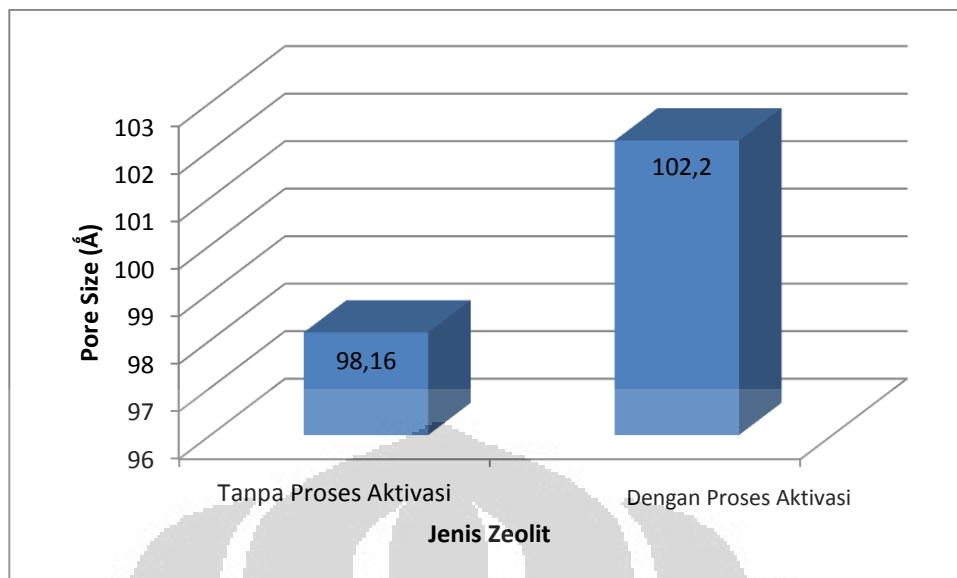
Uji analisis dengan menggunakan BET Autosorb dilakukan untuk mengetahui dan membandingkan luas permukaan, volume pori, dan ukuran pori dari zeolit alam Lampung sebelum proses aktivasi dan setelah proses aktivasi. Perlakuan yang diberikan pada zeolit yang tidak diaktivasi hanyalah dicuci dengan air demin. Lembaran hasil uji BET Autosorb dapat dilihat pada Lampiran 2 dan 3. Hasil dari uji BET Autosorb yang telah dilakukan dapat dilihat pada grafik di bawah ini :



Gambar 4.1. Pengaruh Proses Aktivasi dan Preparasi pada Luas Permukaan Zeolit Alam



Gambar 4.2. Pengaruh Proses Aktivasi dan Preparasi pada Volume Pori Zeolit Alam



Gambar 4.3. Pengaruh Proses Aktivasi dan Preparasi pada Ukuran Pori Zeolit Alam

Dari grafik di atas terlihat bahwa zeolit alam setelah mengalami proses aktivasi dan preparasi memiliki luas permukaan, volume pori, dan ukuran pori yang lebih besar dibandingkan dengan zeolit alam sebelum mengalami proses aktivasi dan preparasi. Proses aktivasi dan preparasi ini memperbesar luas permukaan zeolit sebesar 22,58%, memperbesar volume pori zeolit sebesar 33,77%, dan memperbesar ukuran pori zeolit sebesar 4,12%. Proses aktivasi dan preparasi (kalsinasi) yang dilakukan telah mampu mengurangi kandungan air yang terperangkap dalam pori-pori kristal zeolit sehingga dapat memperluas luas permukaan zeolit. Selain itu, proses kalsinasi ini juga dapat menghilangkan zat organik yang terdapat di dalam zeolit tersebut sehingga penyerapan dapat dilakukan dengan lebih baik.

Zeolit alam bersifat sebagai adsorben dan penyaring molekul, hal ini dimungkinkan karena struktur zeolit yang berongga, sehingga mampu menyerap sejumlah besar molekul yang berukuran lebih kecil atau sesuai dengan ukuran rongganya. Struktur berongga tersebut merupakan akibat perbedaan dari besarnya diameter ruang di antara beberapa mineral, dan sifat kimianya dapat dilihat dari afinitas gugus anion di dalam rongga zeolit terhadap kation yang akan diserapnya. (Setiawan, 2006; Putra, 2007) Dengan demikian pula, luas permukaan kristal zeolit yang besar dapat melekatkan mikroorganisme seperti bakteri. (Widiastuti et al.,

2008) Faktor lainnya yang mendukung kemampuan zeolit mengadsorpsi bakteri yaitu interaksi *electric double layer* dan interaksi hidrofobik (Kubota et al., 2008).

Pori-pori zeolit yang besar menyebabkan spesi yang besar dapat ditampung di pori-pori tersebut, salah satunya dapat berupa sel hidup seperti bakteri. Bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* berukuran cukup besar, dengan dimensi 1,1 – 2,0 μm atau lebih, sehingga tidak muat di pori yang kecil. Bakteri membentuk koloni pada material tidak berpori, maka tambahan luas permukaan yang terjadi akibat adanya pori-pori pada zeolit dapat menampung dan membantu perkembangan populasi bakteri yang lebih besar. Beberapa bakteri yang dapat teradsorpsi oleh pori-pori zeolit di antaranya yaitu *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Mycobacterium*, *Corynebacterium*, *Arthrobacterium*, *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Nocardia*, *Achromobacterium*, *Alcaligenes*, *Vibrio*, *Azotobacter*, *Beijerinckia*, *Xanthomonas*, *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, *Methylosinus*, *Methylococcus*, *Methylobacter* dan *Actinomycetes*. Mikroorganisme lainnya termasuk *fungi*, ragi, alga, ataupun protozoa. (Miller et al., 1994)

4.3. Disinfeksi Bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* dengan Proses Ozonasi

Untuk mengetahui pengaruh penggunaan zeolit dalam proses ozonasi untuk disinfeksi bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*, pertama-tama dilakukan proses disinfeksi dengan hanya menggunakan ozon untuk mengetahui laju disinfeksi bakteri sebagai parameter pembandingan.

Larutan sampel yang digunakan adalah aquades yang telah diinfeksi dengan bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* yang telah dibiakkan sebelumnya, dengan pH larutan sebesar 5,7 yang dicampur dalam tangki pencampur. Dari tangki pencampur, larutan sampel dialirkan masuk ke dalam tangki flotasi. Udara diumpungkan ke dalam tangki flotasi melalui diffuser pada bagian bawah tangki. Selama proses flotasi, froth yang terbentuk diambil dengan cara dialirkan melalui pipa paralon dan dilengkapi elbow yang dipasang pada permukaan kolom flotasi. Sampel yang akan diambil adalah sampel larutan yang telah terinfeksi bakteri sebelum dilakukan proses ozonasi, dan setelah dilakukan proses ozonasi selama 5, 15, 30, 45, dan 60 menit.

Data yang diambil pada percobaan ini adalah jumlah bakteri *Xanthomonas oryzae* pada menit ke-0, 5, 15, 30, 45, dan 60, massa dari *ozone off gas* yaitu ozon fasa gas yang tidak terlarut dalam larutan, dan juga *dissolved ozone* yaitu ozon yang terlarut dalam larutan sampel.

Dengan volume limbah yang didisinfeksi sebanyak 3 L, dan laju alir gas pada ozonator sebesar 400 mL/menit, berikut adalah data-data yang didapatkan dari hasil disinfeksi dengan proses ozonasi tanpa menggunakan zeolit :

Tabel 4.3. Hasil Disinfeksi dengan Proses Ozonasi Tanpa Zeolit

Dosis Ozon 0,0936 gr/jam			
Waktu kontak (menit)	Jumlah Bakteri (CFU/ml)	Ozone Off Gas (mg/L)	Dissolved Ozone (mg/L)
0	$9,50 \times 10^5$	0	0
5	$3,05 \times 10^6$	0,384	0,120
15	$9,80 \times 10^5$	0,624	0,120
30	$2,15 \times 10^5$	0,888	0,060
45	$5,50 \times 10^4$	1,164	0,030
60	$1,00 \times 10^4$	1,356	0,030

Data jumlah bakteri diperoleh dari perhitungan jumlah bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* dengan menggunakan metode analisis TPC (*Total Plate Count*), metode perhitungan TPC dapat dilihat pada Bab III. Data off gas diperoleh melalui metode iodometri dengan cara yang sama dengan perhitungan produktivitas ozon. Data-data percobaan tersebut dapat dilihat pada Lampiran 4. Data *dissolve ozon* diperoleh menggunakan sampel yang dilarutkan pada *ozone reagent* dan dianalisis menggunakan *Colorimeter DR/890*.

Dari data di atas terlihat bahwa jumlah bakteri mengalami penurunan sebesar 1/95 kali setelah didisinfeksi dengan hanya menggunakan proses ozonasi selama 60 menit. Pada sampel awal (menit ke-0), jumlah bakteri cukup tinggi yaitu $9,5 \times 10^5$, dan setelah proses disinfeksi selama 5 menit, terjadi peningkatan jumlah bakteri menjadi $3,05 \times 10^6$. Pada menit ke-15 terjadi penurunan yaitu hingga $9,8 \times 10^5$, namun masih lebih tinggi dibandingkan jumlah bakteri awal. Pada menit ke-45 dan menit ke-60, jumlah bakteri mengalami penurunan yang cukup signifikan menjadi $5,5 \times 10^4$ dan akhirnya turun menjadi $1,0 \times 10^4$.

Pada menit-menit awal, terjadi peningkatan jumlah bakteri. Hal ini dikarenakan jumlah ozon yang terlarut tidak cukup untuk mendisinfeksi bakteri. Waktu disinfeksi optimal adalah sekitar 20 menit (Amin et al., 2010). Hasil dari proses disinfeksi yang terjadi pun tidak begitu signifikan, dikarenakan dosis ozon yang digunakan cukup rendah. Pada proses disinfeksi, dosis ozon yang biasa digunakan adalah 0,2 – 0,3 g/jam (Amin et al., 2010).

4.4. Disinfeksi Bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* dengan Proses Ozonasi dan Zeolit Alam Lampung

Setelah melakukan proses disinfeksi dengan hanya menggunakan proses ozonasi, dilakukan proses disinfeksi menggunakan kombinasi antara proses ozonasi dengan zeolit alam yang divariasikan konsistensinya.

Larutan sampel yang digunakan adalah aquades yang telah diinfeksi dengan bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* yang telah dibiakkan sebelumnya, dengan pH larutan sebesar 5,7 yang dicampur dalam tangki pencampur. Dari tangki pencampur, larutan sampel dialirkan masuk ke dalam tangki flotasi. Setelah itu larutan dicampur dengan serbuk zeolit. Udara diumpankan ke dalam tangki flotasi melalui diffuser pada bagian bawah tangki. Selama proses flotasi, froth yang terbentuk diambil dengan cara dialirkan melalui pipa paralon dan dilengkapi elbow yang dipasang pada permukaan kolom flotasi. Sampel yang akan diambil adalah sampel larutan yang telah terinfeksi bakteri sebelum dilakukan proses ozonasi, dan setelah dilakukan proses ozonasi selama 5, 15, 30, 45, dan 60 menit.

Volume limbah yang didisinfeksi adalah 3 L, dan laju alir gas pada ozonator sebesar 400 mL/menit. Zeolit yang digunakan berukuran 1,7 mm dengan konsistensi divariasikan yaitu 2 gr/L, 4 gr/L, dan 6 gr/L untuk mengetahui pengaruh konsistensi zeolit pada proses disinfeksi. Data yang didapatkan adalah sebagai berikut :

Tabel 4.4. Hasil Disinfeksi dengan Proses Ozonasi Dengan 2 g/L Zeolit

Dosis Ozon 0,0936 gr/jam			
Waktu kontak (menit)	Jumlah Bakteri (CFU/ml)	Ozone off Gas (mg/L)	Dissolve Ozone (mg/L)
0	$7,00 \times 10^5$	0	0
5	$2,30 \times 10^6$	0,300	0,300
15	$9,70 \times 10^5$	0,528	0,300
30	$2,15 \times 10^5$	0,780	0,270
45	$5,00 \times 10^4$	1,032	0,270
60	$1,20 \times 10^4$	1,128	0,210

Tabel 4.5. Hasil Disinfeksi dengan Proses Ozonasi Dengan 4 g/L Zeolit

Dosis Ozon 0,0936 gr/jam			
Waktu kontak (menit)	Jumlah Bakteri (CFU/ml)	Ozone Off Gas (mg/L)	Dissolve Ozone (mg/L)
0	$9,60 \times 10^5$	0	0
5	$3,20 \times 10^6$	0,276	0,420
15	$1,40 \times 10^6$	0,444	0,390
30	$3,50 \times 10^5$	0,552	0,300
45	$1,00 \times 10^5$	0,732	0,300
60	$2,50 \times 10^4$	0,876	0,240

Tabel 4.6. Hasil Disinfeksi dengan Proses Ozonasi Dengan 6 g/L Zeolit

Dosis Ozon 0,0936 gr/jam			
Waktu kontak (menit)	Jumlah Bakteri (CFU/ml)	Ozone off Gas (mg/L)	Dissolve Ozone (mg/L)
0	$7,50 \times 10^5$	0	0
5	$3,00 \times 10^6$	0,144	0,690
15	$1,50 \times 10^6$	0,252	0,630
30	$4,50 \times 10^5$	0,372	0,510
45	$1,50 \times 10^5$	0,492	0,420
60	$4,00 \times 10^4$	0,600	0,300

Data jumlah bakteri diperoleh dari perhitungan jumlah bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* dengan menggunakan metode analisis TPC (*Total Plate Count*), metode perhitungan TPC dapat dilihat pada Bab III. Data *ozone off gas* diperoleh

melalui metode iodometri dengan cara yang sama dengan perhitungan produktivitas ozon. Data-data percobaan tersebut dapat dilihat pada Lampiran 4. Data *dissolve ozon* diperoleh menggunakan sampel yang dilarutkan pada *ozone reagent* dan dianalisis menggunakan *Colorimeter DR/890*.

Dari data di atas terlihat bahwa jumlah bakteri mengalami penurunan sebesar 1/58 kali setelah didisinfeksi dengan hanya menggunakan proses ozonasi dengan 2 gr/L zeolit alam selama 60 menit, penurunan sebesar 1/38 kali setelah didisinfeksi dengan hanya menggunakan proses ozonasi dengan 4 gr/L zeolit alam selama 60 menit, dan penurunan sebesar 1/18 kali setelah didisinfeksi dengan hanya menggunakan proses ozonasi dengan 6 gr/L zeolit alam selama 60 menit.

Terlihat dari data di atas, penambahan zeolit menyebabkan terjadi penurunan laju disinfeksi bakteri. Untuk itu harus dikaji lebih dalam mengenai jumlah ozon efektif yang berperan sebagai disinfektan. Analisis pengaruh penggunaan zeolit alam pada proses ozonasi untuk disinfeksi bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* ini akan dibahas pada bab selanjutnya.

4.5. Pengaruh Penambahan Zeolit Alam pada Proses Ozonasi dalam Disinfeksi Bakteri

Untuk mengetahui massa ozon yang digunakan sebagai disinfektan pada setiap percobaan, maka dilakukan percobaan tanpa menggunakan bakteri sebagai pembanding. Dari percobaan tersebut didapatkan massa *ozone off gas* (data pada Lampiran 5), dan juga didapatkan massa ozon yang terdapat di dalam larutan dengan mengurangi massa ozon yang masuk ke larutan dengan massa *ozone off gas* seperti yang ditunjukkan pada persamaan 4.5. dan hasil yang tertera pada Tabel 4.7.

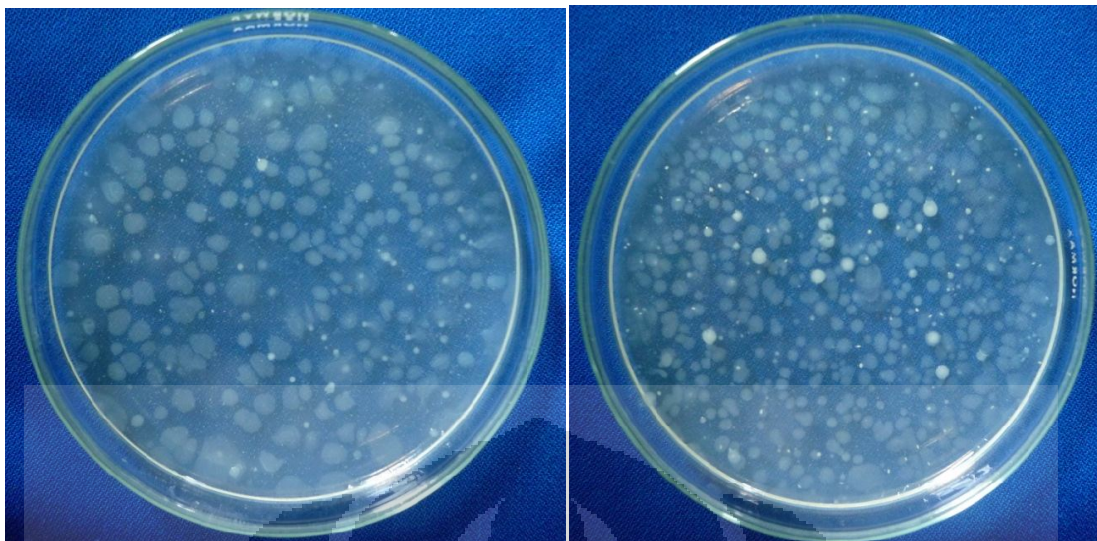
$$\text{Ozon yang Masuk (mg/L)} = \text{Ozone Off Gas (mg/L)} + \text{Ozon di Dalam Larutan (mg/L)} \quad (4.5.)$$

Tabel 4.7. Hasil Perhitungan Ozon di Larutan Pada Percobaan Tanpa Bakteri

Dosis Ozon 0,0936 gr/jam				
Waktu kontak (menit)	Tanpa Zeolit (mg)	2 gr/L Zeolit (mg)	4 gr/L Zeolit (mg)	6 gr/L Zeolit (mg)
0	0	0	0	0
5	6,216	6,600	6,684	6,876
15	5,856	6,372	6,516	6,768
30	5,016	5,700	6,096	6,624
45	5,004	5,676	6,096	6,624
60	5,004	5,652	6,084	6,576

Dari Tabel 4.7. terlihat bahwa ozon yang terkandung di larutan semakin besar untuk setiap penambahan konsistensi zeolit. Hasil ini dikarenakan jumlah *ozone off gas* yang semakin rendah untuk setiap penambahan konsistensi zeolit. Kandungan ozon yang semakin besar dikarenakan adanya sejumlah ozon yang terikat pada zeolit, dimana zeolit berfungsi sebagai *bonding agent* yang mengikat ozon, dengan diameter molekul ozon pada larutan sebesar 58,93 Å (ChemkidScience). Alasan lainnya dikarenakan penyimpanan zeolit yang tidak steril, terdapat pengotor organik dan bakteri lain yang terdapat pada zeolit seperti yang terlihat pada Gambar 4.4. dan 4.5, sehingga ozon digunakan sebagai oksidator senyawa organik dan disinfektan bakteri lain yang terdapat pada zeolit.

**Gambar 4.4.** Hasil Analisis TPC pada waktu 45 menit tanpa zeolit



Gambar 4.5. Hasil Analisis TPC (a) Pada waktu 45 menit dengan 2 gr/L zeolit (b) Pada waktu 45 menit dengan 4 gr/L zeolit

Untuk mengetahui pengaruh penambahan zeolit alam pada proses ozonasi dalam disinfeksi bakteri *Xanthomonas oryzae pv.oryzae*, dibandingkan jumlah bakteri selama proses ozonasi antara proses ozonasi tanpa menggunakan zeolit dan juga dengan menggunakan tiga variasi konsistensi zeolit. Selain itu dilihat pula dosis ozon yang terdapat di larutan dengan menghitung neraca massa seperti di bawah ini :

$$\text{Ozon yang Masuk (mg/L)} = \text{Dissolve Ozone (mg/L)} + \text{Off Gas (mg/L)} + \text{Ozon di Larutan (mg/L)} \quad (4.6.)$$

Tabel 4.8. Hasil Perhitungan Ozon di Larutan Pada Percobaan dengan Bakteri

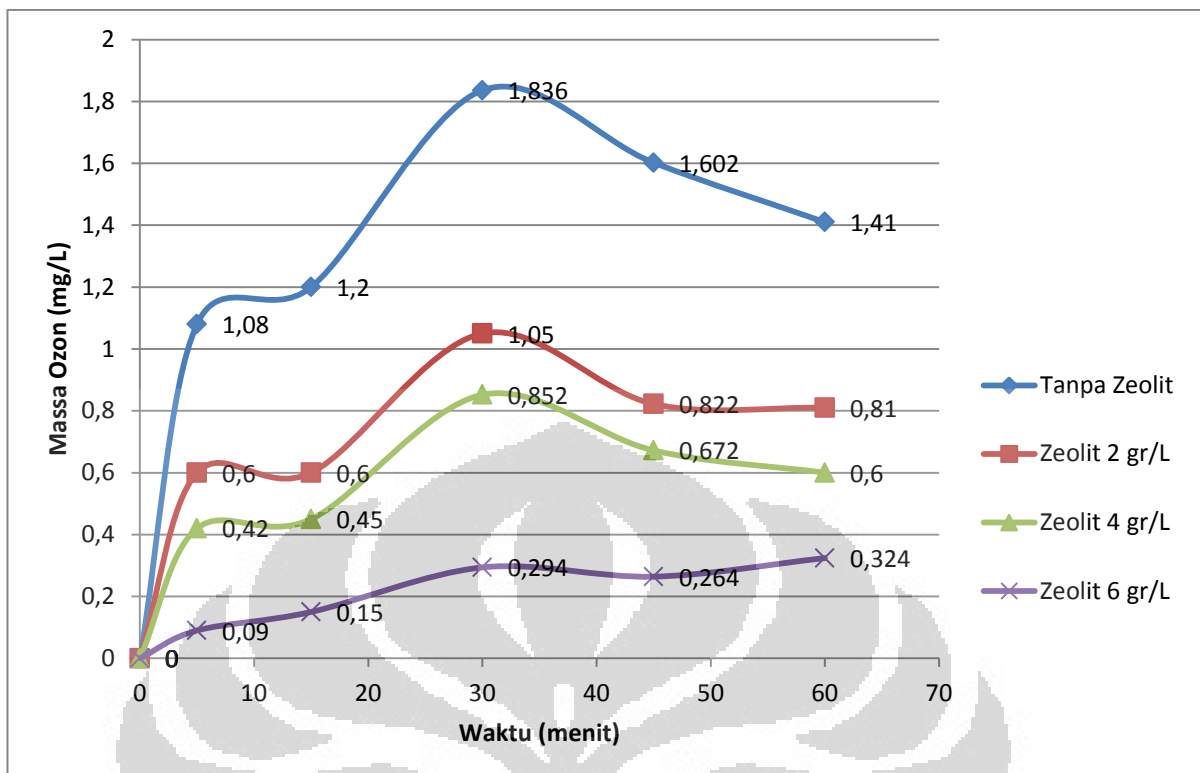
Dosis Ozon 0,0936 gr/jam				
Waktu kontak (menit)	Tanpa Zeolit (mg)	2 gr/L Zeolit (mg)	4 gr/L Zeolit (mg)	6 gr/L Zeolit (mg)
0	0	0	0	0
5	7,296	7,200	7,104	6,966
15	7,056	6,972	6,966	6,918
30	6,852	6,750	6,948	6,918
45	6,606	6,498	6,768	6,888
60	6,414	6,462	6,684	6,900

Dari Tabel 4.8. terlihat kecenderungan yang sama pada jumlah ozon di larutan pada percobaan dengan bakteri maupun tanpa bakteri, yaitu jumlah ozon terlarut yang lebih besar setiap penambahan konsistensi zeolit. Namun, jumlah ozon terlarut pada percobaan dengan bakteri lebih besar dibandingkan pada percobaan tanpa bakteri akibat adanya ozon yang berfungsi sebagai disinfektan bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*. Dengan mengurangi massa ozon di larutan pada proses disinfeksi bakteri di atas dengan massa ozon terlarut yang didapatkan pada percobaan tanpa menggunakan bakteri, diperoleh massa ozon dalam larutan yang berguna sebagai disinfektan bakteri *Xanthomonas oryzae pv.oryzae*.

Tabel 4.9. Massa Ozon Sebagai Disinfektan

Dosis Ozon 0,0936 gr/jam				
Waktu kontak (menit)	Tanpa Zeolit (mg)	2 gr/L Zeolit (mg)	4 gr/L Zeolit (mg)	6 gr/L Zeolit (mg)
0	0	0	0	0
5	1,080	0,600	0,420	0,090
15	1,200	0,600	0,450	0,150
30	1,836	1,050	0,852	0,294
45	1,602	0,822	0,672	0,264
60	1,410	0,810	0,600	0,324

Pada Tabel 4.9. terlihat bahwa semakin besar konsistensi zeolit yang digunakan, massa ozon yang berfungsi sebagai disinfektan bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* semakin berkurang, seperti terlihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.6. Perbandingan Massa Ozon sebagai Disinfektan *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*

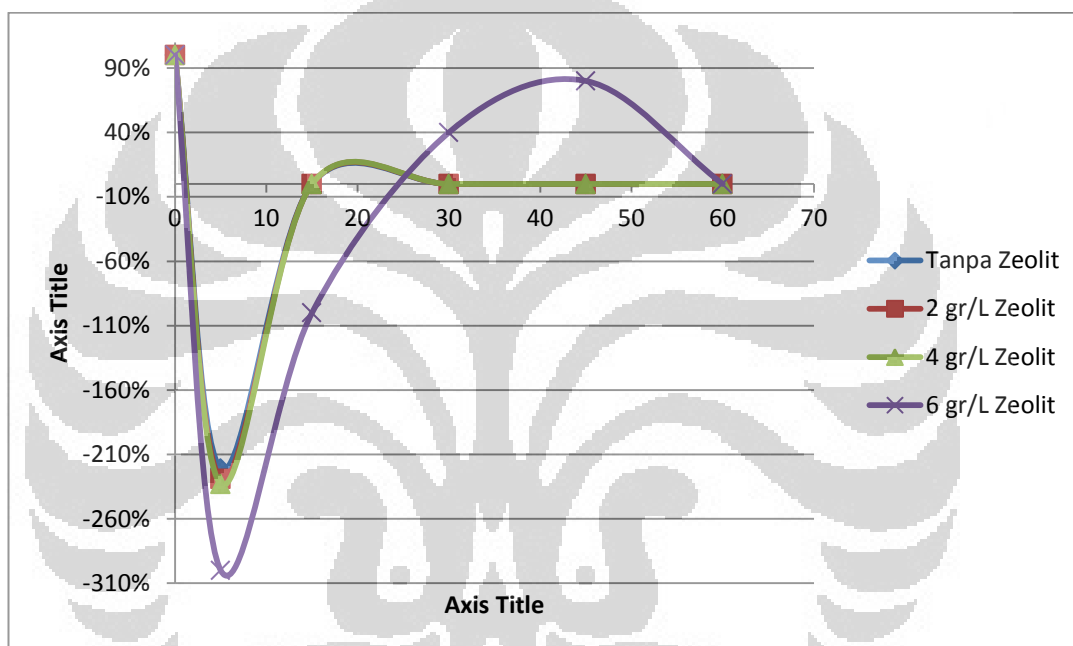
Dari Gambar 4.6. terlihat bahwa massa ozon yang digunakan sebagai disinfektan *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* pada proses ozonasi dengan menggunakan zeolit lebih rendah dibandingkan dengan proses ozonasi tanpa menggunakan zeolit. Pada variasi konsistensi zeolit, juga terlihat bahwa massa ozon sebagai disinfektan semakin menurun.

Dari data jumlah bakteri terdisinfeksi yang didapat sebelumnya, dihitung presentase bakteri yang terdisinfeksi dengan persamaan 4.7, didapatkan hasil pada Tabel 4.10.

$$\% \text{ disinfeksi} = \frac{c_0 - c_t}{c_0} \times 100\% \quad (4.7)$$

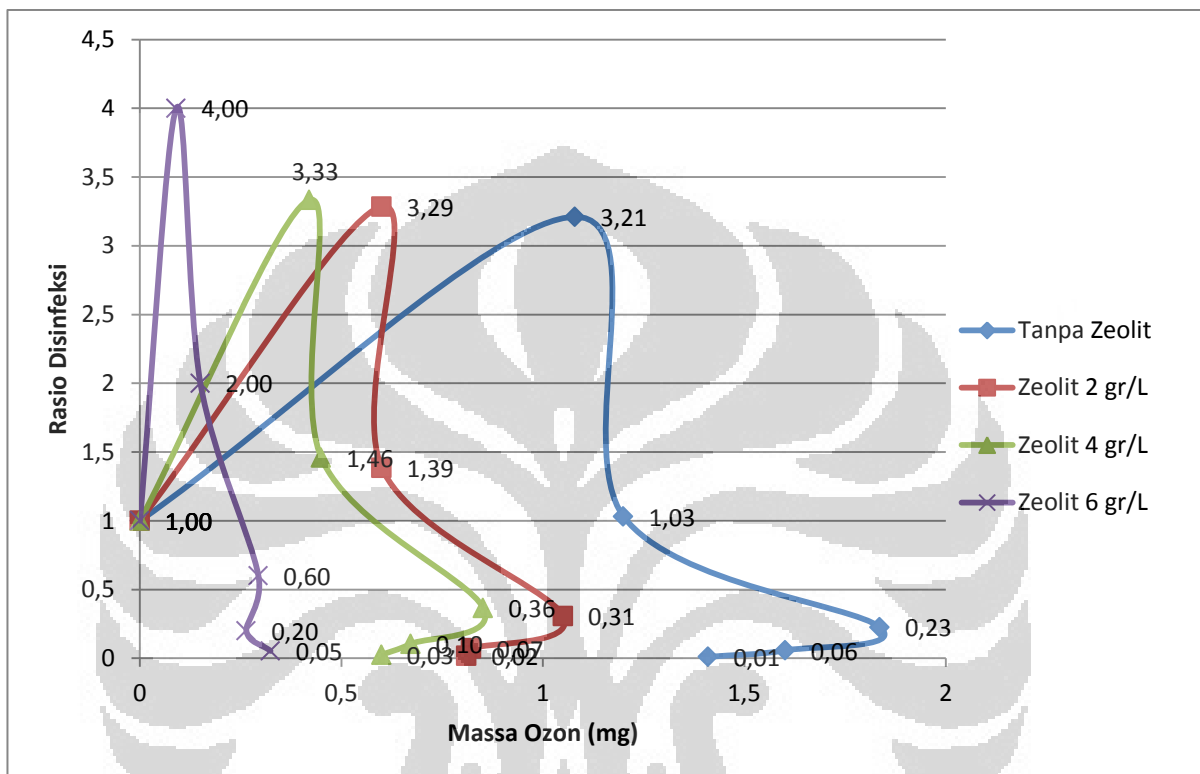
Tabel 4.10. Presentase Disinfeksi Bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*

Dosis Ozon 0,0936 gr/jam				
Waktu kontak (menit)	Tanpa Zeolit (mg)	2 gr/L Zeolit (mg)	4 gr/L Zeolit (mg)	6 gr/L Zeolit (mg)
5	-221%	-229%	-233%	-300%
15	-3,16%	-38,6%	-45,8%	-100%
30	77,4%	69,3%	63,5%	40%
45	94,2%	92,9%	89,6%	80%
60	98,9%	98,3%	97,4%	94,7%

**Gambar 4.7.** Presentase Disinfeksi Bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*

Dapat dilihat pada Tabel 4.10. bahwa perbedaan presentase disinfeksi setiap penambahan konsistensi zeolit tidak begitu signifikan meskipun dengan penggunaan zeolit, laju disinfeksi bakteri semakin rendah karena massa ozon yang digunakan sebagai disinfektan pun berkurang. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi keefektifan disinfeksi antara lain pH dan senyawa-senyawa terkandung baik senyawa organik maupun senyawa anorganik. Disinfeksi bakteri efektif pada rentang pH sekitar 6,0 – 9,0 (EPA Victoria, 2002), sedangkan pH sampel yang digunakan adalah 5,7. Pada penggunaan zeolit, terdapat senyawa lain yang terdapat pada zeolit sehingga menghalangi disinfeksi bakteri. Zeolit yang telah diaktivasi dan dipreparasi tidak ditempatkan pada ruangan yang steril

sehingga terdapat bakteri lain yang terdapat pada zeolit dan mempengaruhi alokasi massa ozon yang digunakan untuk mendisinfeksi bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*, hal ini terlihat dari jumlah ozon terlarut yang lebih besar pada variasi dosis ozon yang semakin besar.



Gambar 4.8. Perbandingan Massa Ozon dan Rasio Disinfeksi Bakteri

Meskipun terjadi penurunan rasio disinfeksi bakteri (jumlah bakteri akhir dibandingkan dengan jumlah bakteri awal) dengan adanya penambahan zeolit alam pada proses ozonasi, namun dilihat dari grafik di atas, pada pada rasio disinfeksi yang sama dibutuhkan massa ozon yang lebih sedikit pada proses disinfeksi dengan penambahan zeolit dibandingkan dengan proses disinfeksi tanpa penambahan zeolit. Selain itu, pada variasi konsistensi zeolit, semakin besar konsistensi zeolit yang digunakan, semakin sedikit massa ozon yang diperlukan untuk mendisinfeksi bakteri dengan rasio disinfeksi yang sama. Hal ini berarti dengan penambahan zeolit, massa ozon yang dibutuhkan untuk mendisinfeksi bakteri semakin sedikit. Dengan kata lain, dengan penambahan zeolit alam pada massa ozon yang berfungsi sebagai disinfektan yang sama, laju disinfeksi akan lebih besar. Adanya zeolit

menyebabkan tersedianya luas permukaan kontak antara ozon dan bakteri yang lebih besar sehingga menyebabkan laju disinfeksi bakteri meningkat.

4.6. Pengaruh Aktivasi Zeolit Alam pada Proses Ozonasi dalam Disinfeksi Bakteri

Untuk mengetahui pengaruh aktivasi zeolit alam pada proses ozonasi dalam disinfeksi bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*, dilakukan percobaan disinfeksi bakteri dengan menggunakan zeolit alam yang belum dipreparasi dan diaktivasi sebelumnya. Konsistensi zeolit yang digunakan adalah 4 gr/L dengan waktu disinfeksi selama 60 menit.

Tabel 4.11. Hasil Disinfeksi Menggunakan Zeolit Tanpa Proses Aktivasi

	Menit ke-0	Menit ke-60
Jumlah Bakteri (CFU/ml)	$9,60 \times 10^5$	$4,17 \times 10^4$

Tabel 4.12. Perbandingan Disinfeksi Antara Zeolit Tanpa dan Dengan Proses Aktivasi

	Tanpa Proses Aktivasi	Dengan Proses Aktivasi
Penurunan Jumlah Bakteri	1/23	1/38
Ozon dalam Larutan (tanpa bakteri) (mg)	6,384	6,084
Ozon dalam Larutan (mg/L)	6,960	6,684
Ozon sebagai Disinfektan (mg/L)	0,600	0,576

Terlihat dari data di atas, penurunan jumlah bakteri setelah proses disinfeksi dengan menggunakan zeolit yang telah dipreparasi dan diaktivasi lebih besar dibandingkan dengan menggunakan zeolit yang belum dipreparasi dan diaktivasi. Pada penggunaan zeolit sebelum dipreparasi dan diaktivasi, jumlah ozon dalam larutan pada percobaan tanpa maupun dengan pemakaian bakteri menunjukkan angka yang lebih besar dibandingkan dengan penggunaan zeolit setelah dipreparasi

dan diaktivasi. Hal ini menunjukkan jumlah senyawa organik maupun non organik lainnya yang terdapat pada zeolit yang belum dipreparasi dan diaktivasi lebih besar. Selain itu, jumlah ozon sebagai disinfektan lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan zeolit yang telah dipreparasi dan diaktivasi. Hal ini menunjukkan preparasi dan aktivasi zeolit sebelum digunakan sangat penting untuk memperluas permukaan zeolit yang akan memperluas luas kontak antara ozon dan bakteri, yang membuat proses disinfeksi menjadi lebih efektif.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

- Produktivitas ozon dari ozonator merk Resun RSO 9805 dengan laju alir gas sebesar 400 mL/menit adalah sebesar 0,0936 g/jam.
- Zeolit alam setelah mengalami proses aktivasi dan preparasi memiliki luas permukaan, volume pori, dan ukuran pori yang lebih besar dibandingkan dengan zeolit alam sebelum mengalami proses aktivasi dan preparasi.
- Proses aktivasi dan preparasi mampu mengurangi kandungan air yang terperangkap dalam pori-pori kristal zeolit sehingga dapat memperluas luas permukaan zeolit.
- Jumlah bakteri mengalami penurunan sebesar 1/95 kali setelah didisinfeksi dengan hanya menggunakan proses ozonasi selama 60 menit.
- Dengan proses disinfeksi selama 60 menit, jumlah bakteri mengalami penurunan sebesar 1/58 kali setelah didisinfeksi menggunakan proses ozonasi dengan 2 gr/L zeolit alam, penurunan sebesar 1/38 kali setelah didisinfeksi menggunakan proses ozonasi dengan 4 gr/L zeolit alam, dan penurunan sebesar 1/18 kali setelah didisinfeksi menggunakan proses ozonasi dengan 6 gr/L zeolit alam.
- Pada menit-menit awal, terjadi peningkatan jumlah bakteri. Hal ini dikarenakan jumlah ozon yang terlarut tidak cukup untuk mendisinfeksi bakteri. Waktu disinfeksi optimal adalah sekitar 20 menit.
- Proses ozonasi tanpa zeolit menghasilkan laju disinfeksi yang paling besar dibandingkan dengan proses ozonasi dengan menggunakan zeolit.
- Semakin besar dosis zeolit yang digunakan, laju disinfeksi semakin menurun. Hal ini disebabkan semakin besar dosis zeolit yang digunakan, massa ozon yang berfungsi sebagai disinfektan bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* semakin

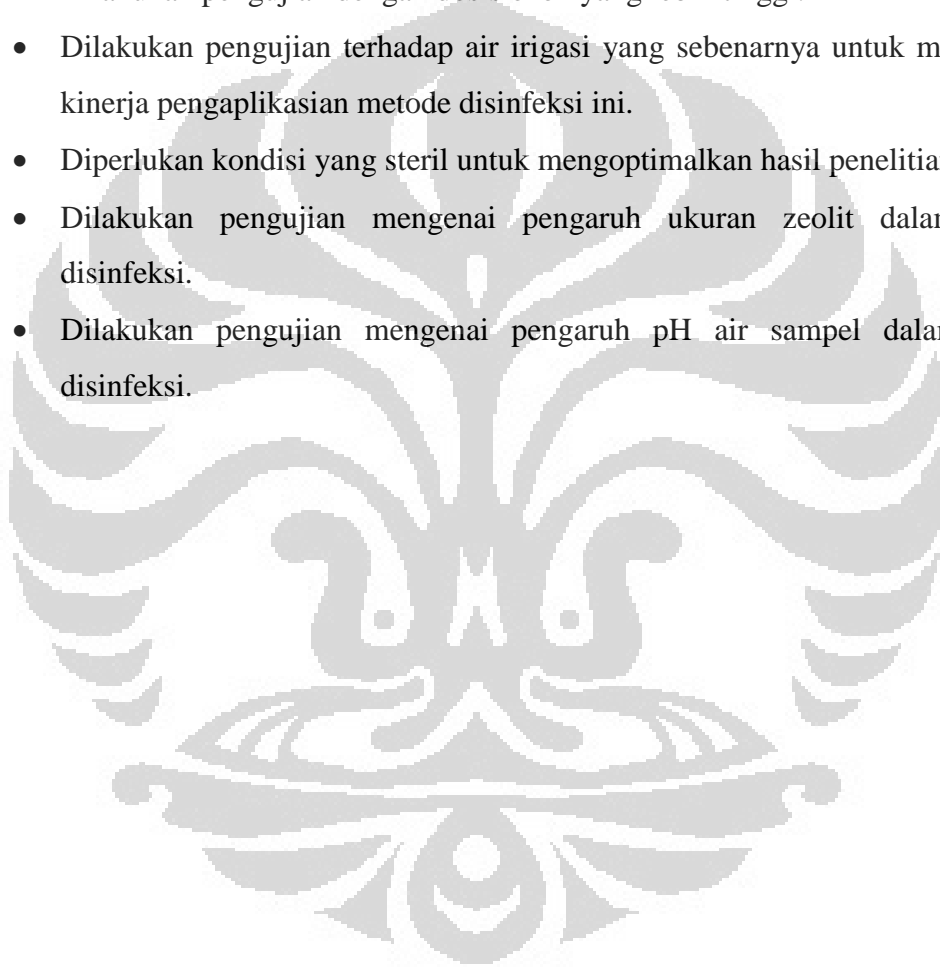
berkurang. Pada variasi dosis zeolit, juga terlihat bahwa massa ozon sebagai disinfektan semakin menurun.

- Zeolit yang telah diaktivasi dan dipreparasi tidak ditempatkan pada ruangan yang steril sehingga terdapat bakteri lain yang terdapat pada zeolit dan mempengaruhi alokasi massa ozon yang digunakan untuk mendisinfeksi bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*, hal ini terlihat dari jumlah ozon terlarut yang lebih besar pada variasi dosis ozon yang semakin besar.
- Pada rasio disinfeksi yang sama dibutuhkan massa ozon yang lebih sedikit pada proses disinfeksi dengan penambahan zeolit dibandingkan dengan proses disinfeksi tanpa penambahan zeolit.
- Pada variasi dosis zeolit, semakin besar dosis zeolit yang digunakan, semakin sedikit massa ozon yang diperlukan untuk mendisinfeksi bakteri dengan rasio disinfeksi yang sama. Hal ini berarti dengan penambahan zeolit, massa ozon yang dibutuhkan untuk mendisinfeksi bakteri semakin sedikit.
- Pada penambahan zeolit alam pada massa ozon yang berfungsi sebagai disinfektan yang sama, laju disinfeksi akan lebih besar. Adanya zeolit menyebabkan tersedianya luas permukaan kontak antara ozon dan bakteri yang lebih besar sehingga menyebabkan laju disinfeksi bakteri meningkat.
- Penurunan jumlah bakteri setelah proses disinfeksi dengan menggunakan zeolit yang telah dipreparasi dan diaktivasi lebih besar dibandingkan dengan menggunakan zeolit yang belum dipreparasi dan diaktivasi.
- Preparasi dan aktivasi zeolit sebelum digunakan sangat penting untuk memperluas permukaan zeolit yang akan memperluas luas kontak antara ozon dan bakteri, yang membuat proses disinfeksi menjadi lebih efektif.

5.2. Saran

Terdapat beberapa saran untuk pengembangan penelitian pengaruh penggunaan zeolit pada proses ozonasi disinfeksi bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* selanjutnya, antara lain:

- Dibutuhkan penelitian lanjut mengenai cara – cara lain yang dapat meningkatkan kinerja zeolit alam dalam proses absorpsi.
- Dilakukan pengujian dengan dosis ozon yang lebih tinggi.
- Dilakukan pengujian terhadap air irigasi yang sebenarnya untuk mengetahui kinerja pengaplikasian metode disinfeksi ini.
- Diperlukan kondisi yang steril untuk mengoptimalkan hasil penelitian ini.
- Dilakukan pengujian mengenai pengaruh ukuran zeolit dalam proses disinfeksi.
- Dilakukan pengujian mengenai pengaruh pH air sampel dalam proses disinfeksi.



DAFTAR PUSTAKA

- Amin, N. a. S., Akhtar, J. 2010. Screening of combined zeolite-ozone system for phenol and COD removal. *Chemical Engineering Journal*, 158, 520-527.
- Andayani, S. 2010. Penyakit Hawar Daun Bakteri *Artikel Teknis Pertanian* [Online]. http://www2.bbpp-lembang.info/index.php?option=com_content&view=article&id=516:penyakit-hawar-daun-bakteri&catid=109&Itemid=304. [Diakses tanggal 27 Februari 2011].
- Ariyo. 2008. *Preparasi Zeolit Alam Lampung Sebagai Penyangga Biofilter untuk Proses Pemisahan Senyawa Sulfur*. Skripsi, Universitas Indonesia.
- Bocci, V., *Oxygen-Ozone Therapy*. *Journal of Applied Microbiology*, 2002. 106(5): p. 1715 - 1721.
- Dath, A.P. and S. Devadath, *Role of inoculum in irrigation water and soil in the incidence of bacterial blight of rice*. *Indian Phytopathology*, 1983. 36: p. 142-144.
- Eddy, H. R. 2007. Potensi dan Pemanfaatan Zeolit di Provinsi Jawa Barat dan Banten. http://psdg.bgl.esdm.go.id/index.php?option=com_content&view=article&id=493&Itemid=395. [Diakses tanggal 13 Maret 2011].
- EPA. 2003. Ozone: Good Up High, Bad Nearby. *In: EPA (ed.) June 2003 ed.* Washington, DC: EPA Publication.
- EPPO dan CABI. 1997. Data Sheets on Quarantine Pests: *Xanthomonas oryzae*. EPPO Quarantine Pest.
- Fujita, H., Izumi, J. 2004a. Adsorption and decomposition of water-dissolved ozone on high silica zeolites. *Water Research*, 38, 159-165.
- Fujita, H., Izumi, J. 2004b. Decomposition of trichloroethene on ozone-adsorbed high silica zeolites. *Water Research*, 38, 166-172.
- Ikehata, K., El-Din, M. G. 2008. Ozonation and Advanced Oxidation Treatment of Emerging Organic Pollutants in Water and Wastewater. *Ozone: Science & Engineering*, 30, 21 - 26.

- Kallo, D., *Applications of Natural Zeolites in Water and Wastewater Treatment*. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 2001. 45(1): p. 519-550.
- Karamah, E. F., Bismo, S. 2008. Pengaruh Ozon dan Konsentrasi Zeolit terhadap Kinerja Proses Pengolahan Limbah Cair yang Mengandung Logam dengan Proses Flotasi. *MAKARA Seri Teknologi*, 12, 43-47.
- Kowalski, W. J., Bahnfleth, W. P. 1998. Bactericidal Effects of High Airborne Ozone Concentrations on Escherichia coli and Staphylococcus aureus. *Ozone: Science & Engineering*, 20, 205-221.
- Kubota, M., Nakabayashi, T. 2008. Selective adsorption of bacterial cells onto zeolites. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 64, 88-97.
- Miao, H. dan Tao, W. 2009. The mechanisms of ozonation on cyanobacteria and its toxins removal. *Separation and Purification Technology*, 66, 187-193.
- Miller, J. G., Wax, M. J. 1994. *Zeolite support for bacteria and microorganisms useful in the biotreatment of aqueous waste streams*. US patent application 93250351.9. 29.06.1994.
- Mohan, N., Patel, K. 2005. Ozone for Plant Pathological Applications. *Ozone: Science and Engineering*, 27, 499-502.
- Nino-Liu, D. O., Ronald, P. C. 2006. Xanthomonas oryzae pathovars: model pathogens of a model crop. *Molecular Plant Pathology*, 7, 303-324.
- Rice, R. G. dan Netzer, A. 1985. *Handbook of Ozone Technology and Applications*, Butterworth-Heinemann.
- Rodríguez, A., Rosal, R. 2008. *Ozone-Based Technologies in Water and Wastewater Treatment*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Setiawan, D. 2006. Karakterisasi Beberapa Zeolit Alam Dalam Kaitannya Dengan Penyerapan Radionuklida Cesium¹³⁴ (¹³⁴Cs). *Bionatura*, 8, 122-138.
- Solomon, C., Casey, P. 1998. Ozone Disinfection. Environmental Technology Initiative.
- Voidarou, C., Tzora, A. 2007. Experimental Effect of Ozone upon Some Indicator Bacteria for Preservation of an Ecologically Protected Watery System. *Water, Air, & Soil Pollution*, 181, 161-171.
- Widiastuti, N., Wu, H. 2008. The potential application of natural zeolite for greywater treatment. *Desalination*, 218, 271-280.

Wilda. 2009. Perhitungan Kuantitas Mikroba : Hitungan Cawan Petri (TPC) dan Biomassa Sel (Metode Turbidimetrik). <http://wildablog.blogspot.com/2009/11/penghitungan-kuantitas-mikroba-hitungan.html>. [Diakses tanggal 13 Maret 2011].

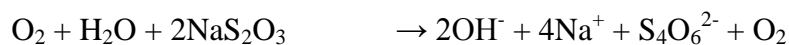
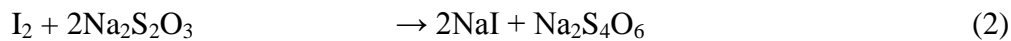


Lampiran 1. Pengukuran Kadar Ozon dengan Metode Iodometri

Reaksi ozon dengan KI :



Pembebasan iodium menggunakan metode titrasi dengan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$:



Sehingga dari reaksi di atas diperoleh hubungan, yaitu $1 \text{ mol O}_3 \approx 2 \text{ mol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

Prosedur perhitungan :

Diketahui $[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}] = 0,005 \text{ M}$

- $\text{mmol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = (\text{Vol. Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ hulu} + \text{Vol. Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ hilir}) \times 0,005 \text{ M}$
- $\text{mol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = \frac{(\text{Vol. Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ hulu} + \text{Vol. Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ hilir}) \times 0,005}{1000}$
- $\text{mol O}_3 = \frac{1}{2} \times \text{mol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
- $\text{gram O}_3 = \text{mol} \times 48$
- $\text{produktivitas ozon} = \frac{\text{gr O}_3}{t} \times 3600$

dimana :

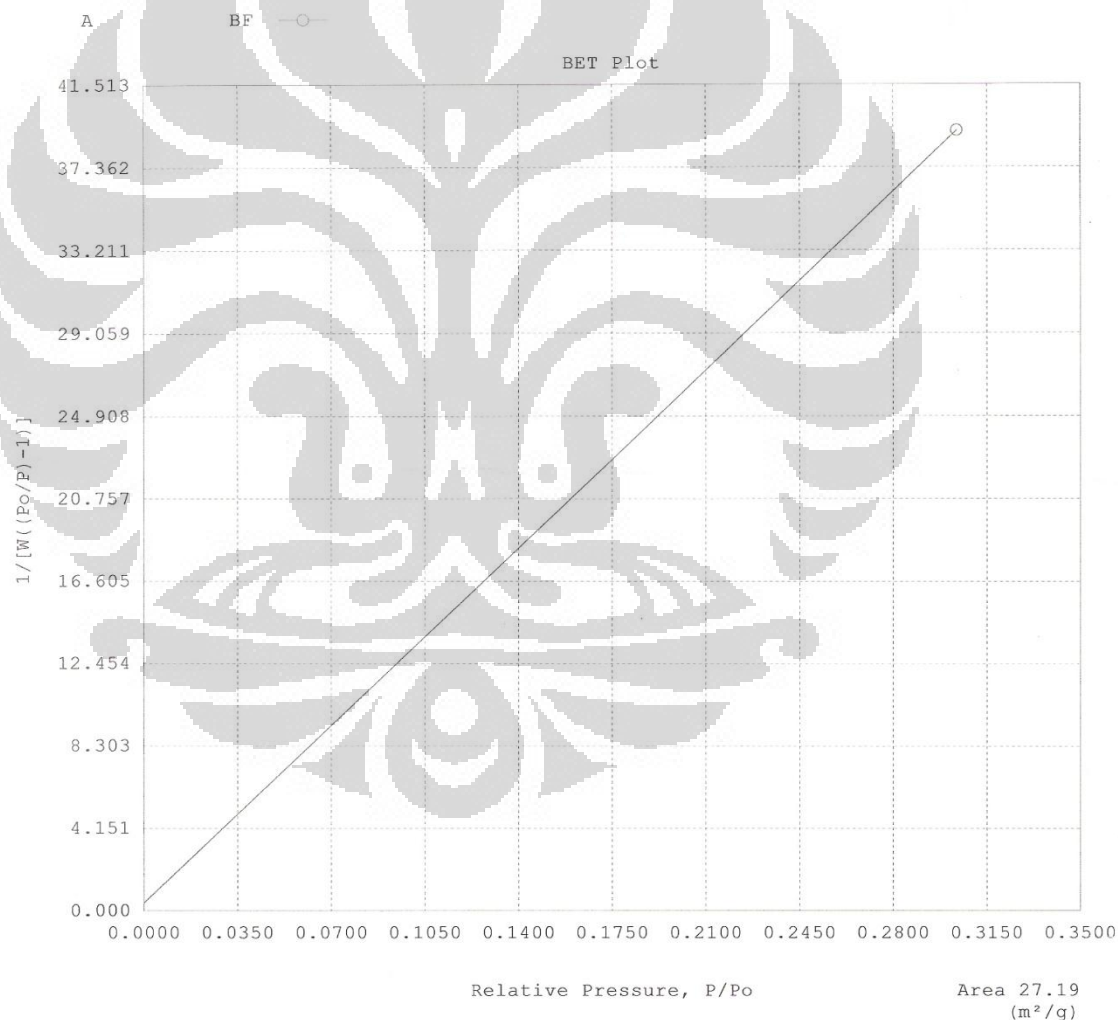
- $t =$ waktu kontak antara ozon dengan larutan KI
- produktivitas ozon memiliki satuan gr/jam

Lampiran 2. Karakteristik Zeolit Alam Lampung Sebelum Proses Preparasi dan Aktivasi

Date: 12/15/2011

Quantachrome Corporation
Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	Zeolit femy				
Description	Femy				
Comments					
Sample Weight	0.8200 g	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	.jajat
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	24.0 hrs	Analysis Time	58.5 min
Cross-Sec Area	16.2 Å ² /molecule	P/Po Toler	3	End of Run	12/15/2011 10:20
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	2	File Name	AS977829.RAW
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	Pre-1.20
Station #	5				



Date: 12/15/2011

Page 1

Quantachrome Corporation
Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	Zeolit femy				
Description	Femy				
Comments					
Sample Weight	0.8200 g	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	.jajat
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	24.0 hrs	Analysis Time	58.5 min
Cross-Sec Area	16.2 Å ² /molecule	P/Po Toler	3	End of Run	12/15/2011 10:20
Nonideality	6.580E-05	Equil Time	2	File Name	AS977829.RAW
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	Pre-1.20
Station #	5				

Isotherm

P/Po	Volume [cc/g] STP
5.5829e-02	6.1284
7.9579e-02	6.4908
1.0564e-01	6.8223
1.5309e-01	7.3409
2.0379e-01	7.8397
2.5399e-01	8.3311
3.0385e-01	8.8331

AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

SURFACE AREA DATA

Multipoint BET.....	2.719E+01	m ² /g
Langmuir Surface Area.....	4.259E+01	m ² /g
t-Method External Surface Area.....	2.386E+01	m ² /g
t-Method Micro Pore Surface Area.....	3.333E+00	m ² /g
DR Method Micro Pore Area.....	3.728E+01	m ² /g

PORE VOLUME DATA

t-Method Micro Pore Volume.....	1.648E-03	cc/g
DR Method Micro Pore Volume.....	1.325E-02	cc/g
HK Method Cumulative Pore Volume.....	1.134E-02	cc/g
SF Method Cumulative Pore Volume.....	1.157E-02	cc/g

PORE SIZE DATA

DR Method Micro Pore Width	9.816E+01	Å
DA Method Pore Diameter (Mode).....	1.760E+01	Å
HK Method Pore Width (Mode).....	1.392E+01	Å
SF Method Pore Diameter (Mode).....	2.611E+01	Å

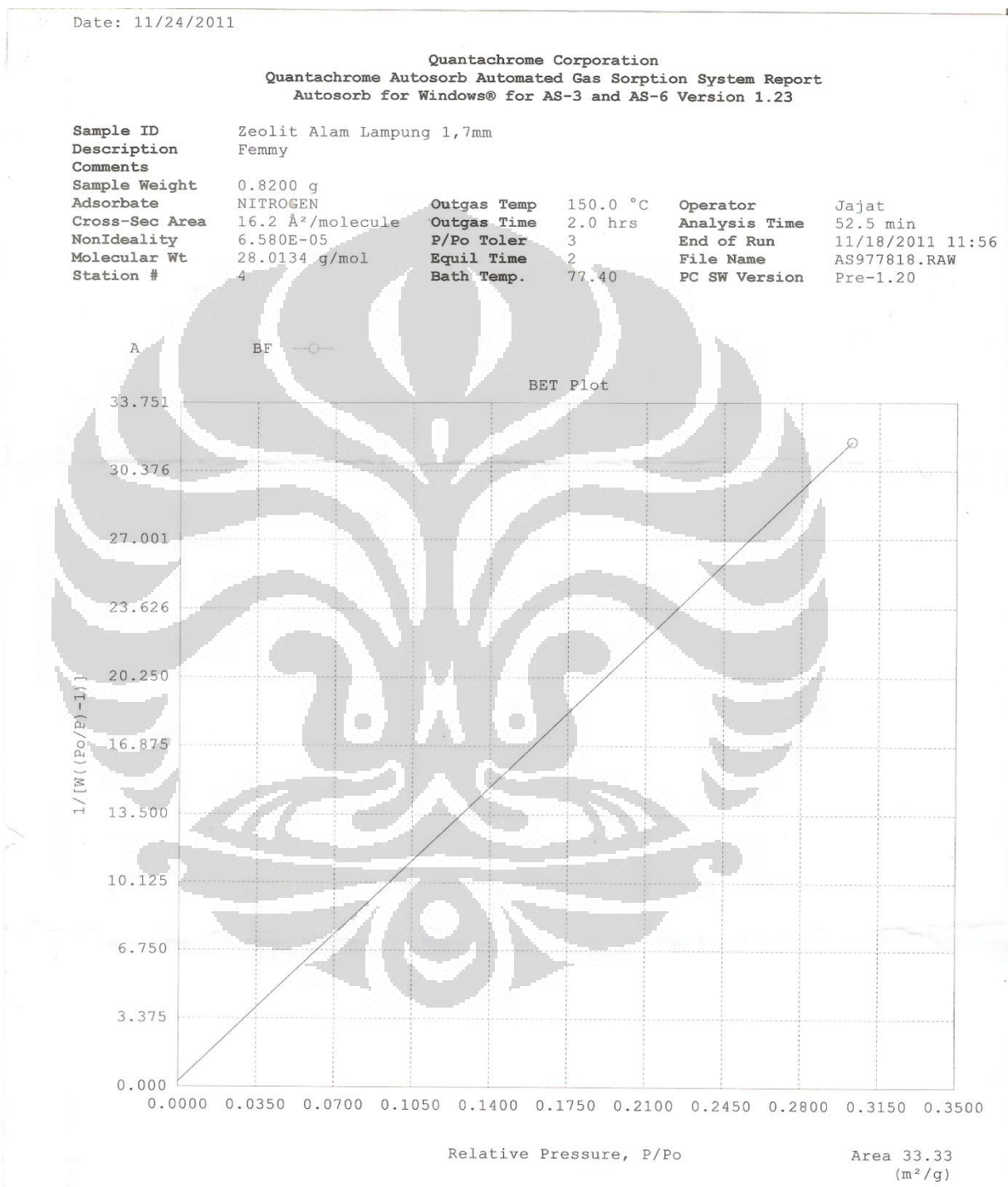
DATA REDUCTION PARAMETERS

Thermal Transpiration : OFF
Last Po Acquired 767.10 mm Hg
Additional Initialization Information Not Recorded.

BJH/DH Moving Average Size : 1

Interaction Constant (K) 2.9600 nm³ x kJ/mol

Lampiran 3. Karakteristik Zeolit Alam Lampung Setelah Proses Aktivasi dan Preparasi



Date: 11/24/2011

Page 1

Quantachrome Corporation
Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	Zeolit Alam Lampung 1,7mm				
Description	Femmy				
Comments					
Sample Weight	0.8200 g				
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	Jajat
Cross-Sec Area	16.2 Å ² /molecule	Outgas Time	2.0 hrs	Analysis Time	52.5 min
NonIdeality	6.580E-05	P/Po Toler	3	End of Run	11/18/2011 11:56
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Equil Time	2	File Name	AS977818.RAW
Station #	4	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	Pre-1.20

Isotherm

P/Po	Volume [cc/g] STP
4.8144e-02	7.4105
7.5890e-02	7.9493
1.0359e-01	8.3833
1.5115e-01	9.0184
2.0223e-01	9.6268
2.5283e-01	10.2149
3.0279e-01	10.8102

AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

SURFACE AREA DATA

Multipoint BET.....	3.333E+01	m ² /g
Single Point BET.....	3.280E+01	m ² /g
Langmuir Surface Area.....	5.153E+01	m ² /g
t-Method External Surface Area.....	2.881E+01	m ² /g
t-Method Micro Pore Surface Area.....	4.524E+00	m ² /g
DR Method Micro Pore Area.....	4.531E+01	m ² /g

PORE VOLUME DATA

t-Method Micro Pore Volume.....	2.254E-03	cc/g
DR Method Micro Pore Volume.....	1.610E-02	cc/g
HK Method Cumulative Pore Volume.....	1.397E-02	cc/g
SF Method Cumulative Pore Volume.....	1.425E-02	cc/g

PORE SIZE DATA

DR Method Micro Pore Width	1.022E+02	Å
DA Method Pore Diameter (Mode).....	1.760E+01	Å
HK Method Pore Width (Mode).....	1.423E+01	Å
SF Method Pore Diameter (Mode).....	2.676E+01	Å

DATA REDUCTION PARAMETERS

Thermal Transpiration : OFF
Last Po Acquired 768.25 mm Hg
Additional Initialization Information Not Recorded.

BJH/DH Moving Average Size : 1

Interaction Constant (K) 2.9600 nm³ x kJ/mol

Lampiran 4. Data Perhitungan *Ozone Off Gas* Pada Disinfeksi Bakteri dengan Proses Ozonasi

Tabel 1. Data Perhitungan *Ozone Off Gas* Pada Percobaan Tanpa Zeolit

Waktu Kontak (detik)	Vol. titran (ml)	mol $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	mol O_3	Massa O_3 (gr)	<i>Off Gas</i> (gr/jam)
300	3.2	0.000016	0.000008	0.000384	0.004608
600	5.2	0.000026	0.000013	0.000624	0.003744
900	7.4	0.000037	0.0000185	0.000888	0.003552
900	9.7	0.0000485	0.00002425	0.001164	0.004656
900	11.3	0.0000565	0.00002825	0.001356	0.005424

Tabel 2. Data Perhitungan *Ozone Off Gas* Pada Percobaan dengan 2 gr/L Zeolit

Waktu Kontak (detik)	Vol. titran (ml)	mol $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	mol O_3	Massa O_3 (gr)	<i>Off Gas</i> (gr/jam)
300	2.5	0.0000125	0.00000625	0.0003	0.0036
600	4.4	0.000022	0.000011	0.000528	0.003168
900	6.5	0.0000325	0.00001625	0.00078	0.00312
900	8.6	0.000043	0.0000215	0.001032	0.004128
900	9.4	0.000047	0.0000235	0.001128	0.004512

Tabel 3. Data Perhitungan *Ozone Off Gas* Pada Percobaan dengan 4 gr/L Zeolit

Waktu Kontak (detik)	Vol. titran (ml)	mol $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	mol O_3	Massa O_3 (gr)	<i>Off Gas</i> (gr/jam)
300	2.3	0.0000115	0.00000575	0.000276	0.003312
600	3.7	0.0000185	0.00000925	0.000444	0.002664
900	4.6	0.000023	0.0000115	0.000552	0.002208
900	6.1	0.0000305	0.00001525	0.000732	0.002928
900	7.3	0.0000365	0.00001825	0.000876	0.003504

Tabel 4. Data Perhitungan *Ozone Off Gas* Pada Percobaan dengan 6 gr/L Zeolit

Waktu Kontak (detik)	Vol. titran (ml)	mol $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	mol O_3	Massa O_3 (gr)	<i>Off Gas</i> (gr/jam)
300	1.2	0.000006	0.000003	0.000144	0.001728
600	2.1	0.0000105	0.00000525	0.000252	0.001512
900	3.1	0.0000155	0.00000775	0.000372	0.001488
900	4.1	0.0000205	0.00001025	0.000492	0.001968
900	5	0.000025	0.0000125	0.0006	0.0024

Lampiran 5. Data Perhitungan *Ozone Off Gas* Pada Percobaan Tanpa Menggunakan Bakteri

Tabel 5. Data Perhitungan *Ozone Off Gas* Pada Percobaan Tanpa Zeolit

Waktu Kontak (detik)	Vol. titran (ml)	mol $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$	mol O_3	Massa O_3 (gr)	<i>Ozone Off Gas</i> (gr/jam)
300	13.2	0.000066	0.000033	0.001584	0.019008
600	16.2	0.000081	4.05E-05	0.001944	0.011664
900	23.2	0.000116	0.000058	0.002784	0.011136
900	23.3	0.0001165	5.83E-05	0.002796	0.011184
900	23.3	0.0001165	5.83E-05	0.002796	0.011184

Tabel 6. Data Perhitungan *Ozone Off Gas* Pada Percobaan dengan 2 gr/L Zeolit

Waktu Kontak (detik)	Vol. titran (ml)	mol $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$	mol O_3	Massa O_3 (gr)	<i>Ozone Off Gas</i> (gr/jam)
300	10	0.00005	0.000025	0.0012	0.0144
600	11.9	0.0000595	2.98E-05	0.001428	0.008568
900	17.5	0.0000875	4.38E-05	0.0021	0.0084
900	17.7	0.0000885	4.43E-05	0.002124	0.008496
900	17.9	0.0000895	4.48E-05	0.002148	0.008592

Tabel 7. Data Perhitungan *Ozone Off Gas* Pada Percobaan dengan 4 gr/L Zeolit

Waktu Kontak (detik)	Vol. titran (ml)	mol $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$	mol O_3	Massa O_3 (gr)	<i>Ozone Off Gas</i> (gr/jam)
300	9.3	0.0000465	2.33E-05	0.001116	0.013392
600	10.7	0.0000535	2.68E-05	0.001284	0.007704
900	14.2	0.000071	3.55E-05	0.001704	0.006816
900	14.2	0.000071	3.55E-05	0.001704	0.006816
900	14.3	0.0000715	3.58E-05	0.001716	0.006864

Tabel 8. Data Perhitungan *Ozone Off Gas* Pada Percobaan dengan 6 gr/L Zeolit

Waktu Kontak (detik)	Vol. titran (ml)	mol $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$	mol O_3	Massa O_3 (gr)	<i>Ozone Off Gas</i> (gr/jam)
300	7.7	0.0000385	1.93E-05	0.000924	0.011088
600	8.6	0.000043	2.15E-05	0.001032	0.006192
900	9.8	0.000049	2.45E-05	0.001176	0.004704
900	9.8	0.000049	2.45E-05	0.001176	0.004704
900	10.2	0.000051	2.55E-05	0.001224	0.004896