



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH WAKTU INKUBASI DAN DOSIS OZON PADA
DISINFEKSI HAMA BAKTERI *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*
DENGAN KOMBINASI PROSES OZONASI DAN ADSORPSI
DENGAN ZEOLIT ALAM**

SKRIPSI

NADHILA ANDANIS ZAFHIRA

0806316070

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH WAKTU INKUBASI DAN DOSIS OZON PADA
DISINFEKSI HAMA BAKTERI *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*
DENGAN KOMBINASI PROSES OZONASI DAN ADSORPSI
DENGAN ZEOLIT ALAM**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

NADHILA ANDANIS ZAFHIRA
0806316070

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
DEPOK
JUNI 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 : Nadhila Andanis Zafhira

NPM : 0806316070

Tanda Tangan : 

Tanggal : 27 Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Nadhila Andanis Zafhira
NPM : 0806316070
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Pengaruh Waktu Inkubasi dan Dosis Ozon pada Disinfeksi Hama Bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* dengan Kombinasi Proses Ozonasi dan Adsorpsi dengan Zeolit Alam

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. Ir. Sutrasno Kartohardjono, M.Sc, Ph.D.

Penguji : Dr. Ing. Donni Adinata, S.T., M.Eng.Sc.

Penguji : Prof. Dr. Ir. Slamet, M.T.



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 27 Juni 2012

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur bagi Allah SWT karena atas Rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Pengaruh Waktu Inkubasi dan Dosis Ozon pada Disinfeksi Hama Bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* dengan Kombinasi Proses Ozonasi dan Adsorpsi dengan Zeolit Alam”** ini tepat pada waktunya. Penulisan makalah skripsi ini dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Keluarga, khususnya Ayah dan Bunda, yang selalu memberi dukungan moral maupun materiil untuk menyelesaikan studi dan penelitian ini;
- (2) Ir. Eva Fathul Karamah, M.T., selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini, semoga Ibu dan keluarga selalu dalam Rahmat dan Lindungan-Nya;
- (3) Dr. Drs. Wibowo Mangunwardoyo M.Sc. dari Departemen Biologi FMIPAUI dan Dr. Tania Surya Utami, S.T., M.T., yang telah meluangkan waktu untuk diskusi penelitian terkait bakteri;
- (4) Para dosen Departemen Teknik Kimia FTUI yang telah memberikan ilmu dan wawasan yang berharga selama perkuliahan;
- (5) Kak Sri Diah Handayani dari Laboratorium Mikrobiologi - Teknik Penyehatan & Lingkungan, Departemen Teknik Sipil FTUI yang telah bersedia membantu dan banyak direpotkan dalam penanganan dan analisa sampel bakteri;
- (6) Segenap karyawan Departemen Teknik Kimia; Mas Eko, Mang Ijal, Kang Jajat, Mas Taufik, Mas Heri, Mas Sri, Mas Rinan, Mas Mugeni, Mas Diki, dan khususnya Mbak Tiwi dan Kak Ius atas bantuannya selama ini;
- (7) Merry, Dipo, Indika, Ria dan Ario sebagai partner berbagi suka-duka di lab. Mikrobiologi;

- (8) Femmy, Nindya, Fiza, Ota dan Laili yang telah berbagi referensi dan saling bertukar wawasan serta informasi;
- (9) Teman-teman seperjuangan; Ade, Tia, Shofa, Desi, Dani, Indri, Ira, Fatima, Kak Muthia, beserta teman-teman dan para senior yang tidak dapat disebutkan satu per satu, atas kebersamaan, semangat, dan kerjasamanya selama 4 tahun ini;
- (10) Semua pihak yang telah membantu penyusunan makalah skripsi ini secara langsung maupun tidak langsung;

Akhir kata, *jazakumullah khairan katsiran*, semoga Allah SWT memberikan balasan yang lebih baik atas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Penulis menyadari bahwa dalam makalah skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Untuk itu penulis mohon maaf atas segala kesalahan dan kekurangan, semoga dapat diperbaiki dan disempurnakan oleh penelitian yang melanjutkannya. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan bagi perkembangan dunia pendidikan dan ilmu pengetahuan.

Depok, 27 Juni 2012

Penulis

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

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

Nama : Nadhila Andanis Zafhira
NPM : 0806316070
Program Studi : Teknik Kimia
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

**Pengaruh Waktu Inkubasi dan Dosis Ozon pada Disinfeksi Hama Bakteri
Xanthomonas oryzae pv. oryzae dengan Kombinasi Proses Ozonasi dan
Adsorpsi dengan Zeolit Alam**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan 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 : 27 Juni 2012

Yang menyatakan



(Nadhila Andanis Zafhira)

ABSTRAK

Nama : Nadhila Andanis Zafhira
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Penelitian : Pengaruh Waktu Inkubasi dan Dosis Ozon pada Disinfeksi Hama Bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* dengan Kombinasi Proses Ozonasi dan Adsorpsi dengan Zeolit Alam

Penggunaan zeolit sebagai konsentrator adsorptif dalam proses ozonasi telah terbukti meningkatkan efektivitas degradasi polutan organik dengan signifikan. Namun, penggunaan zeolit pada proses ozonasi tersebut belum diarahkan untuk disinfeksi bakteri. Penelitian ini mencoba meningkatkan efektivitas disinfeksi dengan memvariasikan dosis ozon dan waktu inkubasi bakteri pada zeolit untuk meningkatkan kontak antara ozon, zeolit dan bakteri. Bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* yang menyebabkan penyakit Kresek pada tanaman padi diinkubasikan pada zeolit selama 1, 2, 12, dan 24 jam, lalu didisinfeksi dengan ozon. Hasilnya menunjukkan bahwa tingkat disinfeksi secara keseluruhan mencapai hampir 100%, namun semakin lama waktu inkubasi, tingkat disinfeksi cenderung lebih rendah. Pada variasi dosis ozon dengan variasi laju alir umpan ozonator, peningkatan laju alir menyebabkan peningkatan tingkat disinfeksi akhir, namun laju disinfeksi cenderung lebih rendah pada sistem kombinasi ozon-zeolit, dibandingkan sistem tanpa zeolit.

Kata kunci:

Ozon, zeolit, disinfeksi, *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*, Kresek / Hawar Daun Bakteri

ABSTRACT

Name : Nadhila Andanis Zafhira
Study Program : Chemical Engineering
Title : Effects of Incubation Period and Ozone Doses on Disinfection of *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* Bacteria Using Combination of Ozonation Process and Adsorption with Natural Zeolite

The use of zeolite as adsorptive concentrator in ozonation process has been proven to improve the effectivity of organic compounds degradation. However, this combination of ozone-zeolite system has not yet been utilized to disinfect microorganisms, especially bacteria. The aim of this experiment was to improve the effectivity of bacteria disinfection by using variations of ozone doses and incubation time of bacteria on zeolite, to improve contact between ozone and bacteria. *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*, the bacteria that causes Kresek disease on rice plant, was immobilized on zeolite with 1, 2, 12, and 24 h incubation time prior to disinfection by ozone. Results showed that overall level of disinfection reaches nearly 100%, however, the rate of disinfection tends to be lower in longer incubation period. In ozone doses variation (based on ozonator inlet flowrate), the total disinfection level increases in higher flowrate, but the rate of disinfection tends to be lower in the ozone-zeolite combined system, compared to the system without zeolite.

Keywords:

Ozone, zeolite, disinfection, *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*, Kresek / Bacterial Leaf Blight

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Batasan Masalah.....	4
1.5. Sistematika Penulisan.....	5
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Dilema Pangan Beras di Indonesia.....	7
2.2. Bakteri <i>Xanthomonas oryzae pv. oryzae</i>	8
2.3.1. Klasifikasi dan Morfologi	9
2.3.2. Asal dan Distribusi	10
2.3.3. Penyakit Kresek/Hawar Daun Bakteri	10
2.3.4. Reproduksi dan Penyebaran Infeksi	11
2.3. Ozon	12
2.3.1. Sifat Fisik dan Kimia Ozon.....	13
2.3.2. Manfaat Ozon.....	14
2.3.3. Ozon untuk Disinfeksi.....	15
2.4. Zeolit Alam	18
2.4.1. Struktur Zeolit	19
2.4.2. Sifat Zeolit.....	20
2.4.3. Kemampuan Zeolit Mengadsorpsi Bakteri	21
2.4.4. Zeolit Alam Lampung	23
2.5. Kinerja Ozon dengan Zeolit	24
2.6. Analisis Efektivitas Disinfeksi Bakteri	25
3. METODE PENELITIAN.....	27
3.1. Diagram Alir Penelitian	27
3.2. Skema Alat Penelitian	29
3.3. Variabel Dalam Penelitian	30
3.3.1. Variabel Bebas	30
3.3.2. Variabel Kontrol.....	30
3.3.3. Variabel Terikat	30
3.4. Alat dan Bahan Penelitian	30

3.4.1. Alat.....	30
3.4.2. Bahan.....	31
3.5. Tahap Kultur Bakteri.....	32
3.5.1. Prosedur Kultur Bakteri	32
3.6. Tahap Preparasi Zeolit Alam.....	33
3.6.1. Prosedur <i>Pre-treatment</i> Zeolit.....	33
3.7. Proses Disinfeksi	34
3.7.1. Preparasi Bahan.....	34
3.7.2. Prosedur Penelitian.....	35
3.7.3. Analisis Sampel.....	37
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1. Analisis Produktivitas Ozonator.....	40
4.2. Karakterisasi Zeolit Alam Lampung dengan BET Autosorb	42
4.3. Pengaruh Waktu Inkubasi Bakteri pada Zeolit terhadap Kinerja Ozonasi untuk Disinfeksi Bakteri Xoo.....	45
4.4. Pengaruh Dosis Ozon terhadap Kinerja Kombinasi Ozon dan Zeolit untuk Disinfeksi Bakteri Xoo	51
5. KESIMPULAN.....	57
5.1. Kesimpulan.....	57
5.2. Saran.....	58
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN.....	62
Lampiran 1. Pengukuran Kadar Ozon dengan Metode Iodometri	62
Lampiran 2. Karakteristik Zeolit Alam Lampung Sebelum Preparasi	63
Lampiran 3. Karakteristik Zeolit Alam Lampung Setelah Preparasi	65
Lampiran 4. Data Hasil Disinfeksi Bakteri Xoo pada Variasi Waktu Inkubasi .	67
Lampiran 5. Data Hasil Disinfeksi Bakteri Xoo Dengan Zeolit Inkubasi 2 Jam pada Variasi Dosis Ozon Berbasis Laju Alir.....	69
Lampiran 6. Data Hasil Disinfeksi Bakteri Xoo Tanpa Zeolit pada Variasi Dosis Ozon Berbasis Laju Alir.....	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 (a) Foto Mikroskop Elektron <i>Xanthomonas</i> (30.000 X). (b) Koloni <i>Xanthomonas oryzae</i> Pada Media Agar.	9
Gambar 2. 2. Tanaman Padi Yang Terserang Hawar Daun Bakteri	11
Gambar 2. 3. Struktur Resonansi Molekul Ozon	13
Gambar 2. 4. Mekanisme Penghancuran Sel Bakteri Oleh Ozon	17
Gambar 2. 5. Tetrahedra Alumina Dan Silika (TO ₄) Pada Struktur Zeolit	18
Gambar 2. 6. Unit Penyusun Primer	19
Gambar 2. 7. Unit Penyusun Sekunder	20
Gambar 2. 8. Gambaran SEM Beberapa Bakteri Yang Teradsorpsi Pada Zeolit	23
Gambar 2. 9. Struktur Stereotip Klinoptilolit	24
Gambar 3. 1. Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 3. 2. Skema Alat Penelitian	29
Gambar 4. 1. Perbandingan Luas Permukaan Zeolit Sebelum Dan Sesudah Preparasi	43
Gambar 4. 2. Perbandingan Volume Pori Zeolit Sebelum Dan Sesudah Preparasi	44
Gambar 4. 3. Perbandingan Ukuran Pori Zeolit Sebelum Dan Sesudah Preparasi	44
Gambar 4. 4. Penurunan Jumlah Bakteri Xoo Pada Variasi Waktu Inkubasi. Kondisi Operasi: Laju Alir 100 L/jam; Ukuran Partikel ±1,7 mm; pH ±6,5	46
Gambar 4. 5. Persentase Disinfeksi Bakteri Xoo Pada Variasi Waktu Inkubasi. Kondisi Operasi: Laju Alir 100 L/jam; Ukuran Partikel ±1,7 mm; pH ±6,5	46
Gambar 4. 6. Persentase Disinfeksi Akhir Bakteri Xoo Pada Variasi Waktu Inkubasi. Kondisi Operasi: Laju Alir 100 L/jam; Ukuran Partikel ±1,7 mm; pH ±6,5	47
Gambar 4. 7. Pembacaan Koloni Bakteri Dengan Metode TPC Untuk Sampel Tanpa Zeolit (Kiri) Dan Sampel Sistem Yang Menggunakan Zeolit (Kanan)	49
Gambar 4. 8. Foto Mikroskopik Dari Sampel Sistem Yang Menggunakan Zeolit	50
Gambar 4. 9. Persentase Disinfeksi Bakteri Xoo Pada Laju Alir Umpan Ozonator (a) 100 L/jam, (b) 200 L/jam, dan (c) 400 L/jam. Kondisi Operasi: Ukuran Partikel ±1,7 mm; pH ±6,5.	51
Gambar 4. 10. Persentase Disinfeksi Bakteri Xoo Pada Variasi Laju Alir Umpan Ozonator (a) Tanpa Zeolit, dan (b) Dengan Ozon Dan Zeolit. Kondisi Operasi: Ukuran Partikel ±1,7 mm; pH ±6,5.	53
Gambar 4. 11 Perbandingan Tingkat Disinfeksi Akhir Bakteri Xoo Dari Sampel Larutan Dan Sampel Zeolit Pada Variasi Dosis Ozon/Laju Alir. Kondisi Operasi: Ukuran Partikel ±1,7 mm; pH ±6,5.	54
Gambar 4. 12. Persentase Disinfeksi Akhir Bakteri Xoo Pada Variasi Dosis Ozon/Laju Alir. Kondisi Operasi: Ukuran Partikel ±1,7 mm; pH ±6,5.	55

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Data Sifat Fisik Ozon	14
Tabel 3. 1. Daftar Alat Yang Digunakan Dalam Penelitian	30
Tabel 3. 2. Daftar Bahan Yang Digunakan Dalam Penelitian	31
Tabel 4. 1. Produktivitas Ozonator Pada Laju Alir Umpan Udara 100 L/jam	41
Tabel 4. 2. Produktivitas Ozonator Pada Laju Alir Umpan Udara 200 L/jam	42
Tabel 4. 3. Produktivitas Ozonator Pada Laju Alir Umpan Udara 400 L/jam	42
Tabel 4. 4. Perbandingan Jumlah Bakteri Pada Larutan Dan Pada Zeolit Di Awal Dan Akhir Proses Disinfeksi	48



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Seiring dengan perubahan iklim, kondisi cuaca menjadi ekstrim dan siklusnya tidak lagi menentu, sehingga memicu maraknya hama tanaman padi dan mengakibatkan gagal panen di beberapa daerah di Indonesia (KOMPAS, 2011). Kegagalan panen tidak hanya menyebabkan kerugian langsung pada petani padi, tetapi juga menyebabkan turunnya produksi beras nasional sehingga harga beras melonjak, dan akhirnya mendorong pemerintah untuk mengimpor beras. (MediaIndonesia.com, 2011a). Untuk mengurangi kebutuhan impor beras, perlu peningkatan produksi beras nasional, di antaranya dengan menangani masalah gagal panen akibat serangan hama padi.

Salah satu hama penyebab rusaknya tanaman padi adalah penyakit Hawar Daun Bakteri (HDB) atau lebih dikenal dengan penyakit Kresek, yang disebabkan oleh bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* (Xoo). Di Indonesia, penyakit ini tersebar hampir di seluruh daerah pertanaman padi baik di dataran rendah maupun dataran tinggi, dan selalu timbul baik pada musim kemarau maupun musim hujan. Kerugian hasil yang disebabkan oleh penyakit HDB dapat mencapai 60%. (Anonim, 2009) Pada tahun 2011 ini saja, penyakit Kresek telah menyerang ratusan hektare sawah di berbagai daerah di Indonesia. Di antaranya yaitu di Sumatera Utara, di mana kerusakan akibat penyakit Kresek mencapai 38,5 hektare dari 184,4 hektare sawah yang terserang hama dan penyakit. Dilaporkan bahwa sejak pertanaman Oktober 2010 hingga Maret 2011, lahan yang terserang penyakit Kresek seluas 278,1 hektare dari 1.826 hektare lahan yang terkena penyakit. Tingkat serangan penyakit tersebut mencapai 15,23%, dibandingkan dengan serangan tikus 27,44%; hama putih palsu 17,57%; penggerek batang 14,06% dan penyakit blast 25,71%. (SeputarIndonesia, 2011) Sedangkan di Kalimantan Timur, penyakit Kresek menyerang 32,90 hektare padi dari 2323,9 hektare padi yang terserang hama, yaitu sebesar 1,42% dibandingkan hama penggerek batang 50,98%; tikus 47,07% dan wereng 0,53%. (MediaIndonesia.com, 2011b) Penyakit ini juga merusak puluhan hingga ratusan hektare tanaman padi di daerah Lombok,

Nganjuk, Toba Samosir, Subang dan Karawang, yang menyebabkan hasil panen padi di daerah-daerah tersebut turun mulai dari 40 hingga 80 %.

Bakteri penyebab penyakit Kresek ini menyebar dari angin dan hujan, tetapi terutama menyebar melalui banjir dan air irigasi (EPPO dan CABI, 1997). Selama ini, pengendalian penyakit akibat bakteri tersebut hanya ditangani dengan sanitasi lingkungan, penyemprotan pestisida, perbaikan cara bercocok tanam, dan penanaman varietas yang tahan. Penanganan langsung untuk membasmi bakteri dilakukan melalui pemberian pestisida atau bakterisida, yang dapat memberi dampak negatif pada lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan cara lain yang lebih ramah lingkungan untuk membasmi hama bakteri yang menyerang padi ini.

Disinfeksi bakteri dapat dilakukan dengan menggunakan ozon, yang merupakan senyawa oksidator kuat. Keuntungan lain dari penggunaan ozon adalah kemampuan ozon untuk mendegradasi pestisida yang berbasis senyawa organik (Ikehata et al., 2008). Ozon telah lama dikenal sebagai disinfektan yang efektif untuk membunuh bakteri dan virus, khususnya pada air. Ozon sebagai disinfektan mampu membunuh berbagai macam mikroorganisme seperti virus, jamur, dan terutama bakteri. (Kowalski et al., 1998; Taylor et al., 2000) Efek ozon pada bakteri *Xoo* juga menunjukkan bahwa pembilasan ozon dengan laju alir 300 mL/min selama 3 menit pada kultur bakteri dapat menghilangkan kelangsungan hidup bakteri pada konsentrasi sel 0,008 OD pada 540 nm. Namun pada konsentrasi sel yang lebih tinggi (0,08 OD ke atas), bakteri dapat bertahan hidup (Mohan et al., 2005). Sayangnya, teknologi ozon untuk degradasi polutan dan disinfeksi bakteri masih memiliki kekurangan, yaitu rendahnya kelarutan dan kemudahan ozon terurai menjadi oksigen dalam air. (Rodríguez et al., 2008)

Zeolit alam adalah material berpori dengan struktur lubang yang unik sehingga molekul-molekul tertentu dapat melalui lubang-lubang tersebut untuk mengisi ruang adsorptif yang ada. Dengan demikian, luas permukaan kristal zeolit yang besar dapat melekatkan mikroorganisme seperti bakteri (Widiastuti et al., 2008). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa zeolit memiliki kemampuan mengadsorpsi bakteri secara selektif bergantung pada pH. (Kubota et al., 2008). Penelitian lainnya menunjukkan bahwa zeolit dapat mengadsorpsi ozon dalam jumlah tertentu (Fujita et al., 2004a; Fujita et al., 2004b), sehingga memungkinkan

kombinasi teknologi ozon dengan zeolit. Kombinasi ozon dengan zeolit telah digunakan untuk mendegradasi polutan seperti fenol, toluena, dan trikloroetena dengan lebih efektif. (Fujita et al., 2004b; Chao et al., 2007; Amin et al., 2010) Adapun penelitian terkini menggunakan kombinasi teknologi ozon dan zeolit alam untuk disinfeksi bakteri *Xoo* menunjukkan bahwa laju disinfeksi bakteri menggunakan zeolit lebih rendah daripada laju disinfeksi bakteri tanpa zeolit. Adapun uji kelarutan ozon menunjukkan bahwa pada rasio disinfeksi yang sama, dibutuhkan massa ozon yang lebih sedikit pada proses disinfeksi dengan penambahan zeolit dibandingkan tanpa penambahan zeolit. (Yanuarta, 2012) Hal ini menunjukkan bahwa kontak antara ozon dan bakteri belum cukup efektif, yang dapat disebabkan oleh terlalu singkatnya waktu kontak antara bakteri dengan zeolit, sehingga bakteri belum teradsorp dengan baik pada zeolit.

Oleh karena itu, pada penelitian ini akan diselidiki variabel lain dalam penggunaan zeolit alam untuk disinfeksi bakteri *Xoo* dengan ozon. Bakteri akan diuji disinfeksi hanya dengan ozon, dan pengujian lainnya dengan kombinasi ozon dan zeolit, dengan variasi dosis ozon dan waktu inkubasi bakteri pada 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 *Xoo*, zeolit alam Lampung sebagai adsorben, dan ozon dari generator ozon yang terdapat di Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia. Kandungan bakteri dalam air sampel sebelum dan sesudah ozonasi dianalisis menggunakan metode *total count plate* (TPC).

Penelitian ini akan menghasilkan data tentang pengaruh penggunaan zeolit alam, variasi dosis ozon, dan waktu inkubasi bakteri pada zeolit alam dalam proses ozonasi untuk disinfeksi bakteri *Xoo*. Pemanfaatan teknologi ozon untuk membasmi bakteri hama tanaman padi lebih efektif dan lebih ramah lingkungan dibandingkan penggunaan pestisida, karena ozon mudah terdekomposisi menjadi oksigen, yang tidak membahayakan lingkungan. Teknologi ini dikombinasikan dengan zeolit alam Lampung sebagai adsorben, karena zeolit ini merupakan bahan alami yang juga tidak membahayakan lingkungan. Selain itu, zeolit alam Lampung terbilang murah karena merupakan produk lokal Indonesia yang

terdapat dalam jumlah melimpah, namun masih belum dimanfaatkan dengan optimal. Disinfeksi bakteri *Xoo* 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 menentukan pengaruh variasi dosis ozon dan waktu inkubasi bakteri dalam proses disinfeksi hama tanaman padi, bakteri *Xoo*, dengan menggunakan teknologi ozon. Zeolit alam sebagai material berpori dapat mengadsorpsi dan berperan sebagai konsentrator bagi ozon dan bakteri. Maka, penggunaan zeolit alam dapat memperbesar kontak antara ozon dengan bakteri sehingga dapat membasmi bakteri dengan lebih efektif. Kombinasi ozon dengan zeolit alam diharapkan akan dapat membasmi bakteri lebih baik dibandingkan disinfeksi hanya dengan ozon.

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menentukan signifikansi penggunaan zeolit alam yang telah diinkubasi bakteri *Xoo* dalam proses disinfeksi dengan teknologi ozon.
2. Menentukan pengaruh dosis ozon dan waktu inkubasi bakteri dalam zeolit alam pada proses disinfeksi bakteri *Xoo* dengan teknologi ozon.
3. Menentukan waktu optimal untuk inkubasi bakteri pada zeolit alam dalam proses disinfeksi bakteri *Xoo* dengan teknologi ozon.

1.4. Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi dengan:

1. Sampel yang digunakan adalah air yang dimodelkan sebagai air irigasi yang terkontaminasi bakteri *Xoo*.
2. Zeolit yang digunakan adalah zeolit alam Lampung berjenis *clinoptilolite*, dengan diameter $\pm 1,7$ mm yang diberi *pre-treatment* sederhana berupa pencucian dengan *aquadest* dan pemanasan.

3. Karakterisasi zeolit alam dilakukan dengan *BET Autosorb* untuk mengetahui luas permukaan, volume dan ukuran pori zeolit.
4. Generator ozon yang digunakan adalah generator ozon berjenis pipa koaksial *shell and tube* milik Laboratorium Intensifikasi Proses Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.
5. Penelitian dilakukan di Laboratorium Intensifikasi Proses dan Laboratorium Teknologi Bioproses, Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.
6. Analisis kandungan bakteri pada sampel dilakukan menggunakan metode *total plate count* (TPC) di Laboratorium Mikrobiologi – Teknik Penyehatan Lingkungan, Departemen Teknik Sipil Universitas Indonesia.
7. Sistem yang digunakan adalah *batch*, dengan menggunakan metode flotasi udara.
8. Variasi yang dilakukan adalah dosis ozon yang berbasis laju alir umpan udara, dan waktu inkubasi bakteri pada zeolit.

1.5. Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini terdiri dari tiga bagian, yaitu:

BAB 1 : PENDAHULUAN

Terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tinjauan mengenai hal-hal yang terkait dalam penelitian ini. Penjelasan terdiri dari penjelasan umum mengenai kondisi pangan beras di Indonesia, bakteri *Xoo* sebagai hama tanaman padi, teknologi ozon, dan zeolit alam. Penjelasan mengenai bakteri *Xoo* meliputi asal dan penyebarannya, taksonomi dan morfologi, pertumbuhan dan reproduksi, serta ekologi. Penjelasan tentang teknologi ozon, meliputi teori dasar mengenai ozon, pembentukan ozon, dan manfaat ozon. Penjelasan tentang zeolit alam meliputi penjelasan umum, struktur zeolit, sifat-sifat zeolit, serta pemanfaatannya. Selain itu juga

terdapat penjelasan tentang kinerja ozon dengan zeolit serta metode analisis untuk mengetahui tingkat efektivitas disinfeksi bakteri.

BAB 3 : METODE PENELITIAN

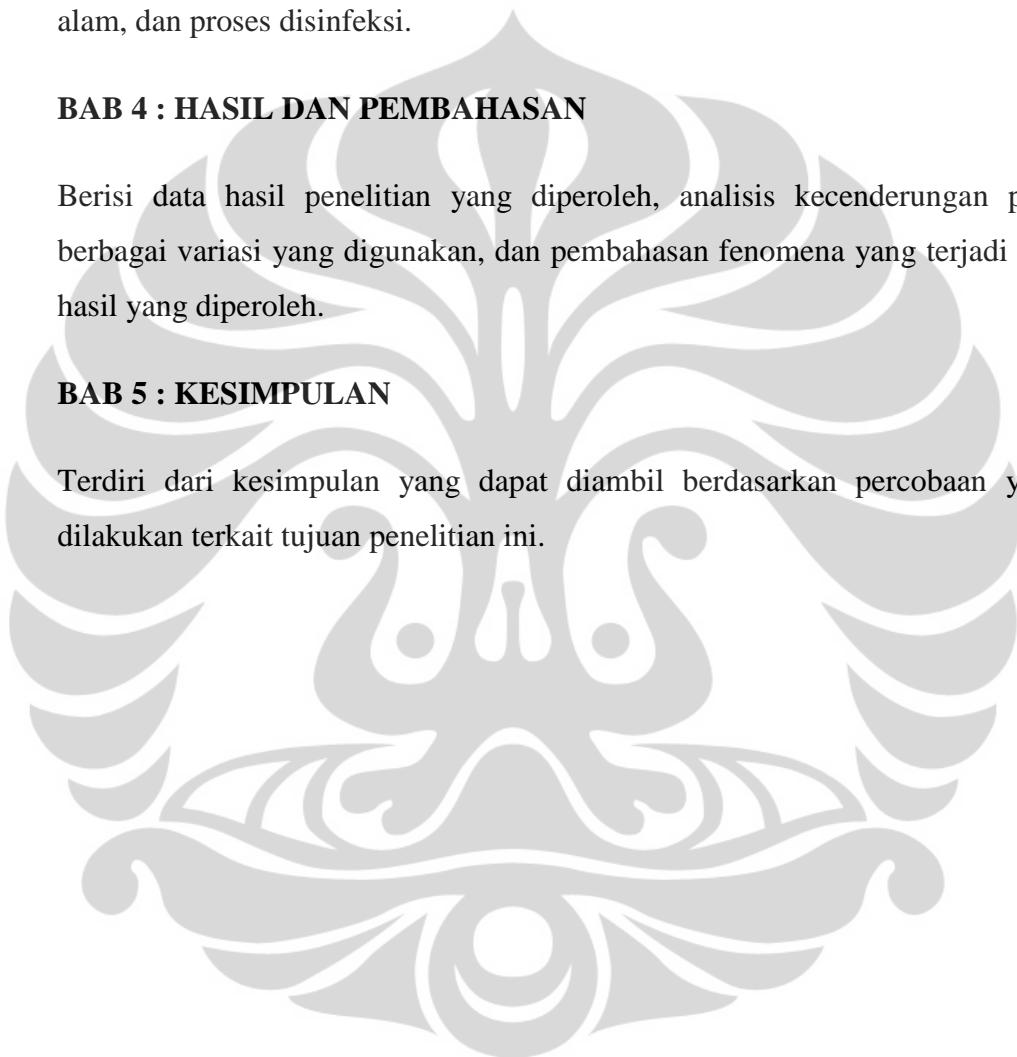
Berisi diagram alir penelitian, skema alat penelitian, serta deskripsi langkah kerja yang akan dilakukan dalam membiakkan bakteri Xoo, preparasi zeolit alam, dan proses disinfeksi.

BAB 4 : HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi data hasil penelitian yang diperoleh, analisis kecenderungan pada berbagai variasi yang digunakan, dan pembahasan fenomena yang terjadi dari hasil yang diperoleh.

BAB 5 : KESIMPULAN

Terdiri dari kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan percobaan yang dilakukan terkait tujuan penelitian ini.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Dilema Pangan Beras di Indonesia

Sungguh ironis keadaan di Indonesia ini; Indonesia merupakan negara agraris, namun kenyataannya, negeri ini harus berkali-kali mengimpor beras dari negara lain karena pengadaan beras dalam negeri tidak mencukupi konsumsi beras nasional. Bahkan di awal tahun 2011 ini, Indonesia dinyatakan termasuk dalam empat negara pengimpor beras terbesar di dunia, di mana Indonesia berada di posisi dua setelah Nigeria, yang merupakan salah satu negara rawan pangan di Afrika. Oleh Kementerian Pertanian Amerika Serikat (USDA), Indonesia diprediksi akan mengimpor beras sebanyak 1,75 juta ton di tahun 2011 ini (MediaIndonesia.com, 2011a).

Kebutuhan konsumsi beras nasional tidak mencukupi, kemungkinan besar di antaranya disebabkan oleh lahan-lahan pertanian yang mengalami gagal panen di beberapa daerah di Indonesia. Akibat perubahan iklim, cuaca menjadi ekstrim dan tidak menentu, sehingga memicu maraknya hama tanaman padi di beberapa daerah. Di Kabupaten Purbalingga, Jawa Tengah, sejumlah petani mengeluhkan panen padi mereka yang anjlok hingga 50 persen akibat serangan hama. Di Jawa timur, serangan hama merusak belasan ribu hektar padi di Kabupaten Lamongan, Gresik, Bojonegoro, dan Banyuwangi. Sedangkan di Pulau Lombok juga terdapat sedikitnya 50 ha-60 ha tanaman padi yang rusak akibat serangan hama (KOMPAS, 2011). Salah satu hama yang banyak menyerang tanaman padi dan paling merugikan ini adalah hama bakteri *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* (Xoo), yang menyebabkan penyakit Kresek atau Hawar Daun Bakteri pada padi.

Meskipun tikus dan wereng coklat masih memegang predikat sebagai organisme pengganggu tanaman paling besar yang merusak tanaman padi di Indonesia, bakteri Xoo juga menimbulkan kerugian tidak sedikit terhadap pertanian di berbagai daerah di Indonesia. Bahkan, penyakit Kresek yang ditimbulkan bakteri ini meningkat tajam dalam beberapa tahun terakhir. (Wiyono, 2009) Pada tahun 2009, ratusan hektar sawah siap panen di wilayah Cirebon terserang hama kresek hingga produksi padi turun sampai 40 persen. Tanaman

padi yang terserang hama tersebut dilaporkan mencapai 175 hektare. Sedangkan di daerah Kaur, Bengkulu, terdapat sekitar 50 hektare tanaman padi yang terserang penyakit Kresek. (PikiranRakyatOnline, 2009) Pada tahun 2010, di Kabupaten OKU Timur, Sumatera Selatan, produksi panen petani turun hingga 50 persen akibat ganasnya hama kresek. Sedangkan di daerah Banjarnegara, luas tanaman yang terserang penyakit ini mencapai 263 hektare, Purbalingga 340 hektare, Banyumas 1.455 hektare, dan Cilacap 533 hektare. (ANTARAJateng.com, 2010; SriwijayaPost, 2010)

Adapun pada tahun 2011 ini, penyakit Kresek telah menyerang ratusan hektare sawah di berbagai daerah di Indonesia. Di antaranya yaitu di Sumatera Utara, di mana kerusakan akibat penyakit Kresek mencapai 38,5 hektare dari 184,4 hektare sawah yang terserang hama dan penyakit. Dilaporkan bahwa sejak pertanaman Oktober 2010 hingga Maret 2011, lahan yang terserang penyakit Kresek seluas 278,1 hektare dari 1.826 hektare lahan yang terkena penyakit. Tingkat serangan penyakit tersebut mencapai 15,23%, dibandingkan dengan serangan tikus 27,44%; hama putih palsu 17,57%; penggerek batang 14,06% dan penyakit blast 25,71%. (SeputarIndonesia, 2011) Sedangkan di Kalimantan Timur, penyakit Kresek menyerang 32,90 hektare padi dari 2323,9 hektare padi yang terserang hama, yaitu sebesar 1,42% dibandingkan hama penggerek batang 50,98%; tikus 47,07% dan wereng 0,53%. (MediaIndonesia.com, 2011b) Penyakit ini juga merusak puluhan hingga ratusan hektare tanaman padi di daerah Lombok, Nganjuk, Toba Samosir, Subang dan Karawang, yang menyebabkan hasil panen padi di daerah-daerah tersebut turun mulai dari 40 hingga 80 %.

2.2. Bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*

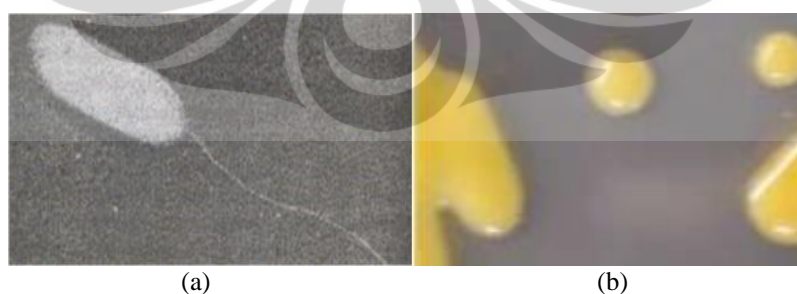
Bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* merupakan bakteri patogen yang menyebabkan penyakit Hawar Daun Bakteri (HDB) atau yang juga disebut penyakit Kresek pada tanaman padi, yang banyak menurunkan produksi pertanian padi di sebagian besar daerah Asia dan sebagian daerah Afrika. Berikut ini penjelasan mengenai bakteri tersebut.

2.3.1. Klasifikasi dan Morfologi

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*

Bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* (*Xoo*) memiliki nama lain *Xanthomonas campestris pv. oryzae* Dye, merupakan bakteri berbentuk batang pendek, memiliki alat gerak berupa flagel polar, dan merupakan golongan bakteri gram negatif yang bersifat aerob dan tidak membentuk spora. Bakteri ini berukuran $1,1-2,0 \times 0,4-0,6 \mu\text{m}$, sedangkan flagelnya berukuran lebih panjang, yaitu $6-8 \mu\text{m}$. Bentuk bakteri ini dapat dilihat pada Gambar 2.1. 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. 1 (a) Foto Mikroskop Elektron *Xanthomonas* (30.000×). (b) Koloni *Xanthomonas oryzae* Pada Media Agar.

Sumber: Andayani, 2010; Nino-Liu, 2006

2.3.2. Asal dan Distribusi

Bakteri ini pertama kali ditemukan di Jepang pada tahun 1911, di mana ia pertama kali diberi 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 *X. 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)

2.3.3. Penyakit Kresek/Hawar Daun Bakteri

Bakteri *X. oryzae pv. oryzae* adalah bakteri penyebab penyakit Hawar Daun Bakteri/*Bacterial Leaf Blight* (HDB/BLB) atau yang juga dikenal dengan penyakit Kresek pada tanaman padi yang 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. 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. Penyakit HDB ditunjukkan dengan gejala layu (kresak) pada tanaman muda atau tanaman dewasa yang peka, gejala hawar dan daun kuning pucat seperti terlihat pada Gambar 2.2. (Nino-Liu et al., 2006; Anonim, 2009; Andayani, 2010)



Gambar 2. 2. Tanaman Padi Yang Terserang Hawar Daun Bakteri

Sumber: Anonim, 2009

2.3.4. Reproduksi dan Penyebaran Infeksi

Pertumbuhan dan reproduksi bakteri *X. 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

Universitas Indonesia

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 *X. 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 *X. 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.

2.3. Ozon

Ozon (O_3) merupakan senyawa yang terdiri dari tiga atom oksigen. Gas ini umumnya tidak terjadi emisi langsung di udara, namun biasanya dihasilkan sebagai polutan yang tidak diinginkan pada *smog* (kabut asap) dan emisi industri, akibat reaksi kimia antara oksida nitrogen (NO_x) dan VOC (*volatile organic compounds*) di bawah sinar matahari. Ozon juga diproduksi untuk sterilisasi dan untuk tujuan pembersihan dan detoksifikasi, yang dianggap sebagai alternative yang lebih ramah lingkungan daripada klorin.

Ozon secara alami terdapat di atmosfer bumi, di mana keberadaannya pada lapisan atmosfer terendah merupakan polutan udara yang memiliki dampak

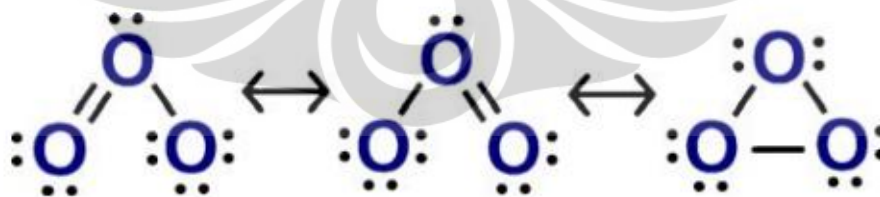
berbahaya pada pernafasan hewan dan manusia, serta dapat membakar tumbuhan-tumbuhan yang sensitive. Namun, ozon pada lapisan atmosfer atas bermanfaat sebagai komponen penting untuk mencegah radiasi UV dan elektromagnetik dari matahari mencapai permukaan bumi. Ozon terbentuk dan terkonsentrasi pada lapisan stratosfer di atmosfer bumi. Pembentukan ozon secara alami tersebut disebabkan oleh absorpsi gelombang pendek radiasi UV oleh molekul oksigen di stratosfer. Oksigen yang terekspos dengan medan energi ini terdisosiasi dan terpecah membentuk atom oksigen. Atom oksigen yang terlepas ini kemudian melakukan rekombinasi dengan molekul oksigen lainnya di udara, sehingga terbentuk ozon. (EPA, 2003; Turney, 2010)

2.3.1. Sifat Fisik dan Kimia Ozon

Ozon adalah molekul tidak stabil yang diproduksi dari oksigen, seringkali disebut sebagai alotrop dari oksigen. Struktur resonansi molekul ozon dapat dilihat pada Gambar 2.3. Reaksi umum pembentukan ozon ditunjukkan dengan reaksi endotermik:



Oleh karena sifatnya tidak stabil, ozon harus dimanfaatkan di tempat, maka ozon harus diproduksi di dekat tempat ia akan digunakan. Molekul ozon memiliki berat molekul 48, terdiri dari tiga atom oksigen yang terikat oleh ikatan oksigen-oksigen yang sama pada sudut tumpul $116^\circ 49'$. (Rodríguez et al., 2008) Struktur ini tidak stabil, dan merupakan penyebab kemampuan oksidasinya yang kuat. Beberapa sifat fisik oksigen dapat dilihat pada Tabel 2.1.



Gambar 2. 3. Struktur Resonansi Molekul Ozon

Sumber: Rodríguez, 2008

Ozon adalah gas yang berbau tajam dengan batas deteksi bau sekitar 0,02 ppm ($0,04 \text{ mg/m}^3$). Paparan maksimum yang dianjurkan adalah delapan jam

dengan konsentrasi ozon 0,1 ppm ($0,2 \text{ mg/m}^3$). Dalam fasa gas, ozon 1,7 kali lebih berat dari udara. Pada suhu normal dan konsentrasi tinggi, ozon dalam fasa gas berwarna kebiruan, namun pada konsentrasi yang dihasilkan untuk penggunaan normal, warna ini tidak terlihat.

Tabel 2. 1. Data Sifat Fisik Ozon

CAS (chemical abstract number) 10028-15-6	
Struktur	O₃
Berat Molekul	47,9982
Titik Leleh (1 atm)	-111,9°C
Titik Didih	-197,7°C
Suhu Kritis	-12,1°C
Tekanan Kritis	54,6 atm
Densitas (gas) @ 0°C	2,144 g/L
Densitas (liquid) -183°C	1,571 g/L
Viskositas liquid -183°C	1,57 cp

Sumber: Lide, 2009

Pada suhu -169°F , ozon terkondensasi menjadi cairan berwarna biru tua yang mudah meledak. Ledakan tersebut dapat dipicu oleh katalis dalam jumlah sedikit, bahan organik, guncangan, ataupun perubahan suhu atau tekanan yang tiba-tiba. Ozon hampir 13 kali lebih larut daripada oksigen dalam air pada tekanan dan suhu standar. Ozon dengan mudah terdekomposisi kembali menjadi oksigen yang merupakan pembentuknya. Dekomposisi ini sangat cepat terjadi dalam keadaan terdapat impurities (pengotor), seperti dalam air, namun dekomposisi tersebut lebih lambat dalam air dengan kemurnian tinggi atau dalam fasa gas. (Loeb, 2009)

2.3.2. Manfaat Ozon

Ozon merupakan oksidator kuat yang selama ini telah dimanfaatkan untuk mengontrol rasa dan bau, menghilangkan warna, menguraikan senyawa organik, serta mendisinfeksi mikroorganisme patogen pada air dan udara. Efek oksidasi ozon yang kuat ini telah diamati dalam berbagai macam reaksi bahkan sebelum rumus molekul ozon itu sendiri ditemukan. Efek pemutih oleh ozon dimanfaatkan

secara komersial dalam pengolahan gula dan pemutihan kain linen. Pada tahun 1868, ozon digunakan untuk mengkonversi campuran batubara-minyak menjadi produk yang dapat dimanfaatkan sebagai cat, pernis, dan pewarna pakaian. Pada tahun 1870 dipatenkan suatu peralatan penghasil ozon yang dapat menghilangkan bau saluran pembuangan. (Rice dan Netzer, 1985; Ikehata et al., 2008; Rodríguez et al., 2008; Miao dan Tao, 2009)

Hingga tahun 1904, ozon telah dimanfaatkan untuk pengawetan susu, produk daging, gelatin, kasein, dan albumin. Proses yang melibatkan ozon telah dikembangkan untuk purifikasi dan penuaan minuman beralkohol. Ozon juga telah dimanfaatkan sebagai disinfektan selektif dalam pembuatan bir dan sari buah apel. Dalam bidang kedokteran gigi, ozon digunakan untuk menjaga agar mulut yang sedang dioperasi tetap steril. Dalam terapi medis, ozon digunakan untuk mengobati kanker (menggabungkan ozon dengan terapi radiasi), gangguan peredaran darah, dalam bidang ginekologi, dan dalam terapi oksidasi hematogenik (menginjeksi campuran ozon dan oksigen ke dalam aliran darah). (Rice dan Netzer, 1985)

2.3.3. Ozon untuk Disinfeksi

Ozon telah lama dikenal sebagai disinfektan yang efektif untuk membunuh bakteri. Kemampuan ozon sebagai disinfektan jauh lebih kuat daripada klorin, dan bekerja 3.000 kali lebih cepat tanpa menghasilkan produk dekomposisi yang berbahaya. Efektivitas proses ozonasi untuk disinfeksi bergantung pada seberapa rentan mikroba tersebut terhadap ozon, waktu kontak antara mikroba dengan ozon, dan konsentrasi (dosis) ozon. (Solomon et al., 1998; Voidarou et al., 2007)

Ozon sebagai disinfektan memiliki berbagai kelebihan sebagai berikut (Solomon et al., 1998):

- 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

- Relatif aman karena ozon digenerasi secara *insitu*
- Mikroorganisme tidak tumbuh kembali setelah ozonasi

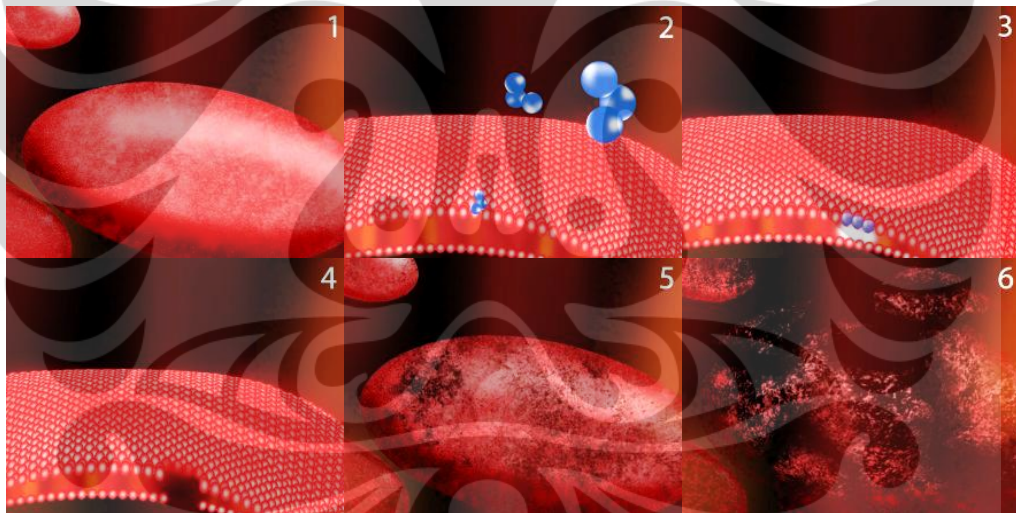
Namun ozon juga memiliki beberapa kekurangan, antara lain (Solomon et al., 1998):

- 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
- Sangat reaktif dan korosif sehingga memerlukan material yang tahan terhadap korosi
- Tidak efektif untuk digunakan pada air yang memiliki kandungan padatan tersuspensi, BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), atau TOC (*Total Organic Carbon*) dalam jumlah tinggi
- Membutuhkan biaya investasi dan perawatan yang relatif tinggi
- Tidak ada residu yang dapat diukur untuk menunjukkan kemampuan disinfeksi

Ozon merupakan oksidator dan virusida (pembunuh virus) yang sangat kuat. Mekanisme disinfeksi dengan ozon melibatkan oksidasi langsung/penghancuran dinding sel dan menyebabkan kebocoran unsur/isi sel, reaksi dengan radikal dari produk samping dekomposisi ozon, kerusakan komponen asam nukleat (purin dan pirimidin), atau pemutusan ikatan karbon-nitrogen sehingga terjadi depolimerisasi. Ketika ozon terdekomposisi dalam air, radikal bebas hidrogen peroksida (HO_2) dan hidroksil (OH) yang terbentuk memiliki kapasitas oksidasi yang sangat kuat dan berperan aktif dalam proses disinfeksi. Secara umum diyakini bahwa bakteri hancur karena oksidasi protoplasma yang menyebabkan disintegrasi dinding sel (lisis). (Solomon et al., 1998)

Mekanisme perusakan sel bakteri oleh ozon dalam proses disinfeksi dapat dilihat dari ilustrasi pada Gambar 2.4, yang terdiri dari tahap-tahap sebagai berikut (Leusink, 2010):

1. Sel bakteri normal dalam keadaan utuh.
2. Tampilan diperbesar, tampak molekul ozon (berwarna biru) mendekat dan terjadi kontak dengan dinding/membran sel. Dinding sel merupakan komponen vital bakteri karena komponen ini yang membuat organisme tersebut dapat mempertahankan bentuknya.
3. Ketika molekul ozon kontak dengan dinding sel, suatu reaksi oksidasi terjadi dan menyebabkan lubang pada dinding sel.
4. Lubang yang terbentuk menyebabkan kerusakan pada bakteri.
5. Molekul ozon terus membentuk lubang pada dinding sel, sehingga bakteri mulai kehilangan bentuknya.
6. Setelah kontak dengan ribuan molekul ozon dalam waktu yang relatif singkat, dinding bakteri tidak mampu mempertahankan bentuknya dan sel bakteri pun mati.



Gambar 2. 4. Mekanisme Penghancuran Sel Bakteri Oleh Ozon

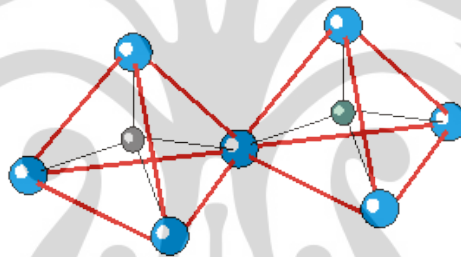
Sumber: Leusink, 2010

Ozon mampu mendisinfeksi berbagai bakteri gram-negatif yang terklasifikasi dalam satu kelas dengan bakteri *X. oryzae pv. oryzae*, seperti *E. colidan* *Salmonella* dengan dosis masing-masing 0,25 mg/L selama 1,6 menit dan 0,25 mg/L selama 1,67 menit dengan tingkat kematian bakteri 99,9% dalam air. Sedangkan penelitian oleh Broadwater et al., menunjukkan bahwa konsentrasi

ozon yang mematikan untuk *E.coli* adalah 0,19 mg/L untuk waktu kontak 5 menit. Bakteri lainnya yang dapat didisinfeksi oleh ozon adalah *Staphylococci*, dengan dosis 1,5 hingga 2,0 mg/L; bakteri *Streptococcus*, 0,2 mg/L dalam 30 detik, dan *Bacillus cereus* dengan dosis 0,12 mg/L dalam 5 menit. (Broadwater et al., 1973; Wood, 2008)

2.4. Zeolit Alam

Zeolit (*Zeinlithos*) atau berarti juga batuan mendidih, adalah kelompok mineral yang merupakan salah satu jenis bahan galian non logam. Mineral ini merupakan kristal alumina silika yang berstruktur tiga dimensi seperti terlihat pada Gambar 2.5, terbentuk dari tetrahedral alumina dan silika dengan rongga-rongga di dalam yang berisi ion-ion logam, biasanya alkali atau alkali tanah dan molekul air yang dapat bergerak bebas.



Gambar 2. 5. Tetrahedra Alumina Dan Silika (TO₄) Pada Struktur Zeolit

Sumber: Las, 2001

Secara empiris, rumus molekul zeolit adalah $M_{x/n}[(AlO_2)_x(SiO_2)_y] \cdot m H_2O$, di mana n adalah valensi kation M (alkali/alkali tanah); x dan y adalah jumlah tetrahedron per unit sel; m adalah jumlah molekul air per unit sel; dan M adalah kation alkali/alkali tanah. (Putra, 2007; Ariyo, 2008)

Sampai saat ini, lebih dari 50 mineral pembentuk zeolit alam sudah diketahui, tetapi hanya sembilan diantaranya yang sering ditemukan, yaitu klinoptilolit, mordenit, analsim, khabasit, erionit, ferierit, heulandit, laumonit dan filipsit. Dari hasil penyelidikan yang pernah dilakukan, jenis mineral zeolit yang terdapat di Indonesia adalah modernit ($Na_8(Al_8Si_{40}O_{96}) \cdot 24H_2O$) dan klinoptilolit ($(Na_4K_4)(Al_8Si_{40}O_{96}) \cdot 24H_2O$). Potensi zeolit alam di Indonesia sangat besar dan

tersebar di sekitar empat puluh lokasi, umumnya mengandung mineral total yang bervariasi. Secara geologis zeolit ini memiliki lingkungan yang berbeda, sehingga memiliki proses pembentukan dan kandungan mineral yang berbeda pula. Perbedaan kandungan mineral atau jenisnya dapat mempengaruhi perbandingan unsur Si/Al atau silika/alumina sebagai unsur pembangun utama struktur kerangka zeolit, dan perbandingan ini akan mempengaruhi sifat dari zeolit tersebut. Selain jenisnya yang berbeda, juga faktor luas permukaan, sifat porositas atau rongga dan dehidrasi pada zeolit dapat mempengaruhi daya serapnya. (Setiawan, 2006; Eddy, 2007)

2.4.1. Struktur Zeolit

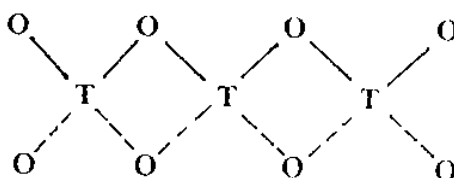
Zeolit memiliki struktur rangka yang longgar, yang menginterpretasikan pori-pori permukaan zeolit mempunyai area yang cukup luas. Formula zeolit secara umum didasarkan pada jumlah atom Aluminium yang dinormalisasikan, letak kandungan senyawa SiO_2 dalam kristal zeolit, serta variasi jumlah kandungan air. Zeolit umumnya disusun oleh tiga komponen utama, yaitu:

- Kation yang dipertukarkan, terdapat dalam pori-pori permukaan zeolit
- Kerangka alumina-silikat yang berbentuk kristal
- Kandungan air yang terletak di sekitar kation pada pori-pori permukaan zeolit

Zeolit alam pada dasarnya memiliki unit penyusun kerangka yang diklasifikasikan sebagai berikut (Simbolon, 2007; Ariyo, 2008):

1. Unit penyusun primer (*Primary Structure*)

Struktur primer seperti Gambar 2.6 di bawah ini berbentuk tetrahedral dengan atom Si^{4+} atau Al^{3+} sebagai atom pusat, yang dikelilingi sejumlah atom oksigen. Struktur ini merupakan bentuk utama dari tiap zeolit.

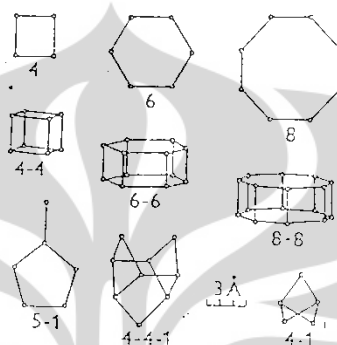


Gambar 2. 6. Unit Penyusun Primer

Sumber: Ariyo, 2008

2. Unit penyusun sekunder (*Secondary Structure*)

Bentuk dari struktur ini didasarkan pada jumlah tetrahedral yang dapat bergabung. Bentuknya dapat berupa rantai tunggal atau bercabang serta rantai melingkar berupa cincin tunggal atau cincin ganda, seperti pada Gambar 2.7. Umumnya tetrahedral yang bergabung merupakan tetrahedral dengan atom pusat silikon.



Gambar 2. 7. Unit Penyusun Sekunder

Sumber: Ariyo, 2008

2.4.2. Sifat Zeolit

Zeolit dengan struktur tiga dimensi memiliki pori-pori dengan ukuran tertentu, yang mempunyai ruang yang teratur dan berkesinambungan, sehingga zeolit memiliki beberapa sifat khas sebagai berikut.

1. Zeolit sebagai Adsorben

Zeolit adalah material adsorben yang unik, dalam keadaan normal ruang hampa dalam kristal zeolit terisi oleh molekul air bebas yang berada di sekitar kation. Bila kristal zeolit dipanaskan pada suhu 300-400 °C maka air tersebut akan keluar sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan. Luas permukaan yang tersedia untuk adsorpsi mencapai beberapa ratus meter kuadrat per gram sehingga beberapa mineral zeolit mampu untuk menyerap gas sampai sebanyak 30% dari berat keringnya. Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi pada permukaan zeolit diantaranya adalah jenis adsorbat, ukuran molekul adsorbat, polaritas adsorbat, luas permukaan zeolit, suhu, tekanan, serta kemurnian adsorben.

2. Zeolit sebagai Penukar Ion

Pori-pori permukaan zeolit mengandung ion golongan alkali atau alkali tanah, yang bergerak secara bebas untuk menjaga kenetralan muatan zeolit. Ion kandungan zeolit ini dapat dipertukarkan dengan ion dari senyawa lain, tanpa menimbulkan kerusakan pada struktur kristalnya, sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penukar ion. Zeolit sebagai penukar ion dipengaruhi oleh muatan kation, jenis anion, ukuran pori-pori permukaan dan jenis zeolit serta suhu pertukaran. Pertukaran kation ini dapat menyebabkan perubahan beberapa sifat zeolit seperti sifat adsorpsi, aktivitas sebagai katalis, dan stabilitas termal. Kemampuan zeolit sebagai penukar ion akan merepresentasikan kemampuan zeolit sebagai bahan pengikat (*bonding agent*). (Simbolon, 2007)

3. Zeolit sebagai Katalis/Penyangga Katalis

Zeolit banyak digunakan sebagai katalis (alkali zeolit dan acidic zeolit), terutama untuk reaksi-reaksi kimia hidrokarbon. Perkembangan zeolit sebagai katalis sangat pesat, di mana awalnya zeolit hanya diaplikasikan sebagai katalis untuk penyulingan minyak. Kemudian zeolit dimanfaatkan sebagai katalis dalam proses pengolahan minyak, dan selanjutnya zeolit sebagai katalis dikembangkan dalam industri-industri kimia dan petrokimia.

4. Zeolit sebagai Penyaring Molekul

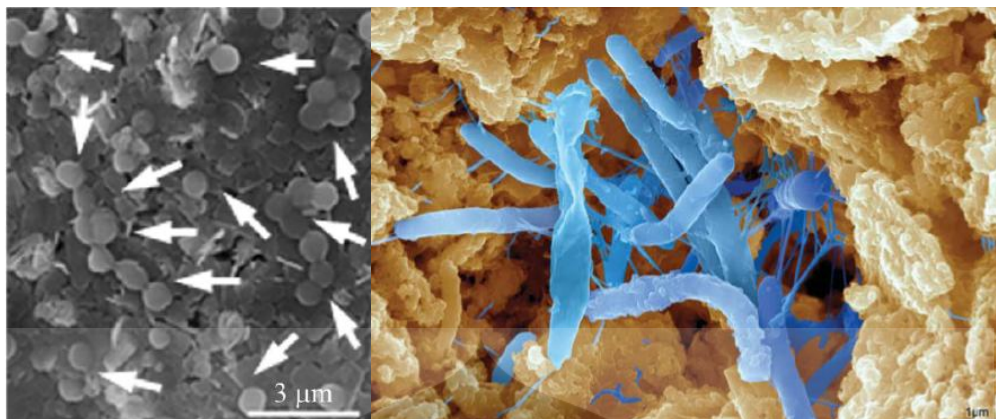
Zeolit sebagai penyaring molekul dipengaruhi oleh besarnya rasio Si/Al. Semakin besar rasio Si/Al-nya, maka kemampuan zeolit sebagai penyaring molekul semakin baik dan dapat menyaring molekul yang berukuran lebih kecil. Si/Al zeolit alam berkisar antara 2-8 Å, tergantung jenis zeolitnya. Jika suatu campuran dikontakkan dengan zeolit alam, maka molekul-molekul berukuran kecil dapat melintas, sedangkan molekul-molekul besar akan tertahan pada pori-pori zeolit. (Simbolon, 2007)

2.4.3. Kemampuan Zeolit Mengadsorpsi 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) Gambaran SEM (*Scanning Electron Microscopic*) bakteri yang teradsorpsi pada zeolit dapat terlihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8. Tampilan SEM Beberapa Bakteri Yang Teradsorpsi Pada Zeolit

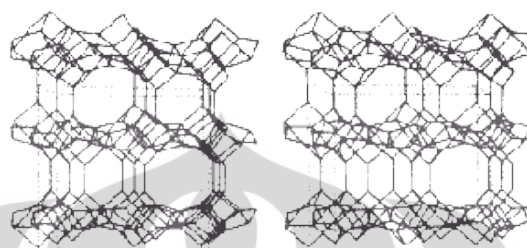
Sumber: Kubota, 2008; Weiß, 2010

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 1µm 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*, *Bacillus*, *Acinetobacter*, *Vibrio*, *Azotobacter*, *Mycobacterium*, *Corynebacterium*, *Arthrobacterium*, *Xanthomonas*, *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, dan *Actinomycetes*. Mikroorganisme lainnya termasuk *fungi*, ragi, alga, ataupun protozoa. (Miller et al., 1994)

2.4.4. Zeolit Alam Lampung

Salah satu jenis zeolit alam yang telah dikenal dan dimanfaatkan di Indonesia adalah zeolit alam Lampung (ZAL). Zeolit ini memiliki rumus molekul $\text{Na}_{2,94} \text{K}_{1,35} \text{Ca}_{0,63} \text{Mg}_{0,21} \text{Al}_{6,25} \text{Si}_{29,74} \text{O}_{72,24} \text{H}_2\text{O}$. Dengan melihat rumus molekulnya, zeolit alam Lampung memiliki rasio Si/Al yang cukup tinggi. Zeolit alam Lampung dilaporkan masih mengandung zeolit jenis analsim sebanyak 14%, mordenit 8% dan klinoptilolit 78%. Zeolit alam ini terdapat dalam jumlah melimpah di Indonesia, namun masih belum dimanfaatkan dengan optimal. Kandungan utama zeolit ini merupakan jenis mineral klinoptilolit, yang memiliki

diameter rongga cukup besar jika dibandingkan dengan jenis modernit (Anggraini et al., 2001), oleh karena itu, jenis ini lebih cocok digunakan sebagai media adsorben atau konsentrator bakteri. Struktur stereotip klinoptilolit dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 9. Struktur Stereotip Klinoptilolit

Sumber: Las, 2001

2.5. Kinerja Ozon dengan Zeolit

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.

2.6. Analisis Efektivitas Disinfeksi Bakteri

Tingkat efektivitas disinfeksi bakteri Xoo dapat dianalisa dengan melakukan penghitungan kuantitas mikroba tersebut. Setidaknya terdapat dua cara untuk

melakukan penghitungan kuantitas mikroba, yang pertama yaitu metode hitungan cawan total/*total plate count* (TPC), dan metode turbiditas.

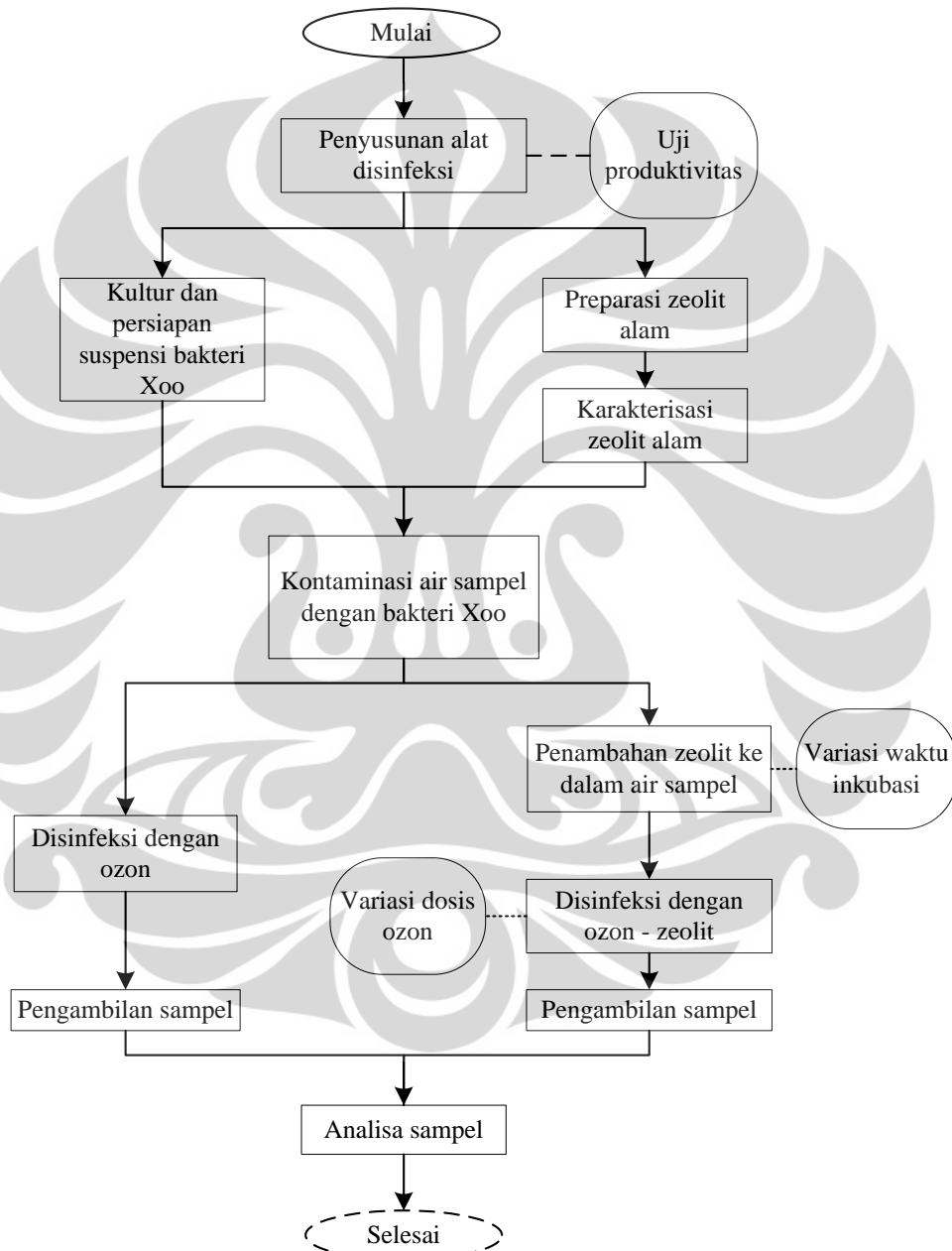
Metode TPC didasarkan pada anggapan bahwa setiap sel yang dapat hidup akan berkembang biak menjadi satu koloni. Jadi jumlah koloni yang muncul pada cawan mengandung indeks bagi jumlah mikroorganisme yang dapat terkandung dalam sampel. Yang perlu dilakukan dalam metode ini adalah mengencerkan sampel dan mencawakan hasil pengenceran tersebut. Setelah inkubasi, jumlah masing-masing cawan diamati. Untuk memenuhi persyaratan statistik, cawan yang dipilih untuk penghitungan koloni adalah yang mengandung antara 30-300 koloni. Karena jumlah mikroorganisme dalam sampel tidak diketahui sebelumnya, maka untuk memperoleh sekurang-kurangnya satu cawan yang mengandung koloni dalam jumlah yang memenuhi persyaratan tersebut, harus dilakukan sederetan pengenceran dan pencawanan. Jumlah organisme yang terdapat dalam sampel asal ditentukan dengan menggunakan jumlah koloni yang terbentuk dengan faktor pengenceran pada cawan yang bersangkutan.

Sedangkan metode turbidimetrik merupakan metode pengukuran kekeruhan biakan dengan fotokolorimeter. Namun agar data yang diperoleh pengukuran ini dapat dinyatakan sebagai konsentrasi organisme, 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. Sekali kurva biakan ini diperoleh, maka sejumlah biakan organisme sejenis dapat dengan cepat diukur kekeruhannya dan konsentrasinya segera setelah membaca kurva standar tersebut. Untuk mencatat *optical density* (OD) atau % transmitans digunakan galvanometer. Makin besar intensitas cahaya artinya 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). (Wilda, 2009)

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

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



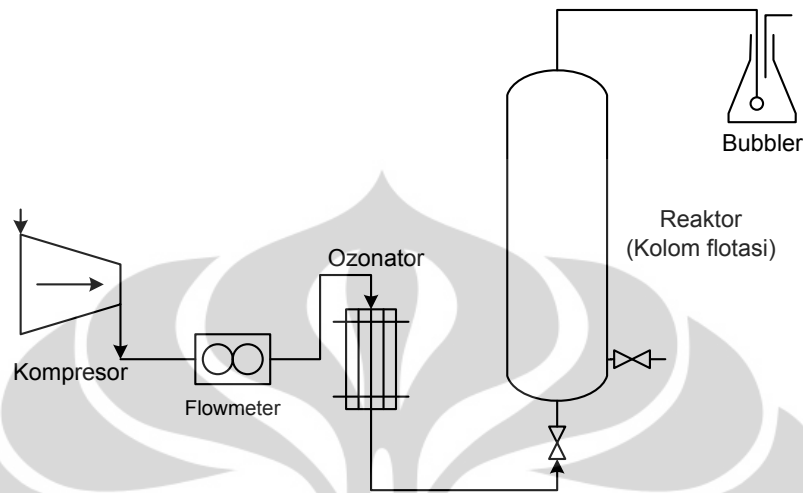
Gambar 3. 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh waktu inkubasi dan dosis ozon pada penggunaan zeolit alam untuk disinfeksi hama padi, bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* (Xoo), dengan proses ozonasi. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Intensifikasi Proses serta Laboratorium Rekayasa Bioproses, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Sedangkan analisis jumlah bakteri dengan metode TPC (total plate count) dilakukan di Lab. Teknik Penyehatan dan Lingkungan, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Penelitian dimulai dengan menyusun peralatan yang akan digunakan sebagai wadah proses disinfeksi. Adapun sebelum dilakukan disinfeksi dengan ozon, perlu dilakukan uji produktivitas untuk mengetahui dosis ozon yang digunakan. Selanjutnya dilakukan preparasi dan karakterisasi zeolit alam Lampung yang akan digunakan. Preparasi zeolit bertujuan untuk membersihkan zeolit dari pengotor dan mengaktifkannya agar siap digunakan. Pada penelitian ini, zeolit dipreparasi dengan *treatment* seminimal mungkin yaitu dengan pencucian dan pemanasan pada suhu 120°C. Proses preparasi zeolit ini dapat dilakukan bersamaan proses kultur dan persiapan suspensi bakteri. Kultur atau pembiakan bakteri dilakukan pada media YDCA (*yeast dextrose carbonate agar*) untuk meremajakan bakteri serta memperoleh kultur bakteri Xoo yang lebih murni. Selain itu juga dibuat suspensi bakteri dalam media cair LB (*lactose broth*) untuk memperoleh biakan bakteri dalam jumlah banyak dan siap dipakai untuk proses disinfeksi. Suspensi tersebut dicampurkan pada air yang akan digunakan sebagai sampel yang dimodelkan sebagai air irigasi tanaman padi yang terkontaminasi bakteri Xoo. 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, 45 menit, dan 60 menit. Pada disinfeksi menggunakan ozon-zeolit, zeolit ditambahkan pada air sampel dan didiamkan selama waktu tertentu (diinkubasikan) sebelum dilakukan proses disinfeksi. Waktu inkubasi yang digunakan adalah 1 jam, 2 jam, 12 jam, dan 24 jam. 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 jenis pipa koaksial *shell and tube* rancangan Prof. Dr. Ir. Setijo Bismo, DEA dan Adi Lukmanto. Ozonator dioperasikan dengan umpan udara pada tegangan listrik 180 volt dan arus 0,18-0,20 ampere. Tabung ozonator terbuat dari bahan *acrylic/PVC* yang didalamnya terdapat elektroda dan dielektriknya terbuat dari *stainless steel*. Elektroda ini dihubungkan dengan sumber listrik tegangan tinggi. Arus listrik masukan (input) akan dinaikkan tegangannya oleh transformer sehingga menghasilkan tegangan yang tinggi. Udara yang mengandung oksigen berasal dari kompresor dialirkan menuju ozonator melalui *gas flowmeter*. Di dalam ozonator, campuran gas (udara, oksigen dan ozon) akan mengalir dari bagian atas ke bagian bawah ozonator, dan selanjutnya masuk ke dalam sistem.

Wadah yang digunakan merupakan kolom flotasi berkapasitas 4 L berbahan *acrylic* transparan, untuk memudahkan pengamatan. Kolom flotasi tersebut digunakan sebagai reaktor atau sebagai wadah disinfeksi air sampel yang mengandung bakteri. Di bagian atas kolom terdapat keluaran menuju *bubbler* (*ozone trap*) yang berfungsi untuk mengontakkan ozon dengan larutan KI untuk dapat mengetahui kandungan ozon fasa gas yang lolos dari kolom flotasi.

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.

3.3.1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang divariasikan dengan besar nilai tertentu. Variabel bebas dalam penelitian ini yaitu dosis ozon dengan basis laju alir umpan udara dan waktu inkubasi bakteri pada zeolit.

3.3.2. Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang dikendalikan atau dibuat dalam keadaan konstan. Variabel kontrol dalam penelitian ini yaitu konsistensi zeolit dan konsentrasi bakteri yang digunakan.

3.3.3. 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 *X. 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

Tabel 3.1 (lanjutan). Daftar Alat Yang Digunakan Dalam Penelitian

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 µl)
26.	<i>Tip</i>	Mengambil sampel dalam proses TPC
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.	Air demin	Sebagai pelarut untuk membuat media agar dan untuk membuat sampel
7.	Zeolit alam Lampung	Sebagai konsentrator/adsorben pada proses disinfeksi
8.	Reagent Ozon	Untuk mengetahui ozon yang terlarut dalam air sampel

Tabel 3.2 (lanjutan). Daftar Bahan Yang Digunakan Dalam Penelitian

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 Kultur Bakteri

Tahap ini dilakukan untuk mendapatkan kultur bakteri Xoodalam jumlah yang cukup banyak untuk dapat diamati karakteristiknya sebelum dan sesudah disinfeksi. Pada tahap ini, bakteri dibiakkan pada media agar dan dalam media cair berupa suspensi/larutan induk.

3.5.1. Prosedur Kultur 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 nutrien 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 YDCA, dilakukan tahap pembiakkan bakteri sebagai berikut:

1. Menyiapkan cairan YDCA 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 diatas api Bunsen hingga berpijar/membara lalu mendinginkannya dalam cairan

alkohol 70%. Kemudian memanaskan kembali jarum ose dengan cara melewati nyala api selintas saja.

4. Mengambil sedikit sampel bakteri murni dengan jarum ose/batang strik kemudian mengoleskannya pada media agar padat secara zig-zag
5. Menyimpan media YDCA yang telah dioles ke dalam inkubator pada suhu 28 °C selama 24-48 jam
6. Memindahkan koloni yang tumbuh ke dalam media miring dengan cara serupa.

Untuk memperoleh biakan bakteri yang siap digunakan untuk disinfeksi, dibuat suspensi/larutan induk berisi biakan bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* dengan cara sebagai berikut:

1. Menyiapkan media cair untuk suspensi, berupa bubuk LB (*lactose broth*) yang dilarutkan dalam akuades sebanyak yang diperlukan (takaran 13 gram untuk 1000 mL akuades)
2. Mensterilkan larutan dengan autoklaf selama 15 menit. Mendinginkan hingga suhu turun setara suhu ruangan.
3. Menyiapkan biakan bakteri, mengambil sedikit biakan bakteri dengan jarum ose yang telah disterilkan, lalu mencelupkannya ke dalam larutan LB. Mengulang langkah ini sejumlah yang diperlukan.
4. Mengocok larutan menggunakan *magnetic stirrer* yang telah disterilkan, agar larutan homogen.
5. Menginkubasikan larutan induk pada suhu ruang selama 24 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, lalu disaring
3. Memasukkan zeolit yang telah dicuci ke dalam oven dengan suhu $\pm 120^{\circ}\text{C}$ selama 2 jam.
4. Setelah kering, zeolit siap dipakai. Untuk penyimpanan sebaiknya dimasukkan ke dalam desikator agar tidak menyerap udara maupun air.
5. Menentukan karakteristik zeolit untuk mengetahui struktur zeolit; ukuran pori, luas permukaan setelah diberikan *pre-treatment*. Karakterisasi zeolit alam dilakukan dengan *BETA Autosorb*.

3.7. Proses Disinfeksi

Proses ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi dosis ozon dan waktu inkubasi bakteri dalam zeolit dalam penggunaan zeolit pada proses disinfeksi bakteri *Xoo* dengan ozon. Penelitian dilakukan dengan menganalisis sampel air yang mengandung bakteri *Xoo* 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

Proses pembuatan bahan-bahan yang dibutuhkan untuk uji produktivitas antara lain :

1. Membuat larutan KI 0,1 N dengan cara melarutkan 20 gr KI ke dalam 1000 mL aquades.
2. 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.
3. 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.
4. Menyiapkan larutan amilum 1% yaitu 1 gram 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, yaitu uji produktivitas ozon, disinfeksi hanya dengan ozon dan disinfeksi dengan kombinasi ozon dan zeolit; di mana pada disinfeksi dengan kombinasi ozon dan zeolit terdapat variasi waktu inkubasi sebelum dilakukan disinfeksi yaitu 1 jam, 2 jam, 12 jam, dan 24 jam. Setelah diketahui waktu inkubasi yang paling optimal, maka dilakukan disinfeksi dengan variasi laju alir masukan ozonator, yaitu pada laju alir 100 L/jam, 200 L/jam, dan 400 L/jam, baik pada sistem tanpa zeolit maupun dengan sistem yang menggunakan zeolit.

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 suspensi bakteri Xoo
2. Mengukur pH sistem
3. Mengambil sampel air untuk menghitung jumlah bakteri Xoo yang terkandung dalam sampel awal dan menyimpannya pada suhu rendah
4. Menghubungkan peralatan-peralatan yang digunakan
5. Memasukkan larutan KI ke dalam *bubbler* sebanyak 200 mL, kemudian menyalakan ozonator, membuka katup laju alir udara dan melewatkannya ke dalam *bubbler*.
6. Melakukan disinfeksi dengan ozon pada laju alir umpan ozonator 100 L/jam selama 5 menit
7. Mengambil sampel untuk menghitung jumlah bakteri setelah disinfeksi dan menyimpannya pada suhu rendah
8. Mengambil sampel untuk mengetahui ozon yang terlarut dalam air
9. Mengganti larutan KI yang digunakan

10. Menganalisis sampel kedua dengan menggunakan *colorimeter* untuk mengetahui konsentrasi ozon yang terkandung didalamnya
11. Menganalisis larutan KI yang digunakan sebelumnya untuk mengetahui konsentrasi ozon dalam aliran yang keluar pada fasa gas
12. 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 suspensi bakteri Xoo
2. Menginkubasi bakteri ke dalam zeolit dengan merendam zeolit alam yang telah dipreparasi dan karakterisasi dengan konsistensi 4 g/L selama 1 jam
3. Mengukur pH sistem
4. Mengambil sampel air dan sampel zeolit untuk menghitung jumlah bakteri Xoo yang terkandung dalam sampel awal dan menyimpannya pada suhu rendah
5. Menghubungkan peralatan-peralatan yang digunakan
6. Memasukkan larutan KI ke dalam *bubbler* sebanyak 200 mL, kemudian menyalakan ozonator, membuka katup laju alir udara dan melewatkannya ke dalam *bubbler*.
7. Melakukan disinfeksi dengan ozon pada laju alir umpan ozonator 100 L/jam selama 5 menit
8. Mengambil sampel untuk menghitung jumlah bakteri setelah disinfeksi dan menyimpannya pada suhu rendah
9. Mengambil sampel untuk mengetahui ozon yang terlarut dalam air
10. Mengganti larutan KI yang digunakan
11. Menganalisis sampel kedua dengan menggunakan *colorimeter* untuk mengetahui konsentrasi ozon yang terkandung didalamnya
12. Menganalisis larutan KI yang digunakan sebelumnya untuk mengetahui konsentrasi ozon dalam aliran yang keluar pada fasa gas
13. Perlakuan yang sama pada waktu 15 menit, 30 menit, 45 menit dan 60 menit

14. Mengambil sampel zeolit untuk menghitung jumlah bakteri akhir setelah disinfeksi
15. Mengulang prosedur yang sama untuk disinfeksi dengan waktu inkubasi bakteri 2 jam, 12 jam, dan 24 jam
16. Mengulang prosedur yang sama untuk disinfeksi pada laju alir 400 L/jam dan 800 L/jam setelah didapatkan waktu inkubasi optimal

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.

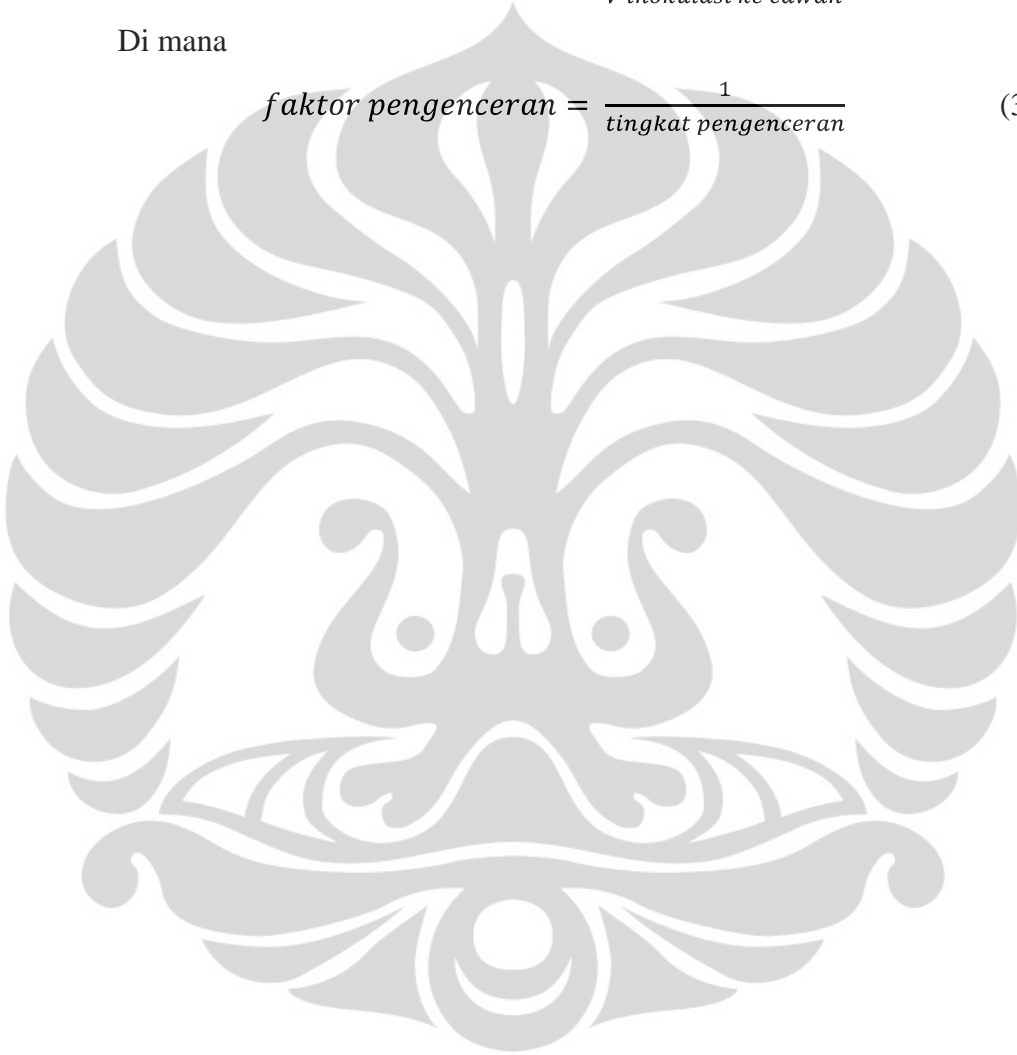
1. Melakukan sterilisasi pada alat yang akan digunakan untuk metode TPC.
2. Menyiapkan media agarseperti pada tahap kultur bakteri.
3. Menambahkan 15-20 mL larutan agar yang sudah didinginkan hingga setara suhu ruang ke dalam cawan petri dan mendiarkannya hingga mengeras.
4. Mengambil larutan sampel 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.
5. Mengulangi langkah di atas sehingga diperoleh larutan dilusi dengan rasio $1:10^3$, $1:10^4$, $1:10^5$ dst sesuai kebutuhan.
6. Mengambil larutan dilusi yang sesuai sebanyak 0,1 mL dengan mikropipet dan dituangkan ke dalam agar pada cawan petri.
7. Meratakan larutan dilusi dengan spatel yang telah disterilkan dengan api Bunsen.

8. Menginkubasi cawan petri tersebut pada suhu 28°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. Kemudian menghitung jumlah bakteri per mL dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{bakteri CFU mL} = \frac{\text{koloni bakteri} \times \text{faktor pengenceran}}{V \text{ inokulasi ke cawan}} \quad (3.1)$$

Di mana

$$\text{faktor pengenceran} = \frac{1}{\text{tingkat pengenceran}} \quad (3.2)$$



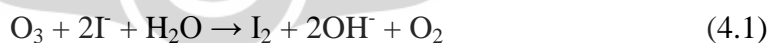
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk menguji variasi dosis ozon dengan basis laju alir umpan udara dan variasi waktu inkubasi bakteri Xoo pada zeolit alam, untuk menganalisa pengaruhnya terhadap penggunaan zeolit alam pada disinfeksi bakteri Xoo dengan teknologi ozon. Pada penelitian ini dibandingkan kinerja disinfeksi bakteri Xoo menggunakan ozon dengan zeolit dan tanpa zeolit pada dosis ozon berbeda, di mana zeolit yang digunakan telah diinkubasi/inokulasi dengan bakteri Xoo sebelumnya, dengan cara perendaman. Parameter yang diamati dalam penelitian ini adalah penurunan jumlah bakteri/persentase disinfeksi bakteri, konsentrasi ozon terlarut, konsentrasi ozon pada keluaran gas (*off gas*), dan pH sistem. Penelitian ini dilakukan dengan sistem *semi-batch* menggunakan metode flotasi udara.

4.1. Analisis Produktivitas Ozonator

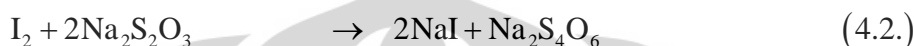
Sebelum digunakan untuk disinfeksi, perlu dilakukan pengujian produktivitas ozonator, untuk mengetahui konsentrasi ozon yang diproduksi ozonator berjenis pipa koaksial *shell and tube* yang digunakan dalam penelitian ini. Pengujian produktivitas ozonator dilakukan dengan metode iodometri.

Dalam metode iodometri, konsentrasi ozon dapat diketahui dengan cara mengontakkan ozon dengan larutan KI dalam *bubbler*, sehingga terjadi reaksi oksidasi antara ozon dan KI, yang menyebabkan warna larutan KI yang semula bening menjadi kuning kecoklatan. Warna kuning kecoklatan muncul karena terbentuknya iodin (I_2) melalui reaksi oksidasi I sebagai berikut:



Dari persamaan reaksi tersebut, terlihat bahwa jumlah mol iodin yang terbentuk sebanding dengan mol ozon yang diperlukan untuk mengoksidasi KI, sehingga jumlah mol ozon yang diproduksi ozonator dapat dihitung dari jumlah mol iodin yang dihasilkan dari reaksi tersebut. Adapun jumlah mol iodin yang terbentuk ditentukan dengan cara mentitrasi larutan dengan larutan natrium tiosulfat ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$), setelah ditambahkan larutan asam sulfat (H_2SO_4) dan

amilum. Asam sulfat berfungsi untuk membuat larutan dalam suasana asam, sedangkan amilum berfungsi sebagai indikator, di mana reaksi antara iodine dan amilum mengubah warna larutan iodine dari kuning kecoklatan menjadi biru-ungu. Titrasi dilakukan hingga jumlah iodine sebanding secara stoikiometris dengan natrium tiosulfat, yang ditunjukkan oleh warna larutan yang menjadi jernih. Persamaan reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Dari kedua persamaan reaksi di atas, maka jumlah mol ozon yang terbentuk oleh ozonator akan sama dengan setengah dari jumlah mol natrium tiosulfat yang terpakai, sehingga dapat diketahui massa ozon yang diproduksi. Selanjutnya produktivitas ozonator dapat dihitung dengan cara membagi massa ozon tersebut dengan waktu kontak ozon dengan larutan KI. Langkah-langkah perhitungan produktivitas ozonator dapat dilihat pada Lampiran 1.

Pengujian produktivitas ozonator berjenis pipa koaksial *shell and tube* ini dilakukan pada laju alir umpan udara 100 L/jam, 200 L/jam, dan 400 L/jam. Data yang diperoleh adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 1. Produktivitas Ozonator Pada Laju Alir Umpan Udara 100 L/jam

Waktu kontak (menit)	V Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O (mL)		mol O ₃	massa O ₃ (gram)	Produktivitas O ₃ (g/jam)
	Hulu	Hilir			
5	23,7	4	0,000554	0,026592	0,3191
10	35,0	0,6	0,000712	0,034176	0,4101
15	30,9	0,3	0,000624	0,029952	0,3594
20	26,9	0,2	0,000542	0,026016	0,3122
Produktivitas rata-rata (g/jam)					0,3502

Tabel 4. 2. Produktivitas Ozonator Pada Laju Alir Umpan Udara 200 L/jam

Waktu kontak (menit)	V Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O (mL)		mol O ₃	massa O ₃ (gram)	Produktivitas O ₃ (g/jam)
	Hulu	Hilir			
5	33,8	1,5	0,000706	0,033888	0,4067
10	36,2	0,8	0,000740	0,03552	0,4262
15	35,8	0,9	0,000734	0,035232	0,4228
20	34,2	0,8	0,000700	0,0336	0,4032
Produktivitas rata-rata (g/jam)					0,4147

Tabel 4. 3. Produktivitas Ozonator Pada Laju Alir Umpan Udara 400 L/jam

Waktu kontak (menit)	V Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O (mL)		mol O ₃	massa O ₃ (gram)	Produktivitas O ₃ (g/jam)
	Hulu	Hilir			
5	45,7	2	0,000954	0,045792	0,5495
10	45,0	1,1	0,000922	0,044256	0,5311
15	42,6	1,4	0,000880	0,04224	0,5069
20	45,3	1,1	0,000928	0,044544	0,5345
Produktivitas rata-rata (g/jam)					0,5305

Dari nilai produktivitas rata-rata, diketahui dosis ozon pada masing-masing laju alir umpan udara; pada laju alir 100 L/jam adalah sebesar 0,3502 gram/jam, pada laju alir 200 L/jam sebesar 0,4147 gram/jam, dan pada laju alir 400 L/jam adalah sebesar 0,5305 gram/jam. Semakin besar laju alir umpan yang digunakan, semakin tinggi pula dosis ozon yang dihasilkan, sehingga diharapkan tingkat disinfeksi bakteri juga lebih tinggi.

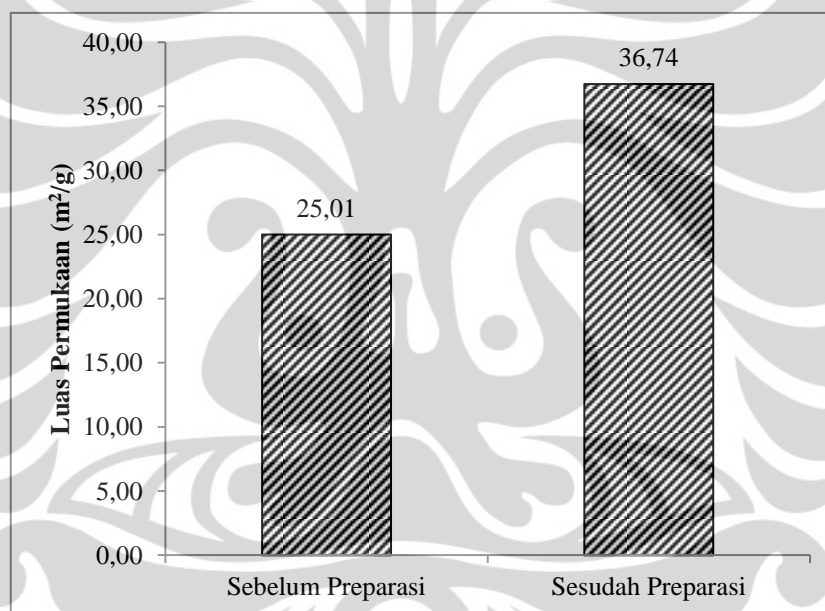
Pengukuran produktivitas ozonator dilakukan karena setiap ozonator rancangan maupun komersial memiliki kemampuan memproduksi ozon dalam kapasitas yang berbeda. Untuk itu, dilakukan pengukuran produktivitas pada ozonator rancangan berjenis pipa koaksial ini sebagai acuan kapasitas ozonator yang digunakan dalam penelitian ini.

4.2. Karakterisasi Zeolit Alam Lampung dengan BET Autosorb

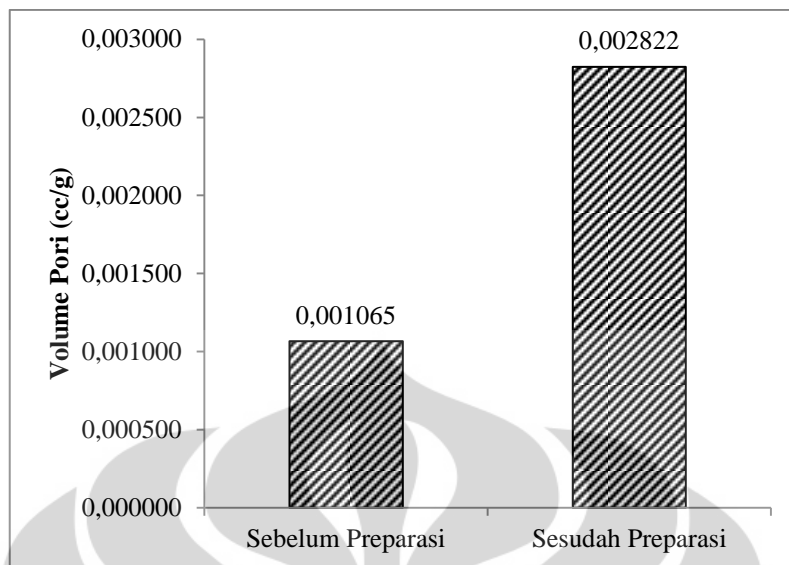
Pada penelitian ini digunakan zeolit alam Lampung dengan jenis mineral klinoptilolit sebagai adsorben untuk meningkatkan kontak antara ozon dan bakteri sehingga kinerja disinfeksi bakteri oleh ozon meningkat. Sebelum digunakan, terlebih dahulu dilakukan preparasi dan karakterisasi pada zeolit. Preparasi zeolit

bertujuan untuk membersihkan zeolit dari pengotor dan mengaktifkannya agar siap digunakan. Pada penelitian ini, zeolit dipreparasi dengan *treatment* seminimal mungkin yaitu dengan pencucian dan pemanasan pada suhu 120°C selama dua jam. Metode preparasi tersebut menghasilkan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan metode preparasi lainnya seperti dealuminasi, pertukaran ion, dan kalsinasi. (Ariyo, 2008) Selain itu, metode preparasi zeolit seperti dealuminasi mengkonsumsi banyak energi dan biaya, sehingga dalam penelitian ini digunakan metode preparasi yang sederhana.

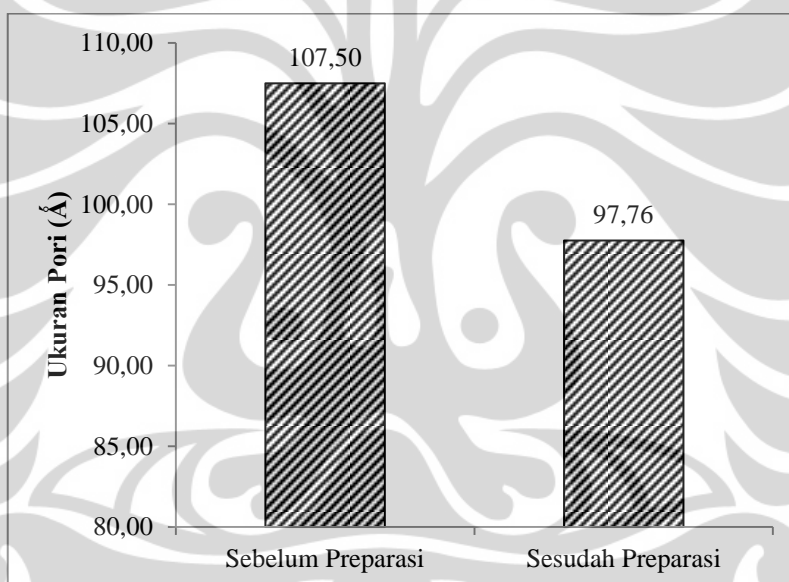
Karakterisasi zeolit sebelum dan sesudah dilakukan preparasi dilakukan menggunakan BET Autosorb. Hasil yang diperoleh terlihat pada Gambar 4.1, Gambar 4.2, dan Gambar 4.3 berikut ini.



Gambar 4. 1. Perbandingan Luas Permukaan Zeolit Sebelum Dan Sesudah Preparasi



Gambar 4. 2. Perbandingan Volume Pori Zeolit Sebelum Dan Sesudah Preparasi



Gambar 4. 3. Perbandingan Ukuran Pori Zeolit Sebelum Dan Sesudah Preparasi

Dari hasil di atas, terlihat bahwa tahap preparasi zeolit mempengaruhi luas permukaan, volume pori, dan ukuran pori zeolit. Karakteristik fisik zeolit cenderung bertambah besar setelah dilakukan preparasi. Tahap preparasi yang dilakukan menghasilkan peningkatan luas permukaan sebesar 31,93% dan volume pori sebesar 62,26%, namun ukuran (diameter) pori justru berkurang sebesar 9,96%. Meskipun ukuran pori mengalami penurunan, volume pori mengalami peningkatan yang cukup besar, sehingga dapat diperkirakan ukuran pori bertambah kecil, namun jumlah pori semakin banyak. Hal ini dapat disebabkan

oleh perpindahan molekul air di antara rongga zeolit saat pencucian, namun tidak terdehidrasi seluruhnya karena proses pengeringan dan sterilisasi yang kurang sempurna. Adapun peningkatan ukuran pori meningkatkan kemampuan adsorpsi zeolit, dan semakin luas permukaan zeolit, maka semakin banyak bakteri yang dapat teradsorpsi ke zeolit dan terdistribusi lebih merata.

4.3. Pengaruh Waktu Inkubasi Bakteri pada Zeolit terhadap Kinerja Ozonasi untuk Disinfeksi Bakteri Xoo

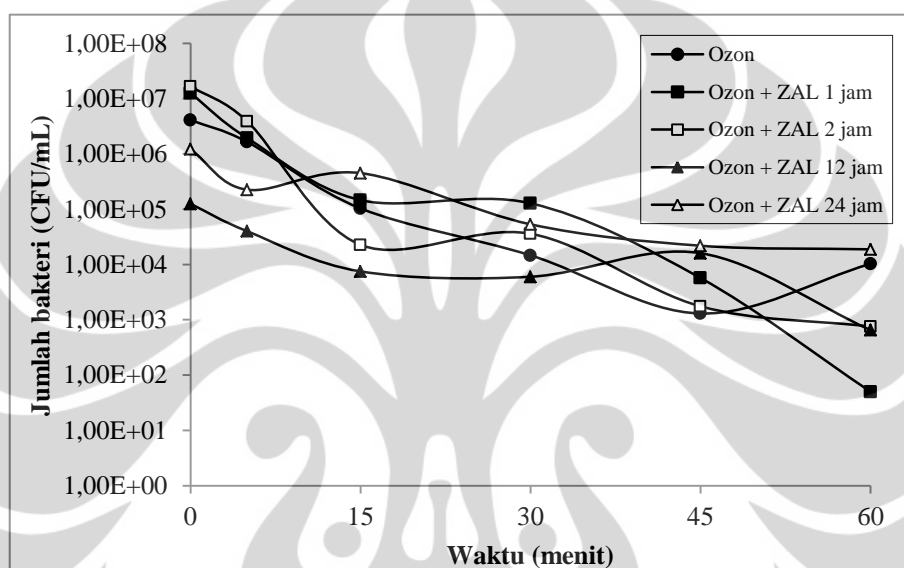
Untuk mengetahui pengaruh waktu inkubasi bakteri terhadap efektivitas disinfeksi bakteri Xoo dengan kombinasi ozon dan zeolit, maka air sampel yang terkontaminasi bakteri Xoo terlebih dahulu dikontakkan dengan zeolit selama waktu tertentu dengan cara perendaman. Dengan cara tersebut maka bakteri akan terkonsentrasi pada zeolit sehingga diharapkan proses disinfeksi akan lebih efektif.

Sebelum dilakukan proses disinfeksi, suspensi bakteri Xoo pada konsentrasi orde $10^6 - 10^7$ cfu/mL dilarutkan dalam akuades sebanyak 3 L, sehingga diperoleh larutan dengan konsentrasi bakteri pada orde $10^5 - 10^6$ cfu/mL. Selanjutnya ditambahkan zeolit dengan konsistensi 4 g/L ke dalam larutan, dan didiamkan selama 1 jam, 2 jam, 12 jam, dan 24 jam. pH sistem diukur sebelum disinfeksi dan diperoleh nilai pH dalam rentang 6,4 – 7,1. Kemudian larutan beserta zeolit dimasukkan ke dalam kolom flotasi dan didisinfeksi dengan ozon yang diumpankan dari bawah kolom flotasi pada laju alir umpan udara 100 L/jam. Sampel diambil pada menit ke-0, 5, 15, 30, 45, dan 60. Sampel yang diambil adalah sampel larutan dan sampel zeolit yang mengandung bakteri Xoo, untuk membandingkan jumlah bakteri Xoo pada larutan dan bakteri Xoo yang teradsorpsi pada zeolit. Namun karena posisi titik *sampling* yang tidak memungkinkan untuk mengambil sampel padat, khusus untuk sampel zeolit hanya diambil pada menit ke-0 dan menit ke-60, yaitu sebelum dan setelah proses disinfeksi dijalankan. Data lainnya yang diambil pada percobaan ini adalah 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.

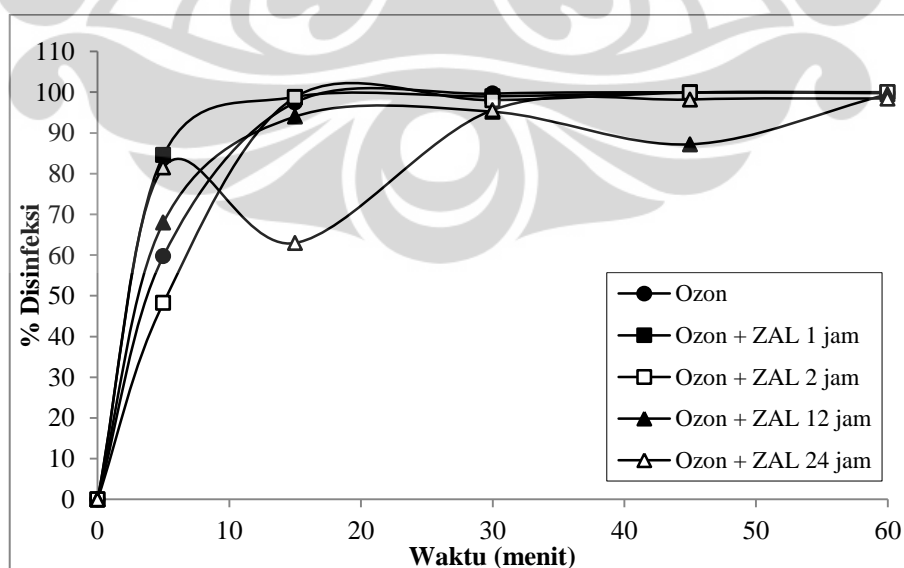
Tingkat disinfeksi bakteri dihitung dengan perbandingan konsentrasi bakteri setelah disinfeksi selama 5, 15, 30, 45, dan 60 menit terhadap konsentrasi bakteri sebelum disinfeksi, sehingga diperoleh persentase disinfeksi dengan rumus sebagai berikut:

$$\% \text{ Disinfeksi} = \frac{c_0 - c_t}{c_0} \times 100\% \quad (4.4)$$

Hasil disinfeksi bakteri Xoo dengan kombinasi ozon dan zeolit setelah diinkubasi selama 1 jam, 2 jam, 12 jam dan 24 jam adalah sebagai berikut.

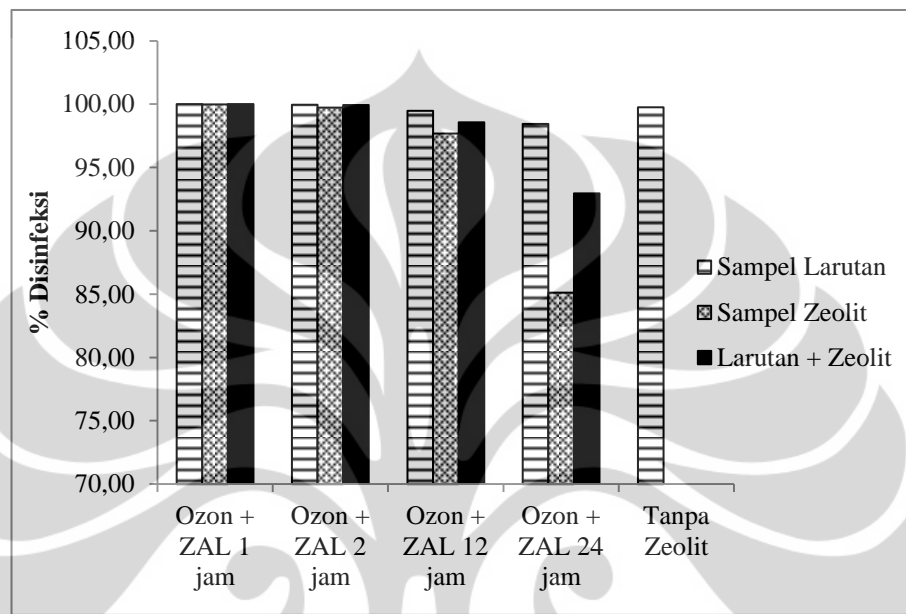


Gambar 4. 4. Penurunan Jumlah Bakteri Xoo Pada Variasi Waktu Inkubasi. Kondisi Operasi: Laju Alir 100 L/jam; Ukuran Partikel $\pm 1,7$ mm; pH $\pm 6,5$



Gambar 4. 5. Persentase Disinfeksi Bakteri Xoo Pada Variasi Waktu Inkubasi. Kondisi Operasi: Laju Alir 100 L/jam; Ukuran Partikel $\pm 1,7$ mm; pH $\pm 6,5$

Tingkat disinfeksi akhir bakteri Xoo dapat dibandingkan pada tiap-tiap variasi waktu inkubasi, dengan membandingkan konsentrasi akhir bakteri dengan konsentrasi awal bakteri menggunakan persamaan (4.4), baik konsentrasi bakteri pada sampel cair, sampel zeolit, maupun jumlah dari keduanya, seperti terlihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6. Persentase Disinfeksi Akhir Bakteri Xoo Pada Variasi Waktu Inkubasi. Kondisi Operasi: Laju Alir 100 L/jam; Ukuran Partikel $\pm 1,7$ mm; pH $\pm 6,5$

Dari hasil yang terlihat pada Gambar 4.4, Gambar 4.5, serta Gambar 4.6, terlihat bahwa pada semua variasi waktu inkubasi serta pada proses disinfeksi tanpa zeolit, jumlah bakteri mengalami penurunan yang signifikan. Adapun jika dilihat tingkat disinfeksi, secara keseluruhan persentase disinfeksi bakteri Xoo di tiap variasi waktu inkubasi mencapai hampir 100%. Dari grafik persentase disinfeksi pada Gambar 4.5, terlihat bahwa persentase disinfeksi meningkat tajam di menit ke-5, dan setelah menit ke-15, tidak terdapat perubahan persentase disinfeksi yang signifikan, sehingga dapat disimpulkan bahwa waktu disinfeksi optimal untuk sistem ini adalah 5 hingga 15 menit. Setelah menit ke-15, penurunan jumlah bakteri masih terjadi, hanya saja jumlahnya jauh lebih sedikit dari konsentrasi awal, sehingga persentase disinfeksi hampir mencapai 100%. Hal ini juga terlihat dari pembacaan kandungan ozon terlarut menggunakan HACH DR/680 *colorimeter*, di mana pada menit ke 5 hingga 15, kandungan ozon terlarut sangat kecil hingga nyaris tidak terdeteksi oleh *low range ozon reagent*. Hal ini

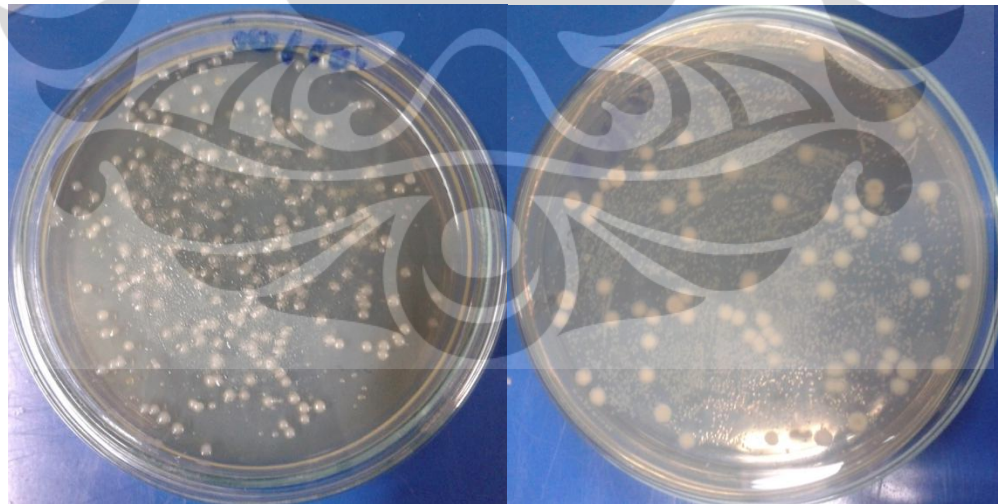
disebabkan sebagian besar massa ozon telah digunakan untuk mendisinfeksi bakteri.

Namun terlihat bahwa dengan waktu inkubasi yang semakin lama, yaitu pada inkubasi 12 jam dan 24 jam, tingkat disinfeksi justru cenderung lebih rendah daripada waktu inkubasi 1 jam dan 2 jam. Hal ini juga terlihat pada persentase disinfeksi akhir (Gambar 4.6), di mana tingkat disinfeksi pada kondisi zeolit yang diinkubasi 12 dan 24 jam justru lebih rendah daripada sistem disinfeksi tanpa zeolit. Jika membandingkan data jumlah bakteri pada sampel cair dengan sampel zeolit seperti pada Tabel 4.4, terlihat bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara jumlah bakteri di larutan dan di zeolit pada kondisi awal sebelum disinfeksi (setelah bakteri diinkubasi pada zeolit). Hal ini berkebalikan dengan hasil penelitian yang mengkaji imobilisasi bakteri pada zeolit, yang menunjukkan bahwa setelah dikontakkan dengan zeolit selama 24 jam, sebagian besar populasi bakteri terperangkap pada zeolit. (Hrenović et al., 2009) Kurang efektifnya adsorpsi/imobilisasi bakteri Xoo pada zeolit tersebut dapat dikarenakan preparasi zeolit yang dilakukan tidak mampu mensterilisasi bakteri dengan baik, sehingga terdapat kontaminan mikroba lain yang masih terdapat di zeolit. Dalam penelitian ini dilakukan preparasi zeolit dengan pencucian menggunakan air demin dan dikeringkan dengan oven pada suhu 120°C selama 2 jam. Menurut Hrenović, zeolit perlu dicuci dengan air demin dan disterilkan dengan pengeringan sedikitnya pada suhu 105°C dalam waktu 6 jam.

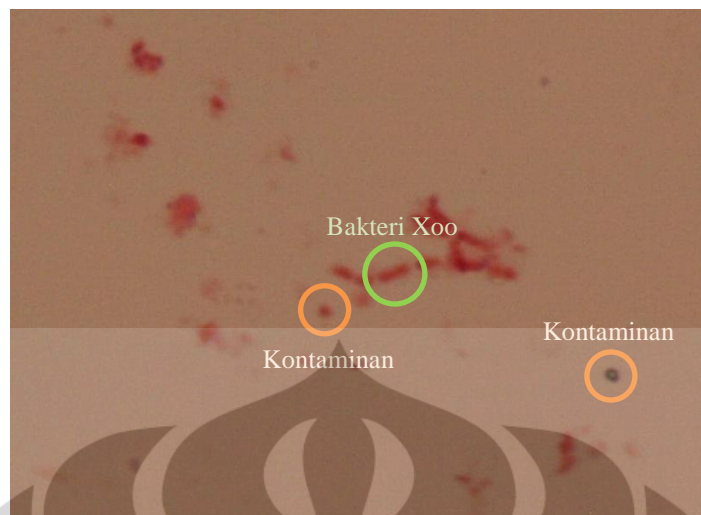
Tabel 4. 4. Perbandingan Jumlah Bakteri Pada Larutan Dan Pada Zeolit Di Awal Dan Akhir Proses Disinfeksi

Parameter	Waktu inkubasi 1 jam	Waktu inkubasi 2 jam	Waktu inkubasi 12 jam	Waktu inkubasi 24 jam
Bakteri pada larutan awal (cfu/mL)	$1,26 \times 10^7$	$1,84 \times 10^6$	$1,25 \times 10^5$	$1,22 \times 10^6$
Bakteri pada zeolit awal (cfu/mL)	$1,09 \times 10^6$	$1,90 \times 10^5$	$1,30 \times 10^5$	$8,50 \times 10^5$
Bakteri pada larutan akhir (cfu/mL)	$5,00 \times 10^1$	$7,55 \times 10^2$	$6,50 \times 10^2$	$1,88 \times 10^4$
Bakteri pada zeolit akhir (cfu/mL)	$2,55 \times 10^2$	$4,95 \times 10^2$	$3,00 \times 10^3$	$1,27 \times 10^5$

Adanya kontaminan mikroba lain pada zeolit menyebabkan bakteri Xoo tidak dapat teradsorpsi dengan baik pada zeolit serta terbaginya massa ozon untuk disinfeksi di larutan dan di zeolit, sehingga kontak antara ozon dan bakteri Xoo tidak terjadi sebagaimana diharapkan, dan tidak terjadi peningkatan efektivitas disinfeksi yang diharapkan. Kemungkinan adanya kontaminan mikroba lain pada zeolit juga terlihat dari pembacaan analisa TPC pada media PCA (*plate count agar*) yang menunjukkan adanya koloni-koloni kecil bakteri yang menyebar, dibandingkan koloni bakteri bulat sempurna pada pembacaan TPC sampel dari proses disinfeksi tanpa zeolit, seperti terlihat pada Gambar 4.7. Analisa TPC menggunakan media PCA ini memiliki kekurangan karena media PCA merupakan media universal (tidak selektif) untuk bakteri, sehingga koloni bakteri Xoo sulit dibedakan dengan koloni bakteri lain/kontaminan. Oleh karena itu, dilakukan pewarnaan gram dan pengambilan foto mikroskopik pada sampel zeolit yang diduga terdapat kontaminan, dan tampak adanya sel-sel bakteri berbentuk *coccus* (bulat) dan sel berwarna ungu gelap yang menandakan bakteri gram positif (ditunjukkan oleh lingkaran berwarna oranye), di samping sel bakteri Xoo yang berbentuk batang dan berwarna merah yang menandakan bakteri gram negatif (ditunjukkan oleh lingkaran berwarna hijau) seperti tampak pada Gambar 4.8.



Gambar 4. 7. Pembacaan Koloni Bakteri Dengan Metode TPC Untuk Sampel Tanpa Zeolit (Kiri) Dan Sampel Sistem Yang Menggunakan Zeolit (Kanan)



Gambar 4. 8. Foto Mikroskopik Dari Sampel Sistem Yang Menggunakan Zeolit

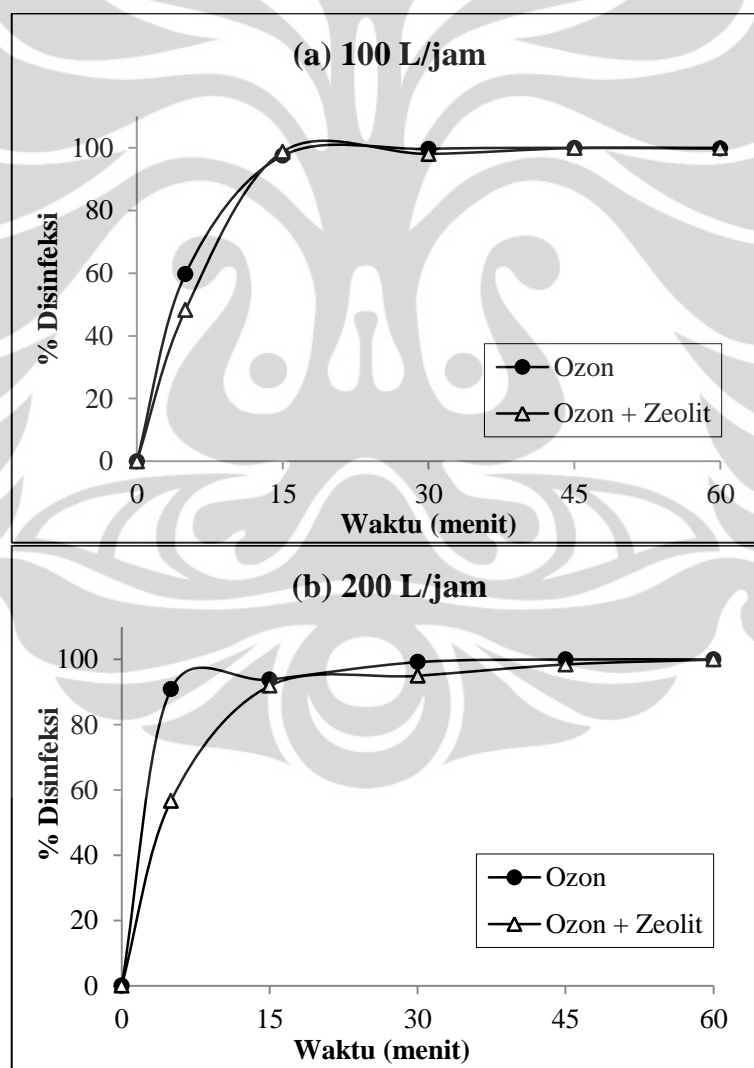
Teori lain yang dapat menjelaskan penurunan laju dan tingkat disinfeksi pada sistem zeolit dengan waktu inkubasi yang lebih lama adalah kecenderungan terbentuknya biofilm bakteri pada permukaan zeolit. Bakteri yang menempel pada suatu permukaan cenderung membentuk agregat di mana sel bakteri tersebut saling melekat satu sama lain dan membentuk suatu matriks polimer yang disebut biofilm. (Costerton et al., 1999) Terbentuknya biofilm ini memberikan proteksi untuk bakteri terhadap gangguan dari lingkungan, bahkan membuatnya menjadi resisten terhadap *antimicrobial agent*. Hal ini dapat disebabkan oleh tidak mampunya agen tersebut untuk mempenetrasi kedalaman biofilm, atau terdapat keadaan di mana sel-sel bakteri pada biofilm memiliki keterbatasan nutrisi, sehingga berada dalam keadaan di mana ia tumbuh dengan lambat dan menjadi resisten. Resistensi biofilm terhadap *antimicrobial agents* juga dapat disebabkan oleh heterogenitas sel dalam biofilm yang tumbuh pada permukaan, atau adanya fenotipe biofilm tertentu yang membuat bakteri mampu melawan efek merugikan dari *antimicrobial agents*. (Costerton et al., 1999; Mah dan O'Toole, 2001; Morikawa, 2006) Resistensi akibat terbentuknya biofilm pada zeolit yang diinokulasi dengan bakteri Xoo ini dapat dilihat dari penurunan jumlah bakteri yang kurang signifikan khususnya pada sampel zeolit dengan periode inkubasi yang lebih lama, sebagaimana terlihat pada Gambar 4.6.

Meskipun dari hasil yang diperoleh, secara keseluruhan tidak terdapat perbedaan yang sangat signifikan dalam tingkat disinfeksi bakteri, dari variasi

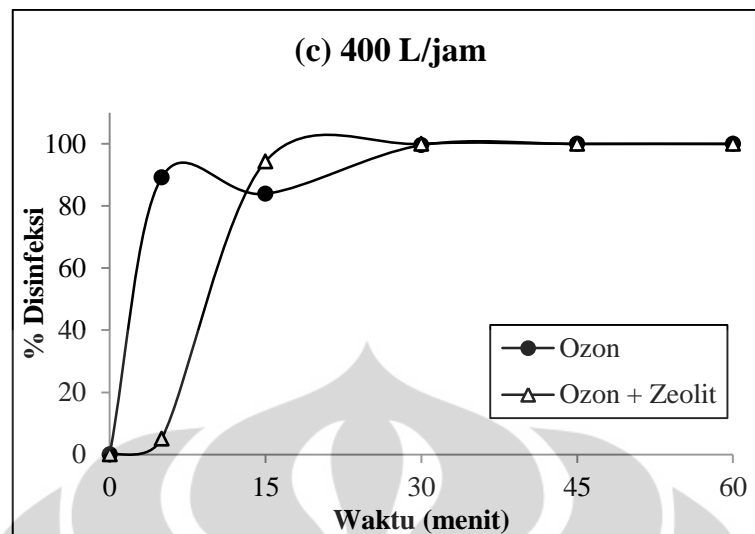
waktu inkubasi yang diujikan dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa untuk disinfeksi bakteri menggunakan kombinasi ozon dan zeolit, zeolit perlu diinkubasikan dengan bakteri setidaknya selama 1-2 jam sebelum digunakan.

4.4. Pengaruh Dosis Ozon terhadap Kinerja Kombinasi Ozon dan Zeolit untuk Disinfeksi Bakteri Xoo

Berdasarkan persentase disinfeksi keseluruhan seperti terlihat pada Gambar 4.5, dipilih waktu inkubasi zeolit 2 jam untuk disinfeksi dengan variasi dosis ozon. Pada percobaan ini, dilakukan disinfeksi bakteri Xoo dengan kombinasi ozon-zeolit dan tanpa zeolit, pada laju alir udara masukan ozonator yang berbeda-beda; yaitu pada laju alir 100 L/jam, 200 L/jam, dan 400 L/jam.



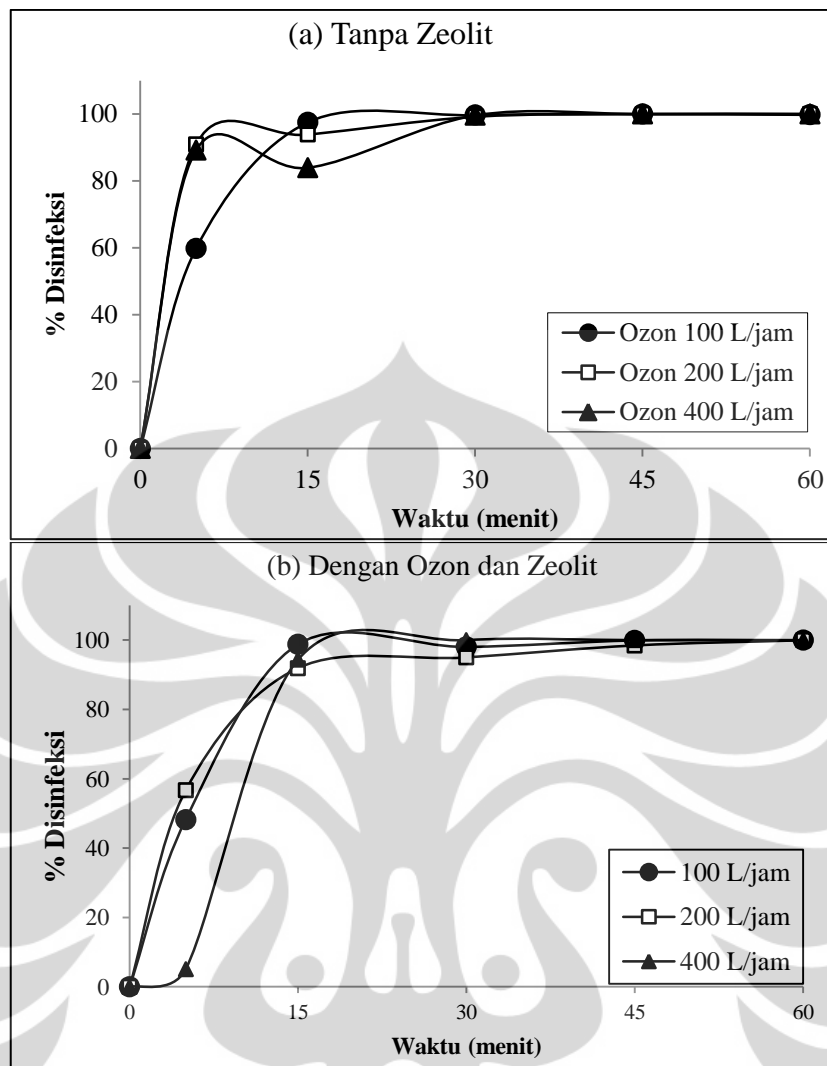
Gambar 4. 9. Persentase Disinfeksi Bakteri Xoo Pada Laju Alir Umpan Ozonator (a) 100 L/jam, (b) 200 L/jam, dan (c) 400 L/jam. Kondisi Operasi: Ukuran Partikel $\pm 1,7$ mm; pH $\pm 6,5$.



Gambar 4.9 (lanjutan). Persentase Disinfeksi Bakteri Xoo Pada Laju Alir Umpan Ozonator (a) 100 L/jam, (b) 200 L/jam, dan (c) 400 L/jam. Kondisi Operasi: Ukuran Partikel $\pm 1,7$ mm; pH $\pm 6,5$.

Dari Gambar 4.9, terlihat bahwa pada laju alir yang lebih tinggi, laju disinfeksi bakteri Xoo pada sistem dengan ozon dan zeolit cenderung lebih rendah dibandingkan sistem tanpa zeolit. Hal ini dapat dilihat dari bentuk kurva yang lebih landai pada grafik disinfeksi dengan ozon dan zeolit, dibandingkan bentuk kurva yang peningkatannya curam pada grafik disinfeksi pada sistem tanpa zeolit. Diduga hal ini disebabkan oleh berkurangnya waktu kontak ozon dengan air/larutan akibat peningkatan laju alir umpan ozonator. Semakin besar laju alir yang digunakan, waktu tinggal ozon dalam reaktor semakin singkat, sehingga ozon tidak teradsorpsi dengan baik pada zeolit untuk mendisinfeksi bakteri.

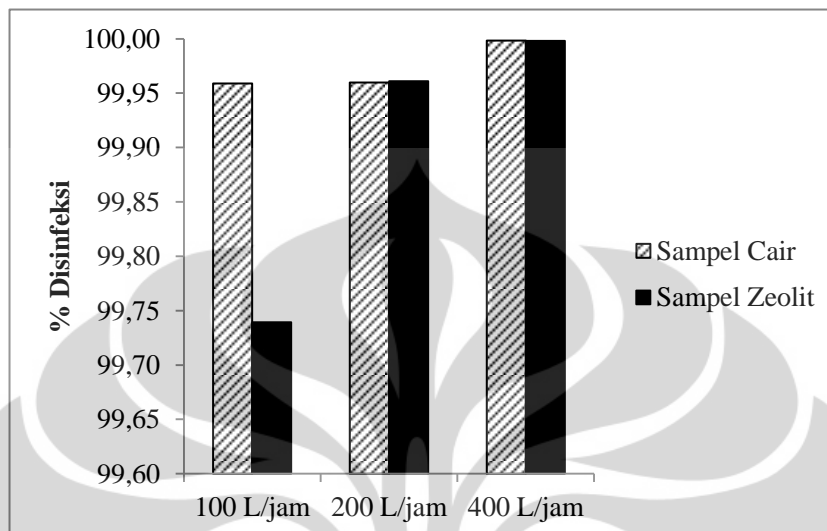
Akan tetapi jika dibandingkan tingkat disinfeksi antara sistem tanpa zeolit maupun sistem dengan ozon dan zeolit, seperti pada Gambar 4.10, terlihat bahwa penurunan laju disinfeksi pada peningkatan laju alir umpan ozonator hanya terjadi pada sistem dengan ozon dan zeolit, sedangkan pada sistem tanpa zeolit, laju disinfeksi cenderung lebih tinggi pada laju alir yang lebih tinggi. Selain itu, massa ozon *off-gas* yang terukur di keluaran reaktor pada laju alir lebih tinggi pun cenderung lebih rendah (Lampiran 5), sehingga penjelasan singkatnya waktu tinggal ozon dalam reaktor tidak dapat menjelaskan fenomena menurunnya laju disinfeksi bakteri pada sistem dengan ozon dan zeolit.



Gambar 4. 10. Persentase Disinfeksi Bakteri Xoo Pada Variasi Laju Alir Umpan Ozonator (a) Tanpa Zeolit, dan (b) Dengan Ozon Dan Zeolit. Kondisi Operasi: Ukuran Partikel $\pm 1,7$ mm; pH $\pm 6,5$.

Adapun yang terukur dalam perbandingan laju disinfeksi pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 hanya jumlah bakteri pada sampel cair, sehingga tidak dapat dibandingkan langsung dengan laju disinfeksi bakteri pada zeolit. Sampel zeolit hanya dapat diambil di awal dan akhir disinfeksi, untuk itu dapat dibandingkan tingkat disinfeksi akhir pada sampel cair dan sampel zeolit dengan persamaan (4.4), yang dapat dilihat pada Gambar 4.11. Terlihat bahwa pada laju alir yang lebih tinggi, tingkat disinfeksi bakteri pada zeolit meningkat relatif lebih signifikan dibandingkan bakteri pada larutan. Maka dapat diperkirakan pada peningkatan laju alir, jumlah ozon yang teradsorpsi pada zeolit meningkat, sehingga peningkatan persentase disinfeksi bakteri pada zeolit lebih tinggi dari disinfeksi pada larutan. Adapun tingkat disinfeksi akhir secara keseluruhan

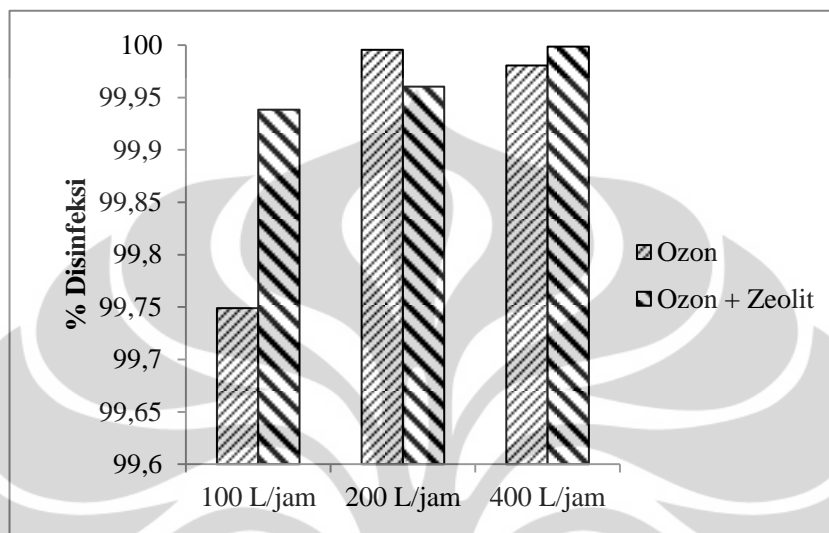
(gabungan dari sampel cair dan sampel zeolit), seperti terlihat pada Gambar 4.12, cenderung meningkat dengan meningkatnya laju alir, meskipun perbedaannya tidak signifikan.



Gambar 4. 11 Perbandingan Tingkat Disinfeksi Akhir Bakteri Xoo Dari Sampel Larutan Dan Sampel Zeolit Pada Variasi Dosis Ozon/Laju Alir. Kondisi Operasi: Ukuran Partikel $\pm 1,7$ mm; pH $\pm 6,5$.

Pembacaan massa ozon *off-gas* pada sistem tanpa zeolit menunjukkan jumlah ozon *off-gas* yang cenderung lebih rendah (Lampiran 6), namun menunjukkan efektifnya massa ozon yang digunakan untuk disinfeksi, sebagaimana terlihat dari laju disinfeksi yang cenderung lebih tinggi. Sedangkan pada sistem dengan ozon dan zeolit, peningkatan laju alir menyebabkan massa ozon *off-gas* yang terbaca menurun (Lampiran 5), tetapi laju disinfeksi juga cenderung lebih rendah. Hal ini dikarenakan jumlah bakteri yang terimobilisasi pada zeolit hampir sama dengan bakteri yang tinggal pada larutan, seperti penjelasan dari Tabel 4.4 di subbab sebelumnya, sehingga kontak ozon dan bakteri tidak terkonsentrasi di zeolit. Karenanya, jumlah ozon yang digunakan untuk disinfeksi pada sistem ini justru terbagi dua, yaitu ozon yang mendisinfeksi bakteri di larutan dan yang mendisinfeksi bakteri yang terimobilisasi pada zeolit. Namun ozon yang teradsorpsi ke zeolit relatif lebih banyak dari ozon di larutan, yang ditunjukkan dari massa ozon terlarut yang terukur relatif lebih rendah dibandingkan dengan sistem tanpa zeolit, sehingga ozon cenderung teradsorpsi dan mendisinfeksi bakteri di zeolit. Akan tetapi, tidak terlihat kecenderungan yang dapat diamati pada jumlah ozon terlarut dari peningkatan laju alir masukan

ozonator, dan jumlah ozon yang teradsorpsi pada zeolit tidak diukur langsung pada percobaan ini, sehingga diperlukan percobaan lebih lanjut untuk mengkaji pengaruh laju alir terhadap efektivitas massa ozon yang mendisinfeksi bakteri pada larutan dan pada zeolit.

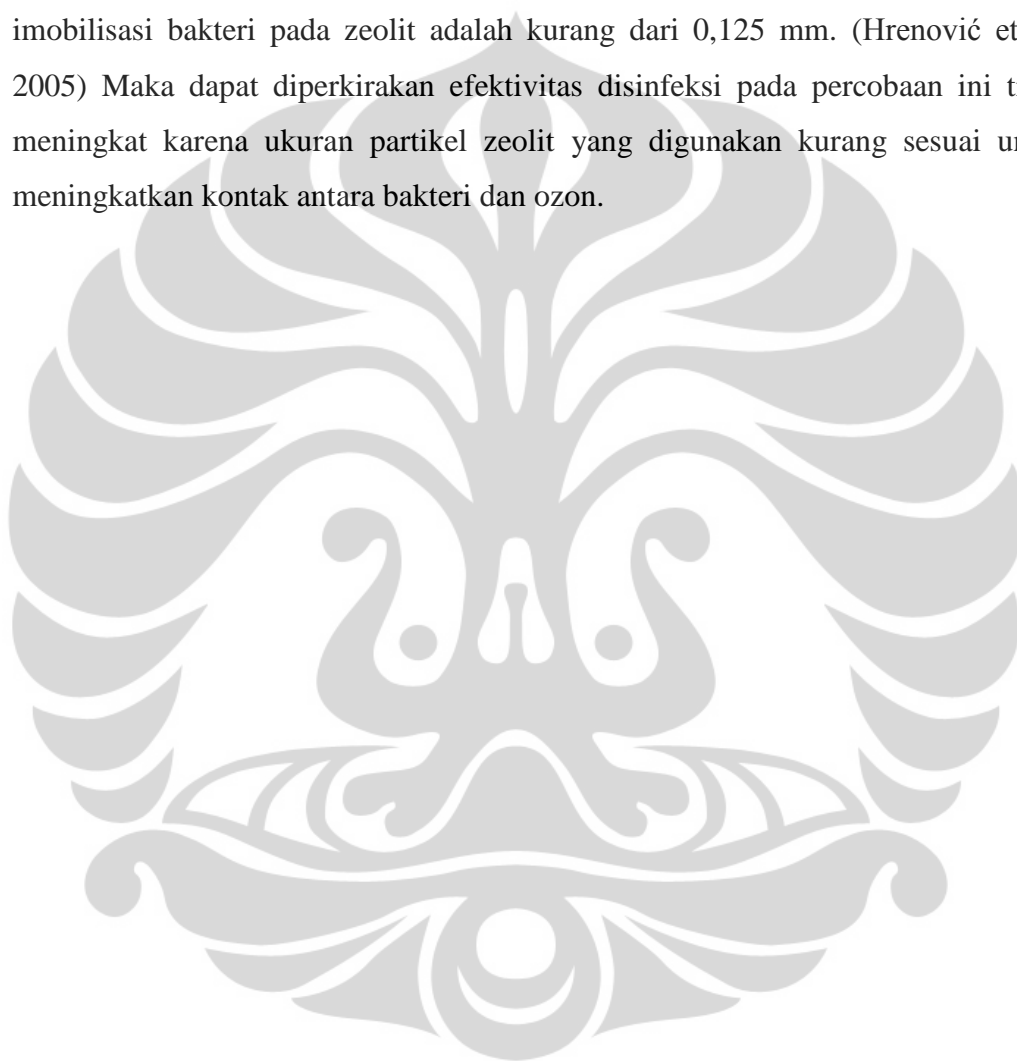


Gambar 4. 12. Persentase Disinfeksi Akhir Bakteri Xoo Pada Variasi Dosis Ozon/Laju Alir. Kondisi Operasi: Ukuran Partikel $\pm 1,7$ mm; pH $\pm 6,5$.

Di sisi lain, diperkirakan pada peningkatan laju alir, massa ozon yang teradsorpsi pada zeolit meningkat, namun tidak kontak dengan efektif dengan bakteri, karena keduanya tidak teradsorpsi pada bagian yang sama pada zeolit. Bakteri Xoo berukuran $1,1-2,0 \times 0,4-0,6 \mu\text{m}$, sehingga hanya teradsorpsi di permukaan dan tidak masuk ke dalam pori zeolit. Sedangkan molekul ozon di larutan memiliki diameter $58,93 \text{ \AA}$ (KJW, 2005), sehingga dapat masuk ke dalam pori zeolit, yang dari hasil karakterisasi ditunjukkan sebesar $97,76 \text{ \AA}$. Akibatnya, hanya sebagian massa ozon yang teradsorpsi pada zeolit yang kontak dengan bakteri di permukaan zeolit, sedangkan sebagiannya lagi masuk ke dalam pori zeolit, sehingga disinfeksi yang terjadi tidak efektif sebagaimana diharapkan.

Kontak ozon dan bakteri yang kurang efektif juga dapat disebabkan oleh adsorpsi bakteri yang tidak merata pada zeolit, sehingga sel bakteri menumpuk di bagian-bagian tertentu dan membentuk biofilm, seperti penjelasan pada subbab sebelumnya. Ukuran partikel zeolit yang terlalu besar diduga menjadi salah satu penyebabnya, dan mengakibatkan luas permukaan zeolit pada sistem secara keseluruhan tidak cukup besar untuk mendistribusikan bakteri secara merata di

permukaannya. Bakteri hanya terimobilisasi pada permukaan zeolit, bukan pada pori zeolit, sehingga peningkatan luas permukaan yang berpengaruh terhadap imobilisasi bakteri lebih dipengaruhi oleh ukuran partikel zeolit dibandingkan ukuran pori zeolit. Semakin kecil ukuran partikel zeolit, semakin banyak jumlah bakteri yang dapat terimobilisasi pada zeolit, dan lebih memungkinkan peningkatan kontak dengan ozon. Ukuran partikel zeolit yang optimal untuk imobilisasi bakteri pada zeolit adalah kurang dari 0,125 mm. (Hrenović et al., 2005) Maka dapat diperkirakan efektivitas disinfeksi pada percobaan ini tidak meningkat karena ukuran partikel zeolit yang digunakan kurang sesuai untuk meningkatkan kontak antara bakteri dan ozon.



BAB 5 KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Tahap preparasi zeolit mempengaruhi luas permukaan, volume pori, dan ukuran pori zeolit. Tahap preparasi yang dilakukan menghasilkan peningkatan luas permukaan sebesar 31,93% dan volume pori sebesar 62,26%, dengan ukuran (diameter) pori berkurang sebesar 9,96%.
2. Produktivitas ozonator jenis pipa koaksial *shell and tube* pada laju alir 100 L/jam adalah sebesar 0,3502 gram/jam, pada laju alir 200 L/jam sebesar 0,4147 gram/jam, dan pada laju alir 400 L/jam adalah sebesar 0,5305 gram/jam.
3. Disinfeksi bakteri Xoo pada dosis ozon tersebut secara keseluruhan mencapai hampir 100%, dengan waktu disinfeksi optimal 15 menit.
4. Dari hasil penelitian ini, penggunaan zeolit alam yang telah diinkubasi bakteri Xoo tidak memberi pengaruh signifikan terhadap proses disinfeksi dengan teknologi ozon.
5. Dari hasil penelitian ini, tingkat disinfeksi bakteri Xoo lebih rendah pada waktu inkubasi yang lebih lama, disebabkan oleh *treatment* zeolit yang kurang steril sehingga terdapat kontaminan, atau kecenderungan terbentuknya biofilm yang resisten terhadap *antimicrobial agent*, dalam hal ini yaitu ozon.
6. Untuk disinfeksi bakteri menggunakan kombinasi ozon dan zeolit, zeolit perlu diinkubasikan dengan bakteri setidaknya selama 1-2 jam sebelum digunakan.
7. Pada sistem yang menggunakan ozon dan zeolit, tingkat disinfeksi akhir mengalami peningkatan terhadap peningkatan laju alir masukan ozonator (variasi dosis ozon), namun laju disinfeksi bakteri Xoo cenderung menurun disebabkan oleh kontak ozon dan bakteri yang masih belum efektif pada zeolit akibat metode preparasi dan ukuran partikel zeolit yang kurang sesuai.

5.2. Saran

Untuk meneliti lebih lanjut proses disinfeksi bakteri dengan kombinasi proses ozonasi dan zeolit alam, dapat dipertimbangkan hal-hal sebagai berikut:

1. Melakukan pengujian dengan zeolit yang dipreparasi dengan cara berbeda dan ukuran partikel yang lebih kecil, atau pengujian menggunakan zeolit dengan jenis berbeda untuk mengimobilisasi bakteri dengan lebih baik.
2. Melakukan pengujian dan analisis skala mikro untuk mengetahui karakteristik adsorpsi bakteri Xoo pada zeolit.
3. Melakukan pengujian kombinasi ozon-zeolit untuk mendisinfeksi bakteri dari golongan berbeda (mis: bakteri berbentuk bulat, bakteri gram positif) sebagai perbandingan.
4. Untuk membandingkan laju alir, perlu diukur massa ozon di larutan (tanpa zeolit), ozon terlarut dan ozon *off-gas* pada keadaan tanpa bakteri untuk mengetahui efektivitas massa ozon yang digunakan untuk disinfeksi bakteri pada larutan dan pada zeolit.
5. Memvariasikan dosis ozon melalui variasi konsumsi energi (tegangan dan arus).

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, N. A. S., Akhtar, J. & Rai, H. K. 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]. Available: 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].
- Anggraini, D., Amini, S., Nampira, Y. & Noviarty 2001. Pemanfaatan Zeolit Lampung untuk Penukar Kation Cs dari Larutan Radioaktif Hasil Fisi. *Prosiding Presentasi Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklit VI*. Jakarta: Pusat Pengembangan Teknologi Bahan Bakar Nuklir dan Daur Ulang - BATAN.
- Anonim. 2009. Penyakit Hawar Daun Bakteri (BLB). Available: http://bbpadi.litbang.deptan.go.id/index.php?option=com_content&view=article&id=204%3A-penyakit-hawar-daun-bakteri-blb-&catid=72%3Apenyakit-padi-bakteri&Itemid=96&lang=in [Diakses tanggal 25 Februari 2011].
- ANTARAJateng.com. 2010. Awas, Hama "Kresek" di Padi. *ANTARAJateng.com*, 6 Januari 2010.
- Ariyo. 2008. *Preparasi Zeolit Alam Lampung Sebagai Penyangga Biofilter untuk Proses Pemisahan Senyawa Sulfur*. Skripsi, Universitas Indonesia.
- Chao, C. Y. H., Kwong, C. W. & Hui, K. S. 2007. Potential use of a combined ozone and zeolite system for gaseous toluene elimination. *Journal of Hazardous Materials*, 143, 118-127.
- Costerton, J. W., Stewart, P. S. & Greenberg, E. P. 1999. Bacterial Biofilms: A Common Cause of Persistent Infections. *Science, New Series*. American Association for the Advancement of Science.
- Eddy, H. R. 2007. Potensi dan Pemanfaatan Zeolit di Provinsi Jawa Barat dan Banten. Available: 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 & CABI 1997. Data Sheets on Quarantine Pests: *Xanthomonas oryzae*. EPPO Quarantine Pest.
- Fujita, H., Izumi, J., Sagehashi, M., Fujii, T. & Sakoda, A. 2004a. Adsorption and decomposition of water-dissolved ozone on high silica zeolites. *Water Research*, 38, 159-165.
- Fujita, H., Izumi, J., Sagehashi, M., Fujii, T. & Sakoda, A. 2004b. Decomposition of trichloroethene on ozone-adsorbed high silica zeolites. *Water Research*, 38, 166-172.
- Hrenović, J., Ivanković, T., Tibljaš, D. & Rožić, M. Year. Zeolitized Tuff as A Carrier of Bacteria. *In: 2nd Slovenian-Croatian Symposium on Zeolites*, 2009.
- Hrenović, J., Tibljaš, D., Orhan, Y. & Büyükgüngör, H. 2005. Immobilisation of *Acinetobacter calcoaceticus* using natural carriers. *Water SA*, 31, 261-266.

- Ikehata, K., El-Din, M. G. & Snyder, S. A. 2008. Ozonation and Advanced Oxidation Treatment of Emerging Organic Pollutants in Water and Wastewater. *Ozone: Science & Engineering*, 30, 21 - 26.
- Karamah, E. F., Bismo, S. & Simbolon, H. M. 2008. Pengaruh Ozon dan Konsentrasi Zeolit terhadap Kinerja Proses Pengolahan Limbah Cair yang Mengandung Logam dengan Proses Flotasi. *MAKARA Seri Teknologi*, 12, 43-47.
- KOMPAS. 2011. Hama Padi Terus Marak. *KOMPAS*, 22 Februari 2011.
- Kowalski, W. J., Bahnfleth, W. P. & Whittam, T. S. 1998. Bactericidal Effects of High Airborne Ozone Concentrations on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Ozone: Science & Engineering*, 20, 205-221.
- Kubota, M., Nakabayashi, T., Matsumoto, Y., Shiomi, T., Yamada, Y., Ino, K., Yamanokuchi, H., Matsui, M., Tsunoda, T., Mizukami, F. & Sakaguchi, K. 2008. Selective adsorption of bacterial cells onto zeolites. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 64, 88-97.
- Leusink, J. 2010. How does ozone kill bacteria? Available: <http://www.ozonesolutions.com/journal/2010/how-does-ozone-kill-bacteria/> [Diakses tanggal 20 Juni 2012].
- Loeb, B. L. 2009. Ozone Safety. *Ozone News*.
- Mah, T.-F. C. & O'Toole, G. A. 2001. Mechanisms of biofilm resistance to antimicrobial agents. *Trends in Microbiology*, 9, 34-39.
- MediaIndonesia.com. 2011a. RI Bakal Jadi Negara Pengimpor Beras Terbesar Kedua di Dunia. *MediaIndonesia.com*, 18 Februari 2011.
- MediaIndonesia.com. 2011b. Ribuan Hektare Sawah Gagal Panen. *MediaIndonesia.com*, 16 Januari 2011.
- Miao, H. & 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., Allen, L. B., Durham, D. R. & Chmurny, A. B. 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., Padmanabhan, K. & Ananthi, S. 2005. Ozone for Plant Pathological Applications. *Ozone: Science and Engineering*, 27, 499-502.
- Morikawa, M. 2006. Beneficial Biofilm Formation by Industrial Bacteria *Bacillus subtilis* and Related Species. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 101, 1-8.
- Nino-Liu, D. O., Ronald, P. C. & Bogdanove, A. J. 2006. *Xanthomonas oryzae* pathovars: model pathogens of a model crop. *Molecular Plant Pathology*, 7, 303-324.
- PikiranRakyatOnline. 2009. Hama Kresek Menyerang Ratusan Hektare Sawah. *Pikiran Rakyat Online*, 22 Maret 2009.
- Putra, S. E. 2007. Zeolit sebagai Mineral Serba Guna. *Kimia Material* [Online]. Available: http://www.chem-is-try.org/artikel_kimia/kimia_material/zeolit_sebagai_mineral_serba_guna/ [Diakses tanggal 13 Maret 2011].
- Rice, R. G. & Netzer, A. 1985. *Handbook of Ozone Technology and Applications*, Butterworth-Heinemann.

- Rodríguez, A., Rosal, R., J.A.Perdigón-Melón, M.Mezcua, A. A., Hernando, M. D., P.Letón, A.R.Fernández-Alba & E.García-Calvo 2008. *Ozone-Based Technologies in Water and Wastewater Treatment*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- SeputarIndonesia. 2011. Hama dan Penyakit Serang 184 Ha Sawah. *Seputar Indonesia*, 6 April 2011.
- Setiawan, D. 2006. Karakterisasi Beberapa Zeolit Alam Dalam Kaitannya Dengan Penyerapan Radionuklida Cesium134 (134Cs). *Bionatura*, 8, 122-138.
- Simbolon, H. M. 2007. *Pengolahan Limbah Cair yang Mengandung Logam Besi, Tembaga dan Nikel dengan Flotasi Ozon (Studi Kasus Pengaruh Ozon dan Konsentrasi Zeolit terhadap Kinerja Proses)*. Skripsi, Universitas Indonesia.
- Solomon, C., Casey, P., Mackne, C. & Lake, A. 1998. Ozone Disinfection. National Small Flows Clearinghouse.
- SriwijayaPost. 2010. Hasil Padi Kami Pasti Anjlok. *Sriwijaya Post*, 16 Maret 2010.
- Taylor, R. H., Norton, C. D., III, J. O. F. & LeChevallier, M. W. 2000. Chlorine, Chloramine, Chlorine Dioxide, and Ozone Susceptibility of *Mycobacterium avium*. *Applied and Environmental Microbiology*, 66, 1702-1705.
- Turney, B. 2010. What is ozone? And how do we use it? *The Ozone Laundry Blog* [Online]. Available: <http://ozonelaundry.wordpress.com/2010/10/18/what-is-ozone-and-how-do-we-use-it/> [Diakses tanggal 30 Mei 2011].
- Voidarou, C., Tzora, A., Skoufos, I., Vassos, D., Galogiannis, G., Alexopoulos, A. & Bezirtzoglou, E. 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., Ang, M. & Zhang, D.-k. 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). Available: <http://wildablog.blogspot.com/2009/11/penghitungan-kuantitas-mikroba-hitungan.html> [Diakses tanggal 13 Maret 2011].
- Wiyono, S. 2009. Perubahan Iklim, Pemicu Ledakan Hama dan Penyakit Tanaman. *SALAM Majalah Pertanian Berkelanjutan*. Indonesia: LEISA.
- Yanuarta, F. K. 2012. *Signifikansi Penggunaan Zeolit Alam pada Proses Ozonasi untuk Disinfeksi Hama Bakteri *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* pada Tanaman Padi*. S1 Skripsi, Universitas Indonesia.

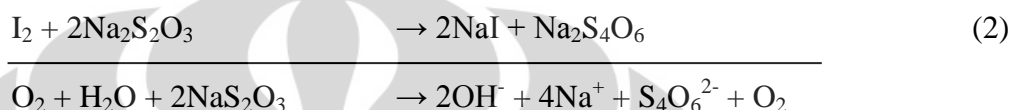
LAMPIRAN

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 $[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}] = 0,005 \text{ M}$ dan faktor pengenceran $1/8$

- $\text{mmol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = (\text{Vol. Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ hulu} + \text{Vol. Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ hilir}) \times 8 \times 0,005 \text{ M}$
- $\text{mol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = \frac{(\text{Vol. Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ hulu} + \text{Vol. Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ hilir}) \times 8 \times 0,005}{1000}$
- $\text{mol O}_3 = \frac{1}{2} \times \text{mol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
- $\text{gram O}_3 = \text{mol} \times 48$
- $\text{produktivitas ozon} = \frac{\text{g O}_3}{t} \times 3600$

dimana :

- $t =$ waktu kontak antara ozon dengan larutan KI dalam satuan detik

produktivitas ozon memiliki satuan gr/jam

Lampiran 2. Karakteristik Zeolit Alam Lampung Sebelum Preparasi

Date: 06/20/2012

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				
Description	nadhila				
Comments					
Sample Weight	0.4898 g	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	jajat
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	24.0 hrs	Analysis Time	41.9 min
Cross-Sec Area	16.2 Å ² /molecule	P/Po Toler	3	End of Run	06/20/2012 17:01
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	2	File Name	AT148408.RAW
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	Pre-1.20
Station #	6				

AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

SURFACE AREA DATA

Multipoint BET.....	2.501E+01	m ² /g
Langmuir Surface Area.....	3.970E+01	m ² /g
t-Method External Surface Area.....	2.282E+01	m ² /g
t-Method Micro Pore Surface Area.....	2.186E+00	m ² /g
DR Method Micro Pore Area.....	3.462E+01	m ² /g

PORE VOLUME DATA

t-Method Micro Pore Volume.....	1.065E-03	cc/g
DR Method Micro Pore Volume.....	1.230E-02	cc/g
HK Method Cumulative Pore Volume.....	1.036E-02	cc/g
SF Method Cumulative Pore Volume.....	1.058E-02	cc/g

PORE SIZE DATA

DR Method Micro Pore Width.....	1.075E+02	Å
DA Method Pore Diameter (Mode).....	1.780E+01	Å
HK Method Pore Width (Mode).....	1.433E+01	Å
SF Method Pore Diameter (Mode).....	2.694E+01	Å

DATA REDUCTION PARAMETERS

Thermal Transpiration : OFF
Last Po Acquired 769.13 mm Hg
Additional Initialization Information Not Recorded.

BJH/DH Moving Average Size : 1

Interaction Constant (K) 2.9600 nm³ x kJ/mol

Date: 06/20/2012

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				
Description	nadhila				
Comments					
Sample Weight	0.4898 g	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	jajat
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	24.0 hrs	Analysis Time	41.9 min
Cross-Sec Area	16.2 Å ² /molecule	P/Po Toler	3	End of Run	06/20/2012 17:01
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	2	File Name	AT148408.RAW
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	Pre-1.20
Station #	6				

Langmuir Data

P/Po	P/Po/W
5.8638e-02	8.444E+00
8.2724e-02	1.119E+01
1.0846e-01	1.392E+01
1.5698e-01	1.863E+01
2.0744e-01	2.300E+01
2.5754e-01	2.685E+01
3.0748e-01	3.023E+01

Langmuir surface area = 3.970E+01 m²/g

Slope = 8.772E+01

Y - Intercept = 4.118E+00

Correlation Coefficient = 0.996794

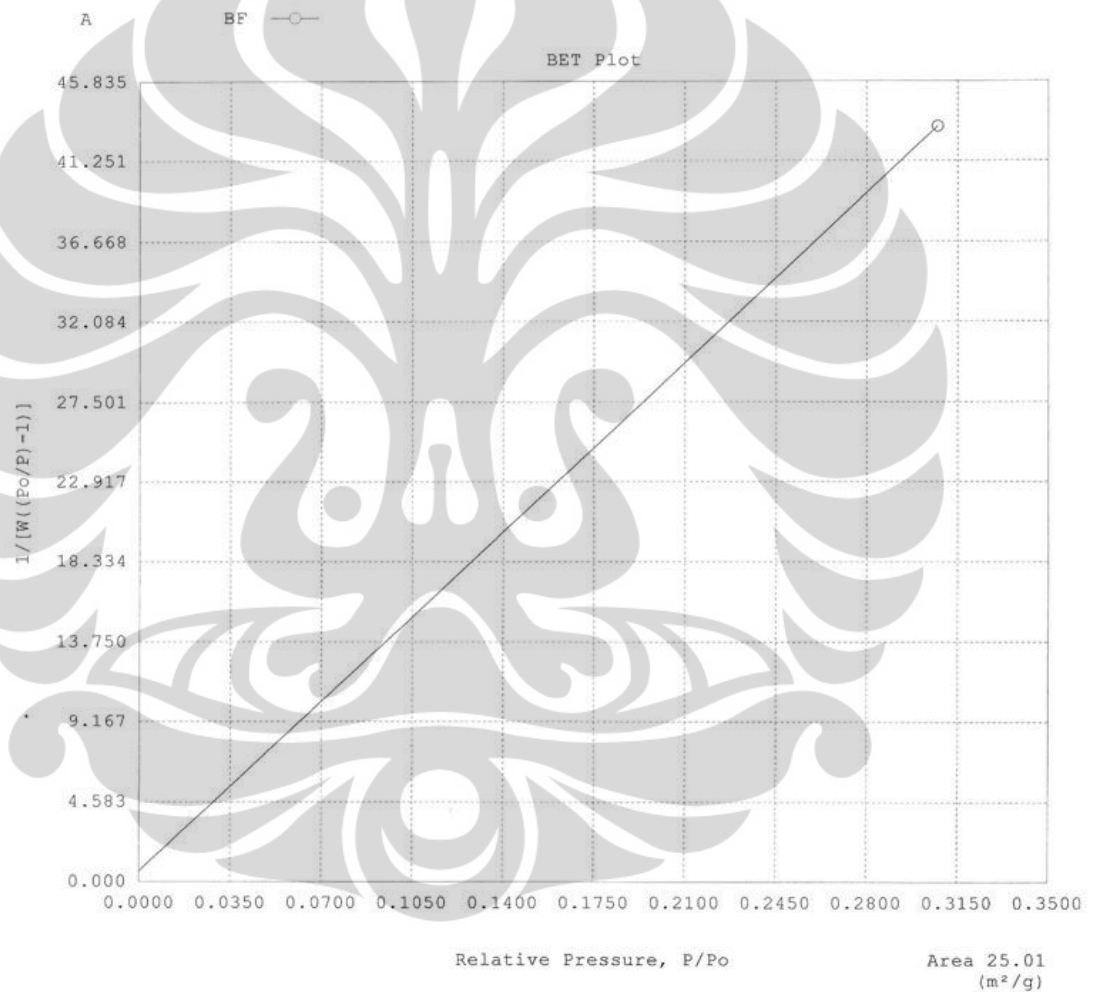
Langmuir constant K = 2.1305E+01

Lampiran 2 (lanjutan). Karakteristik Zeolit Alam Lampung Sebelum Preparasi

Date: 06/20/2012

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

Sample ID	Zeolit				
Description	nadhila				
Comments					
Sample Weight	0.4898 g	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	jajat
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	24.0 hrs	Analysis Time	41.9 min
Cross-Sec Area	16.2 Å ² /molecule	P/Po Toler	3	End of Run	06/20/2012 17:01
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	2	File Name	AT148408.RAW
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	Pre-1.20
Station #	6				



Lampiran 3. Karakteristik Zeolit Alam Lampung Setelah Preparasi

Date: 06/20/2012

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	ZAL				
Description	Nadhila				
Comments					
Sample Weight	0.4895 g	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	Jajat
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	2.0 hrs	Analysis Time	44.4 min
Cross-Sec Area	16.2 Å ² /molecule	P/Po Toler	3	End of Run	06/11/2012 13:34
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	2	File Name	AS977885.RAW
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	Pre-1.20
Station #	4				

AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

SURFACE AREA DATA

Multipoint BET.....	3.674E+01	m ² /g
Single Point BET.....	3.620E+01	m ² /g
Langmuir Surface Area.....	5.708E+01	m ² /g
t-Method External Surface Area.....	3.117E+01	m ² /g
t-Method Micro Pore Surface Area.....	5.572E+00	m ² /g
DR Method Micro Pore Area.....	5.026E+01	m ² /g

PORE VOLUME DATA

t-Method Micro Pore Volume.....	2.822E-03	cc/g
DR Method Micro Pore Volume.....	1.786E-02	cc/g
HK Method Cumulative Pore Volume.....	1.549E-02	cc/g
SF Method Cumulative Pore Volume.....	1.579E-02	cc/g

PORE SIZE DATA

DR Method Micro Pore Width.....	9.776E+01	Å
DA Method Pore Diameter (Mode).....	1.760E+01	Å
HK Method Pore Width (Mode).....	1.402E+01	Å
SF Method Pore Diameter (Mode).....	2.639E+01	Å

DATA REDUCTION PARAMETERS

Thermal Transpiration : OFF
Last Po Acquired 765.23 mm Hg
Additional Initialization Information Not Recorded.

BJH/DH Moving Average Size : 1

Interaction Constant (K) 2.9600 nm³ x kJ/mol

Date: 06/20/2012

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	ZAL				
Description	Nadhila				
Comments					
Sample Weight	0.4895 g	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	Jajat
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	2.0 hrs	Analysis Time	44.4 min
Cross-Sec Area	16.2 Å ² /molecule	P/Po Toler	3	End of Run	06/11/2012 13:34
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	2	File Name	AS977885.RAW
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	Pre-1.20
Station #	4				

Langmuir Data

P/Po	P/Po/W
4.9515e-02	4.776E+00
7.8689e-02	7.075E+00
1.0603e-01	9.065E+00
1.5427e-01	1.229E+01
2.0527e-01	1.534E+01
2.5548e-01	1.803E+01
3.0553e-01	2.041E+01

Langmuir surface area = 5.708E+01 m²/g

Slope = 6.102E+01

Y - Intercept = 2.360E+00

Correlation Coefficient = 0.996874

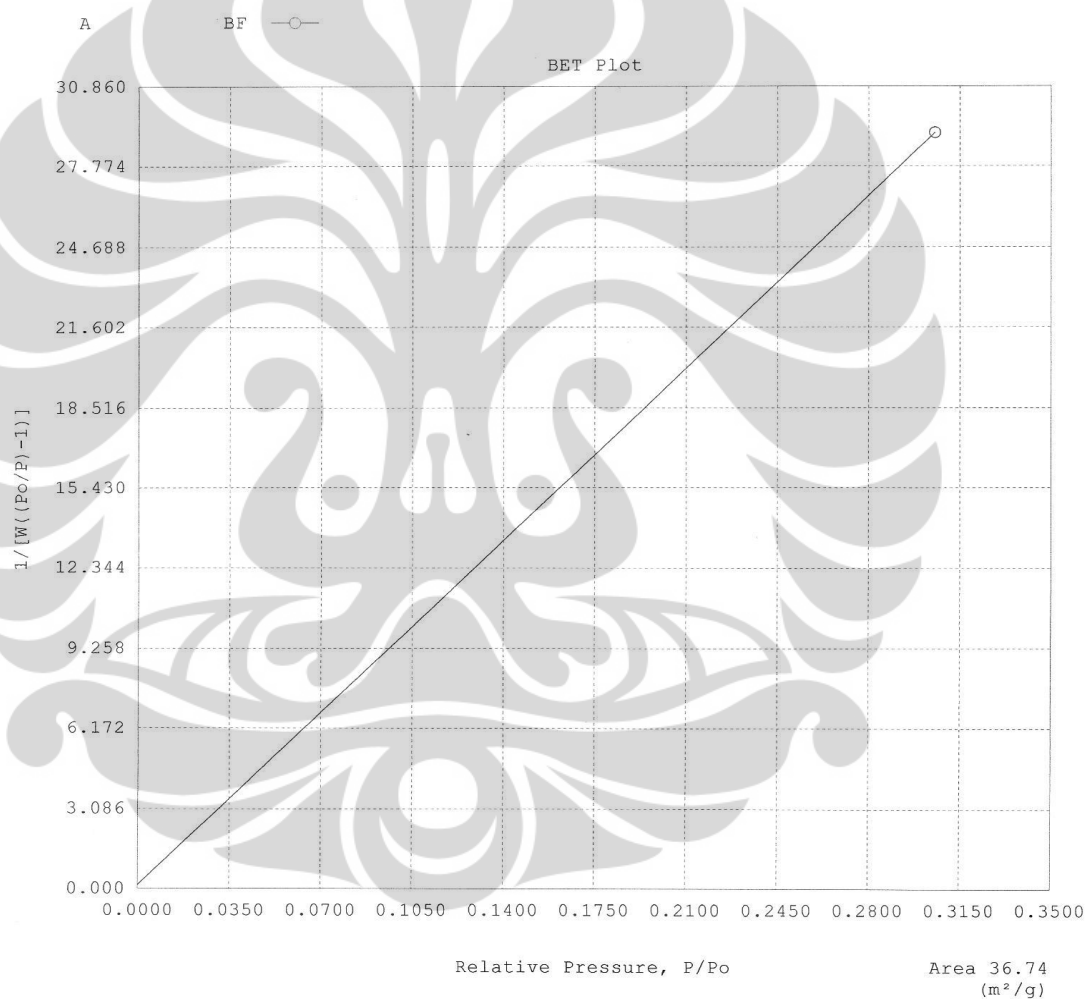
Langmuir constant K = 2.5850E+01

Lampiran 3 (lanjutan). Karakteristik Zeolit Alam Lampung Setelah Preparasi

Date: 06/20/2012

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

Sample ID	ZAL				
Description	Nadhila				
Comments					
Sample Weight	0.4895 g	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	Jajat
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	2.0 hrs	Analysis Time	44.4 min
Cross-Sec Area	16.2 Å ² /molecule	P/Po Toler	3	End of Run	06/11/2012 13:34
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	2	File Name	AS977885.RAW
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	Pre-1.20
Station #	4				



Lampiran 4. Data Hasil Disinfeksi Bakteri Xoo Pada Variasi Waktu Inkubasi

Tabel 1. Hasil Disinfeksi Dengan Zeolit Inkubasi 1 Jam

Waktu kontak (menit)	Ozon terlarut (mg/L)	Ozone off-gas (mg/L)	Jumlah bakteri (cfu/mL)	Persentase Disinfeksi (%)	Bakteri pada zeolit (cfu/mL)
0	--	--	$1,26 \times 10^7$	0,00	$1,09 \times 10^6$
5	0	0,2304	$1,94 \times 10^6$	84,54	
15	0,03	0,2016	$1,46 \times 10^5$	98,84	
30	0,04	0,192	$1,28 \times 10^5$	98,98	
45	0,05	0,24576	$5,70 \times 10^3$	99,95	
60	0,03	0,21888	$5,00 \times 10^1$	100,00	$2,55 \times 10^2$

Tabel 2. Hasil Disinfeksi Dengan Zeolit Inkubasi 2 Jam

Waktu kontak (menit)	Ozon terlarut (mg/L)	Ozone off-gas (mg/L)	Jumlah bakteri (cfu/mL)	Persentase Disinfeksi (%)	Bakteri pada zeolit (cfu/mL)
0	--	--	$1,84 \times 10^6$	0,00	$1,90 \times 10^5$
5	0	0,35712	$9,50 \times 10^5$	48,23	
15	0	0,3744	$2,27 \times 10^4$	98,76	
30	0,02	0,36096	$3,60 \times 10^4$	98,04	
45	0,01	0,33408	$1,75 \times 10^3$	99,90	
60	0,02	0,39168	$7,55 \times 10^2$	99,96	$4,95 \times 10^2$

Tabel 3. Hasil Disinfeksi Dengan Zeolit Inkubasi 12 Jam

Waktu kontak (menit)	Ozon terlarut (mg/L)	Ozone off-gas (mg/L)	Jumlah bakteri (cfu/mL)	Persentase Disinfeksi (%)	Bakteri pada zeolit (cfu/mL)
0	--	--	$1,25 \times 10^5$	0,00	$1,30 \times 10^5$
5	0	0,42624	$4,00 \times 10^4$	68,00	
15	0	0,38592	$7,50 \times 10^3$	94,00	
30	0,01	0,35328	$6,00 \times 10^3$	95,20	
45	0,01	0,4032	$1,60 \times 10^4$	87,20	
60	0,01	0,36864	$6,50 \times 10^2$	99,48	$3,00 \times 10^3$

Lampiran 4 (lanjutan). Data Hasil Disinfeksi Bakteri Xoo Pada Variasi Waktu Inkubasi

Tabel 4. Hasil Disinfeksi Dengan Zeolit Inkubasi 24 Jam

Waktu kontak (menit)	Ozon terlarut (mg/L)	Ozone off-gas (mg/L)	Jumlah bakteri (cfu/mL)	Persentase Disinfeksi (%)	Bakteri pada zeolit (cfu/mL)
0	--	--	$1,22 \times 10^6$	0	$8,50 \times 10^5$
5	0	0,288	$2,25 \times 10^5$	81,48	
15	0	0,2304	$4,50 \times 10^5$	62,96	
30	0	0,384	$5,33 \times 10^4$	95,62	
45	0,01	0,3648	$2,19 \times 10^4$	98,20	
60	0,03	0,384	$1,88 \times 10^4$	98,45	$1,27 \times 10^5$



Lampiran 5. Data Hasil Disinfeksi Bakteri Xoo Dengan Zeolit Inkubasi 2 Jam pada Variasi Dosis Ozon Berbasis Laju Alir

Tabel 5. Hasil Disinfeksi Dengan Zeolit Inkubasi 2 Jam Pada Laju Alir 100 L/jam

Waktu kontak (menit)	Ozon terlarut (mg/L)	Ozone off-gas (mg/L)	Jumlah bakteri (cfu/mL)	Persentase Disinfeksi (%)	Bakteri pada zeolit (cfu/mL)
0	--	--	$1,84 \times 10^6$	0,00	$1,90 \times 10^5$
5	0	0,35712	$9,50 \times 10^5$	48,23	
15	0	0,3744	$2,27 \times 10^4$	98,76	
30	0,02	0,36096	$3,60 \times 10^4$	98,04	
45	0,01	0,33408	$1,75 \times 10^3$	99,90	
60	0,02	0,39168	$7,55 \times 10^2$	99,96	$4,95 \times 10^2$

Tabel 6. Hasil Disinfeksi Dengan Zeolit Inkubasi 2 Jam Pada Laju Alir 200 L/jam

Waktu kontak (menit)	Ozon terlarut (mg/L)	Ozone off-gas (mg/L)	Jumlah bakteri (cfu/mL)	Persentase Disinfeksi (%)	Bakteri pada zeolit (cfu/mL)
0	--	--	$6,00 \times 10^5$	0,00	$4,10 \times 10^5$
5	0	0,33408	$2,60 \times 10^5$	56,67	
15	0,01	0,34848	$4,85 \times 10^4$	91,92	
30	0,04	0,32832	$3,00 \times 10^4$	95,00	
45	0,04	0,35712	$9,20 \times 10^3$	98,47	
60	0,01	0,33408	$2,40 \times 10^2$	99,96	$1,60 \times 10^2$

Tabel 7. Hasil Disinfeksi Dengan Zeolit Inkubasi 2 Jam Pada Laju Alir 400 L/jam

Waktu kontak (menit)	Ozon terlarut (mg/L)	Ozone off-gas (mg/L)	Jumlah bakteri (cfu/mL)	Persentase Disinfeksi (%)	Bakteri pada zeolit (cfu/mL)
0	--	--	$1,28 \times 10^6$	0,00	$3,70 \times 10^5$
5	0	0,24768	$1,21 \times 10^6$	5,10	
15	0,01	0,2448	$7,20 \times 10^4$	94,35	
30	0,02	0,26688	$2,40 \times 10^2$	99,98	
45	0,02	0,21984	$2,00 \times 10^2$	99,98	
60	0,01	0,22272	$2,00 \times 10^1$	100,00	$7,00 \times 10^0$

Lampiran 6. Data Hasil Disinfeksi Bakteri Xoo Tanpa Zeolit pada Variasi Dosis Ozon Berbasis Laju Alir

Tabel 8. Hasil Disinfeksi Tanpa Zeolit Pada Laju Alir 100 L/jam

Waktu kontak (menit)	Ozon terlarut (mg/L)	<i>Ozone off-gas</i> (mg/L)	Jumlah bakteri (cfu/mL)	Persentase Disinfeksi (%)
0	--	--	$4,10 \times 10^6$	0,00
5	0	0,1843	$1,65 \times 10^6$	59,76
15	0	0,3744	$1,04 \times 10^5$	97,48
30	0,02	0,1805	$1,47 \times 10^4$	99,64
45	0	0,2343	$1,30 \times 10^3$	99,97
60	0,01	0,2419	$1,03 \times 10^4$	99,75

Tabel 9. Hasil Disinfeksi Tanpa Zeolit Pada Laju Alir 200 L/jam

Waktu kontak (menit)	Ozon terlarut (mg/L)	<i>Ozone off-gas</i> (mg/L)	Jumlah bakteri (cfu/mL)	Persentase Disinfeksi (%)
0	--	--	$1,04 \times 10^7$	0,00
5	0,01	0,2189	$9,45 \times 10^5$	90,87
15	0,02	0,1642	$6,40 \times 10^5$	93,82
30	0,05	0,1747	$8,60 \times 10^4$	99,17
45	0,07	0,1958	$1,05 \times 10^3$	99,99
60	0,08	0,2112	$4,90 \times 10^2$	100,00

Tabel 10. Hasil Disinfeksi Tanpa Zeolit Pada Laju Alir 400 L/jam

Waktu kontak (menit)	Ozon terlarut (mg/L)	<i>Ozone off-gas</i> (mg/L)	Jumlah bakteri (cfu/mL)	Persentase Disinfeksi (%)
0	--	--	$4,60 \times 10^5$	0,00
5	0,01	0,0893	$5,00 \times 10^4$	89,13
15	0,02	0,08496	$7,40 \times 10^4$	83,91
30	0,04	0,1046	$2,00 \times 10^3$	99,57
45	0,06	0,1085	$1,00 \times 10^2$	99,98
60	0,07	0,1094	$9,00 \times 10^1$	99,98