



UNIVERSITAS INDONESIA

**APLIKASI TEKNOLOGI OKSIDASI LANJUT (OZON & UV)
UNTUK DISINFEKSI *INFECTIOUS MYO NECROSIS VIRUS*
(IMNV) PADA TAMBAK UDANG DI KABUPATEN
PESAWARAN, PROVINSI LAMPUNG**

SKRIPSI

**INDRIANI MUKTI
0806333171**

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
DEPOK
JULI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**APLIKASI TEKNOLOGI OKSIDASI LANJUT (OZON & UV)
UNTUK DISINFEKSI *INFECTIOUS MYO NECROSIS VIRUS*
(IMNV) PADA TAMBAK UDANG DI KABUPATEN
PESAWARAN, PROVINSI LAMPUNG**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**INDRIANI MUKTI
0806333171**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
DEPOK
JULI 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 : Indriani Mukti
NPM : 0806333171
Tanda Tangan :



Tanggal : 3 JULI 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Indriani Mukti
NPM : 0806333171
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Aplikasi Teknologi Oksidasi Lanjut (Ozon & UV)
untuk Disinfeksi *Infectious Myo Necrosis Virus*
(IMNV) pada Tambak Udang Di Kab. Pesawaran,
Provinsi Lampung

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

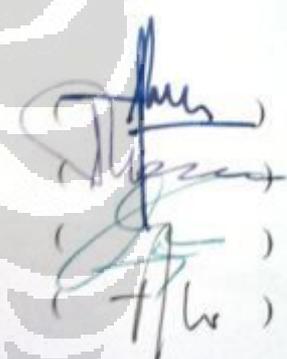
DEWAN PENGUJI

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

Penguji : Prof. Sutrasno K., M.Sc

Penguji : Dr. Ing. Donni Adinata

Penguji : Drh. Usamah Afiff, M.Sc



Handwritten signatures of the examiners and supervisor, including the names of Prof. Dr. Ir. Setijo Bismo, Prof. Sutrasno K., Dr. Ing. Donni Adinata, and Drh. Usamah Afiff.

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 3 Juli 2012

KATA PENGANTAR

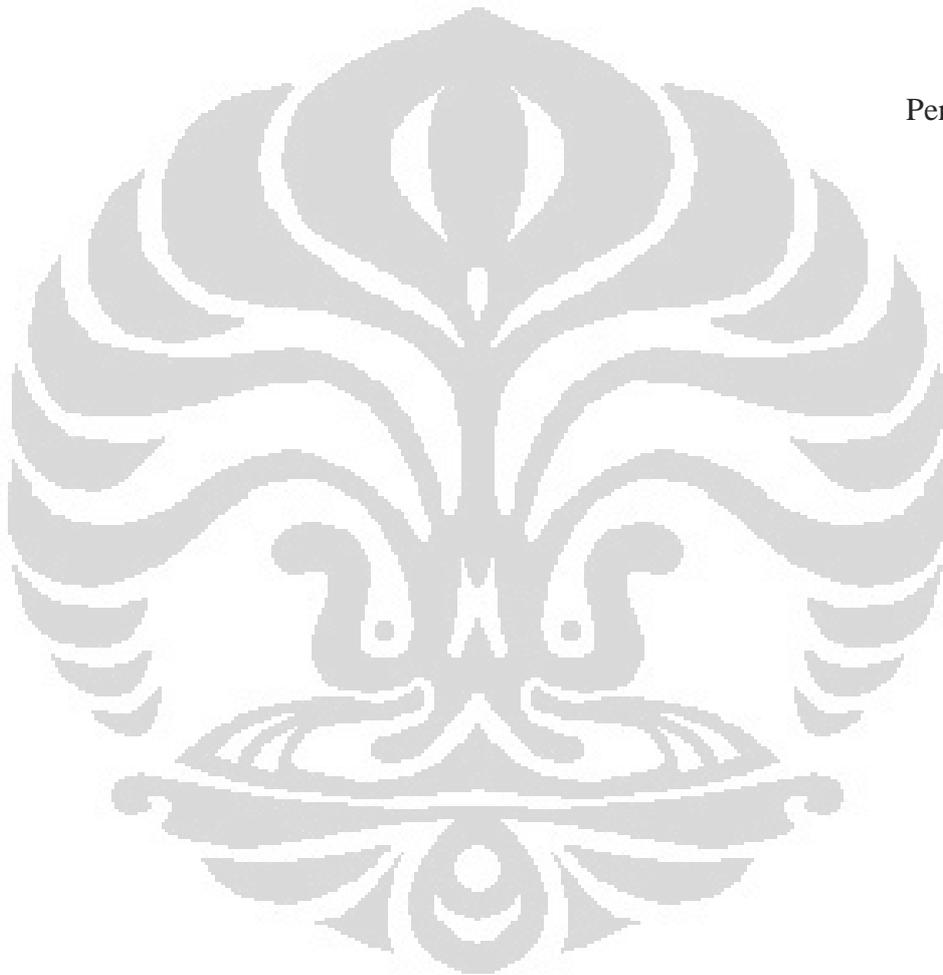
Segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas rahmat dan petunjuk-Nya sehingga skripsi dapat selesai dengan baik dan tepat waktu. Shalawat serta salam tak lupa penulis panjatkan kepada Rasulullah SAW yang selalu menjadi suri tauladan bagi hidup penulis. Penulisan skripsi dengan judul **“Aplikasi Teknologi Oksidasi Lanjut (Ozon dan UV) untuk Disinfeksi Infectious Myo Necrosis Virus (IMNV) pada Tambak Udang di Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung”** dilakukan dalam rangka memenuhi mata kuliah skripsi. Penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan beberapa pihak. Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Setijo Bismo, DEA sebagai pembimbing skripsi yang telah membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyusun skripsi ini;
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Widodo W. Purwanto, DEA selaku Ketua Departemen Teknik Kimia FTUI;
3. Bapak Ir. Yuliusman, M.Eng selaku koordinator skripsi Departemen Teknik Kimia FTUI;
4. Bapak Dr. Ir. Nelson Saksono, M.T. selaku pembimbing akademis;
5. Bapak R. Sugianto selaku Direktur CV. Minatama yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam penelitian ini;
6. Ibu Puji Lestari selaku teknisi tambak yang telah bersedia sebagai tempat konsultasi saya dan menyediakan udang dan air tambak sebagai sampel dalam penelitian ini;
7. Seluruh anggota keluarga saya yang telah memberikan dukungan dan doa terutama kedua orang tua saya;
8. Maylen Rhona Vika yang telah bersedia menemani saya saat melembur;
9. Lolyta Rosmelina N., Tania Desela, Catur Vina N., Lydia, Resiana Winata, Ika Wahyuni, Veny Luvita, Wiwie Chaeruni, Christine, Fatimatuzzahroh, Migel Aldila, Ria Wulansarie, dan Widioseno selaku rekan penelitian satu bimbingan serta banyak memberi dukungan dan informasi terkait;

Penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan dalam skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif agar dapat menyempurnakan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini bermanfaat bagi orang banyak dalam rangka pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, Juli 2012

Penulis



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

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

Nama : Indriani Mukti
NPM : 0806333171
Program Studi : Teknik Kimia
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

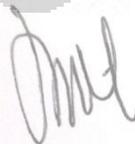
**APLIKASI TEKNOLOGI OKSIDASI LANJUT (OZON & UV) UNTUK
DISINFEKSI INFECTIOUS MYO NECROSIS VIRUS (IMNV) PADA
TAMBAK UDANG DI KABUPATEN PESAWARAN, PROVINSI
LAMPUNG**

Beserta persangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/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 : 3 Juli 2012

Yang menyatakan



(Indriani Mukti)

ABSTRAK

Nama : Indriani Mukti
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Penelitian : Aplikasi Teknologi Oksidasi Lanjut (Ozon & UV) untuk Disinfeksi *Infectious Myo Necrosis Virus* (IMNV) pada Tambak Udang di Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung

Pada penelitian ini, virus IMNV (*Infectious Myo Necrosis Virus*), yang menjadi penyebab utama turunnya produksi udang di Indonesia, didisinfeksi menggunakan aplikasi teknologi oksidasi lanjut (teknik ozonasi dan sinar UV), yaitu dalam skala laboratorium. Parameter utama yang divariasikan dalam penelitian ini ada tiga, yaitu perlakuan tanpa menggunakan ozon dan sinar UV, menggunakan ozon, dan menggunakan ozon dan sinar UV. Analisis hasil pengamatan dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif, yaitu dengan mengamati pertumbuhan udang (jumlah udang yang bertahan, dan berat badan), kualitas air (DO, suhu, salinitas, NO₂, NH₃, PO₄, dan kH), dan gejala klinis (otot berwarna putih dan bagian ekor maupun badan berwarna oranye seperti udang rebus). Berdasarkan hasil pengamatan, perlakuan tanpa menggunakan ozon dan sinar UV memiliki *Survival Ratio* (SR) 53,3%, perlakuan menggunakan ozon memiliki SR 100%, dan perlakuan menggunakan ozon dan sinar UV memiliki SR 60%. Dari hasil pengamatan, disimpulkan bahwa perlakuan disinfeksi menggunakan ozon adalah perlakuan yang terbaik untuk meningkatkan produksi udang di Indonesia.

Kata kunci: Disinfeksi, *Infectious Myo Necrosis Virus* (IMNV), Ozon, Udang

ABSTRACT

Name : Indriani Mukti
Study Program : Chemical Engineering
Title : Advanced Oxidation Process Application (Ozone & UV) for Infectious Myo Necrosis Virus (IMNV) Disinfection in Shrimp Aquaculture at Kabupaten Pesawaran, Lampung Province

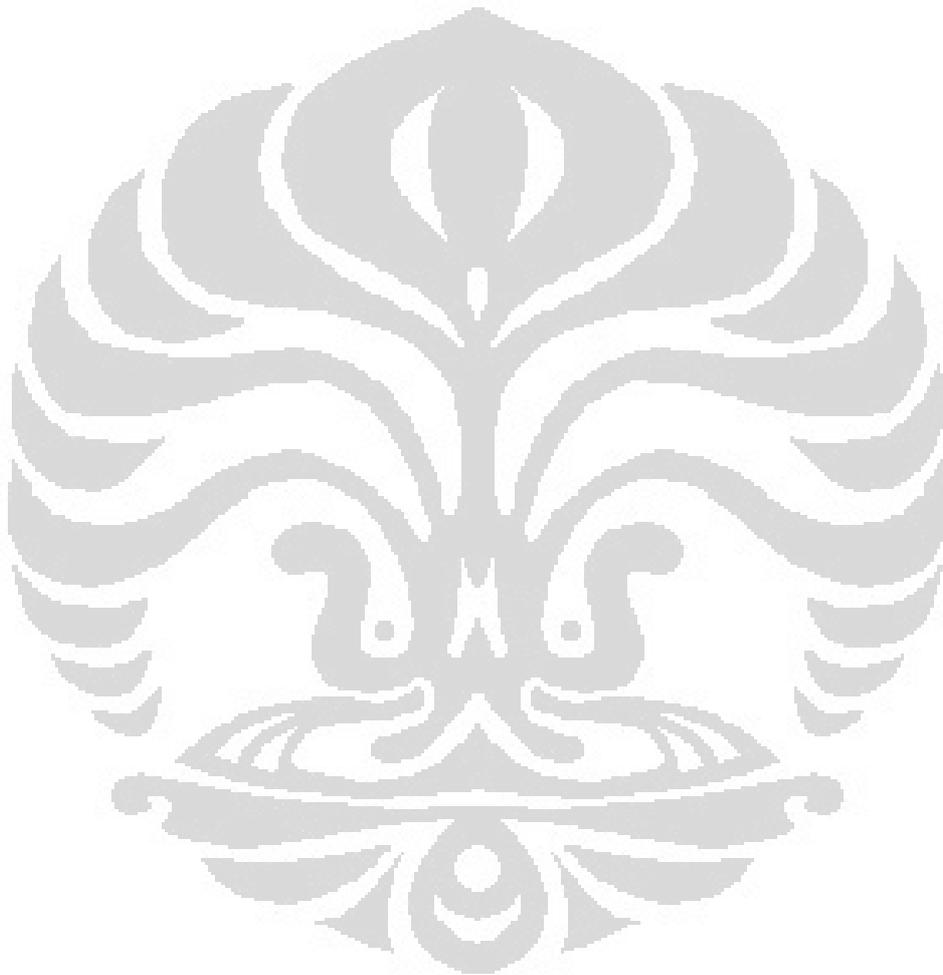
In this research, IMNV (*Infectious Myo Necrosis Virus*), the prime factor decreasing shrimp production in Indonesia, was disinfected by advanced oxidation process application (ozonation technique and UV radiation), in laboratory scale. There were three prime parameters varied in this experiment, such as using ozone, using ozone and UV lamp, and using neither ozone nor UV lamp. Analysis of the result in this experiment was done quantitatively and qualitatively, such as by observing shrimp growth (sum of survivor shrimps and shrimp weight), water qualities (DO, temperature, salinity, NO₂, NH₃, PO₄, dan kH), and clinical symptom (white color of shrimp's muscle and orange color on shrimp's abdominal like boiled shrimp). Based on the experiment results, *Survival Ratio* (SR) for the treatment without using ozone and UV lamp, the treatment using ozone, and the treatment using ozone and UV lamp respectively are around 53,3%, 100%, and 60%. Then, it could be concluded that the treatment using ozone was the maximum treatment for increasing shrimp production in Indonesia.

Keyword: Disinfection, *Infectious Myo Necrosis Virus* (IMNV), Ozone, Shrimp

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	vii
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Sistematika Penulisan	4
2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Penurunan Ekspor dan Target Produksi Udang	6
2.2. Virus IMNV (<i>Infectious Myo Necrosis Virus</i>)	8
2.3. Teknologi Disinfeksi Virus dengan Ozon.....	9
2.4. Disinfeksi Menggunakan Sinar UV	16
2.5. Disinfeksi Menggunakan Kombinasi Ozon dan Sinar UV.....	18
2.6. Standar Kondisi Air untuk Pertumbuhan Udang <i>L. Vannamei</i> Indonesia .	19
2.7. Penjernihan Air dengan Adsorben Padat.....	20
2.7.1. Zeolit	21
2.7.2. Karbon aktif.....	24
2.7.3. Pasir Aktif.....	25
3. METODE PENELITIAN	27
3.1. Diagram Alir Penelitian	27
3.2. Lokasi Penelitian	29
3.3. Peralatan Penelitian	29
3.4. Bahan-bahan Penelitian	34
3.5. Prosedur Penelitian	35
3.5.1. Variabel Pengamatan.....	35
3.5.2. Prosedur Preparasi Rangkaian Alat dan Bahan.....	36
3.5.3. Preparasi Bahan Uji Produktivitas Ozon yang Akan Digunakan	36
3.5.4. Proses Disinfeksi Virus	37
3.5.5. Analisis Hasil Percobaan	39
3.5.6. Prosedur Standar untuk Bekerja dengan Virus	40
4. PEMBAHASAN	43
4.1. Analisis Produktivitas Ozonator.....	44
4.2. Pengaruh Proses Disinfeksi Tanpa Menggunakan Teknik Ozonasi dan Radiasi Sinar UV terhadap <i>Survival Ratio</i> (SR) dan Berat Badan Udang 46	

4.3. Pengaruh Disinfeksi Virus IMNV dengan Teknik Ozonasi terhadap <i>Survival Ratio</i> (SR) dan Berat Badan Udang.....	50
4.4. Pengaruh Disinfeksi Virus IMNV dengan Teknik Ozonasi dan Radiasi Sinar UV terhadap <i>Survival Ratio</i> (SR) dan Berat Badan Udang.....	55
4.5. Analisis Kualitas Air Tambak Udang (pH, Suhu, DO (<i>Dissolved Oxygen</i>), NO ₂ , NH ₃ , PO ₄ , kH, dan Salinitas) pada Proses Disinfeksi Virus IMNV .	60
5. KESIMPULAN	107
5.1. Kesimpulan	107
5.2. Saran	108
DAFTAR PUSTAKA.....	109
LAMPIRAN.....	117



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Infectious Myo Necrosis Virus</i> (IMNV) Berbentuk Icosahedral.....	9
Gambar 2.2 Contoh Udang yang Terserang IMNV (Ekor Memerah).....	9
Gambar 2.3 Struktur Resonansi Ozon	11
Gambar 2.4 Prinsip Alat Pembangkit Ozon dengan Cara Peluahan Listrik	12
Gambar 2.5 Pembentukan Ozon Dengan Peluahan Listrik secara Parsial.....	13
Gambar 2.6 Pembentukan Ozon dengan Korona	13
Gambar 2.7 Ilustrasi Alat Disinfeksi UV	17
Gambar 2. 8 Pengrusakkan DNA/RNA oleh Sinar UV	18
Gambar 2.9 Tetrahedra pada Struktur Zeolit.....	22
Gambar 2.10 Pori-pori pada Karbon Aktif (Kanan) dan Contoh Karbon Aktif Granular (Kiri).....	24
Gambar 2. 11 Contoh Pasir Aktif	25
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 3.2 Skema Alat Akuarium A.....	28
Gambar 3.3 Skema Alat Akuarium A Menggunakan UV	28
Gambar 3.4 Skema Alat Akuarium B Menggunakan Ozonator.....	28
Gambar 3.5 Skema alat akuarium C menggunakan ozonator dan UV	29
Gambar 3.6 Susunan zeolit, karbon aktif, dan pasir aktif.....	29
Gambar 3.7 Lampu UV uuntuk Kolam Ikan.....	31
Gambar 3.8 Ozonator yang Digunakan dalam Penelitian.....	31
Gambar 3.9 Termometer Digital	32
Gambar 3.10 Pompa Aerator.....	32
Gambar 3.11 pH Test-Kit.....	33
Gambar 3.12 Nitrit Test-Kit	33
Gambar 3.13 Fosfat Test-Kit.....	33
Gambar 3.14 Amonia Test-Kit	34
Gambar 4. 1 Perbandingan <i>Survival Ratio</i> (SR) untuk Ketiga Macam Akuarium setelah Menjalankan Proses AOP	43
Gambar 4.2 Pengaruh Disinfeksi Virus IMNV Tanpa Teknik Ozonasi dan Radiasi Sinar UV pada SR dan Berat Badan Udang	46
Gambar 4. 3 Struktur Klorofil pada Plankton yang Dapat Rusak oleh Radiasi UV	47
Gambar 4.4 Pengaruh Disinfeksi Virus IMNV dengan Teknik Ozonasi pada SR dan Berat Badan Udang	50
Gambar 4. 5 Udang yang terserang virus IMNV dengan bagian perut dan ekor memerah (atas) serta otot dekat kepala memutih (bawah).....	54
Gambar 4.6 Pengaruh disinfeksi virus IMNV dengan teknik ozonasi dan radiasi sinar UV pada SR dan berat badan udang.....	55
Gambar 4.7 Pengamatan Suhu Pagi terhadap Jumlah Infeksi Virus IMNV pada Udang Proses Disinfeksi di Akuarium A	61
Gambar 4.8 Pengamatan Suhu Pagi terhadap Jumlah Infeksi Virus IMNV pada Udang Proses Disinfeksi di Akuarium C	61
Gambar 4.9 Pengamatan Suhu Pagi terhadap Jumlah Infeksi Virus IMNV pada Udang Proses Disinfeksi di Akuarium B	61

Gambar 4. 11 Pengamatan Suhu Sore terhadap Jumlah Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi di Akuarium B.....	62
Gambar 4.10 Pengamatan Suhu Pagi terhadap Jumlah Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi.....	62
Gambar 4.14 Pengamatan Suhu Sore terhadap DO Sore setelah Proses Disinfeksi Virus IMNV	63
Gambar 4.12 Pengamatan Suhu Sore terhadap Jumlah Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi di Akuarium A	63
Gambar 4.13 Pengamatan Suhu Sore terhadap Jumlah Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi di Akuarium C.....	63
Gambar 4. 17 Pengaruh Suhu terhadap DO pada Proses Disinfeksi Virus IMNV Pagi di Akuarium B	65
Gambar 4. 15 Pengaruh Suhu terhadap DO pada Proses Disinfeksi Virus IMNV Pagi di Akuarium A.....	65
Gambar 4. 16 Pengaruh Suhu terhadap DO pada Proses Disinfeksi Virus IMNV Pagi di Akuarium C	65
Gambar 4.20 Pengaruh Suhu Sore terhadap DO pada Proses Disinfeksi Virus IMNV di Akuarium B	66
Gambar 4. 18 Pengaruh Suhu Sore terhadap DO pada Proses Disinfeksi Virus IMNV di Akuarium A.....	66
Gambar 4. 19 Pengaruh Suhu Sore terhadap DO pada Proses Disinfeksi Virus IMNV di Akuarium C.....	66
Gambar 4. 21 Pengaruh pH terhadap Jumlah Udang Terinfeksi IMNV Pagi c	67
Gambar 4.24 Pengaruh pH terhadap Jumlah Udang Terinfeksi IMNV Pagi di Akuarium B setelah Proses Disinfeksi.....	68
Gambar 4. 22 Pengaruh pH terhadap Jumlah Udang Terinfeksi IMNV Pagi di Akuarium A setelah Proses Disinfeksi	68
Gambar 4. 23 Pengaruh pH terhadap Jumlah Udang Terinfeksi IMNV Pagi di Akuarium C setelah Proses Disinfeksi.....	68
Gambar 4.25 Pengaruh pH terhadap Jumlah Udang Terinfeksi IMNV Sore di Akuarium B setelah Proses Disinfeksi.....	69
Gambar 4. 26 Pengaruh pH terhadap Jumlah Udang Terinfeksi IMNV Sore di Akuarium A setelah Proses Disinfeksi	69
Gambar 4. 27 Pengaruh pH terhadap Jumlah Udang Terinfeksi IMNV Sore di Akuarium C setelah Proses Disinfeksi.....	69
Gambar 4. 28 Pengaruh pH terhadap Jumlah Udang Terinfeksi IMNV Sore setelah Proses Disinfeksi.....	70
Gambar 4. 29 Pengaruh DO terhadap Berat Badan Udang (W) Pagi di Akuarium A setelah Proses Disinfeksi.....	72
Gambar 4. 30 Hubungan DO dan Berat Badan Udang (W) Pagi di Akuarium C setelah Proses Disinfeksi.....	72
Gambar 4. 31 Hubungan DO dan Berat Badan Udang (W) Pagi di Akuarium B setelah Proses Disinfeksi.....	73
Gambar 4. 32 Hubungan DO dan Berat Badan Udang (W) Sore di Akuarium A setelah Proses Disinfeksi.....	73
Gambar 4. 33 Hubungan DO dan Berat Badan Udang (W) Sore di Akuarium B setelah Proses Disinfeksi.....	73

Gambar 4. 34 Hubungan DO dan Berat Badan Udang (W) Sore di Akuarium C setelah Proses Disinfeksi.....	73
Gambar 4. 37 Pengaruh DO Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi di Akuarium B.....	75
Gambar 4. 35 Pengaruh DO Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi di Akuarium A.....	75
Gambar 4. 36 Pengaruh DO Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi di Akuarium C.....	75
Gambar 4.38 Pengaruh DO Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi.....	76
Gambar 4. 39 Pengaruh DO Sore terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi.....	76
Gambar 4.42 Pengaruh DO Sore terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi di Akuarium B.....	77
Gambar 4. 40 Pengaruh DO Sore terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi di Akuarium A.....	77
Gambar 4. 41 Pengaruh DO Sore terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi di Akuarium C.....	77
Gambar 4.43 Contoh Udang yang Berenang di Permukaan karena Kekurangan Oksigen	78
Gambar 4. 46 Pengaruh Nitrit Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi di Akuarium B	79
Gambar 4. 44 Pengaruh Nitrit Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi	79
Gambar 4. 45 Pengaruh Nitrit Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi di Akuarium C	79
Gambar 4. 47 Pengaruh Nitrit Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi	80
Gambar 4. 48 Pengaruh Nitrit Sore terhadap Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi	80
Gambar 4. 51 Pengaruh Nitrit Sore terhadap Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi di Akuarium B	81
Gambar 4. 49 Pengaruh Nitrit Sore terhadap Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi di Akuarium A	81
Gambar 4. 50 Pengaruh Nitrit Sore terhadap Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi di Akuarium C	81
Gambar 4. 54 Pengaruh Amonia Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi di Akuarium B.....	83
Gambar 4. 52 Pengaruh Amonia Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi di Akuarium A.....	83
Gambar 4. 53 Pengaruh Amonia Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi di Akuarium C.....	83
Gambar 4. 55 Pengaruh Amonia Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi.....	84
Gambar 4. 56 Pengaruh Amonia Sore terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi.....	84

Gambar 4. 59 Pengaruh Amonia Sore terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi di Akuarium B.....	85
Gambar 4. 57 Pengaruh Amonia Sore terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi di Akuarium A.....	85
Gambar 4. 58 Pengaruh Amonia Sore terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi di Akuarium C.....	85
Gambar 4. 62 Pengaruh Fosfat Pagi pada Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi di Akuarium B	87
Gambar 4. 60 Pengaruh Fosfat Pagi pada Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi di Akuarium A	87
Gambar 4. 61 Pengaruh Fosfat Pagi pada Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi di Akuarium C	87
Gambar 4. 63 Pengaruh Fosfat Pagi pada Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi	88
Gambar 4. 64 Pengaruh Fosfat Sore pada Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi	88
Gambar 4. 67 Pengaruh Fosfat Sore pada Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi di Akuarium B	89
Gambar 4. 65 Pengaruh Fosfat Sore pada Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi di Akuarium A	89
Gambar 4. 66 Pengaruh Fosfat Sore pada Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi di Akuarium C	89
Gambar 4.68 Ikatan Fosfat pada DNA sebagai Salah Satu Sumber Fosfat di Air	90
Gambar 4.69 Struktur Resonansi Ortofosfat Inorganik dalam Air Tambak	91
Gambar 4. 70 Udang Mati Memiliki Ciri Keracunan dengan Badan Membiru saat Konsentrasi Fosfat Tinggi.....	91
Gambar 4. 73 Hubungan kH dan pH Pagi setelah Proses Disinfeksi Virus IMNV di Akuarium B	92
Gambar 4. 71 Hubungan kH dan pH Pagi setelah Proses Disinfeksi Virus IMNV di Akuarium A.....	92
Gambar 4. 72 Hubungan kH dan pH Pagi setelah Proses Disinfeksi Virus IMNV di Akuarium C.....	92
Gambar 4.76 Hubungan kH dan pH Sore setelah Proses Disinfeksi Virus IMNV di Akuarium B	93
Gambar 4. 74 Hubungan kH dan pH Sore setelah Proses Disinfeksi Virus IMNV di Akuarium A.....	93
Gambar 4. 75 Hubungan kH dan pH Sore setelah Proses Disinfeksi Virus IMNV di Akuarium C	93
Gambar 4. 77 Pengaruh Karbonat <i>Hardness</i> Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang di Akuarium A.....	95
Gambar 4. 78 Pengaruh Karbonat <i>Hardness</i> Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang di Akuarium C.....	95
Gambar 4. 79 Pengaruh Karbonat <i>Hardness</i> Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang di Akuarium B.....	96
Gambar 4.80 Pengaruh Karbonat <i>Hardness</i> Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV .	96
Gambar 4. 83 Pengaruh Karbonat <i>Hardness</i> Sore terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang di Akuarium B.....	97

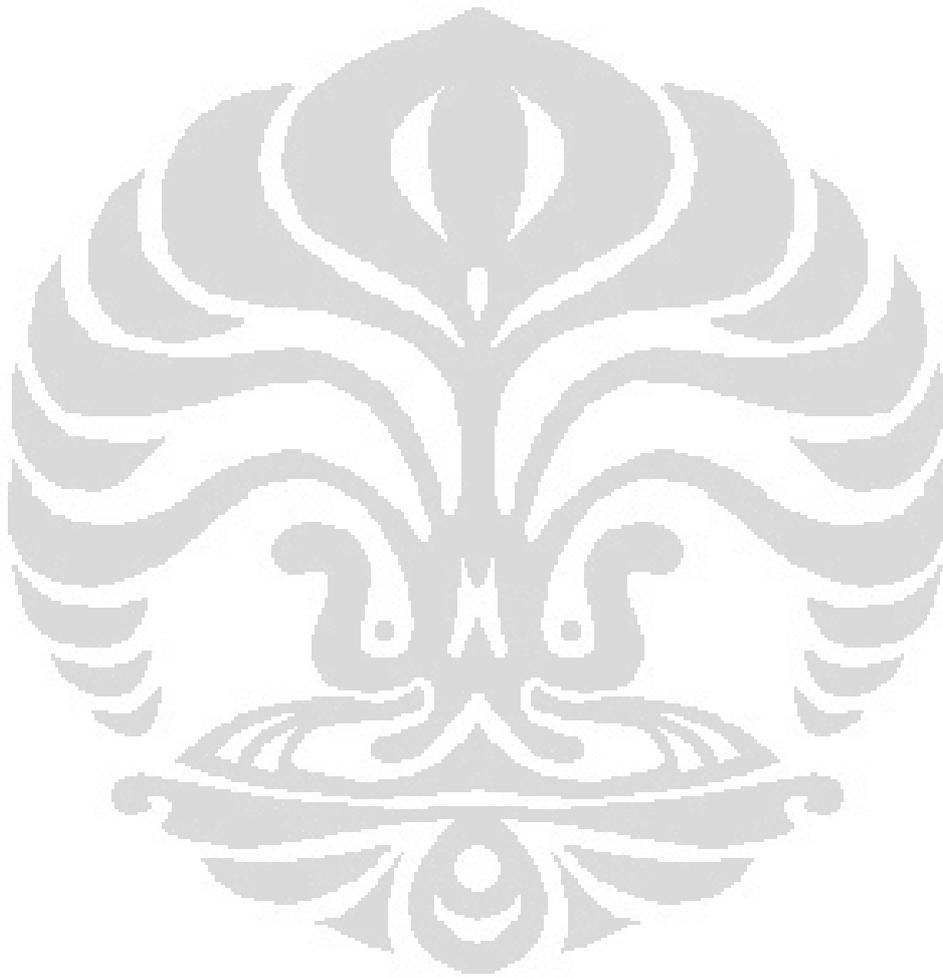
Gambar 4. 81 Pengaruh Karbonat <i>Hardness</i> Sore terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang di Akuarium A.....	97
Gambar 4. 82 Pengaruh Karbonat <i>Hardness</i> Sore terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang di Akuarium C.....	97
Gambar 4.84 Pengaruh Karbonat <i>Hardness</i> Sore terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang.....	98
Gambar 4. 87 Pengaruh Salinitas Pagi terhadap Berat Badan Udang (W) setelah Proses Disinfeksi di Akuarium B	99
Gambar 4. 85 Pengaruh Salinitas Pagi terhadap Berat Badan Udang (W) setelah Proses Disinfeksi di Akuarium A.....	99
Gambar 4. 86 Pengaruh Salinitas Pagi terhadap Berat Badan Udang (W) setelah Proses Disinfeksi di Akuarium C	99
Gambar 4.88 Pengaruh Salinitas Pagi terhadap Berat Badan Udang (W) setelah Proses Disinfeksi	100
Gambar 4. 89 Pengaruh Salinitas Sore terhadap Berat Badan Udang (W) setelah Proses Disinfeksi di Akuarium C	100
Gambar 4. 90 Pengaruh Salinitas Sore terhadap Berat Badan Udang (W) setelah Proses Disinfeksi di Akuarium A.....	100
Gambar 4. 91 Pengaruh Salinitas Sore terhadap Berat Badan Udang (W) setelah Proses Disinfeksi di Akuarium B	101
Gambar 4.92 Pengaruh Salinitas Sore terhadap Berat Badan Udang (W) setelah Proses Disinfeksi	101
Gambar 4.93 Pengaruh Salinitas Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi di Akuarium A	102
Gambar 4. 94 Pengaruh Salinitas Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi di Akuarium B	103
Gambar 4. 95 Pengaruh Salinitas Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi di Akuarium C	103
Gambar 4. 96 Pengaruh Salinitas Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi	104
Gambar 4. 97 Pengaruh Salinitas Sore terhadap Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi di Akuarium A	104
Gambar 4. 98 Pengaruh Salinitas Sore terhadap Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi di Akuarium C	104
Gambar 4. 99 Pengaruh Salinitas Sore terhadap Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi di Akuarium B	105
Gambar 4.100 Pengaruh Salinitas Sore terhadap Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi	105

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Volume Ekspor Udang Indonesia di Pasar Produktif 2006 – 2011	7
Tabel 2. 2 Sifat Fisika Ozon.....	10
Tabel 2. 3 Potensial Oksidasi Relatif Beberapa Senyawa Disinfektan.....	11
Tabel 2. 4 Data Inaktivasi Virus Menggunakan Ozon.....	14
Tabel 2. 5 Komparasi Karakteristik Jenis-jenis Lampu UV	17
Tabel 2. 6 Persyaratan Kualitas Air Pemeliharaan Udang <i>Vannamei</i>	19
Tabel 2. 7 Persyaratan Kualitas Air Pasok Pemeliharaan Udang <i>Vannamei</i>	20
Tabel 2. 8 Komponen Penyusun Zeolit Alam Lampung	24
Tabel 3. 1 Daftar Alat yang Digunakan dalam Penelitian	30
Tabel 3. 2 Bahan yang Digunakan dalam Penelitian	34
Tabel 4. 1 Data Percobaan pada Analisis Produktivitas Ozonator.....	45
Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Uji Produktivitas Ozon	45
Tabel 4. 3 Hasil Pengamatan Udang Mengenai Gejala Klinis dan Jumlah Udang Tiap Pengamatan pada Akuarium A (Tanpa Teknik Ozonasi dan Radiasi Sinar UV)	48
Tabel 4. 4 Hasil Pengamatan Mengenai Gejala Klinis dan Jumlah Udang Tiap Pengamatan pada Akuarium B (Menggunakan Teknik Ozonasi)	51
Tabel 4. 5 Hasil Pengamatan Mengenai Gejala Klinis dan Jumlah Udang Tiap Pengamatan pada Akuarium C (Menggunakan Teknik Ozonasi dan Radiasi Sinar UV)	57

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Uji Produktivitas Ozon	117
Lampiran 2. Lampiran Uji Kualitas Air	118
Lampiran 3. Karakteristik Zeolit yang Digunakan sebagai Media Filter	121
Lampiran 4 Jumlah Bakteri dalam Air Tambak	121



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sejak musim panen udang pada tahun 2006 yang lalu, volume ekspor udang Indonesia menurun 22,69% akibat serangan virus IMNV (*Infectious Myo Necrosis Virus*). Salah satu ekspor udang Indonesia yang terbesar adalah ke Uni Eropa. Pada tahun 2006 volume ekspor udang Indonesia ke Uni Eropa sebanyak 35.232 ton, pada tahun 2007 menurun 17,44% menjadi 29.087 ton, pada tahun 2008 menurun sebesar 7,17% menjadi 24.032 ton, pada tahun 2009 mengalami penurunan kembali menjadi 14.013 ton, pada tahun 2010 mengalami penurunan menjadi 12.291 ton, dan pada tahun 2011 masih terjadi penurunan menjadi 9.352 ton (AP5I, 2012). Tambak-tambak di Lampung turut mengalami serangan virus IMNV. Hal ini mengakibatkan pengusaha budidaya udang gulung tikar. Oleh karena itu, disinfeksi virus IMNV diperlukan untuk meningkatkan produksi udang sebagai komoditi ekspor dari Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung.

Ozonasi menunjukkan hasil yang sangat memuaskan dalam proses inaktivasi bakteri dan virus pencemar air (Bismo, 2004). Ozonasi dapat menginaktivasi virus karena terjadi reaksi disinfeksi spesifik dengan materi genetik virus. Di sisi lain, sinar UV dapat menginaktivasi virus dengan merusak struktur DNA bakteri dan RNA virus tanpa produk samping (Johnson, 2010). Selain itu, teknologi oksidasi lanjut ozon dan radiasi sinar UV pun dapat meningkatkan efektivitas inaktivasi mikroorganisme (White, 1992, Oh, 2003).

Disinfeksi virus dalam biota air dapat dilakukan baik dengan teknik ozonasi maupun radiasi sinar UV, ataupun keduanya. Penelitian yang spesifik tentang pemanfaatan teknologi ozon untuk disinfeksi biota air telah dilakukan oleh Wenny Halim (2007), dengan melakukan kombinasi teknik ozonasi dan sinar UV, yang efektif untuk menurunkan bakteri *Salmonella typhimurium* pada air danau UI selama 5 menit dengan laju alir 100 L/jam. Selain itu, penggunaan teknologi ozon dan zeolit terbukti efektif untuk disinfeksi hama bakteri *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* pada tanaman padi (Yanuarta, 2011).

Kinerja TiO₂-ZAL-Karbon aktif meningkat 2–3 kali jika diaplikasikan secara berbarengan sehingga efektif pada proses disinfeksi *E. coli*, oksidasi fenol, dan reduksi Cr (VI) (Kuncorojati, 2010). Sinar UVC efektif untuk penyisihan fenol pada aplikasi teknologi fotokatalisis (Slamet, 2008). Teknologi ozon efektif dalam mengurangi konsentrasi besi dan mangan di dalam air dikombinasikan dengan filtrasi, mikroflokulasi, dan adsorpsi (Bismo, 2009).

Ozonasi dengan konsentrasi lebih besar dari 0,1 mg/L dapat menghasilkan 90% inaktivasi virus (Douglas, 2007). Ozonasi dengan dosis 0,1–0,25 mg/L dapat menginaktivasi rotavirus (famili yang dekat dengan famili totivirus) dalam waktu 6 – 8 menit pada suhu 4°C (Vaughn, 1987). Kombinasi O₃-UV telah diuji coba pada penghilangan *by-product* dari proses disinfeksi dan terbukti dapat mengurangi konsentrasi senyawa organik seperti *trihalomethanes*, *haloacetic acids*, dan total karbon organik hingga 50% (Chin, 2005). Dari beberapa penelitian yang telah disebutkan, teknologi ozon dan radiasi sinar UV tidak hanya efektif pada proses disinfeksi mikroorganisme, tetapi juga efektif pada proses penurunan senyawa tertentu dalam air.

Disinfeksi virus IMNV dalam penelitian ini dilakukan baik dengan menggunakan teknik ozonasi maupun radiasi sinar UV. Penelitian ini menggunakan zeolit, karbon aktif, dan pasir aktif sebagai media filter dengan ukuran standar komersial serta volume air 54 L. Proses ozonasi dilakukan setiap 15 menit dengan jeda waktu 1 jam dalam 24 jam untuk satu perlakuan. Proses disinfeksi dilakukan secara komperhensif dengan melakukan pengamatan pertumbuhan udang dan kualitas air dalam periode minimal selama 12 hari untuk satu kali pengamatan. Hal ini dilakukan dengan mengacu pada jurnal penelitian mengenai udang dengan penyakit WSSV (*White Spot Syndrome Virus*) yang menggunakan 50 L air dan melakukan pengamatan selama 5 hari (Rahman, 2007). Proses disinfeksi yang menggunakan radiasi sinar UV dilakukan dengan cara melewatkan air tambak udang melewati lorong sinar UV sedemikian rupa sehingga diharapkan dapat berlangsung secara efektif. Air tambak disirkulasi masuk akuarium, sedangkan ozon akan dialirkan melalui pompa aerator.

Penelitian ini akan menghasilkan perlakuan disinfeksi yang tepat untuk menginaktivasi virus *myo* pada udang *Litopenaeus vannamei*. Disinfeksi virus

myo diharapkan dapat meningkatkan produksi. Untuk tercapainya tujuan penelitian ini diupayakan penelitian ini dapat dilakukan pada skala laboratorium.

1.2. Rumusan Masalah

Proses disinfeksi virus IMNV dengan menggunakan teknologi ozon dan radiasi sinar UV diharapkan dapat membantu meningkatkan produksi udang di Indonesia. Namun, di sisi lain, sesungguhnya penelitian tentang proses disinfeksi IMNV menggunakan teknologi ozon dan radiasi sinar UV masih terbatas. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan investigasi lebih lanjut mengenai:

- Bagaimanakah dampak ozonasi dan radiasi sinar UV terhadap kualitas air budidaya udang?
- Bagaimanakah ozonasi dan radiasi sinar UV dapat berpengaruh terhadap ketahanan udang akibat IMNV?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan utama dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh perlakuan teknologi disinfeksi dengan proses oksidasi lanjut (AOP) terhadap ketahanan udang sebagai upaya menekan IMNV dalam air tambak udang sehingga dapat meningkatkan produksi dan ekspor udang dari Kabupaten Pesawaran, yang bernilai sebagai devisa negara.

1.4. Batasan Masalah

Ruang lingkup penelitian ini ialah:

1. Menggunakan beberapa akuarium yang sejenis, dengan ukuran 60 x 30 x 40 cm,
2. Ozonasi dilakukan secara periodik (tak kontinyu) dalam 24 jam,
3. Menggunakan ozonator AOSN tipe BL-2000, 15 Watt, buatan Hongkong
4. Menggunakan filter terdiri dari zeolit, karbon aktif, dan pasir aktif,
5. Disinfeksi virus IMNV menggunakan teknologi ozon dan radiasi sinar UV dilakukan secara komperhensif dengan melakukan pengamatan

pertumbuhan udang dan kualitas air dalam periode minimal selama 12 hari untuk satu kali pengamatan,

6. Menggunakan lampu UV dengan panjang gelombang 254 nm 5 watt,
7. Menggunakan air tambak udang di Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung yang diaplikasikan dalam akuarium skala laboratorium.

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam makalah ini dilakukan dengan membagi tulisan menjadi empat bab, yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Meliputi latar belakang penelitian, perumusan masalah yang dibahas, tujuan dilakukannya penelitian, serta sistematika penulisan skripsi ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tinjauan pustaka yang menjadi dasar penelitian yang meliputi data target produksi udang Indonesia yang belum tercapai dan penurunan jumlah ekspor udang ke beberapa negara, pengertian disinfeksi, penjelasan mengenai virus IMNV, ozon, sinar UV, serta bagaimana ozon, sinar UV, O₃/UV dapat menginaktivasi virus, penjelasan mengenai proses adsorpsi dalam penjernihan air, dan standar kualitas air tambak udang.

BAB III METODE PENELITIAN

Berisi diagram alir penelitian, peralatan penelitian, bahan penelitian dan prosedur yang dilakukan dalam penelitian.

BAB IV PEMBAHASAN

Pada bab ini akan diuraikan mengenai data hasil penelitian dan analisa terhadap hasil yang diperoleh tersebut. Analisa yang dilakukan berupa analisa data berdasarkan literatur.

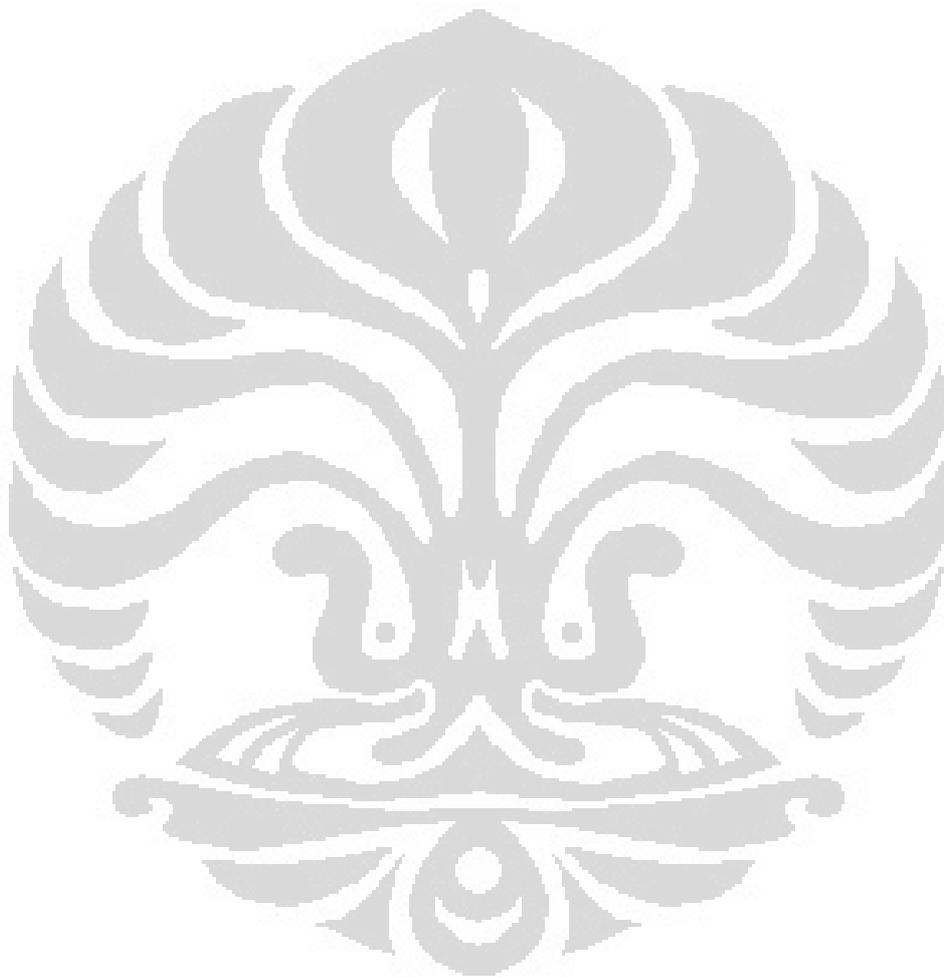
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada subbab kesimpulan merupakan rangkuman dari seluruh proses penelitian beserta hasilnya. Pada subbab saran terdapat beberapa

hal yang perlu diperbaiki dalam pelaksanaan penelitian ini agar diperoleh hasil yang lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Indonesia merupakan negara penghasil udang terbesar keempat setelah Cina, Thailand, dan Vietnam. Namun, akhir-akhir ini produksinya merosot tajam karena terjangkit virus IMNV (*Infectious Myo Necrosis Virus*) yang mematikan udang. Virus IMNV mulai ditemukan di Indonesia pada tahun 2006. Serangan virus IMNV mempengaruhi jumlah produksi udang yang akan dikirimkan sebagai komoditas ekspor perikanan Indonesia. Total penurunan produksi udang periode 2006 – 2011 adalah 17,56% (KKP, 2012). Hal ini menyebabkan penurunan devisa negara hingga US \$ 200 juta (Mardiani, 2012).

Agar penurunan devisa yang sangat besar tidak terjadi kembali, perlu dilakukan disinfeksi virus IMNV. Disinfeksi virus dapat dilakukan dengan berbagai metode seperti ozonasi, klorinasi, menggunakan radiasi sinar UV, dan aplikasi teknologi oksidasi lanjut atau AOP (*Advance Oxidation Process*), baik berupa perokson (O_3/H_2O_2) ataupun teknik ozonasi dan UV (O_3/UV). Dalam penelitian ini, proses oksidasi lanjut yang diterapkan adalah teknik ozonasi dan UV. Kombinasi teknik ozonasi dan UV tersebut dilakukan karena keduanya dianggap paling efektif dalam mendisinfeksi bakteri, virus, dan patogen lainnya.

Di sisi lain, penelitian tentang disinfeksi virus IMNV dalam tambak udang sesungguhnya masih terbatas sehingga penelitian ini diharapkan dapat berdampak positif terhadap peningkatan produksi udang khususnya di Kabupaten Pesawaran dan juga di Provinsi Lampung ataupun Indonesia pada umumnya.

2.1. Penurunan Ekspor dan Target Produksi Udang

Budidaya udang saat ini sedang mengalami gejolak karena adanya serangan IMNV. Namun, penurunan produksi udang di Indonesia sesungguhnya baru terjadi pada tahun 2007. Penurunan produksi udang pada tahun 2007 sebesar 0,1% dari tahun sebelumnya dengan volume produksi tahun 2007 sebesar 352.220 ton (KKP, 2012). Selanjutnya, pada tahun 2009, volume produksi udang kembali menurun menjadi sebesar 17,46% dengan volume produksi 338.060 ton. Namun, pada tahun 2010 dan 2011 yang lalu produksi udang sudah mulai meningkat dengan volume produksi masing-masing 352.600 ton dan 381.288 ton (KKP,

2012). Namun, berdasarkan hasil survei dan kunjungan ke beberapa tambak udang di Provinsi Lampung, serangan virus IMNV sesungguhnya masih ada, bahkan cukup signifikan akibatnya hingga hari ini seringkali mengharuskan para petambak udang untuk memanen udangnya sebelum waktu panen.

Penurunan produksi udang dapat berpengaruh terhadap jumlah udang yang akan diekspor. Hal ini dapat dilihat dari volume ekspor udang di Indonesia yang mulai menurun dari tahun 2007 dan menurun kembali pada tahun 2009. Penurunan volume ekspor pada tahun 2007 sebesar 6,9% dengan penurunan devisa sebesar US\$ 86,028 juta dibandingkan dengan tahun 2006. Penurunan volume ekspor pada tahun 2009 sebesar 31,17% dengan penurunan devisa sebesar US\$ 0,2 miliar dibandingkan dengan tahun 2008. Oleh karena itu, disinfeksi virus IMNV perlu dilakukan agar produksi udang sebagai komoditas ekspor meningkat dan penurunan devisa negara yang sangat besar tidak terjadi kembali. Volume ekspor udang Indonesia ke pasar produktif, sebagai berikut:

Tabel 2.1 Volume Ekspor Udang Indonesia di Pasar Produktif 2006 – 2011

Tahun	Amerika Serikat	Jepang	Uni Eropa
2006	61235	50581	35232
2007	60297	50581	29087
2008	58364	44631	24032
2009	69328	34799	14013
2010	61095	31992	12291
2011	70334	30752	9352

Sumber: (AP5I, 2012)

Nilai ekspor udang Lampung turun US\$ 1,6 juta pada Januari 2012 dibandingkan Desember 2011 (BPS, 2012). Produksi udang pada tahun 2011 tidak mencapai target (420.000 ton), jumlah produksi 381.288 ton. Namun, pada tahun 2012 pemerintah menargetkan ekspor udang sebesar 300.000 ton bernilai US\$ 2 miliar yang berarti dua kali lipat jumlah volume ekspor udang pada tahun 2011 sebesar 150.000 ton bernilai US\$ 1 miliar. Oleh karena itu, disinfeksi virus IMNV

dengan ozonasi dan sinar UV perlu dilakukan untuk mengupayakan peningkatan produksi udang kembali.

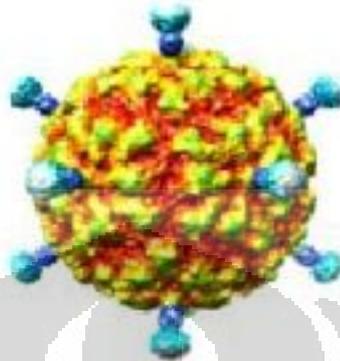
2.2. Virus IMNV (*Infectious Myo Necrosis Virus*)

Virus merupakan parasit berukuran mikroskopik yang menginfeksi sel organisme biologis. Virus hanya dapat bereproduksi di dalam material hidup dengan menginvasi dan memanfaatkan sel makhluk hidup karena virus tidak memiliki perlengkapan selular untuk bereproduksi sendiri. Pada umumnya, virus stabil pada kondisi pH 5 – 9. Virus IMNV dapat membunuh udang *L. vannamei* karena setelah masuk ke dalam tubuh dan sel-sel udang, virus tersebut bereproduksi sangat cepat sehingga jumlahnya sangat banyak untuk menginfeksi dan merusak tubuh udang (WorsleySchool, 2012). Kondisi yang mendukung virulensi IMNV, yaitu suhu 27–36°C dan salinitas 24 – 31 ppt (Puspitasari, 2010).

Infeksi *myo necrosis* adalah penyakit viral yang disebabkan oleh IMNV, suatu putatif totivirus. Partikel IMNV berbentuk ikosahedral dan berdiameter 40 nm seperti pada gambar 2.1 (Tang, 2008). Udang yang terserang virus IMNV terutama adalah *Litopenaeus vannamei* (induk utama). Analisis pilogenetik berdasarkan RNA-dependent RNA polymerase (RdRp) sangat dekat dengan virus *Giardia lamblia*, anggota famili *totivirus*, genus *myonecivirus*. Karena strukturnya (*non-enveloped* RNA), virus IMNV dapat tertimbun di usus dan feses burung laut yang memakan udang mati. Virus udang sangat spesifik termasuk virus IMNV. Virus udang lebih spesifik ketika virus tersebut lebih lama berhubungan dengan *carrier* (udang *vannamei*). Jadi, virus udang tidak membahayakan kesehatan manusia jika udang dikonsumsi (Guzman, 1997).

Gejala serangan khas, pangkal ekor berubah berwarna merah, adanya warna putih pada otot yang diserang terutama di bagian perut dan ujung ekor (Lightner, 2004), berenang di dasar permukaan air, dan terjadi kematian secara bertahap. Udang yang terserang virus IMNV memiliki tingkat kematian sekitar 40–70% (Nunes, 2004). Virus IMNV pun menyerang saraf-saraf penghubung, haemosit, dan organ limfoid udang *vannamei* (OIE, 2010). Umumnya virus IMNV menyerang udang yang berukuran 5 gram ke atas (mulai umur 50 hari).

Oleh karena itu, hal-hal tersebut yang menyebabkan virus IMNV mematikan bagi udang *vannamei* sehingga perlu didisinfeksi.



Gambar 2.1 *Infectious Myo Necrosis Virus (IMNV)* Berbentuk Icosahedral (Jinghua Tang and Timothy S. Bakera, 2008)



Gambar 2.2 Contoh Udang yang Terserang IMNV (Ekor Memerah)

Penyebaran virus ini melalui media air. Oleh karena itu, proses disinfeksi menggunakan ozon dan sinar UV perlu dilakukan untuk mensterilkan air sebagai media pertumbuhan udang.

2.3. Teknologi Disinfeksi Virus dengan Ozon

Sebagai salah satu disinfektan yang kuat, molekul ozon terbentuk dari tiga atom oksigen (trioksigen). Ozon (O_3) memiliki sifat yang tidak stabil dan memiliki kelarutan dalam air ± 20 kali lebih besar dibandingkan dengan kelarutan oksigen. Ozon berwarna biru pada suhu ruang dan memiliki bau yang tajam. Ozon

dapat dideteksi oleh indera penciuman manusia pada konsentrasi 0,01–0,05 ppm. Ozon dapat meledak pada konsentrasi 240 g/m³ atau 20% di udara (Tchobanoglous, 2003). Ozon dapat berfungsi sebagai disinfektan yang dapat menginaktivasi virus, bakteri, jamur, dan mikroorganisme lainnya. Ozon dikenal pula dengan sebutan oksigen teraktivasi. Sifat fisika ozon dapat terlihat pada tabel 2.2, sebagai berikut:

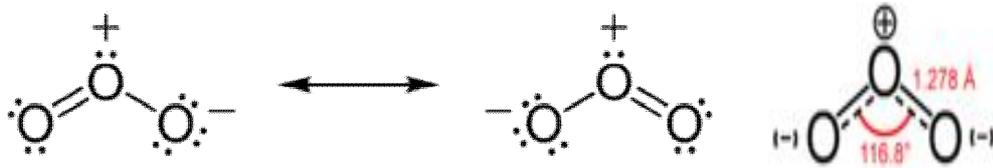
Tabel 2.2 Sifat Fisika Ozon

Karakteristik	Nilai
Berat Molekul (g/mol)	48
Densitas (g/mL)	1,666
Volume Spesifik (m ³ /kg)	0,464
Titik Didih (°C)	-111,9
Titik Leleh (°C)	-192,5
Temperatur Kritis (°C)	-12,1
Tekanan Kritis (kPa)	5532,3

Sumber: (Ozone, 2011)

Wenny Halim telah melakukan pengujian disinfeksi *Salmonella typhirium* pada air tambak udang dengan menggunakan teknologi ozon dan radiasi sinar UV. Proses disinfeksi dilakukan dengan menguji air danau UI dan air danau tambak. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan laju sirkulasi aliran masuk proses. Penelitian dilakukan dengan tiga metode, disinfeksi ozon, ozon dan sinar UV, dan sinar UV.

Ozon dapat berbahaya bagi sistem pernapasan makhluk hidup karena potensial reduksinya yang tinggi. *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) menetapkan batas paparan maksimal terhadap ozon untuk manusia, yaitu 0,06 ppm dalam waktu delapan jam (EPA, 2011). Tiga atom oksigen pada molekul ozon tersusun pada suatu sudut tumpul, atom oksigen pusat terikat dengan dua atom oksigen dengan jarak yang ekuivalen, sudut O – O – O sebesar 116,8° dan panjang ikatannya adalah 1,278 Å seperti pada gambar 2.3 (Ozone, 2011).



Gambar 2.3 Struktur Resonansi Ozon

(Ozone, 2011)

Ozon memiliki dua fungsi utama, yaitu oksidator dan disinfektan atau gabungan keduanya. Ozon adalah zat pengoksidasi yang sangat baik seperti pada tabel 2.3. Dalam pengolahan air, ozon sangat efektif dalam menghilangkan rasa dan bau yang disebabkan oleh material organik dan material anorganik yang bisa dioksidasi seperti ion besi, mangan, dan sulfida. Konsentrasi ozon yang dibutuhkan dan waktu reaksi tergantung pada tipe dan konsentrasi polutan dalam air yang bisa dioksidasi (Von, 2003).

Tabel 2.3 Potensial Oksidasi Relatif Beberapa Senyawa Disinfektan

Senyawa Disinfektan	Potensial Oksidasi (Volt)	Potensial Oksidasi Relatif*
Fluorin	3,06	2,25
Radikal Hidroksil	2,80	2,05
Atom Oksigen	2,42	1,78
Ozon	2,07	1,52
Hidrogen Peroksida	1,77	1,30
Radikal Perhidroksil	1,70	1,25
Asam Hipokhlorida	1,49	1,10
Khlorin	1,36	1,00

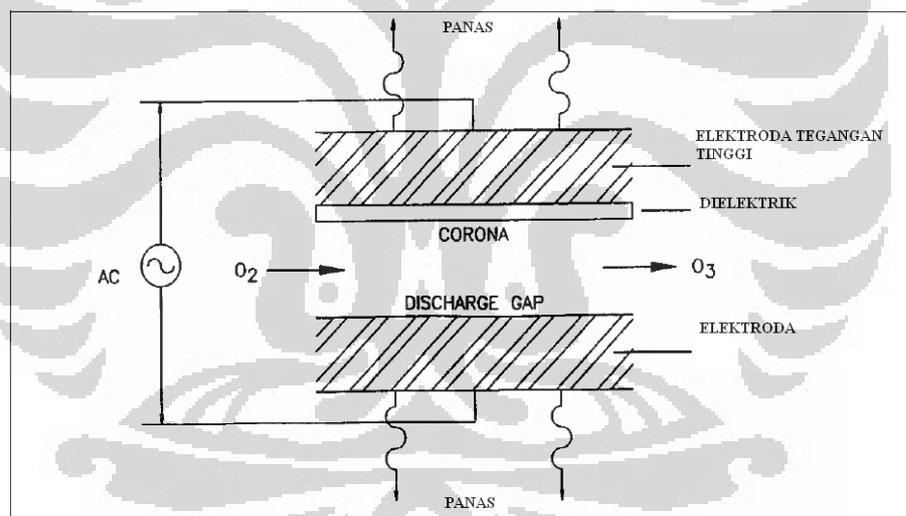
*berdasarkan pada khlorine = 1,00, Sumber: (Rice, 1989)

Ozon artifisial dapat terbentuk bila aliran gas yang mengandung oksigen dialirkan di dalam ruangan antara dua elektroda yang dialiri listrik tegangan tinggi, yaitu ruang dua-elektroda dengan jarak tertentu (*discharge gap*) dan dipisahkan oleh suatu material dielektrik (biasanya material kaca, gelas atau

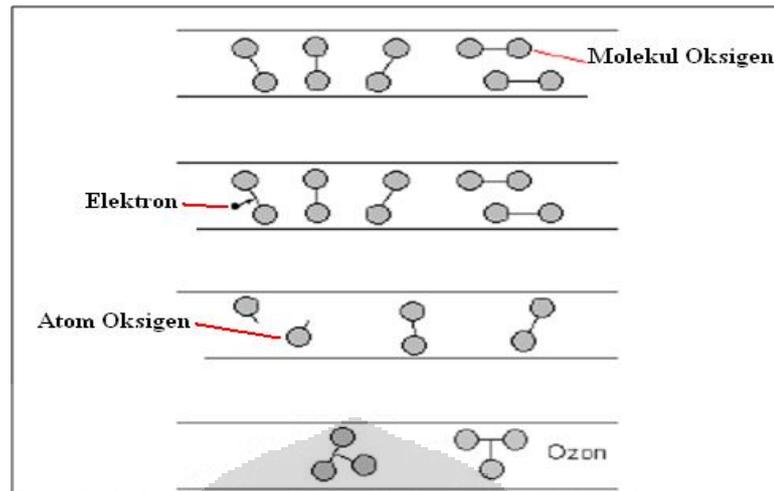
keramik). Gas yang mengandung oksigen tersebut dapat berupa gas oksigen murni maupun udara (Alsheyab, 2007). Untuk aplikasi dalam skala besar dan komersial, pembentukan ozon yang paling banyak digunakan adalah dengan cara *corona discharge* (Alsheyab, 2007). Metode *corona discharge* dilakukan dengan melewati gas oksigen kering melewati *corona discharge*. Peluahan terputus-putus (*intermittent discharge*) yang berlangsung di antara dua elektroda akan mengakibatkan elektron-elektron bertabrakan dengan molekul oksigen sehingga terbentuklah senyawa ozon (O_3) (Gambar 2.3 dan 2.4). Reaksi pembentukan ozon pada corona discharge, sebagai berikut:



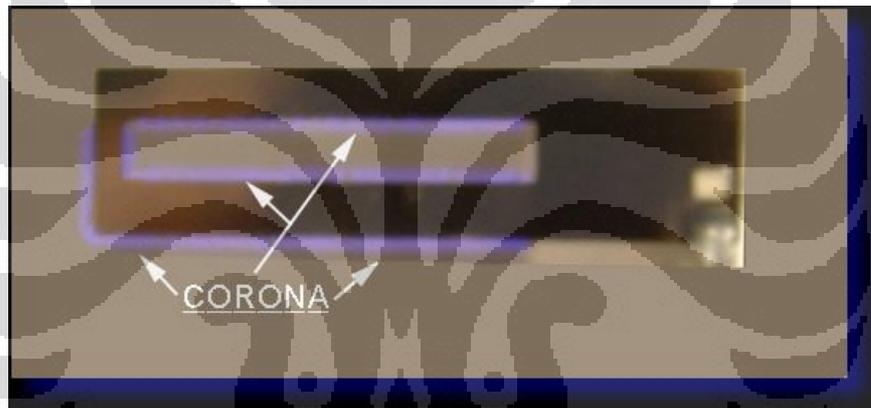
M adalah molekul lainnya dalam gas pada waktu yang bersamaan.



Gambar 2.4 Prinsip Alat Pembangkit Ozon dengan Cara Peluahan Listrik
(Said, 2007)



Gambar 2.5 Pembentukan Ozon Dengan Peluahan Listrik secara Parsial
(Said, 2007)



Gambar 2.6 Pembentukan Ozon dengan Korona
(Ozone, 2008)

Terdapat tiga jenis teknologi pembentukan ozon dengan *corona discharge*, yaitu frekuensi rendah (50–100 Hz), frekuensi menengah (100–1000 Hz), dan frekuensi tinggi (>1000 Hz). Dalam penelitian ini menggunakan ozonator dengan frekuensi 50 Hz. Energi elektrik yang menuju generator ozon muatan korona menghasilkan panas sehingga perlu adanya pendingin untuk menghilangkan atau memindahkan panasnya. Ozon dapat terbentuk dengan radiasi sinar ultraviolet matahari terhadap atom oksigen. Ozon memiliki sifat mudah terdekomposisi pada waktu yang tidak lama. Ozon harus diproduksi *in-situ* sehingga langsung dapat digunakan. Efektivitas kinerja ozon bergantung pada seberapa besar penerimaan

bakteri, virus, dan patogen lainnya terhadap ozon, waktu kontak ozon dengan mikroorganisme, dan dosis ozon (Solomon, 1998).

Ozon diproduksi saat molekul oksigen terdisosiasi oleh sumber energi menjadi atom oksigen dan bertemu dengan molekul O₂, membentuk gas tidak stabil, ozon (O₃), yang digunakan untuk disinfeksi air. Pengolahan air dilakukan dengan mengalirkan listrik 15 kVAC melewati celah pelepasan dielektrik yang terdiri dari oksigen. Efektivitas disinfeksi menggunakan ozon bergantung pada waktu kontak, kerentanan organisme, dan konsentrasi ozon. Dosis ozon sebagai disinfektan untuk pengelolaan air <0,1–1 mg/L (EPA, 1999a). Dosis ozon yang digunakan untuk disinfeksi virus sekitar 0,1–0,6 mg/L (ExcelTek, 2011), data dosis ozon yang telah diaplikasikan untuk disinfeksi virus menggunakan ozon terlihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Data Inaktivasi Virus Menggunakan Ozon

Jenis Virus	Dosis Ozon (mg/L)	Waktu (menit)	pH	Suhu (°C)	Inaktivasi (%)	Referensi
Rekomendasi semua jenis virus	0,4	4			99,99	EPA 1999
Adenovirus, 7A	0,3	3			99,99	EPA 1999
Enterovirus	0,3	4			99,99	EPA 1999
Rotavirus SA 11 simian	0,1 – 0,25	0,12 – 0,19	6 – 8	4	99,9	Vaughn, et.al 1987
Rotavirus Wa Human	1,9 – 15,9	1		22	90	Khadre dan Yousef 2001
Poliovirus	0,23 – 0,25	1,67	7	24	99,9	(Farooq, 1983)
Giardia Lambliia	0,8 – 1,5	1 – 5			99,99	EPA 1999 dan (Widmer, 2002)

Sumber: (Eagleton, 1999, Vaughn, 1987, Khadre, 2001, Thurston-Enriquez, 2005)

Ozon diketahui efektif untuk menginaktivasi virus poliomyelitis selama 4 menit hingga 99,99% (Majumdar, 1973). Mekanisme inaktivasi virus terjadi karena pengrusakan pelindung protein atau pengrusakan langsung asam nukleat. Pada kasus *Tobacco Mosaic Virus* (TMV), ozon menyerang baik pelindung

maupun RNA virus (Shinriki, 1988). Ozonasi dengan konsentrasi lebih besar dari 0,1 mg/L dapat menghasilkan 90% inaktivasi virus (Douglas, 2007). Ozonasi dengan dosis 0,1–0,25 mg/L dapat menginaktivasi rotavirus (famili yang dekat dengan famili totivirus) dalam waktu 6 – 8 menit pada suhu 4°C (Vaughn, 1987). Inaktivasi poliovirus 2 dan coxsaki virus B3 menggunakan ozon dalam sistem *batch* pada pH 7, suhu 20°C, dosis ozon 6,5 mg/L dapat menginaktivasi hingga 100% dalam 15 menit (Emerson, 1981).

Ozon merupakan disinfektan yang dapat membunuh mikroorganisme melalui proses oksidasi. Mekanisme disinfeksi menggunakan ozon, yaitu penghancuran dinding sel dengan keluarnya isi sel, reaksi disinfeksi dengan radikal produk samping dari dekomposisi ozon, dan penghancuran isi dari asam nukleat (EPA, 1999a). Ketika dekomposisi ozon dalam air, radikal bebas hidrogen peroksi (HO_2) dan hidroksil (OH) yang terbentuk memiliki kapasitas oksidasi dan berperan aktif dalam proses disinfeksi (EPA, 1999a).

Kelebihan ozon sebagai disinfektan, sebagai berikut: proses ozonasi memerlukan waktu kontak yang singkat (sekitar 10 – 30 menit) untuk mendisinfeksi virus, tidak ada residu yang berbahaya (Persamaan 2.3–2.6), setelah ozonasi tidak ada pertumbuhan mikroorganisme serta dilakukan *onsite* (lebih aman), dan sebagainya (EPA, 1999b). Oleh karena itu, ozon digunakan sebagai salah satu disinfektan pada penelitian ini.

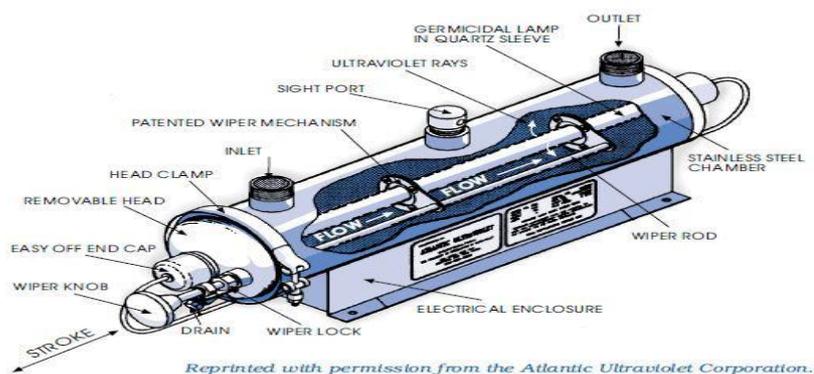


Kekurangan ozon sebagai disinfektan, sebagai berikut: ozonasi membutuhkan peralatan yang lebih kompleks, ozon sangat reaktif dan korosif, ozonasi tidak ekonomis untuk air limbah dengan kandungan padatan tersuspensi yang tinggi (SS), kebutuhan oksigen biokimia yang tinggi (BOD), kebutuhan oksigen atau total karbon organik untuk reaksi kimia yang tinggi membutuhkan modal yang besar (Gross, 2005a).

2.4. Disinfeksi Menggunakan Sinar UV

Sistem sinar ultraviolet adalah sistem yang menggunakan lampu merkuri tekanan rendah yang tertutup dalam tabung *quartz*. Sinar UV tidak dapat dilihat oleh mata dan merupakan radiasi elektromagnetik yang berada pada kisaran panjang gelombang 1 – 400 nm (Lekang, 2007). Sinar UV dibedakan berdasarkan panjang gelombang dan tekanan. Sinar UV yang dibedakan berdasarkan panjang gelombang terdiri dari UV-A (315 – 380 nm), UV-B (280 – 315 nm), UV-C (200 – 280 nm), dan UV vakum (100 – 200 nm). Sinar UV dibedakan berdasarkan tekanan, yaitu tekanan tinggi, sedang, dan rendah. Panjang gelombang UV antara 200 dan 280 nm adalah rentang yang optimum, panjang gelombang ini pula yang diaplikasikan dalam penelitian ini. Tabung dicelupkan dalam air yang mengalir dalam tangki sehingga tersinari oleh radiasi UV dengan panjang gelombang 254 nm yang bersifat *germicidal*. Elektron akan mengalir melalui uap merkuri yang telah terionisasi di antara lampu elektroda dan kemudian membentuk sinar UV (Halim, 2007).

Sumber radiasi UV adalah lampu merkuri bertekanan rendah dan medium. Lampu merkuri dengan tekanan rendah adalah cahaya yang paling baik untuk membunuh mikroorganisme karena dihasilkan oleh radiasi awal dari lampu yang mengandung spektrum cahaya dengan panjang gelombang 254 nm yang hampir mendekati puncak kemampuan membunuh organisme, yaitu 265 nm (Putra, 2008). Lampu merkuri dengan tekanan rendah mampu mengubah input energi lampu ke dalam energi UVC hingga mencapai 40%. Hal ini merupakan kemampuan komversi yang paling tinggi dibanding jenis UV lainnya (Tabel. 2.4), lampu UV ini memiliki energi input yang rendah (200–1500 mA) dan suhu yang rendah (37,78–93,33°C). Lampu UVC yang digunakan ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Ilustrasi Alat Disinfeksi UV
(Brief, 2000)

Tabel 2.5 Komparasi Karakteristik Jenis-jenis Lampu UV

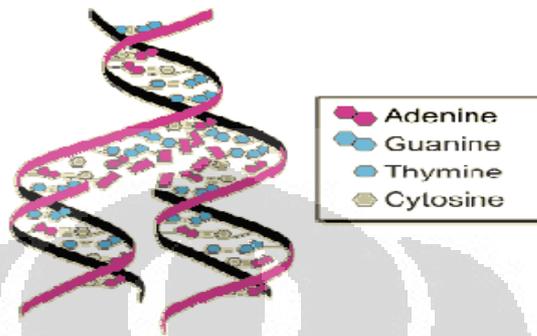
No.	Karakteristik	Lampu UVC	Lampu UVA/UVB
1.	Kemampuan Bunuh	Tinggi	Rendah
2.	Konversi Energi	40%	7%
3.	Tekanan	Rendah	Sedang–Tinggi
4.	Penggunaan Energi	200–1500 mA	2000–10000 mA
5.	Suhu	37,78–93,33°C	500°C
6.	Masa Pakai	5000–10000 jam	1000–2000 jam

Sumber: (Putra, 2008)

Disinfeksi dengan radiasi UV merupakan proses fisika karena adanya perpindahan energi elektromagnetik dari suatu sumber (lampu) ke material genetik suatu organisme (DNA/RNA). Ketika sinar UV menembus pelindung luar (*coat*) virus dan melumpuhkan kemampuan reproduksinya, sasaran utama sinar UV adalah RNA. Hal ini disebabkan RNA menyerap energi dengan panjang gelombang sekitar 240–260 nm (Gehr, 2003). Sinar UV mengganggu dan mengacaukan rantai DNA/RNA pada proses duplikasi virus sehingga mikroorganisme menjadi steril, tidak aktif, dan tidak bisa melakukan reproduksi (Putra, 2008) (Gambar 2.8).

Sinar UV dapat menginaktivasi *coxsakivirus* B3 dan B5 hingga 99,99% (Gerba, 2002). Sinar UV dapat menginaktivasi *Giardia* dan berbagai virus termasuk rotavirus hingga 99,99% inaktivasi (USEPA, 2006). Namun, efektivitas disinfeksi sinar UV bergantung pada karakteristik air dan lamanya waktu

mikroorganisme terpapar radiasi. Setelah proses ozonasi dilakukan, masih terdapat peluang dimana virus ataupun bakteri yang masih belum terinaktivasi, virus atau bakteri tersebut akan diinaktivasi lebih lanjut oleh sinar UV.

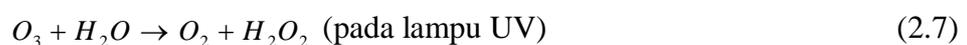


Gambar 2. 8 Pengrusakkan DNA/RNA oleh Sinar UV
(Gross, 2005b)

Keuntungan disinfeksi UV, yaitu efektif untuk inaktivasi virus, spora, dan kista; tidak ada efek residu yang berbahaya; dan memiliki waktu kontak lebih sebentar dibandingkan disinfektan lainnya. Kerugian disinfeksi UV adalah dosis rendah tidak efektif untuk inaktivasi beberapa virus, jamur, dan kista; perawatan alat sangat penting untuk mengontrol *fouling tube*, turbiditas dan *Total Suspended Solids* (TSS) di air; dan biaya disinfeksi UV tidak seefektif klorinasi (Gross, 2005b).

2.5. Disinfeksi Menggunakan Kombinasi Ozon dan Sinar UV

Pada proses Ozon-UV, foton pada spektrum UV mengubah ozon dalam air menjadi oksigen dan peroksida. Peroksida kemudian bereaksi dengan ozon untuk membentuk radikal hidroksil. Kombinasi O_3 -UV menghasilkan OH^\bullet paling maksimum dibandingkan jika ozonator ataupun lampu UV difungsikan sendiri (Gottschalk, 2000), hal ini dapat mempercepat proses disinfeksi virus. Radikal hidroksil ini yang akan berperan aktif untuk menginaktivasi virus. Reaksi yang terjadi dalam pembentukan radikal hidroksil pada AOP O_3 /UV, sebagai berikut:





Proses kombinasi O₃/UV lebih efisien dalam menghasilkan radikal hidroksil dibandingkan dengan kombinasi H₂O₂/UV untuk konsentrasi oksidan yang sama menggunakan LPUV. Oleh karena itu, aplikasi kombinasi O₃/UV yang menghasilkan radikal hidroksil dipahami lebih efektif untuk membunuh virus.

Disinfeksi bakteri menggunakan ozon diikuti dengan radiasi sinar UV menghasilkan 99,99% inaktivasi (Sharrer, 2007). Aplikasi ozonasi diikuti dengan radiasi UV telah dilakukan pada pengolahan air minum dan pengolahan limbah untuk meningkatkan efisiensi inaktivasi mikroorganisme (White, 1992, Oh, 2003, Amirsardi, 2001). Ozonasi efektif untuk menginaktivasi virus dan sinar UV ekonomis untuk membunuh bakteri (Gehr, 2003).

2.6. Standar Kondisi Air untuk Pertumbuhan Udang *L. Vannamei* Indonesia

Udang *vannamei* yang tumbuh sehat memiliki ciri-ciri sebagai berikut: gerakan aktif, berenang normal dan melompat bila anco (suatu penyaring udang) di angkat, respon positif terhadap arus, cahaya, bayangan dan sentuhan, tubuh bersih, licin, berwarna cerah, belang putih yang jelas, tubuh tidak keropos, anggota tubuh lengkap, kotoran tidak mengapung, ujung ekor tidak geripis, ekor dan kaki jalan tidak menguncup, insang jernih atau putih serta bersih, kondisi usus penuh, tidak terputus-putus. Standar kualitas air tambak udang *vannamei* ditunjukkan pada tabel 2.6 dan 2.7, sebagai berikut:

Tabel 2.6 Persyaratan Kualitas Air Pemeliharaan Udang *Vannamei*

No.	Parameter	Satuan	Kisaran
1.	Suhu	°C	27–32
2.	Salinitas	g/L	15–35
3.	pH	-	7–8,5
4.	Oksigen Terlarut	mg/L	5–8

Sumber: (BSN, 2006)

Tabel 2.7 Persyaratan Kualitas Air Pasok Pemeliharaan Udang *Vannamei*

No.	Parameter	Satuan	Kisaran
1.	Suhu	°C	28–30
2.	Salinitas	g/L	10–40
3.	pH	-	7,5–8,5

Sumber: (BSN, 2006)

Salinitas diukur dengan salinometer dan pengukuran dilakukan setiap hari. Suhu sangat mempengaruhi baik aktivitas metabolisme maupun perkembangbiakan organisme perairan. Nilai pH di bawah 5 dapat menghambat pertumbuhan udang, sedangkan nilai pH di atas 10 dapat menyebabkan kematian. Persentase volume pergantian air harian pada petak pemeliharaan antara 5–15%.

2.7. Penjernihan Air dengan Adsorben Padat

Adsorpsi merupakan suatu proses yang terjadi ketika gas atau cairan terakumulasi pada permukaan suatu padatan atau cairan, yang membentuk lapisan molekular atau atomik. Adsorpsi terdiri dari dua jenis, yaitu adsorpsi fisika dan kimia. Adsorpsi fisika merupakan adsorpsi disebabkan oleh gaya Van der Waals yang ada pada permukaan adsorben, panas adsorben biasanya rendah dan terjadi di lapisan permukaan adsorben yang umumnya lebih besar dari satu mol. Adsorpsi kimia adalah adsorpsi yang terjadi karena adanya reaksi antara zat yang diserap dan adsorben, lapisan molekul pada permukaan adsorben hanya satu lapis dan panas adsorpsinya tinggi.

- Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi, yaitu:

- a. Luas permukaan adsorben

Semakin luas permukaan adsorben, semakin banyak adsorbat yang diserap sehingga proses adsorpsi dapat semakin efektif. Semakin kecil ukuran diameter partikel, semakin luas permukaan adsorben.

- b. Ukuran partikel

Makin kecil ukuran partikel yang digunakan maka semakin besar kecepatan adsorpsinya. Ukuran diameter dalam bentuk butir adalah lebih

dari 0,1 mm, sedangkan ukuran diameter dalam bentuk serbuk adalah 200 mesh.

c. Waktu kontak

Semakin lama waktu kontak dapat memungkinkan proses difusi dan penempelan molekul adsorbat berlangsung lebih baik. Konsentrasi zat-zat organik akan turun apabila kontaknya cukup dan waktu kontak biasanya sekitar 10–15 menit.

d. Distribusi ukuran pori

Distribusi pori akan mempengaruhi distribusi ukuran molekul adsorbat yang masuk ke dalam partikel adsorben. Kebanyakan adsorben merupakan bahan yang sangat berpori dan adsorpsi berlangsung terutama pada dinding-dinding pori atau letak-letak tertentu di dalam partikel tersebut.

▪ Mekanisme yang terjadi pada proses adsorpsi yaitu :

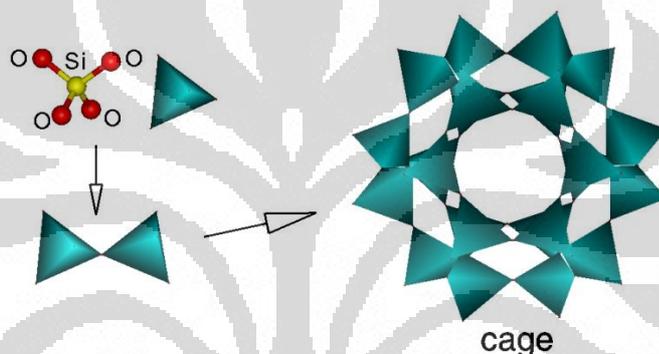
- a. Molekul-molekul adsorben berpindah dari fase bagian terbesar larutan ke permukaan *interface*, yaitu lapisan film yang melapisi permukaan adsorben atau eksternal.
- b. Molekul adsorben dipindahkan dari permukaan ke permukaan luar dari adsorben (*exterior surface*).
- c. Molekul-molekul adsorbat dipindahkan dari permukaan luar adsorben menyebar menuju pori-pori adsorben. Fase ini disebut dengan difusi pori.
- d. Molekul adsorbat menempel pada permukaan pori-pori adsorben.

Adsorpsi dalam penelitian ini akan diaplikasikan pada fungsi dari filter, yaitu zeolit, karbon aktif, dan pasir aktif, berikut adalah penjelasannya.

2.7.1. Zeolit

Zeolit adalah hasil dari pengkristalan alumino silikate yang terbentuk kristal yang memiliki pori-pori yang seragam. Zeolit terdiri dari SiO_4 dan AlO_4 tetrahedra, dimana tetrahedra tersusun oleh 4 anion oksigen yang menyebar mengelilingi suatu ion silikon dan ion aluminium. Setiap atom oksigen bermuatan -2, tiap atom silikon bermuatan +4 dan akan membentuk silika

tetrahedral yang tidak bermuatan (netral) sedangkan atom aluminium akan membentuk juga alumina tetrahedral dengan mengikat sisa muatan -1 dari tiap atom oksigen sehingga terjadi keseimbangan ion dan membentuk kristal yang mempunyai pori-pori dimensi molekular dan menjadi molekul-molekul yang dapat menetrasi. Struktur zeolit terdiri dari beberapa cage, rongga, jalur yang memiliki ukuran tertentu yang mengakibatkan molekul kecil dapat masuk. sebagaimana terlihat pada Gambar 2.9. Zeolit sebagai filter dapat menghilangkan nitrogen pada biofilter dengan sistem pertukaran ion dengan NH_4^+ (Chang et al., 2002).



Gambar 2.9 Tetrahedra pada Struktur Zeolit
(Bell, 2001)

Pertukaran kation-kation dengan menggunakan *ion exchange* akan sangat membantu menjadi adsorben yang kuat. Struktur mikropori yang membentuk kristal akan mempunyai ukuran pori yang seragam tanpa diketahui ukuran pori semula. Permukaan ini yang membedakan zeolit sebagai adsorben dari permukaan pori yang dimiliki oleh adsorben lainnya.

Menurut proses pembentukannya, zeolit dapat digolongkan menjadi dua jenis, yaitu zeolit alam dan zeolit sintetis. Dalam penelitian ini, jenis zeolit yang digunakan adalah zeolit alam. Zeolit alam terbentuk karena adanya proses perubahan alam dari bebatuan vulkanik dan banyak dijumpai dalam lubang-lubang batuan lava dan dalam batuan sedimen. Zeolit alam mengandung campuran mineral seperti kalsit, gipsum, feldspar, dan kuarsa, dan ditemukan di daerah sekitar gunung berapi atau mengendap pada daerah sumber air panas (*hot*

spring). Zeolit yang termasuk zeolit alam, yaitu clinoptilolite, modernite, erionite, ferrierite, philipsite, analsim, khabasit, dan sebagainya. Pada penelitian ini zeolit yang digunakan adalah jenis klinoptilolit.

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

Pada keadaan normal, ruang kosong dalam kristal zeolit terisi oleh molekul air bebas yang berada di sekitar kation. Bila kristal zeolit dipanaskan, maka air tersebut akan keluar sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan. Sifat adsorpsi zeolit pada penelitian ini dimanfaatkan sebagai penyerap bakteri ataupun kotoran.

Pori-pori zeolit yang besar menyebabkan spesi yang besar dapat ditampung di pori-pori tersebut, salah satunya dapat berupa sel hidup seperti bakteri (Widiastuti et al., 2008). Faktor lainnya yang mendukung kemampuan zeolit mengadsorpsi bakteri, yaitu interaksi *electric double layer* dan interaksi hidrofobik. Beberapa bakteri yang dapat teradsorp oleh pori-pori zeolit di antaranya yaitu *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Vibrio*, *Azotobacter*, *Xanthomonas*, *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, dan *Actinomyces*. Zeolit dapat diaplikasikan pula pada mikroorganisme lainnya termasuk fungi, ragi, alga, ataupun protozoa (Miller et al., 1994 dalam Yanuarta, 2011). Pada penelitian ini, zeolit yang digunakan adalah zeolit alam Lampung. Zeolit alam Lampung mempunyai rumus molekul:



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

Tabel 2.8 Komponen Penyusun Zeolit Alam Lampung

Zat Penyusun	Kandungan dalam ZAL (%)
SiO ₂	68,5
Al ₂ O ₃	13,17
CaO	2,47
K ₂ O	1,88
Fe ₂ O ₃	2,98
MgO	1,15
Na ₂ O	1,06
TiO ₂	0,14
Lain-lain	8,42

Sumber: (Sugianto, 2011)

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

2.7.2. Karbon aktif



Gambar 2.10 Pori-pori pada Karbon Aktif (Kanan) dan Contoh Karbon Aktif Granular (Kiri)
(Said, 2012, DoultonUSA, 2012)

Karbon aktif merupakan suatu padatan berpori yang mengandung 85% – 95% karbon, dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi. Daya serap karbon aktif ditentukan oleh luas

permukaan partikel dan kemampuan ini dapat menjadi lebih tinggi jika terhadap arang tersebut dilakukan aktivasi dengan bahan-bahan kimia ataupun dengan pemanasan pada temperatur tinggi.

Karbon aktif dapat pula diartikan sebagai karbon yang diberikan ion positif sehingga membuat karbon aktif dapat menarik zat kimia dan pengotor. Ketika air melalui permukaan karbon yang teraktivasi, negatif ion dari kontaminan tertarik pada permukaan butir karbon.

Terdapat dua mekanisme prinsip dimana karbon aktif menghilangkan kontaminan dari air; adsorpsi dan reduksi katalitik, suatu proses yang melibatkan proses tarik-menarik ion negatif dan positif. Senyawa organik dihilangkan dengan adsorpsi dan sisa disinfektan seperti klorin dan kloramin dihilangkan dengan reduksi katalitik.

Filter karbon aktif menghilangkan atau mengurangi banyak zat kimia organik yang mudah menguap (VOC), pestisida, herbisida, klorin, benzena, senyawa trihalometana (THM), radon, dan zat kimia lainnya. Beberapa filter karbon aktif efektif untuk menghilangkan beberapa (tidak semua) logam berat. Sebagai tambahan, karbon blok filter secara mekanis menghilangkan partikel hingga 0,5 mikron, termasuk *Giardia* dan *Cryptosporidium*, turbiditas, dan partikulat. Karbon filter tidak dapat menghilangkan kontaminan inorganik terlarut dengan baik seperti mineral, arsenik, mangan, merkuri, dan sebagainya. Karbon aktif pun dapat menurunkan kesadahan CaCO_3 hingga 91% (Nurullita, 2010). Oleh karena itu, karbon aktif digunakan untuk menyaring pengotor yang terkandung dalam air tambak.

2.7.3. Pasir Aktif

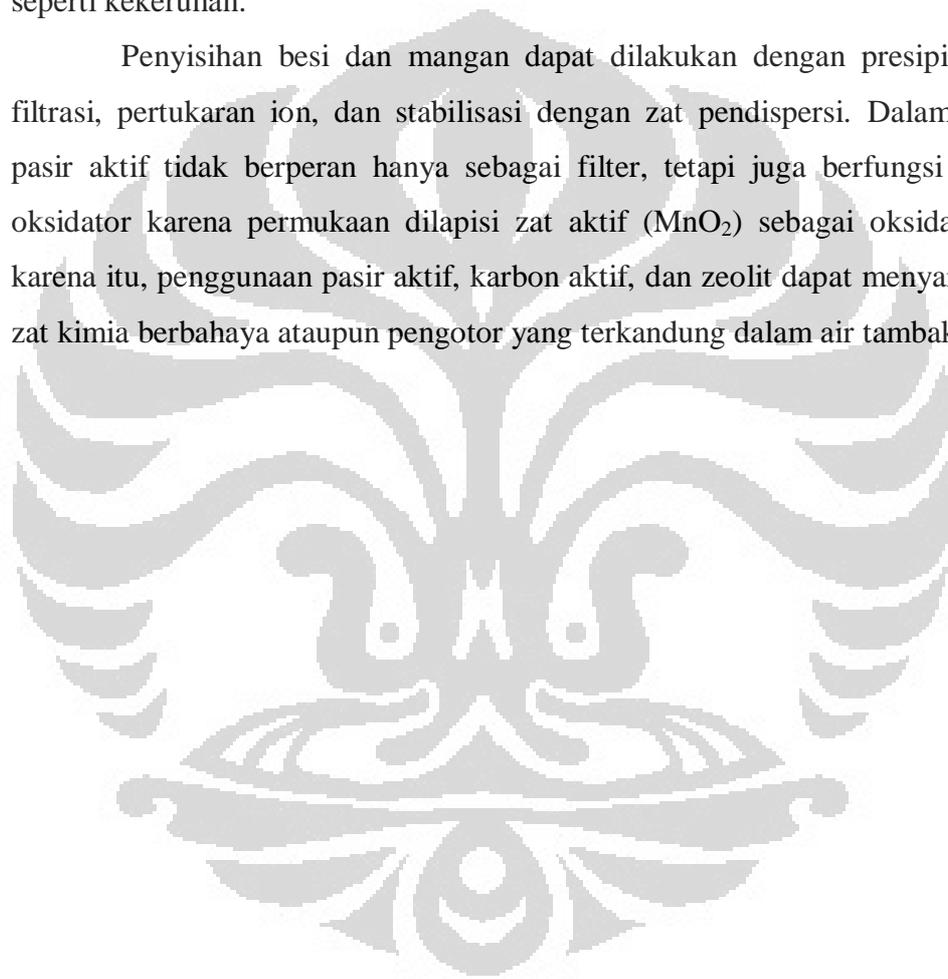


Gambar 2.11 Contoh Pasir Aktif

(Rozali, 2012)

Pasir aktif merupakan pasir yang berfungsi untuk menghilangkan atau mengurangi kandungan besi (Fe) (Oktiawan, 2007), mangan (Mn^{2+}), dan warna kuning pada air tanah atau sumber air lainnya. Besi dan mangan dalam air biasanya diturunkan dengan cara aerasi air pada $pH > 7$ sehingga kedua logam ini mengendap sebagai oksidanya. Pasir aktif banyak digunakan pada sistem penyaringan air secara konvensional dan dapat memperbaiki kualitas fisik air seperti kekeruhan.

Penyisihan besi dan mangan dapat dilakukan dengan presipitasi dan filtrasi, pertukaran ion, dan stabilisasi dengan zat pendispersi. Dalam hal ini pasir aktif tidak berperan hanya sebagai filter, tetapi juga berfungsi sebagai oksidator karena permukaannya dilapisi zat aktif (MnO_2) sebagai oksidan. Oleh karena itu, penggunaan pasir aktif, karbon aktif, dan zeolit dapat menyaring zat-zat kimia berbahaya ataupun pengotor yang terkandung dalam air tambak.

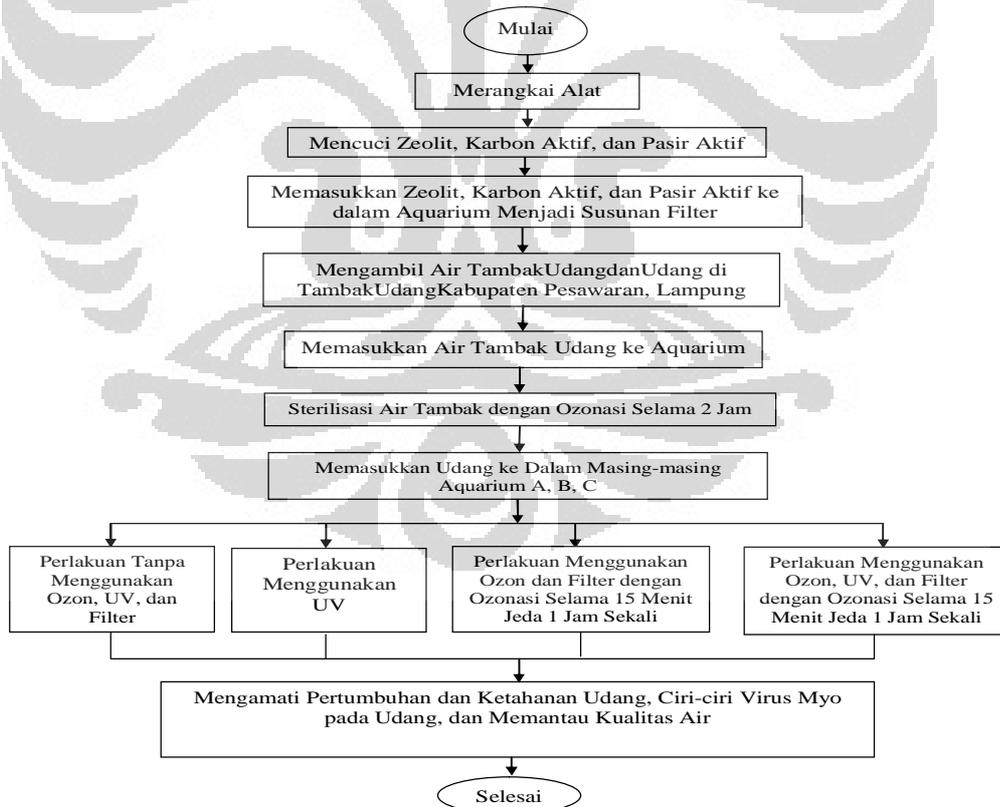


BAB 3 METODE PENELITIAN

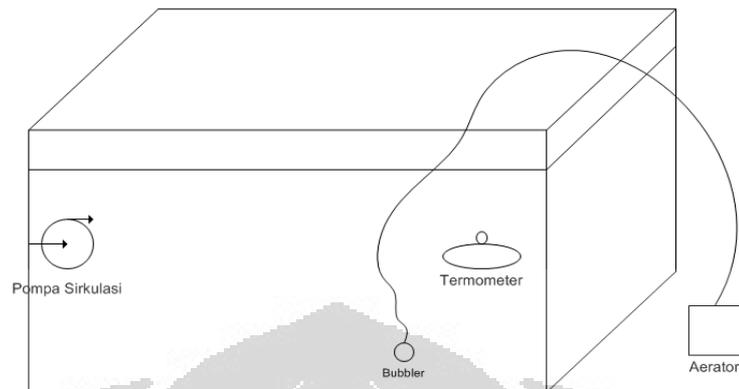
Pada bab ini akan diuraikan mengenai skema alat penelitian yang akan dilakukan. Untuk mempermudah pemahaman mengenai skema penelitian tersebut, dapat dilihat dalam diagram alir penelitian yang terdapat pada bagian di bawah ini. Selain itu, juga diuraikan mengenai bahan dan alat penelitian, serta prosedur penelitian yang dilakukan.

3.1. Diagram Alir Penelitian

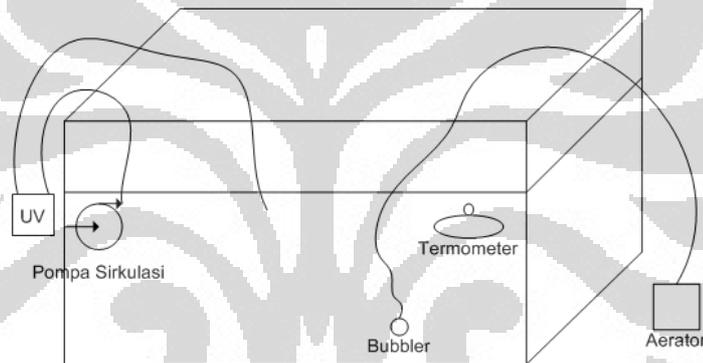
Proses disinfeksi menggunakan ozon dan UV ditunjukkan pada gambar 3.1. Skema proses penelitian terlihat pada gambar 3.2 – 3.6:



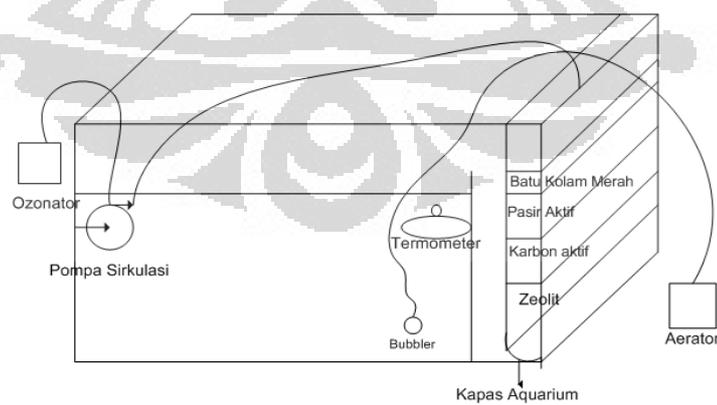
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



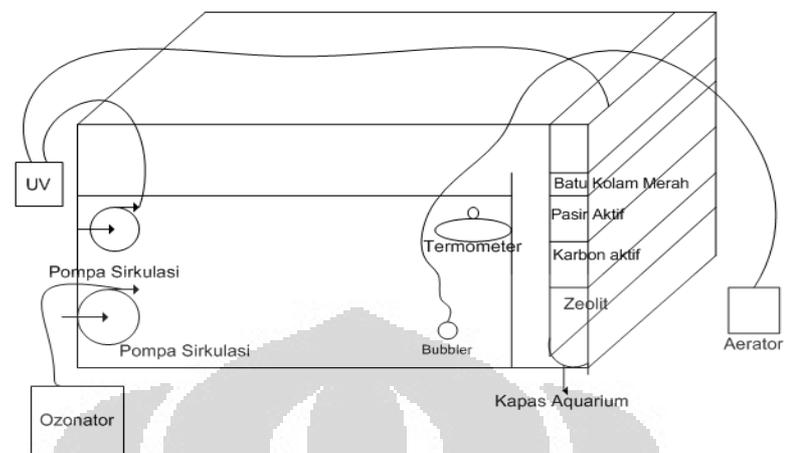
Gambar 3.2 Skema Alat Akuarium A



Gambar 3.3 Skema Alat Akuarium A Menggunakan UV



Gambar 3.4 Skema Alat Akuarium B Menggunakan Ozonator



Gambar 3.5 Skema Alat Akuarium C Menggunakan Ozonator dan UV



Gambar 3.6 Susunan Zeolit, Karbon Aktif, dan Pasir Aktif

3.2. Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Proses Intensifikasi Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok.

3.3. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terlihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Daftar Alat yang Digunakan dalam Penelitian

No.	Alat	Fungsi
1.	Lampu UVC	Menghasilkan gelombang cahaya 254 nm
2.	Ozonator	Menghasilkan ozon untuk proses disinfeksi
3.	Salinitas Hidrometer	Mengukur salinitas air akuarium
4.	<i>Bubbler</i>	Mengalirkan ozon ke akuarium
5.	Gelas ukur	Alat untuk mengambil larutan dalam jumlah tertentu
6.	Erlenmeyer	Wadah pencampuran larutan
7.	<i>Timer</i>	Mengatur waktu ozonasi
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 uji produktivitas ozon
11.	<i>Beaker glass</i>	Wadah pencampuran larutan
12.	Kaca Arloji	Wadah untuk menimbang
13.	Termometer	Mengukur suhu
14.	Timbangan	Mengukur berat bahan dan sampel
15.	<i>pH test</i> Sera	Alat untuk mengukur pH sampel
16.	Pompa sirkulasi	Mengalirkan air sirkulasi akuarium
17.	Spatula	Alat untuk mengambil bahan yang diperlukan
18.	Akuarium 60 x 30 x 40 cm	Sebagai wadah sampel
19.	Pipet	Mengambil sejumlah volume larutan
20.	<i>Micropipet</i>	Mengambil sejumlah volume larutan yang kecil (1000 μ l)
21.	Sarung tangan, masker, jas lab	Alat keamanan dalam penelitian
22.	Selang sambungan	Menghubungkan satu alat dengan lainnya
23.	Kassa nyamuk	Penghalang akuarium agar udang tidak lompat keluar

Tabel 3.1 Daftar Alat yang Digunakan dalam Penelitian (Lanjutan)

No.	Alat	Fungsi
24.	Saringan	Menyaring kotoran dan menangkap udang
25.	Sera NO ₂ Test	Menguji konsentrasi NO ₂
26.	Sera PO ₄ Test	Menguji konsentrasi PO ₄
27.	Sera NH ₄ /NH ₃ Test	Menguji konsentrasi NH ₄ /NH ₃
28.	Aerator	Menghasilkan oksigen bagi udang

☒ Lampu UVC

**Gambar 3.7** Lampu UV untuk Kolam Ikan

Lampu UVC yang digunakan adalah lampu UV ATMAN untuk kolam ikan. Lampu UV ini berfungsi untuk membunuh bakteri dan menginaktivasi virus.

☒ Ozonator

**Gambar 3.8** Ozonator yang Digunakan dalam Penelitian

Ozonator yang digunakan pada penelitian ini adalah ozonator AOSN. Ozonator ini berfungsi untuk menghasilkan ozon (O_3) yang digunakan untuk disinfeksi virus IMNV.

☒ Termometer



Gambar 3.9 Termometer Digital

Termometer yang digunakan adalah termometer digital ADA yang berfungsi untuk mengukur suhu air akuarium.

☒ Pompa Sirkulasi



Gambar 3.10 Pompa Aerator

Pompa sirkulasi yang digunakan berfungsi untuk menyirkulasi air kolam agar tersaring pada filter. Laju alir pompa sebesar 750 L/jam.

■ Sera Test-Kit

a. pH Test-Kit



Gambar 3.11 pH Test-Kit

b. Nitrit (NO_2) Test-Kit



Gambar 3.12 Nitrit Test-Kit

c. Fosfat (PO_4) Test-Kit



Gambar 3.13 Fosfat Test-Kit

d. Amonium/amoniak (NH_4/NH_3) Test-Kit

Gambar 3.14 Amonia Test-Kit

3.4. Bahan-bahan Penelitian

Tabel 3.2 Bahan yang Digunakan dalam Penelitian

No.	Bahan	Fungsi
1.	Air tambak bervirus IMNV	Sebagai media penyebaran virus Objek penelitian yang akan disinfeksi
2.	Udang <i>P. vannamei</i>	Objek penelitian yang akan dilihat ketahanannya setelah perlakuan disinfeksi dengan ozon dan UV
3.	Kapas Akuarium	Sebagai filter dan penahan zeolit, karbon aktif, dan pasir aktif agar tidak masuk ke kolom tengah
4.	Larutan KI 0,1 N	Bahan dalam proses uji produktivitas ozonator
5.	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0,005 M	Bahan dalam proses titrasi
6.	H_2SO_4 2 N	Bahan dalam proses titrasi
7.	Indikator kanji (amilum)	Indikator untuk membantu proses titrasi
8.	Batu Kolam Merah	Penahan kapas akuarium posisi teratas
9.	Zeolit	Adsorben, pengontrol kandungan ammonium dalam air, diameter 5 mm
10.	Karbon Aktif	Menangkap partikel-partikel yang sangat halus, diameter 3 mm

Tabel 3.2 Bahan yang Digunakan dalam Penelitian (Lanjutan)

No.	Bahan	Fungsi
11.	Pasir Aktif	Menghilangkan besi dan mangan serta warna kuning pada air, diameter 1 mm
12.	Kapur Tohor (CaO)	Upaya menaikkan pH
13.	Aclinop	Upaya menurunkan PO ₄
14.	Pakan Udang	Asupan makanan udang

3.5. Prosedur Penelitian

3.5.1. Variabel Pengamatan

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

- **Variabel Bebas**

Variabel bebas adalah variabel yang divariasikan dengan besar nilai tertentu. Variabel bebas dalam penelitian ini, yaitu perlakuan tanpa menggunakan ozon dan UV, menggunakan ozon, dan menggunakan ozon dan UV.

- **Variabel Kontrol**

Variabel kontrol adalah variabel yang dikendalikan atau dibuat dalam keadaan konstan. Variabel kontrol dalam penelitian ini, yaitu produktivitas ozon, pH sistem, suhu sistem, salinitas, dan oksigen terlarut.

- **Variabel Terikat**

Variabel terikat adalah variabel yang terjadi akibat adanya variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini, yaitu jumlah udang yang bertahan setelah didisinfeksi dengan ozon.

3.5.2. Prosedur Preparasi Rangkaian Alat dan Bahan

Prosedur preparasi rangkaian alat yang akan dijalankan dan bahan yang akan digunakan serta dianalisis parameternya menggunakan Test-Kit, sebagai berikut:

- Pasang segala sambungan pipa dan selang ke alat-alat yang digunakan sehingga menjadi rangkaian aliran sirkulasi.
- Cuci zeolit, karbon aktif, dan pasir aktif dengan menggunakan air keran dengan pencucian akhir menggunakan aquades.
- Susun filter dengan posisi kapas akuarium, zeolit (tinggi = 6 cm), karbon aktif (tinggi = 4 cm), pasir aktif (tinggi = 4 cm), kapas akuarium, dan batu kolam.
- Ambil sampel air tambak udang sebanyak 160 liter dan udang sebanyak 60 ekor yang terinfeksi virus IMNV di Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung.
- Masukkan air tambak udang ke dalam akuarium A, B, C kemudian diozonasi terlebih dahulu selama 2 jam sebagai proses sterilisasi. Hal ini berdasarkan penelitian mengenai disinfeksi *Giardia lamblia* (patogen yang memiliki kedekatan famili dengan virus IMNV) menggunakan teknologi ozon dengan dosis 5 – 10 mg/L membutuhkan 0,24 menit disinfeksi untuk 99% inaktivasi (Liberti, 2000).
- Masukkan udang yang terinfeksi virus IMNV sebanyak 20 ekor udang pada masing-masing akuarium A, B, dan C.

3.5.3. Preparasi Bahan Uji Produktivitas Ozon yang Akan Digunakan

Proses pembuatan bahan-bahan yang dibutuhkan untuk uji produktivitas ozon, sebagai berikut:

- Buat larutan KI 0,1 N dengan cara melarutkan 20 gr KI ke dalam 1000 mL aquades.
- Buat 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.

- Buat 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.
- Siapkan larutan amilum 1 % yaitu 1 gr padatan *starch* ditambahkan dengan aquades hingga 100 mL, kemudian memanaskannya hingga mendidih. Kemudian didinginkan.

3.5.4. Proses Disinfeksi Virus

- **Prosedur Proses Disinfeksi Virus IMNV (*Infectious Myo Necrosis Virus*) Tanpa Menggunakan Ozon, UV, dan Filter (Basic – A)**
 - a. Pastikan rangkaian alat terpasang dengan baik dan aman,
 - b. Nyalakan pompa dan aerator,
 - c. Amati pertumbuhan udang melalui ciri-ciri udang yang terinfeksi virus IMNV dan ketahanan udang terhadap virus IMNV (SR – *Survival Ratio*) selama 12 hari pada pagi (08.00 WIB) dan sore hari (16.00 WIB),
 - d. Uji konsentrasi nitrit, fosfat, pH, DO (*Dissolved Oxygen*), salinitas, dan amonia menggunakan Sera test kit setiap pagi (08.00 WIB) dan sore hari (16.00 WIB) tiap dua hari sekali,
 - e. Catat suhu setiap pagi (08.00 WIB) dan sore hari (16.00 WIB), dan
 - f. Analisis hasil pengamatan (DO, suhu, pH, NO_2 , NH_3 , PO_4 , kH, Salinitas, gejala klinis virus IMNV, jumlah udang yang bertahan, untuk berat badan udang diukur seminggu sekali).
- **Prosedur Proses Disinfeksi Virus IMNV (*Infectious Myo Necrosis Virus*) Menggunakan Ozonator dan Filter (B)**
 - a. Pastikan rangkaian alat terpasang dengan baik dan aman,
 - b. Nyalakan pompa, aerator, dan ozonator (selama 15 menit jeda 1 jam sekali selama 24 jam),

- c. Amati pertumbuhan udang melalui ciri-ciri udang yang terinfeksi virus IMNV dan ketahanan udang terhadap virus IMNV (SR – *Survival Ratio*) selama 12 hari pada pagi (08.00 WIB) dan sore hari (16.00 WIB),
 - d. Uji konsentrasi nitrit, fosfat, pH, DO (*Dissolved Oxygen*), salinitas, dan amonia menggunakan Sera test kit setiap pagi (08.00 WIB) dan sore hari (16.00 WIB) tiap dua hari sekali,
 - e. Catat suhu setiap pagi (08.00 WIB) dan sore hari (16.00 WIB), dan
 - f. Analisis hasil pengamatan (DO, suhu, pH, NO₂, NH₃, PO₄, kH, Salinitas, gejala klinis virus IMNV, jumlah udang yang bertahan, untuk berat badan udang diukur seminggu sekali)
- **Prosedur Proses Disinfeksi Virus IMNV (*Infectious Myo Necrosis Virus*) Menggunakan UV (A)**
 - a. Pastikan rangkaian alat terpasang dengan baik dan aman,
 - b. Nyalakan pompa, aerator, dan UV,
 - c. Amati pertumbuhan udang melalui ciri-ciri udang yang terinfeksi virus IMNV dan ketahanan udang terhadap virus IMNV (SR – *Survival Ratio*) selama 12 hari pada pagi (08.00 WIB) dan sore hari (16.00 WIB),
 - d. Uji konsentrasi nitrit, fosfat, pH, DO (*Dissolved Oxygen*), salinitas, dan amonia menggunakan Sera test kit setiap pagi (08.00 WIB) dan sore hari (16.00 WIB) tiap dua hari sekali,
 - e. Catat suhu setiap pagi (08.00 WIB) dan sore hari (16.00 WIB), dan
 - f. Analisis hasil pengamatan (DO, suhu, pH, NO₂, NH₃, PO₄, kH, Salinitas, gejala klinis virus IMNV, jumlah udang yang bertahan, untuk berat badan udang diukur seminggu sekali)
- **Prosedur Proses Disinfeksi Virus IMNV (*Infectious Myo Necrosis Virus*) Menggunakan Ozon, UV, dan Filter (C)**
 - a. Pastikan rangkaian alat terpasang dengan baik dan aman,

- b. Nyalakan pompa, aerator, UV, dan ozonator (selama 15 menit tiap 1 jam sekali),
- c. Amati pertumbuhan udang melalui ciri-ciri udang yang terinfeksi virus IMNV dan ketahanan udang terhadap virus IMNV (SR – *Survival Ratio*) selama 12 hari pada pagi (08.00 WIB) dan sore hari (16.00 WIB),
- d. Uji konsentrasi nitrit, fosfat, pH, DO (*Dissolved Oxygen*), salinitas, dan amonia menggunakan Sera test kit setiap pagi (08.00 WIB) dan sore hari (16.00 WIB) tiap dua hari sekali,
- e. Catat suhu setiap pagi (08.00 WIB) dan sore hari (16.00 WIB), dan
- f. Analisis hasil pengamatan (DO, suhu, pH, NO₂, NH₃, PO₄, kH, Salinitas, gejala klinis virus IMNV, jumlah udang yang bertahan, untuk berat badan udang diukur seminggu sekali)

3.5.5. Analisis Hasil Percobaan

Prosedur untuk analisis sampel dibagi ke dalam beberapa tahap, sebagai berikut:

- **Prosedur Uji Produktivitas Ozon**
 - a. Siapkan labu erlenmeyer berisi larutan KI yang digunakan dalam percobaan sebanyak 200 mL
 - b. Ambil 25 mL dari larutan KI tersebut
 - c. Tambahkan sampel dengan H₂SO₄ sebanyak 4 mL dan indikator amilum sehingga sampel berwarna biru tua (menandakan adanya I₂ dalam sampel)
 - d. Titrasi sampel dengan larutan Na₂S₂O₃.5H₂O
 - e. Hentikan proses titrasi sampai larutan yang berwarna biru tua tepat berubah menjadi bening
 - f. Lakukan hal yang sama terhadap bagian hulu dan hilir.
 - g. Lakukan hal yang sama dilakukan kembali sebanyak dua kali.
 - h. Hasil uji produktivitas ozon I, II, dan III dirata-rata maka akan diperoleh produktivitas ozon.
- Analisis udang yang bertahan secara visual dengan mengamati gejala klinis infeksi IMNV. Analisis pertumbuhan udang dilakukan dua hari sekali.

- Analisis kualitas air menggunakan Sera *test-kit* dengan prosedur seperti pada tabel L.3 pada lampiran. Analisis kualitas air dilakukan dua hari sekali.

3.5.6. Prosedur Standar untuk Bekerja dengan Virus

- Registrasi

Praktikan harus mengisi formulir registrasi untuk melakukan penelitian dengan hewan yang bervirus atau virus dengan menulis hewan tersebut ataupun virus tersebut dalam formulir. Formulir registrasi ini harus ditandatangani oleh Komite Biohazard setempat.

- Pelatihan

Semua level praktikan harus mengikuti pelatihan *biosafety* terlebih dahulu sebelum bekerja dengan virus level 2 dan jenis virus apapun. Seluruh praktikan yang bereksperimen dengan hewan yang terinfeksi virus harus mengikuti pelatihan Perlindungan dan Penggunaan Binatang oleh Animal Care and Veterinary Services (ACVS).

- Identifikasi Bahaya

Seluruh praktikan wajib dibriefing mengenai prosedur keselamatan dimana melibatkan virus dalam eksperimen oleh Kepala Kesehatan Keselamatan Kerja dan Lingkungan setempat.

- Pengawasan Medis

Praktikan yang bekerja dengan virus atau hewan yang terinfeksi virus harus mengumpulkan Position Hazard Form (PHF) yang memberikan jenis virus yang akan digunakan kepada Kepala K3L Fakultas atau Departemen. Jika memang virus yang digunakan berbahaya, perlu dilakukan imunisasi atau vaksin.

- Kebutuhan Penahanan

Seluruh kegiatan eksperimen dengan virus yang hidup dan seluruh kegiatan dengan jaringan hewan yang tidak pasti harus dilaksanakan sesuai dengan peraturan *biosafety* level 2 pada peraturan setempat, misalnya pada

“*Laboratory Biosafety Guidelines*,” *Health Canada*, 2nd edition, 1996. Perlu menggunakan masker HEPA.

- Tempat Perkembangan Hewan

Hewan yang terinfeksi virus harus disangkarkan. Sangkar yang layak akan diputuskan dengan konsultasi antara Ketua Research Group, Kepala *Biosafety*, dan Direktur, ACVS sebagai standar sangkar yang dibutuhkan. Sangkar mikroisolator atau filtertop akan dibutuhkan dimana virus infeksi dapat menyebar dan menginfeksi hewan-hewan.

- Pembuangan Limbah dan Dekontaminasi

- a. Perubahan *bedding* harus dikeluarkan dari kabinet *biosafety* jika memungkinkan. *Soiled bedding* dapat ditaruh dalam tas biohazard, disegel, dibungkus rangkap dua, dan dihilangkan dengan insinerasi.

- b. Jika tidak memungkinkan untuk mengganti *bedding* yang tidak bersih di dalam kabinet *biosafety* karena ukuran dari sangkar, alat perlindungan pernapasan dibutuhkan untuk semua orang yang berada di dalamnya. *Soiled bedding* dapat ditaruh di dalam tas biohazard dan disegel.

- c. Sangkar kecil yang terkontaminasi (termasuk rak besi dan botol air) harus didekontaminasi dengan disinfeksi sebelum mencuci atau membersihkan ruangan peliharaan hewan. Untuk disinfeksi, sangkar harus diberikan atau dibanamkan di dalam disinfektan untuk pembuktian efektivitasnya terhadap virus (e.g Quatricide PV-15 atau CLIDOX untuk Adenovirus). Sangkar harus dibanamkan untuk dekontaminasi terhadap virus. Sangkar kemudian dipindahkan dari ruang untuk dicuci. Sangkar yang lebih besar harus disemprot keseluruhan bagiannya dengan disinfektan dan dibiarkan basah selama waktu yang dibutuhkan untuk dekontaminasi. Disinfektan dilarutkan dengan spesifikasi tertentu seperti untuk Quatricide PV-15: ½ oz: 1 gal air. Disinfektan harus dibuat saat itu juga. Disinfektan yang telah digunakan dapat dibuang dengan mengalirkan ke saluran tertentu untuk limbah khusus. Setelah disinfeksi, sangkar akan dikeluarkan dari ruangan hewan L2 dan ditaruh di pencuci sangkar untuk proses lebih lanjut.

Disinfektan lainnya dapat digunakan, tetapi harus terbukti efektif pada virus yang digunakan. Alternatif disinfektan harus diperiksa terlebih dahulu oleh Kepala *Biosafety* sebelum digunakan.

- Baju Keamanan

Baju panjang atau jas laboratorium harus digunakan pada ruangan level 2. Baju ini harus tetap dalam ruangan dan digunakan pada saat masuk ruangan dan dilepas ketika keluar ruangan. Pelindung sepatu dan sarung tangan pun harus digunakan. Pelindungan kepala pun dibutuhkan. Penggunaan kembali baju keamanan diperbolehkan, tetapi harus *autoclave* sebelum dicuci. Baju yang langsung dibuang harus dihilangkan sebagai sampah *biohazard* dan *autoclave* sebelum dibuang atau dibungkus rangkap dua dan diinsinerasi.

- Perlindungan Tambahan

Jika tambahan perlindungan pernapasan dibutuhkan pernapasan HEPA seperti 3M 9970 atau pelindung pernapasan setengah muka dengan HEPA *catridge* harus digunakan ketika bekerja dengan virus ataupun dengan hewan yang terinfeksi virus.

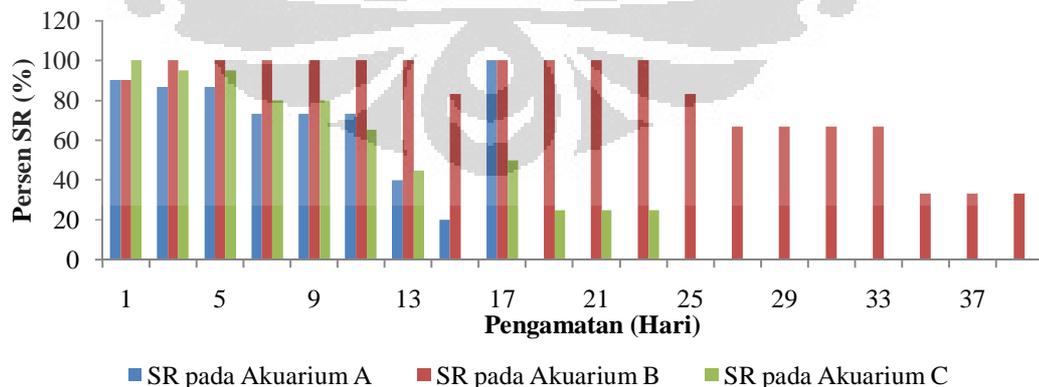
- Dekontaminasi

Sebagai pelengkap pekerjaan dengan virus, kabinet *biosafety*, semua sangkar, rak, peralatan, dan seluruh ruangan harus didekontaminasi sebelum ruangan akan digunakan untuk tujuan tertentu atau penelitian lainnya (UWO, 1999).

BAB 4 PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dievaluasi dampak disinfeksi virus IMNV (*Infectious Myo Necrosis Virus*) terhadap ketahanan udang menggunakan teknik ozonasi dan radiasi sinar UV. Proses disinfeksi virus IMNV ini menggunakan air tambak dengan suhu 29,9°C, salinitas 30 ppt, dan DO 5,4 mg/L. Sampel udang yang digunakan memiliki berat awal 3 gram per ekor udang. Produktivitas ozon yang dihasilkan dari ozonator adalah 0,0395 g/jam.

Berdasarkan hasil pengamatan, pada hari pengamatan ke-13, *Survival Ratio* (SR) yang diperoleh pada akuarium A (tanpa menggunakan teknik ozonasi dan radiasi sinar UV hingga hari pengamatan ketujuh, selanjutnya menggunakan radiasi sinar UV) sebesar 40%, SR pada akuarium B (menggunakan teknik ozonasi) sebesar 100%, SR pada akuarium C (menggunakan teknik ozonasi dan radiasi sinar UV) sebesar 45%. Pertumbuhan udang pada akuarium A, B, dan C cukup baik, dapat terlihat pada rata-rata kenaikan berat udang hingga hari pengamatan ke-13 dari ketiga akuarium sebesar 3,75 gram. Kualitas air yang diperoleh dari hasil pengamatan memiliki kisaran suhu 28 – 32°C, pH 6 – 8, dan DO 4,7 – 5,6 ppm. Berikut grafik jumlah udang yang bertahan dari ketiga akuarium setelah proses disinfeksi virus IMNV (Gambar 4.1).



Gambar 4. 1 Perbandingan *Survival Ratio* (SR) untuk Ketiga Macam Akuarium setelah Menjalankan Proses AOP

4.1. Analisis Produktivitas Ozonator

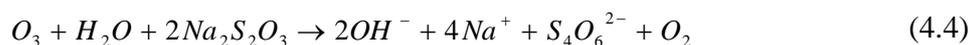
Pengujian produktivitas ozonator bertujuan untuk mengetahui jumlah ozon yang diproduksi oleh ozonator AOSN melalui metode iodometri. Data atau parameter utama yang diambil dalam uji produktivitas ozon adalah banyaknya volume penitrasi natrium tiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)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

Terjadinya reaksi oksidasi antara ozon dan KI dalam *bubbler* menyebabkan larutan berubah warna menjadi kuning kecokelatan. Warna ini adalah warna dari I_2 yang terbentuk melalui reaksi oksidasi I^- , sebagai berikut:



Dari persamaan di atas dapat dilihat bahwa mol I_2 yang terbentuk sebanding dengan mol ozon yang diperlukan untuk mengoksidasi KI sehingga mol I_2 tersebut dapat dipergunakan untuk menghitung mol ozon yang diproduksi oleh ozonator.

Cara penentuan jumlah mol I_2 yang terbentuk adalah dengan menitrasi larutan dengan natrium tiosulfat setelah terlebih dahulu menambahkan asam sulfat (H_2SO_4) dan amilum. Fungsi dari asam sulfat untuk meminimalisasi I_2 yang terlepas ke udara, sedangkan fungsi amilum sebagai indikator (campuran I_2 dengan amilum akan menimbulkan warna biru-ungu). Persamaan reaksi titrasi secara lengkap, sebagai berikut:



Titration dilakukan sampai jumlah I_2 sebanding secara stoikiometris dengan natrium tiosulfat, yang ditunjukkan oleh warna larutan yang menjadi jernih. Dari persamaan reaksi di atas, jumlah mol ozon yang terbentuk oleh ozonator akan sama dengan setengah dari jumlah mol natrium tiosulfat yang terpakai, dan produktivitas

ozonator dapat dihitung dengan membagi jumlah mol ozon tersebut dengan waktu kontak ozon dengan larutan KI sehingga dapat diketahui jumlah ozon yang diproduksi oleh ozonator.

Tabel 4.1 Data Percobaan pada Analisis Produktivitas Ozonator

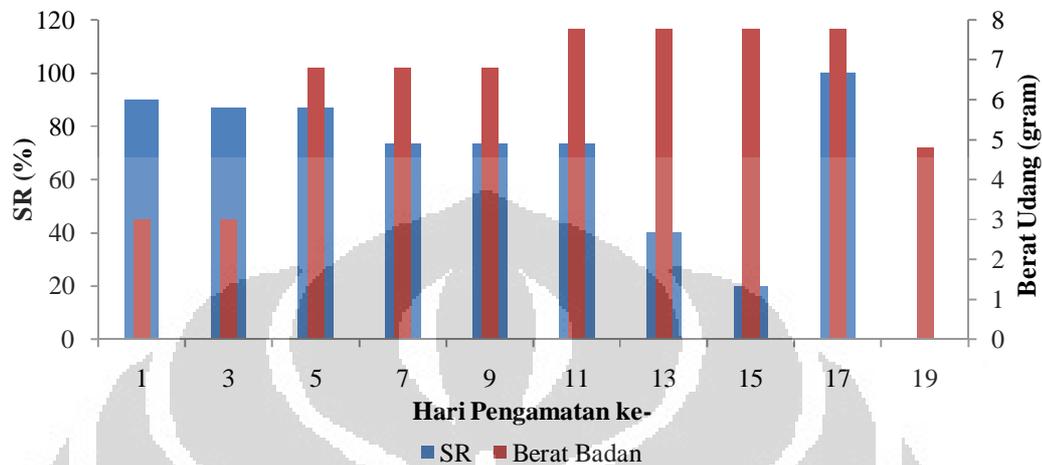
Percobaan ke-	t (menit)	VNa ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O	
		Hulu (mL)	Hilir (mL)
I	9 menit 27 detik	40,8	3,2
II	10 menit 30 detik	57,6	4
III	10 menit 20 detik	58,7	3,2

Kemudian data tersebut diolah dengan perhitungan yang terlampir pada tabel lampiran L.1. Hasil perhitungan yang didapatkan, sebagai berikut:

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Uji Produktivitas Ozon

M Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O	mol Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O	mol O ₃	Massa O ₃ (gram)	Produktivitas Ozonator (g/jam)
0,005	0,00022	0,00011	0,00528	0,0335
0,005	0,00031	0,00015	0,00739	0,0422
0,005	0,00031	0,00015	0,00739	0,0429
Produktivitas Ozon Rata-rata (gram/jam)				0,0395

4.2. Analisis *Survival Ratio* (SR) dan Berat Badan Udang pada Akuarium A



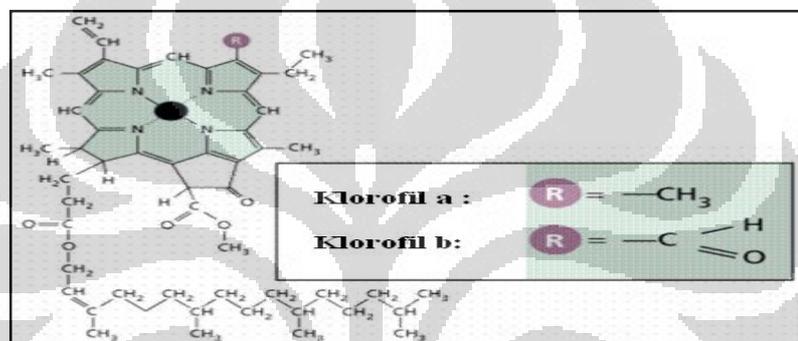
Gambar 4.2 Pengaruh Disinfeksi Virus IMNV Tanpa Teknik Ozonasi dan Radiasi Sinar UV pada SR dan Berat Badan Udang

Pengambilan data pada akuarium A tanpa menggunakan teknik ozonasi dan radiasi sinar UV dibatasi hingga tujuh hari pengamatan karena hanya bersisa 11 ekor udang dari 20 ekor udang (empat ekor udang mati terinfeksi virus IMNV). Pada hari pengamatan ketiga, lima ekor udang dipindahkan ke akuarium B sehingga dianggap jumlah udang utama pada akuarium A adalah 15 ekor. Pada hari pengamatan ketujuh, diuji coba penggunaan UV pada akuarium A. Penggunaan lampu UV pada awalnya dimaksudkan untuk membantu udang untuk bertahan dari serangan virus IMNV. Namun, penggunaan lampu UV pada akuarium A hanya bisa diaplikasikan selama enam hari pengamatan berikutnya karena level kematian tercapai.

Selama periode penggunaan sinar UV, terdapat sepuluh ekor udang mati terinfeksi virus IMNV dan satu ekor udang menghilang saat dilakukan perhitungan. Hal ini dapat disebabkan udang tersebut dikanibalkan oleh udang lainnya dalam kondisi yang lemah setelah *molting* (penggantian kulit) atau terinfeksi virus IMNV.

Pada saat penggunaan UV, kotoran udang mudah menumpuk bahkan dapat menumpuk pada selang aliran air. Mudah menumpuknya kotoran juga karena tidak

ada filter pada akuarium A. Hal ini dapat terjadi karena radiasi UVB dan UVC pada lampu UV menyebabkan penurunan kandungan klorofil (gambar 4.3). Klorofil mengabsorpsi cahaya UV sehingga memucatkan klorofil dan klorofil menjadi tidak berfungsi (Mahdavian, 2007). Radiasi UVB dan UVC membunuh plankton dengan cara menggumpalkannya (Gao, 2004). Plankton pada dasarnya diperlukan oleh udang sebagai salah satu sumber oksigen. Jika plankton berkurang dalam jumlah banyak, maka dapat menyebabkan kurangnya oksigen bagi udang.



Gambar 4.3 Struktur Klorofil pada Plankton yang Dapat Rusak oleh Radiasi UV (Latha, 2011)

Udang pada akuarium A memiliki pertumbuhan berat badan yang cukup baik, hal ini terlihat hingga hari pengamatan ketujuh berat badan udang bertambah dari 3 gram menjadi 6,8 gram. Hal ini diperoleh berdasarkan perbandingan pertumbuhan udang di tambak Kabupaten Pesawaran, Lampung dari 3 gram hanya menjadi 4,8 gram. Persen ketahanan udang hingga hari pengamatan ke-13 mencapai 40%. Hal ini menandakan ketahanan udang pada akuarium A cukup baik berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh D.L. Hank Harris karena penelitian tersebut menghasilkan SR kurang dari 10% pada hari pengamatan ke-13. Pada hari pengamatan ke-17 dilakukan pemasukan udang kembali sebanyak tiga ekor udang. Namun, udang tidak dapat bertahan lama akibat serangan virus IMNV dan stres akibat perubahan lingkungan sehingga level kematian terjadi pada hari pengamatan ke-19 sore.

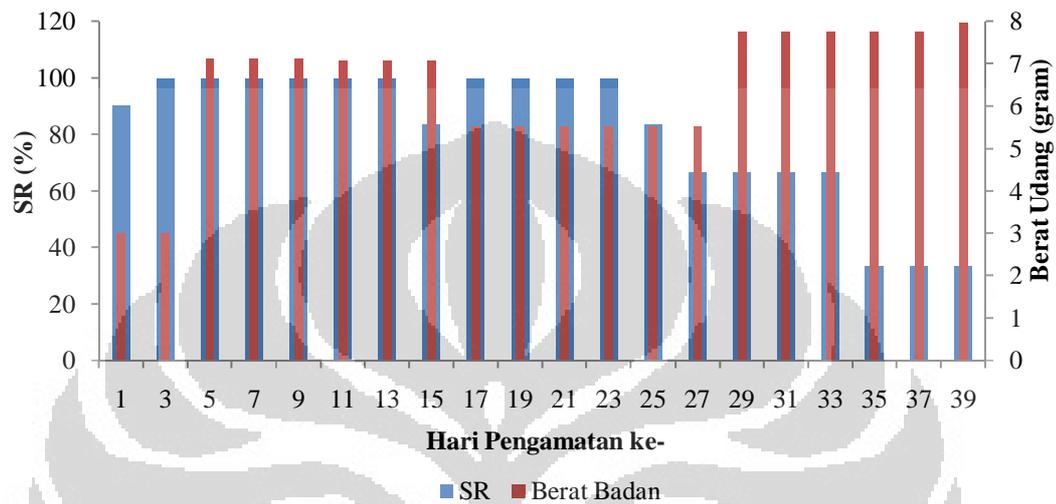
Tabel 4.3 Hasil Pengamatan Udang Mengenai Gejala Klinis dan Jumlah Udang Tiap Pengamatan pada Akuarium A

Hari Pengamatan ke-	Bintik Warna		Jumlah Udang Pagi			Jumlah Udang Sore			Keterangan
			Terinfeksi virus IMNV	Mati	Hidup	Terinfeksi virus IMNV	Mati	Hidup	
	Pagi	Sore							
Awal		Bening				0	0	20	Udang dan air tambak dimasukkan ke akuarium
1	Memburam	Bening	2	2	18	0	0	18	2 ekor udang terinfeksi IMNV
3	Bening	Bening	0	0	13	0	0	13	Air <i>blow up</i> di aquarium B sehingga 5 Udang diberikan ke aquarium B
5	Bagian perut memburam dan ekor memutih	Bagian perut memburam dan ekor memutih	3	0	13	3	0	13	Gejala awal terinfeksi virus IMNV masih terlihat, tetapi udang masih bertahan
7	Bagian perut memburam	Bagian perut memburam	5	2	11	5	0	11	Warna kolam semakin keruh
9	Bening	Bening	0	0	11	0	0	11	
11	Bening	Bening	0	0	11	0	0	11	
13	Bagian perut Memburam	Bagian perut Memburam	4	3	7	5	1	6	1 ekor udang menghilang dikarenakan perilaku kanibal udang lainnya
15	Badan memerah dan memburam	Badan memerah dan memburam	3	3	3	3	0	3	

Tabel 4.3 Hasil Pengamatan Udang Udang Mengenai Gejala Klinis dan Jumlah Udang Tiap Pengamatan pada Akuarium A (Lanjutan)

Hari Pengamatan ke-	Bintik Warna		Jumlah Udang Pagi			Jumlah Udang Sore			Keterangan
	Pagi	Sore	Terinfeksi IMNV	Mati	Hidup	Terinfeksi IMNV	Mati	Hidup	
17	Badan memerah dan memburam	Badan memerah dan memburam	3	3	0	3	0	3	Udang mencapai tingkat kematian, memasukkan kembali 3 ekor udang
19	Badan menghitam		3	3	0				Sehari setelah penanaman mencapai tingkat kematian

4.3. Analisis *Survival Ratio* (SR) dan Berat Badan Udang pada Akuarium B (Menggunakan Ozon)



Gambar 4.4 Pengaruh Disinfeksi Virus IMNV dengan Teknik Ozonasi pada SR dan Berat Badan Udang

Berat badan udang mengalami pertumbuhan yang baik. Pada hari pengamatan ke-13 berat badan udang menjadi 7,06 gram per ekor udang. Pada pengamatan ke-29, berat badan udang menjadi 7,75 gram. Kemudian pada pengamatan ke-39, udang memiliki berat badan 7,95 gram. Bertambahnya berat badan udang ini menunjukkan pertumbuhan udang cukup baik. Pada hari terakhir pengamatan, jumlah udang yang bertahan memiliki SR 33,33%. Hal ini menandakan disinfeksi menggunakan ozon membantu meningkatkan ketahanan udang.

Tabel 4.4 Tabel Hasil Pengamatan Mengenai Gejala Klinis dan Jumlah Udang Tiap Pengamatan pada Akuarium B (Menggunakan Teknik Ozonasi)

Hari Pengamatan ke-	Bintik Warna		Jumlah Udang Pagi			Jumlah Udang Sore			Keterangan
			Terinfeksi IMNV	Mati	Hidup	Terinfeksi IMNV	Mati	Hidup	
	Pagi	Sore							
Awal		Bening							Memasukkan sampel
1	Bening	Bening	2	2	18	0	0	18	Mati sudah berwarna merah
3	Bening	Bening	0	12	5	0	12	5	12 ekor udang mati karena peristiwa blow up air akuarium, 6 ekor udang yang hilang dapat disebabkan karena perilaku kanibal udang 5 ekor udang diambil dari aquarium A
5	Sedikit Memburam	Sedikit Memburam	4	0	5	4	0	5	Perubahan jumlah udang terinfeksi virus IMNV dapat terjadi karena ozonasi
7	Sedikit Memburam	Sedikit Memburam	2	0	5	2	0	5	Makanan tersisa banyak
9	Punggung sedikit merah	Punggung sedikit merah	3	0	5	5	0	5	
11	Punggung sedikit merah	Punggung sedikit merah	1	0	5	2	0	6	Menjadi 6 karena ditambah satu dari kolam C, karena di kolam C udang tersebut sudah lemas

Tabel 4.4 Tabel Hasil Pengamatan Mengenai Gejala Klinis dan Jumlah Udang Tiap Pengamatan pada Akuarium B (Menggunakan Teknik Ozonasi) (Lanjutan)

Hari Pengamatan ke-	Bintik Warna		Jumlah Udang Pagi			Jumlah Udang Sore			Keterangan
	Pagi	Sore	Terinfeksi IMNV	Mati	Hidup	Terinfeksi IMNV	Mati	Hidup	
13	Punggung sedikit merah	Punggung sedikit merah	1	0	6	1	0	6	2 yang terkena IMNV dalam keadaan sangat lemah Sehari sebelumnya dilakukan penanaman 3 ekor udang, kemudian 2 ekor dipindahkan ke akuarium C
15	Punggung sedikit merah	Punggung sedikit merah	3	1	5	2	0	5	
17	Punggung sedikit merah	Punggung sedikit merah	1	0	6	1	0	6	
19	Punggung sedikit merah dan badan memburam	Punggung sedikit merah dan badan memburam	2	0	6	1	0	6	
21	Punggung sedikit merah, memburam	Punggung sedikit merah, memburam	2	0	6	2	0	6	
23	Punggung sedikit merah, memburam	Punggung sedikit merah, memburam	2	0	6	2	0	6	
25	Punggung sedikit merah	Punggung sedikit merah	1	0	5	1	0	5	

Tabel 4.4 Tabel Hasil Pengamatan Mengenai Gejala Klinis dan Jumlah Udang Tiap Pengamatan pada Akuarium B (Menggunakan Teknik Ozonasi) (Lanjutan)

Hari Pengamatan ke-	Bintik Warna		Jumlah Udang Pagi			Jumlah Udang Sore			Keterangan
	Pagi	Sore	Terinfeksi IMNV	Mati	Hidup	Terinfeksi IMNV	Mati	Hidup	
27	Bening	Memburam	0	0	4	1	1	4	
29	Memburam	Memburam	2	0	4	2	0	4	
31	Memburam	Memburam	2	0	4	2	0	4	
33	Memburam	Memburam	3	0	4	2	0	4	
35	Memburam	Memburam	2	1	3	1	1	2	
37	Memburam	Memburam	1	0	2	1	0	2	
39	Memburam	Memburam	1	0	2	1	0	2	

Proses disinfeksi virus IMNV menggunakan ozon memiliki tingkat kematian sangat kecil. Pada pengamatan pertama, dua ekor udang mati terinfeksi virus IMNV, hal ini terlihat dari gejala klinis, yaitu udang berwarna oranye seperti udang matang. Pada hari pengamatan ketiga, air *blow up* sehingga hanya menyisakan sedikit air. Pada saat ditemukan, posisi pompa berada di atas level air. Pada kondisi ini pompa tidak dapat mensirkulasi air dan tidak dapat mengeluarkan gelembung udara. Hal ini menyebabkan udang yang berada di dalam air tidak mendapat suplai oksigen sehingga udang-udang tersebut mati. Pada waktu tersebut diketahui udang yang mati hanya 12 dan seharusnya terdapat 18 udang, hal ini dapat disebabkan perilaku kanibal yang dimiliki udang dikala proses *molting* (pengelupasan kulit) ataupun penyerangan udang yang sedang lemah karena terinfeksi IMNV.



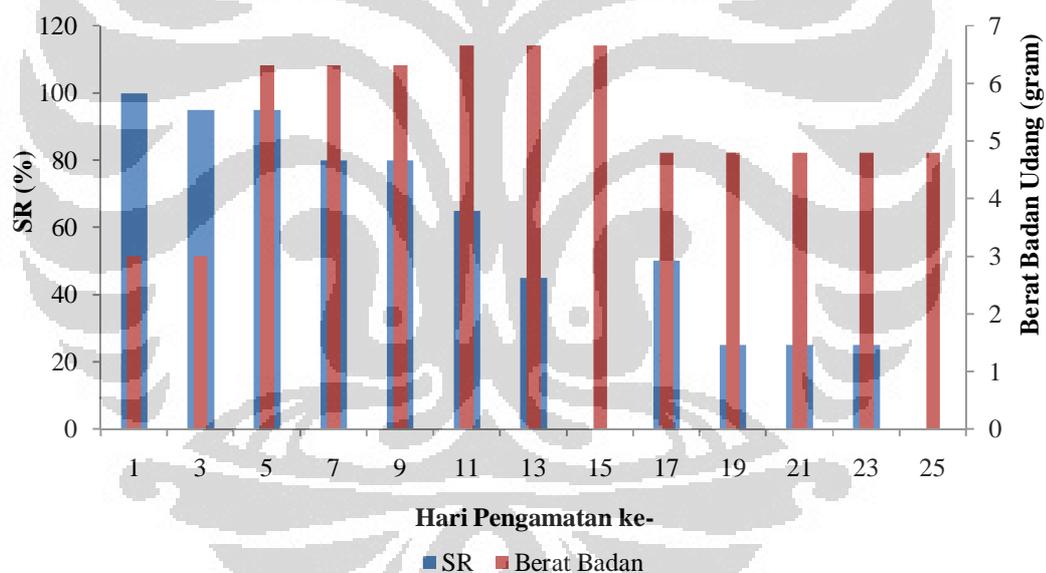
Gambar 4. 5 Udang yang Terserang Virus IMNV dengan Bagian Perut dan Ekor Memerah (Atas) serta Otot Dekat Kepala Memutih (Bawah)

Pada hari pengamatan ketiga, peneliti memasukkan 5 ekor udang dari akuarium A kemudian diozonasi hingga beberapa hari ke depan. Peneliti memperoleh hasil udang yang bertahan dengan tingkat ketahanan 100% hingga hari pengamatan ke-13. Ketahanan udang seperti ini dipengaruhi oleh disinfeksi dengan menggunakan teknik ozonasi dan populasi udang yang tidak padat. Pada akuarium B, kualitas air yang diukur tiap pengamatan pun berbeda-beda, udang dapat bertahan karena bantuan ozonasi, nilai DO, suhu, dan pH yang masih dalam rentang baku mutu.

Virus IMNV merupakan *non-enveloped virus* yang terdiri dari RNA. Ozon merusak protein virus sehingga virus terdeaktivasi. Di sisi lain, ozonasi air laut dapat

mengakibatkan kerusakan klorofil (Reeser, 2008), klorofil dalam penelitian ini dimiliki oleh plankton. Namun, penghancuran klorofil oleh ozon tidak sekuat penghancuran klorofil oleh sinar UV. Hal ini disebabkan ozon dapat mengalami penurunan konsentrasi seiring dengan semakin panjangnya jalur horizontal penyebaran ozon. Jika plankton semakin berkurang keberadaannya di dalam akuarium, keseimbangan pertumbuhan udang akan terganggu. Selain itu, udang bergantung pada plankton sebagai salah satu sumber oksigen.

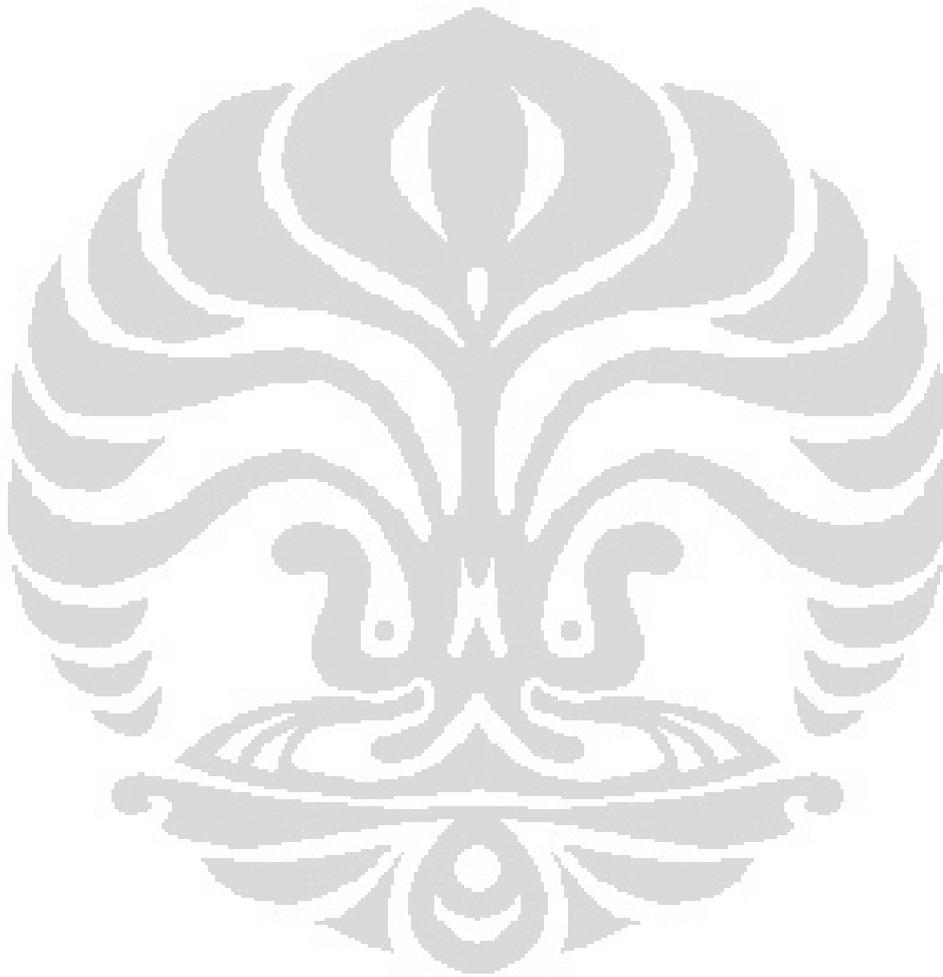
4.4. Analisis *Survival Ratio* (SR) dan Berat Badan Udang pada Akuarium C (Mengggunakan Teknik Ozonasi dan Radiasi Sinar UV)



Gambar 4.6 Pengaruh Disinfeksi Virus IMNV Dengan Teknik Ozonasi dan Radiasi Sinar UV pada SR dan Berat Badan Udang

Setelah melakukan proses disinfeksi dengan hanya menggunakan proses ozonasi, dilakukan proses disinfeksi menggunakan kombinasi teknik ozonasi dan radiasi sinar UV. Pertumbuhan udang pada akuarium C cukup baik, hal ini dapat dilihat dari grafik bahwa pertumbuhan berat udang dari 3 gram menjadi 6,32 gram,

seminggu kemudian menjadi 6,66 gram. Pada hari pengamatan ke-17 dilakukan penanaman udang kembali dengan berat udang 4,8 gram. Namun, ketahanan udang tidak baik dikarenakan pada dua pengamatan selanjutnya sudah tercapai level kematian. Hal ini dapat disebabkan oleh infeksi virus IMNV dan stres karena perubahan lingkungan.



Tabel 4.5 Tabel Hasil Pengamatan Mengenai Gejala Klinis dan Jumlah Udang Tiap Pengamatan pada Akuarium C (Menggunakan Teknik Ozonasi dan Radiasi Sinar UV)

Pengamatan ke-	Bintik Warna		Jumlah Udang Pagi			Jumlah Udang Sore			Keterangan
			Terinfeksi IMNV	Mati	Hidup	Terinfeksi IMNV	Mati	Hidup	
	Pagi	Sore							
Awal		Sedikit buram				1	0	20	Memasukkan udang dan air tambak Air <i>blow up</i> sehingga diberikan air tambak kembali → Oleh karena itu udang mengalami sedikit buram pada bagian perut. Kematian 1 ekor udang dikarenakan ganti kulit Amonia tinggi pada sore hari sehingga kemungkinan udang mengalami stres - kotoran menumpuk
1	Sedikit buram	Sedikit buram	1	0	20	1	0	20	
3	Sedikit buram	Sedikit buram	1	1	19	1	0	19	
5	Bening - Kaki berkapas	Bening - Kaki berkapas	4	0	19	8	0	19	
7	Bagian perut sedikit buram	Bagian perut sedikit buram	5	3	16	3	0	16	

Tabel 4.5 Tabel Hasil Pengamatan Mengenai Gejala Klinis dan Jumlah Udang Tiap Pengamatan pada Akuarium C (Menggunakan Teknik Ozonasi dan Radiasi Sinar UV) (Lanjutan)

Pengamatan ke-	Bintik Warna		Jumlah Udang Pagi			Jumlah Udang Sore			Keterangan
	Pagi	Sore	Terinfeksi IMNV	Mati	Hidup	Terinfeksi IMNV	Mati	Hidup	
9	Badan memburam-punggung sedikit merah	Badan memburam-punggung sedikit merah	3	0	16	1	0	16	
11	Punggung sedikit memerah	Punggung sedikit memerah	3	2	14	4	0	13	Satu ekor udang dipindahkan ke kolam B yang populasinya lebih sedikit karena sudah lemas
13	Punggung sedikit memerah	Punggung sedikit memerah	6	1	11	7	2	9	Satu ekor udang menghilang, kemungkinan diakibatkan perilaku kanibal udang
15	Punggung sedikit memerah		9	9	0				5 memerah dan 1 menghitam (otot putih); tercapai level KEMATIAN

Tabel 4.5 Tabel Hasil Pengamatan Mengenai Gejala Klinis dan Jumlah Udang Tiap Pengamatan pada Akuarium C (Menggunakan Teknik Ozonasi dan Radiasi Sinar UV) (Lanjutan)

Pengamatan ke-	Bintik Warna		Jumlah Udang Pagi			Jumlah Udang Sore			Keterangan
	Pagi	Sore	Terinfeksi IMNV	Mati	Hidup	Terinfeksi IMNV	Mati	Hidup	
17	Punggung sedikit memerah	Abdominal memburam	4	4	0	1	0	2	Sehari sebelum pengamatan dimasukkan udang 4 ekor. Dua ekor udang diberikan dari kolam B untuk dilihat kembali efek UV dan ozon terhadap virus IMNV
19	Abdominal memburam	Abdominal memburam	1	0	1	1	0	1	
21	Abdominal memburam	Abdominal memburam	1	0	1	1	0	1	
23	Abdominal memburam	Abdominal memburam	1	0	1	1	0	1	
25	Abdominal memburam	Abdominal memburam	1	0	1	1	1	0	
									Tercapai level kematian

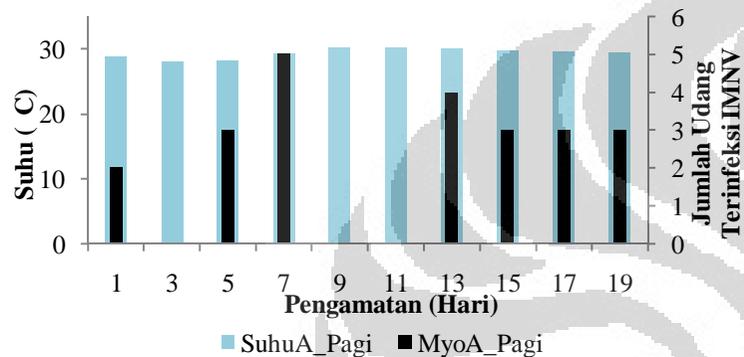
Penggunaan sinar UV pada penelitian disinfeksi virus IMNV ini tidak menghasilkan hasil yang memuaskan. Hal ini terjadi karena sinar UV menyebabkan terjadinya pemudaran klorofil. Hal ini terjadi karena eksitasi dari energi yang diabsorpsi kemudian terbentuk radikal yang reaktif terhadap klorofil (Zvezdanovic, 2007). Klorofil pada penelitian ini dimiliki oleh plankton yang berfungsi sebagai salah satu penyedia oksigen bagi udang. Oleh karena itu, berkurangnya plankton oleh sinar UV yang berlebihan berbahaya bagi pertumbuhan udang.

Seperti yang sudah dijelaskan pada subbab 4.3, ozonasi dapat menginaktivasi virus sehingga virus tidak dapat bereproduksi kembali. Ozonasi pada dasarnya dapat menghasilkan inaktivasi virus hingga 99%. Setelah 13 hari pengamatan udang, udang yang bertahan dari serangan infeksi virus IMNV sebanyak 45%. Namun, setelah melewati 13 hari udang *vannamei* mati perlahan-lahan karena kualitas air yang kurang mendukung pertumbuhannya. Berbagai cara dari mulai pemberian kapur hingga penggunaan aerator sudah dilakukan, tetapi kualitas air masih belum stabil. Pertumbuhan udang yang kurang baik dapat pula disebabkan oleh penumpukan kotoran pada lampu UV saat air tersirkulasi. Di samping itu, sinar UV dapat mematikan plankton. Udang di akuarium C mencapai level kematian pada hari pengamatan ke-25. Hal ini disebabkan kualitas air yang kurang mendukung pertumbuhan dan kondisi akuarium yang memang berbeda dari keadaan di tambak udang.

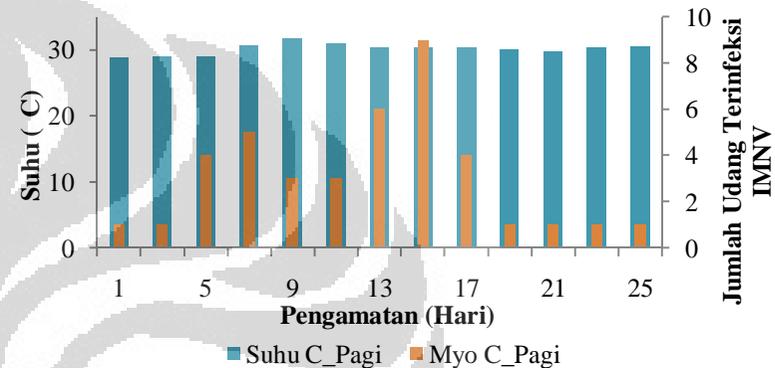
4.5. Analisis Kualitas Air Tambak Udang (pH, Suhu, DO (*Dissolved Oxygen*), NO₂, NH₃, PO₄, kH, dan Salinitas) pada Proses Disinfeksi Virus IMNV

Kelangsungan hidup udang *vannamei* sebagai organisme hidup dan berkembang di dalam air dipengaruhi oleh kualitas air tempat udang *vannamei* dibudidayakan (Amri, 2008). Berikut adalah analisis kualitas air pada simulasi disinfeksi virus IMNV pada air tambak udang:

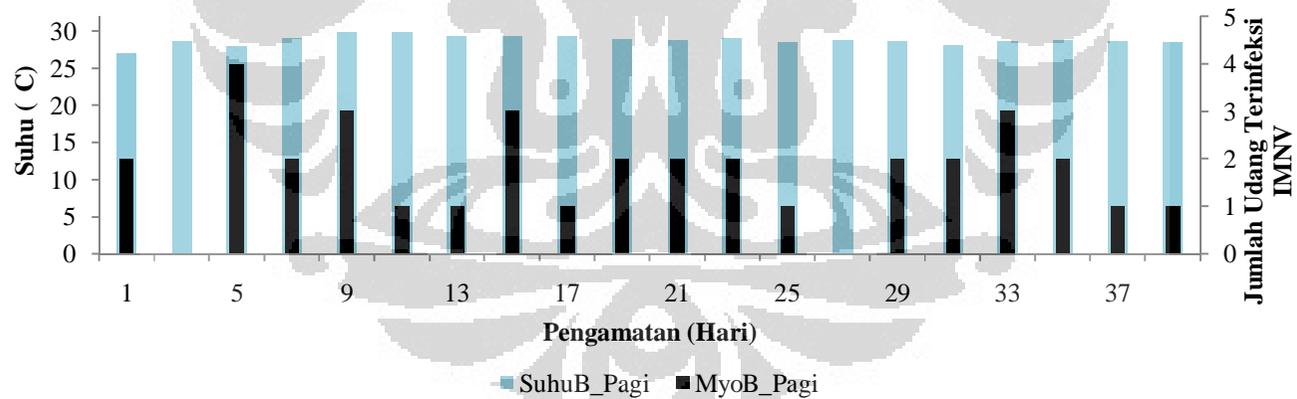
4.5.1. Analisis Suhu Air Tambak pada Proses Disinfeksi Virus IMNV



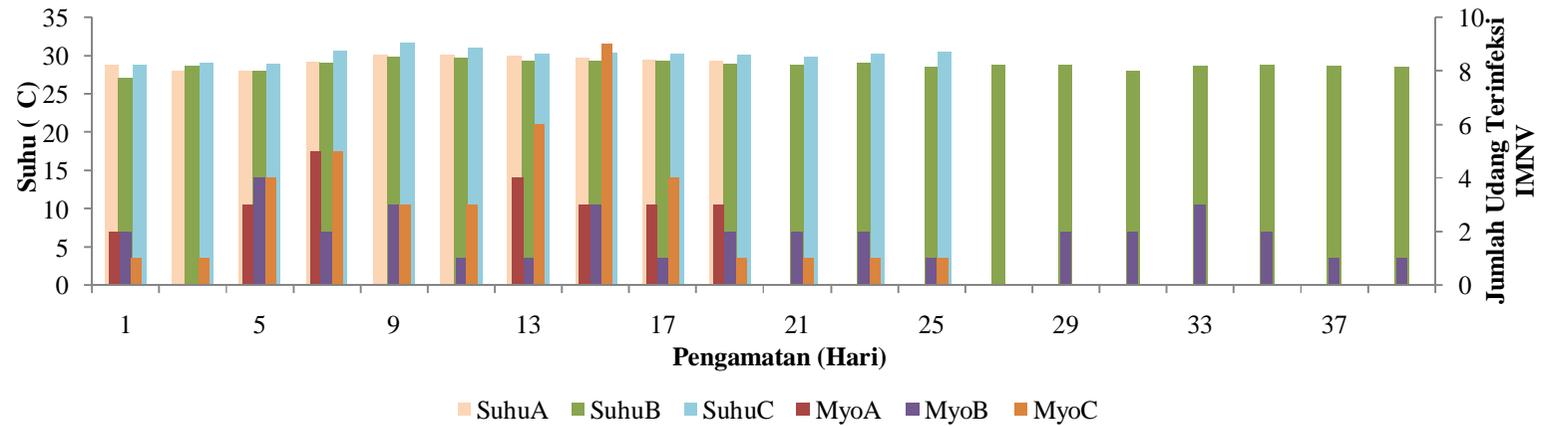
Gambar 4.7 Pengamatan Suhu Pagi terhadap Jumlah Infeksi Virus IMNV pada Udang Proses Disinfeksi di Akuarium A



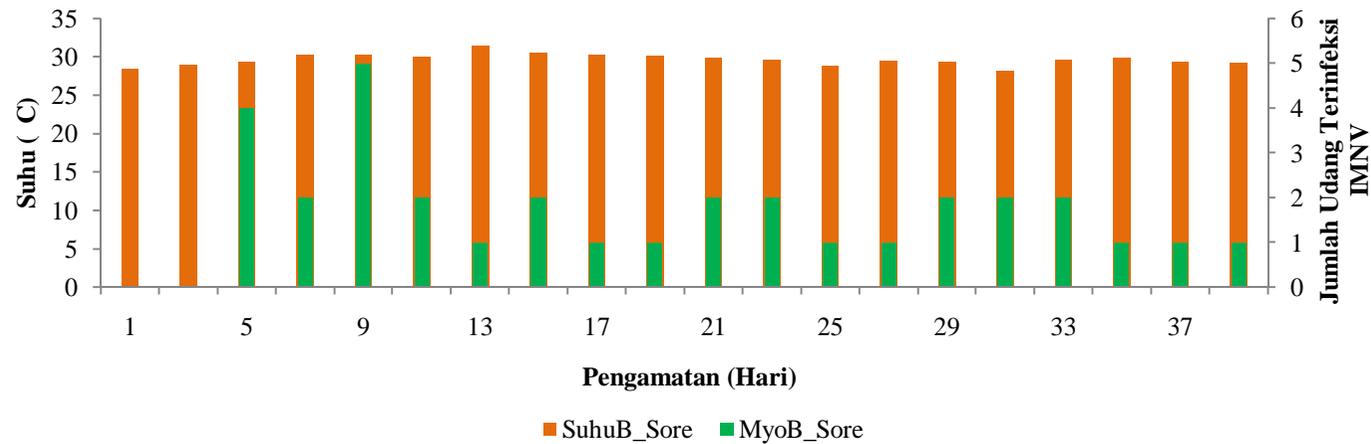
Gambar 4.8 Pengamatan Suhu Pagi terhadap Jumlah Infeksi Virus IMNV pada Udang Proses Disinfeksi di Akuarium C



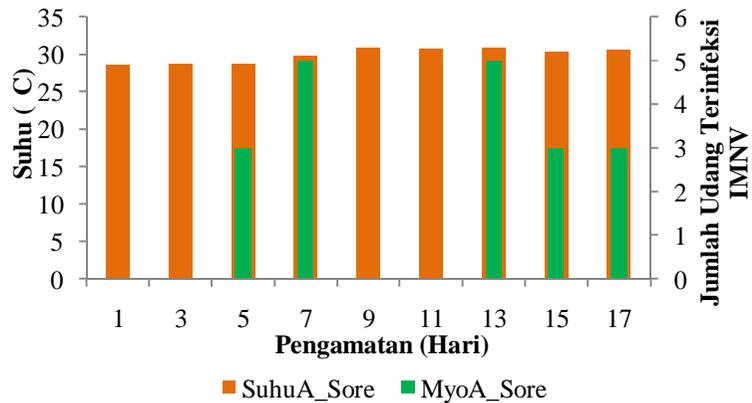
Gambar 4.9 Pengamatan Suhu Pagi terhadap Jumlah Infeksi Virus IMNV pada Udang Proses Disinfeksi di Akuarium B



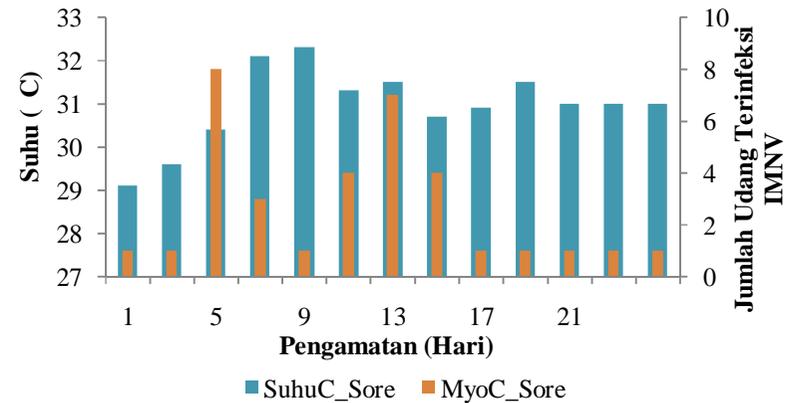
Gambar 4.10 Pengamatan Suhu Pagi terhadap Jumlah Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi



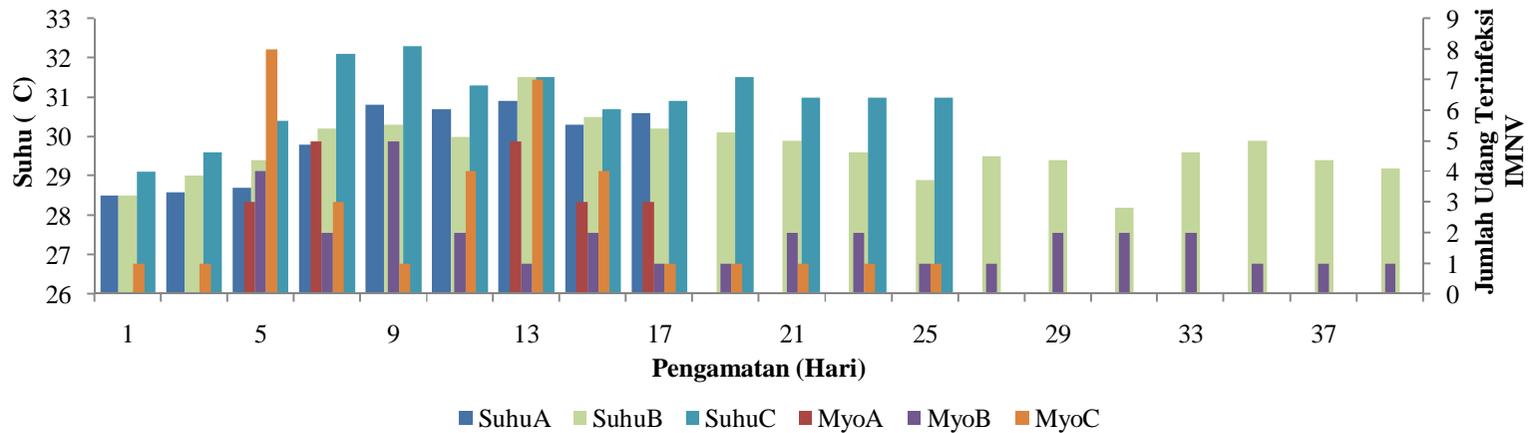
Gambar 4.11 Pengamatan Suhu Sore terhadap Jumlah Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi di Akuarium B



Gambar 4.12 Pengamatan Suhu Sore terhadap Jumlah Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi di Akuarium A



Gambar 4.13 Pengamatan Suhu Sore terhadap Jumlah Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi di Akuarium C



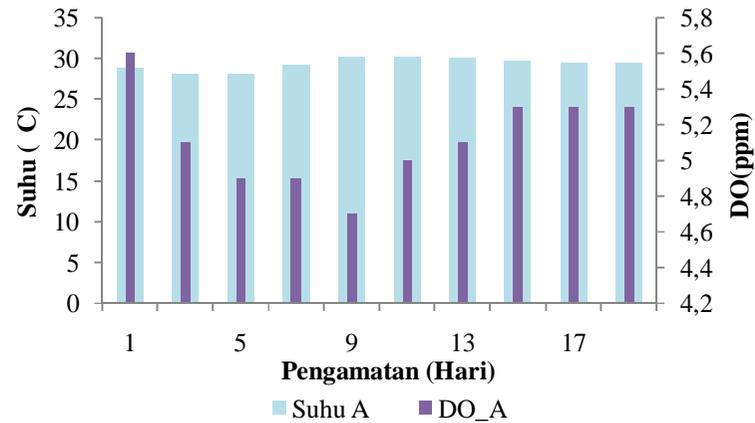
Gambar 4.14 Pengamatan Suhu Sore terhadap DO Sore setelah Proses Disinfeksi Virus IMNV

Suhu air tambak diukur pada pagi dan sore hari dengan tujuan untuk mengetahui fluktuasi suhu. Jika terjadi kenaikan suhu yang sangat drastis, maka dapat dilakukan tindakan untuk menurunkan suhu dengan cara pencampuran air tambak sebanyak 10-15% volume. Berdasarkan grafik hasil pengamatan (Gambar 4.7 – 4.14), suhu pada penelitian dalam akuarium A memiliki kisaran 28 – 30,9°C, Akuarium B memiliki kisaran 27,1 – 31,5°C, dan Akuarium C memiliki kisaran 28,8 – 32,3°C. Peningkatan suhu dipengaruhi adanya panas dari lampu UV dan pompa. Namun, suhu pada proses disinfeksi ini masih dalam baku mutu suhu air untuk pertumbuhan udang.

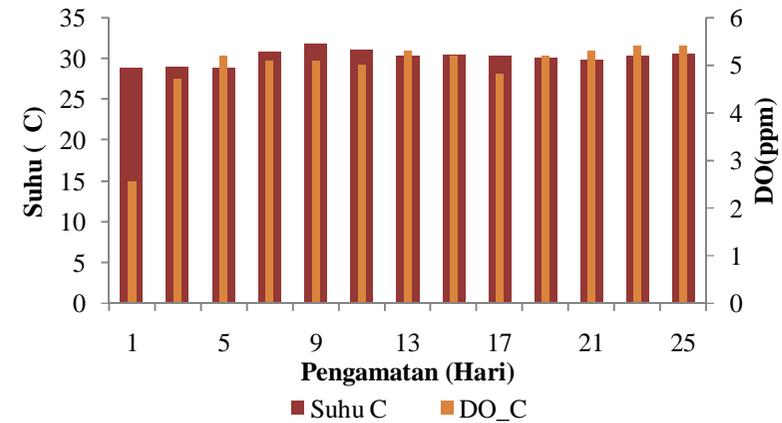
Peningkatan suhu menyebabkan penurunan kelarutan ozon sehingga proses disinfeksi mikroorganisme oleh ozon menurun seiring dengan meningkatnya suhu (Van der Helm, 2007). Akan tetapi, dari grafik di atas, dapat dilihat bahwa perubahan suhu pada proses disinfeksi dalam penelitian ini tidak memberikan pengaruh yang signifikan. Pada beberapa kali pengamatan dapat dilihat bahwa jumlah udang yang terinfeksi tetap sama walaupun terjadi fluktuasi suhu. Hal ini dipengaruhi pula oleh kondisi kualitas air yang masih dalam rentang baku mutu sehingga udang masih dapat bertahan hidup.

Di sisi lain, inaktivasi mikroorganisme menggunakan radiasi sinar UV tidak bergantung pada suhu air (Clark, 2011). Pada akuarium A, peningkatan suhu tidak diiringi oleh peningkatan inaktivasi virus IMNV karena akuarium A tidak menggunakan ozon.

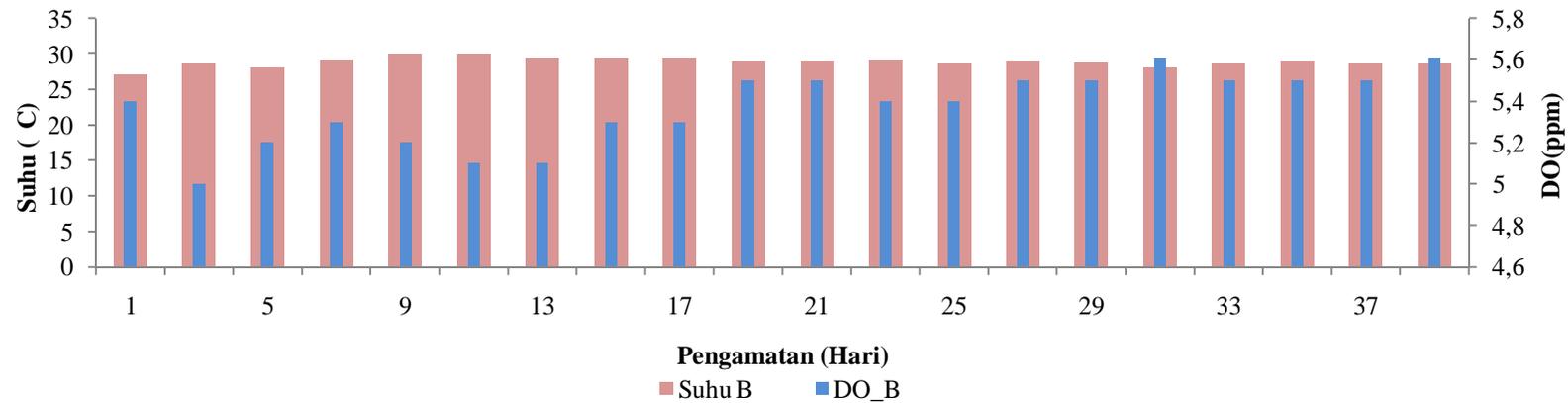
Suhu air tambak udang di pagi (pukul 08.00 WIB) dan sore hari (pukul 16.00 WIB) tidak berbeda jauh. Suhu di sore hari cenderung lebih tinggi daripada di pagi hari karena masih terdapat akumulasi panas matahari dari siang hari. Suhu memiliki peranan penting karena berpengaruh terhadap kelarutan gas-gas dalam air dan akan mempengaruhi proses pertumbuhan organisme dalam air. Hal ini terlihat seperti pada Gambar 4.15 – 4.20, sebagai berikut:



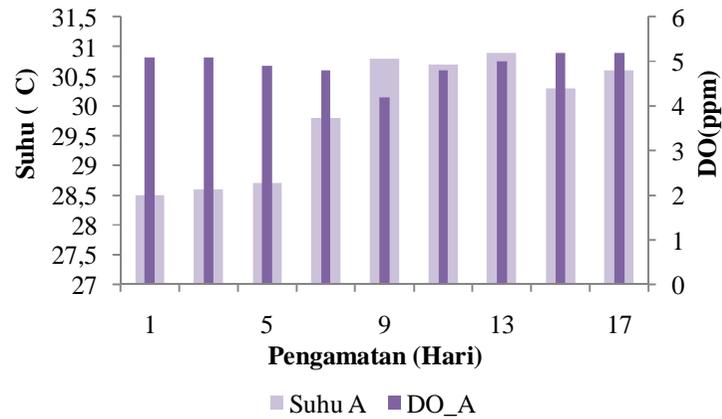
Gambar 4. 15 Pengaruh Suhu terhadap DO pada Proses Disinfeksi Virus IMNV Pagi di Akuarium A



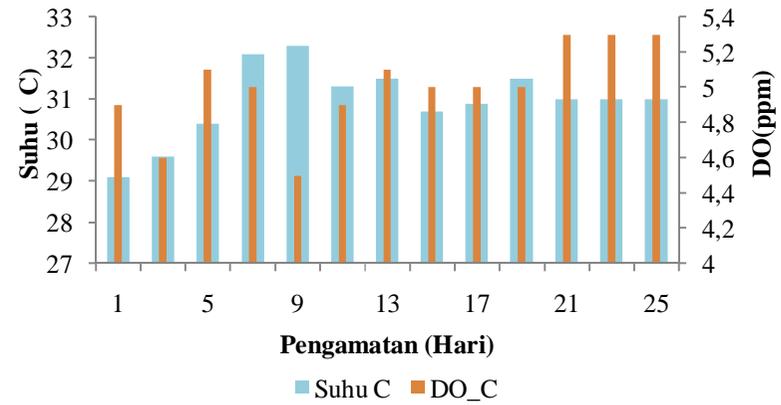
Gambar 4. 16 Pengaruh Suhu terhadap DO pada Proses Disinfeksi Virus IMNV Pagi di Akuarium C



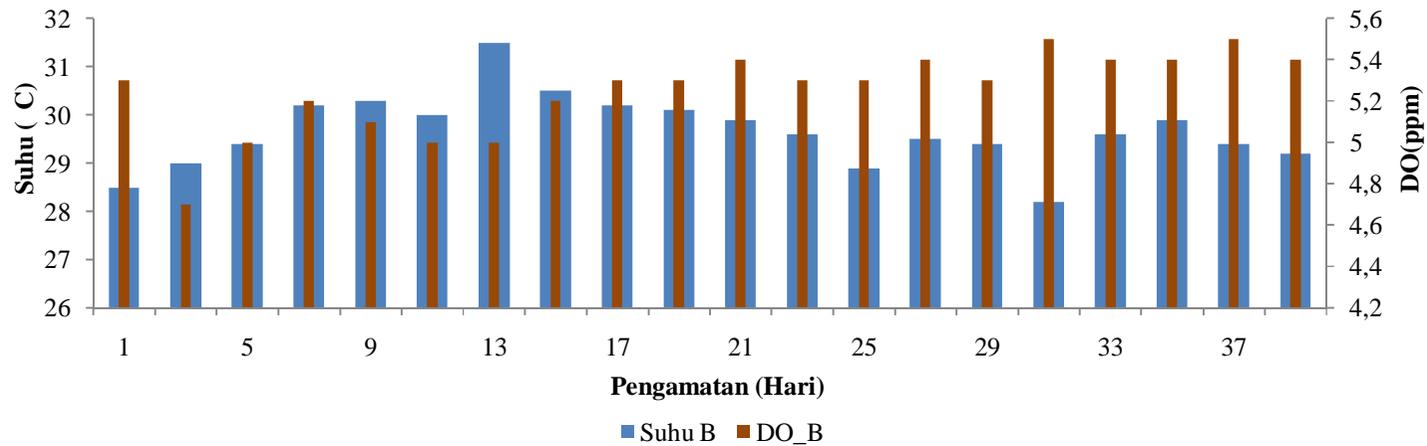
Gambar 4. 17 Pengaruh Suhu terhadap DO pada Proses Disinfeksi Virus IMNV Pagi di Akuarium B



Gambar 4. 18 Pengaruh Suhu Sore terhadap DO pada Proses Disinfeksi Virus IMNV di Akuarium A



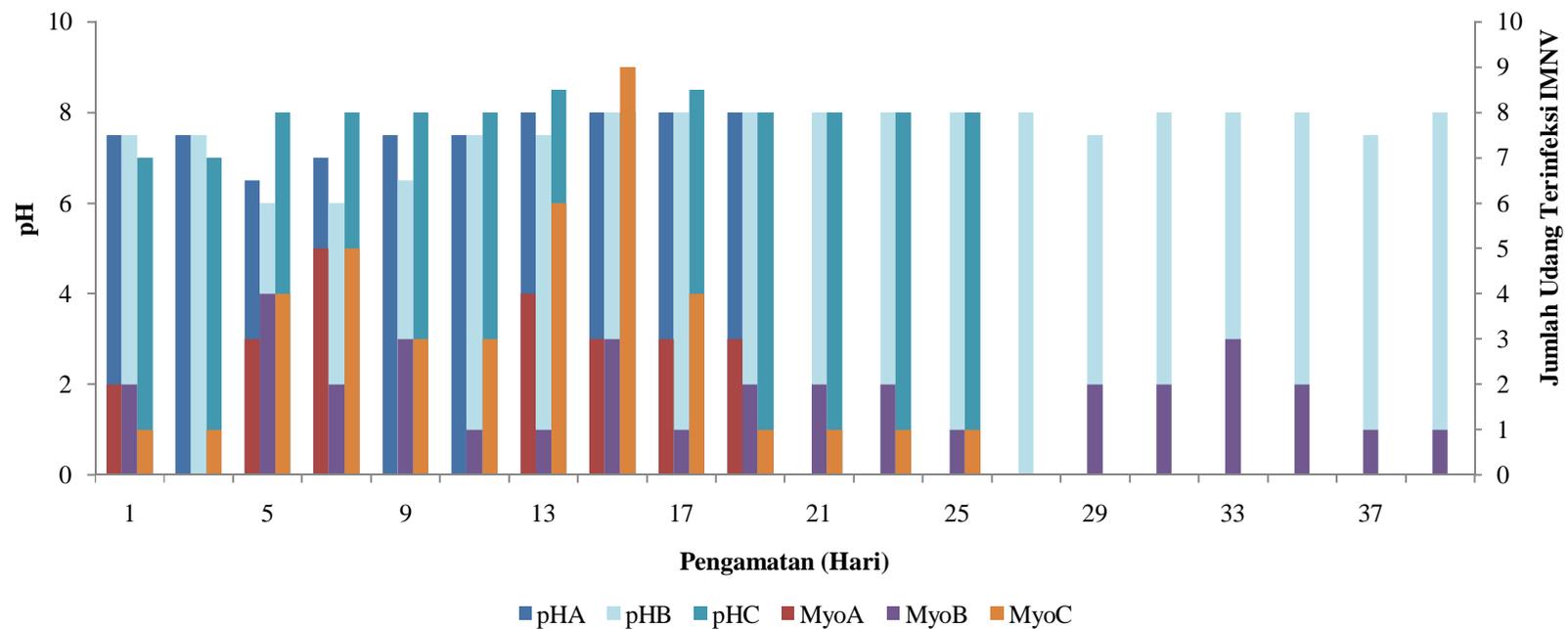
Gambar 4. 19 Pengaruh Suhu Sore terhadap DO pada Proses Disinfeksi Virus IMNV di Akuarium C



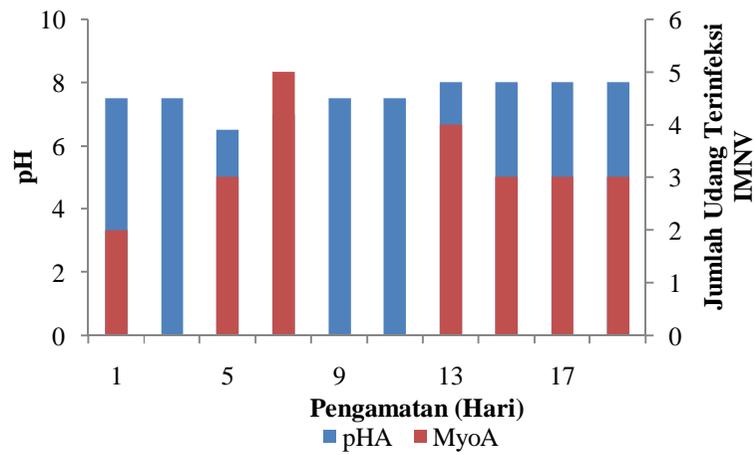
Gambar 4.20 Pengaruh Suhu Sore terhadap DO pada Proses Disinfeksi Virus IMNV di Akuarium B

Semakin tinggi suhu air, semakin tinggi pula laju metabolisme udang, yang berarti akan semakin besar konsumsi oksigen, di sisi lain kenaikan suhu akan mengurangi daya larut oksigen dalam air (Kordi, 2009). Pada grafik di atas (Gambar 4.16 – 4.20) dapat dilihat bahwa peningkatan suhu diiringi dengan penurunan DO.

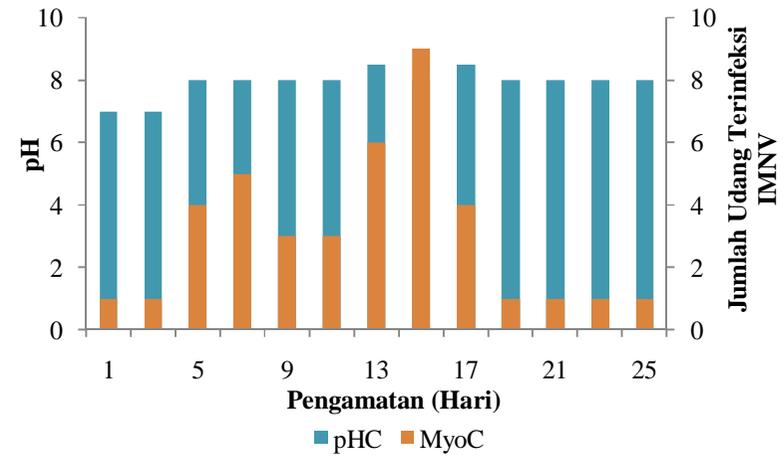
4.5.2. Analisis pH Air Tambak pada Proses Disinfeksi Virus IMNV



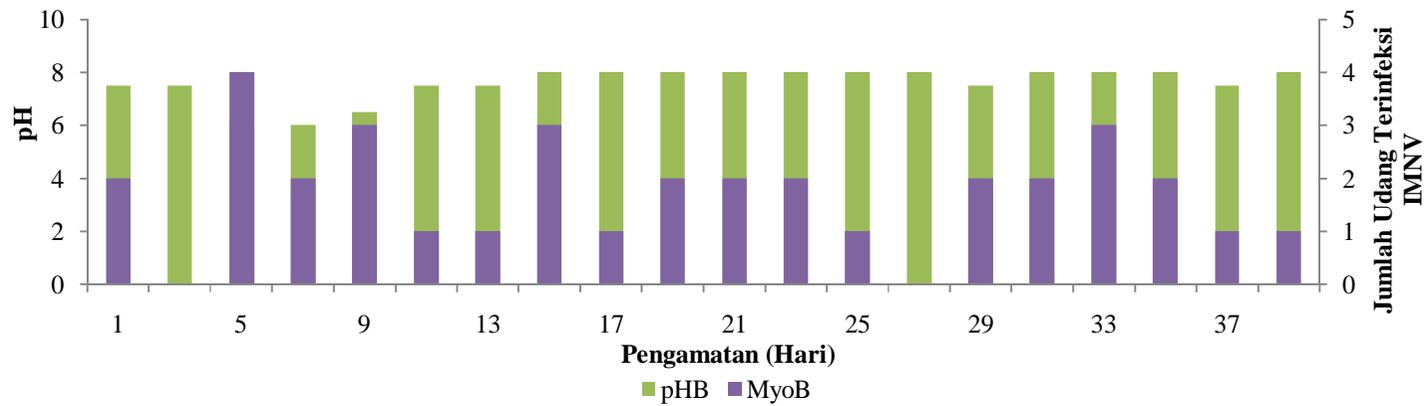
Gambar 4. 21 Pengaruh pH terhadap Jumlah Udang Terinfeksi IMNV Pagi



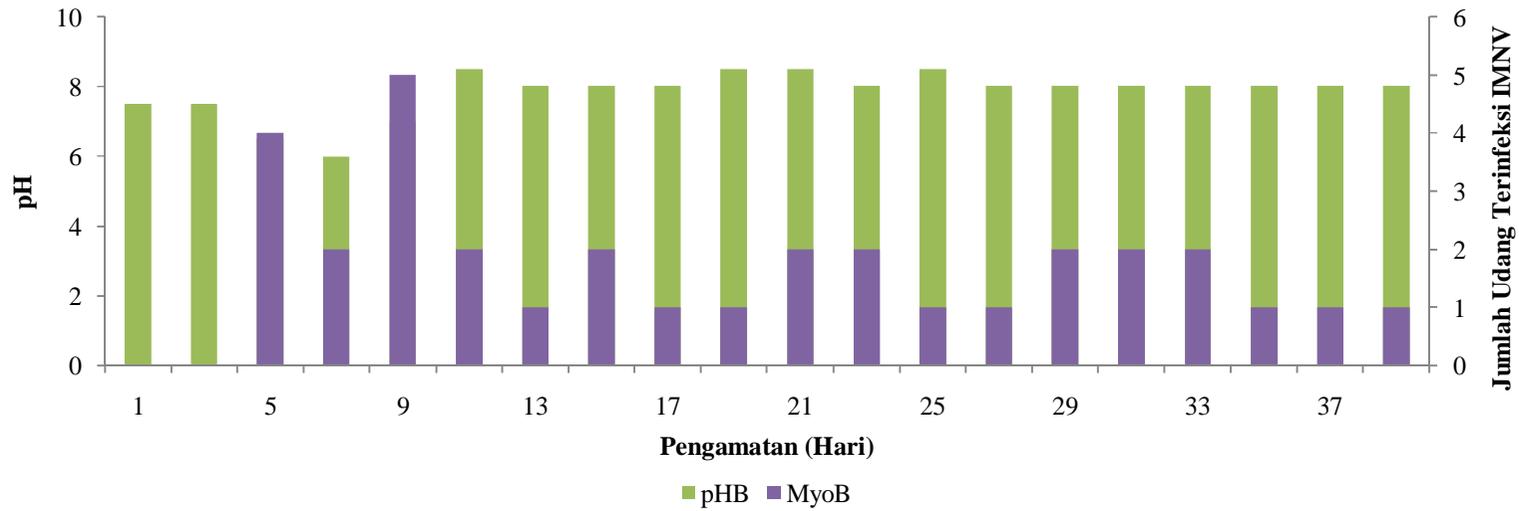
Gambar 4.22 Pengaruh pH terhadap Jumlah Udang Terinfeksi IMNV Pagi di Aquarium A setelah Proses Disinfeksi



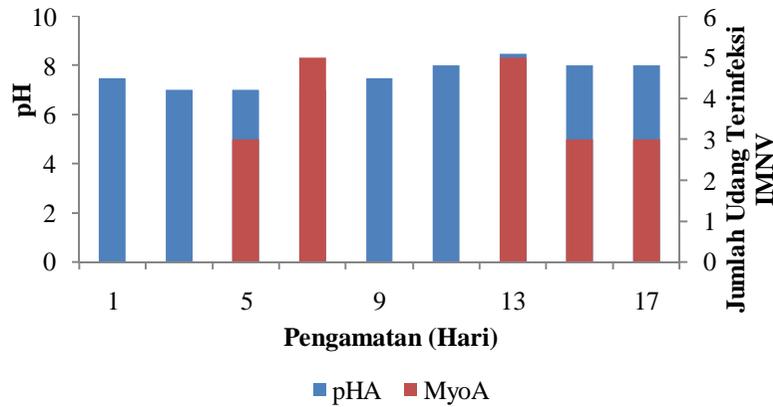
Gambar 4.23 Pengaruh pH terhadap Jumlah Udang Terinfeksi IMNV Pagi di Aquarium C setelah Proses Disinfeksi



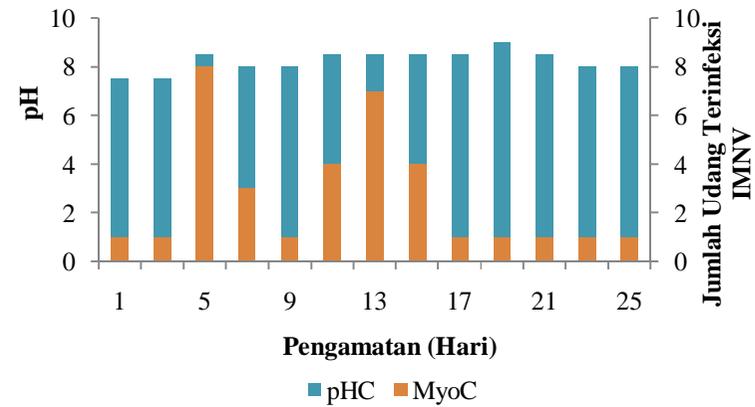
Gambar 4.24 Pengaruh pH terhadap Jumlah Udang Terinfeksi IMNV Pagi di Aquarium B setelah Proses Disinfeksi



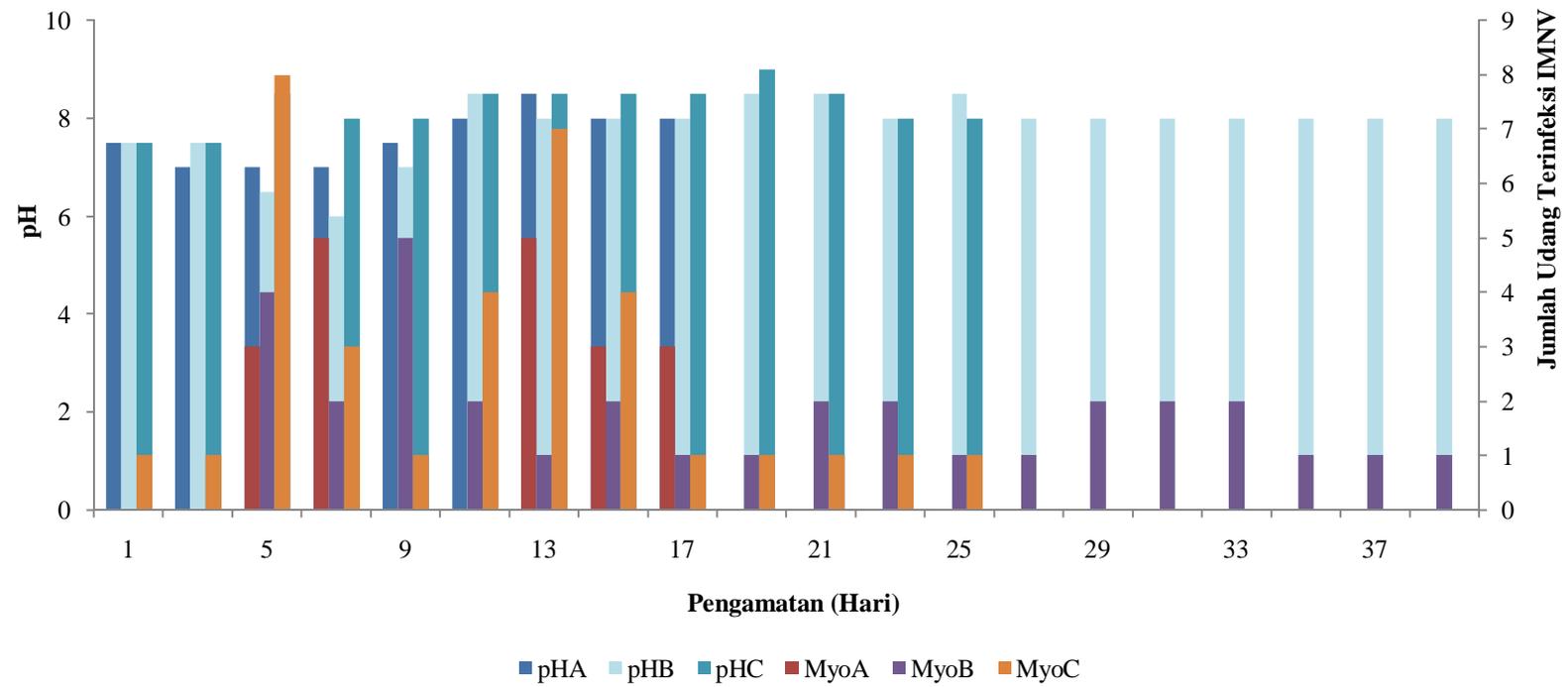
Gambar 4.25 Pengaruh pH terhadap Jumlah Udang Terinfeksi IMNV Sore di Aquarium B setelah Proses Disinfeksi



Gambar 4. 26 Pengaruh pH terhadap Jumlah Udang Terinfeksi IMNV Sore di Aquarium A setelah Proses Disinfeksi



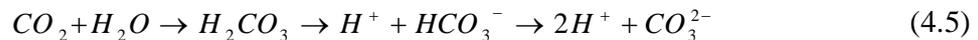
Gambar 4. 27 Pengaruh pH terhadap Jumlah Udang Terinfeksi IMNV Sore di Aquarium C setelah Proses Disinfeksi



Gambar 4. 28 Pengaruh pH terhadap Jumlah Udang Terinfeksi IMNV Sore setelah Proses Disinfeksi

pH pada akuarium A, B, C diukur pada pagi dan sore hari untuk mengetahui fluktuasi pH sehingga jika nilai pH cenderung terlalu rendah akan dilakukan tindakan pemberian kapur (2 ppm) dan jika nilai pH terlalu tinggi maka akan dilakukan tindakan pencampuran air tambak 10 – 15%. Berdasarkan Gambar 4.21 – 4.28, pH pada akuarium A memiliki kisaran 6,5 – 8,5. pH pada akuarium B memiliki kisaran 6 – 8,5 dan pH pada akuarium C memiliki kisaran 7 – 9. Pada beberapa hari pengamatan, nilai pH pada akuarium A dan B sempat di bawah baku mutu, yaitu pH 6 dan 6,5. Untuk mengembalikan nilai pH pada rentang baku mutu, air tambak dalam penelitian ini diberikan kapur dan KOH.

pH air mempengaruhi tingkat kesuburan perairan karena mempengaruhi kehidupan jasad renik (Kordi, 2007). Perairan asam akan kurang produktif sehingga dapat membunuh hewan budidaya. Nilai pH yang kecil menandakan oksigen terlarut dalam air rendah, aktivitas pernapasan naik, dan selera makan menurun. Dalam air tambak umum dengan segala aktivitas fotosintesis dan respirasi organisme yang hidup di dalamnya membentuk reaksi berantai karbonat – karbonat, sebagai berikut:

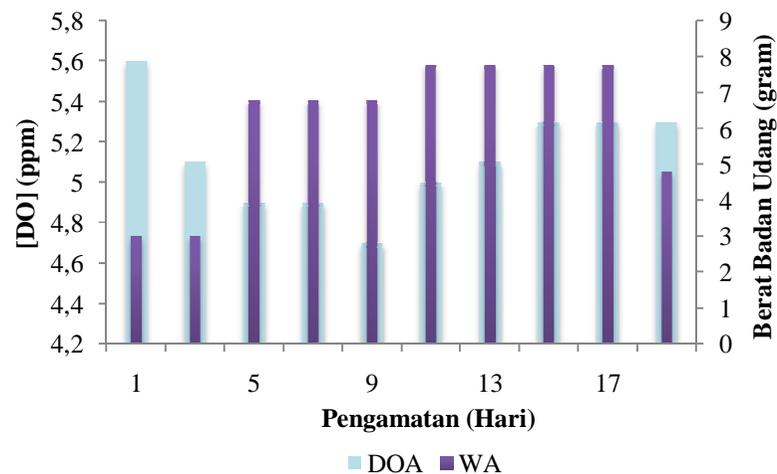


Nilai pH di bawah baku mutu (6 dan 6,5) dapat disebabkan adanya aktivitas bakteri dan plankton sebagai makhluk hidup selain udang *vannamei*. Karena semakin banyak CO₂ yang dihasilkan dari hasil respirasi, reaksi bergerak ke kanan dan secara bertahap melepaskan ion H⁺ yang menyebabkan pH air turun. Reaksi sebaliknya terjadi dengan aktivitas fotosintesis yang membutuhkan banyak ion CO₂, menyebabkan pH air naik.

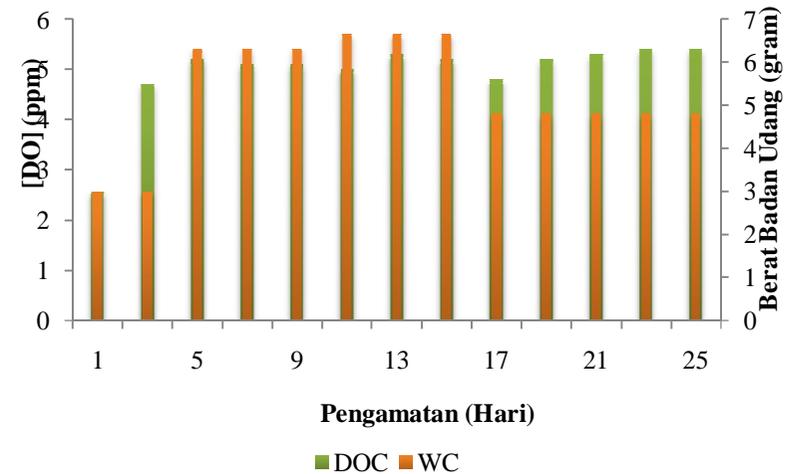
Proses disinfeksi virus IMNV bergantung pada pH. Nilai pH yang semakin tinggi akan meningkatkan efektivitas disinfeksi oleh ozon. Hal ini disebabkan transformasi ozon menjadi radikal hidroksil bergantung pada nilai pH dan lebih baik pada kondisi pH basa (Von, 2003). Radikal hidroksil merupakan senyawa yang reaktif dan memiliki potensial oksidasi lebih besar dari pada ozon (lihat pada tabel 2.3). Namun, pada proses disinfeksi air tambak, ozon memiliki peran yang lebih besar dibandingkan dengan radikal hidroksil karena keberadaan ion karbonat akan mengurangi produksi radikal hidroksil.

Walaupun pH dalam penelitian ini memiliki kecenderungan dalam kondisi basa, ion karbonat dalam air tambak memiliki peranan untuk mempertahankan keberadaan ozon di dalam air. Di sisi lain, proses disinfeksi menggunakan lampu UV tidak dipengaruhi oleh nilai pH (Clark, 2011). Grafik yang ditunjukkan Gambar 4.21 – 4.28 memiliki kecenderungan nilai pH yang semakin tinggi yang dapat membantu proses disinfeksi virus IMNV berjalan dengan baik.

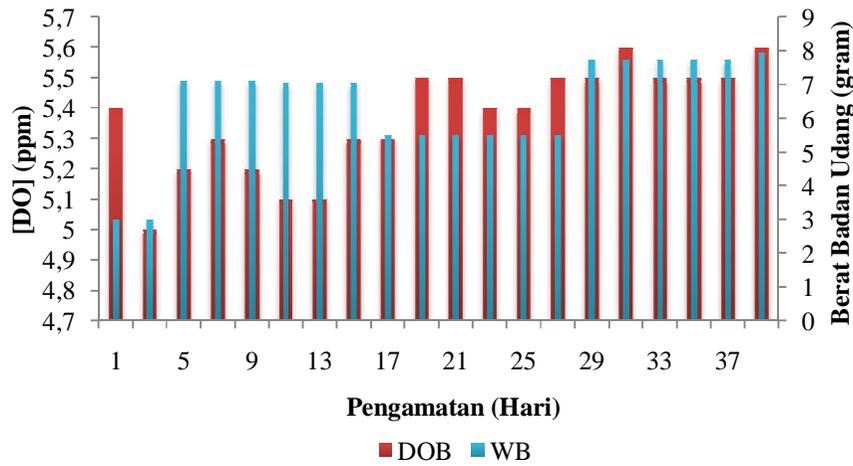
4.5.3. Analisis DO Air Tambak pada Proses Disinfeksi Virus IMNV



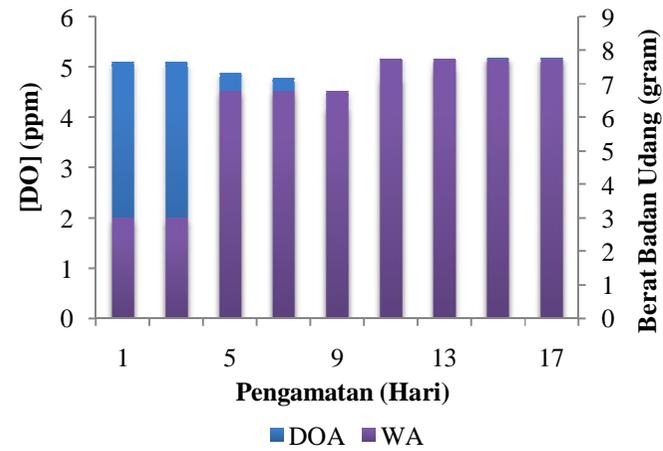
Gambar 4. 29 Pengaruh DO terhadap Berat Badan Udang (W) Pagi di Akuarium A setelah Proses Disinfeksi



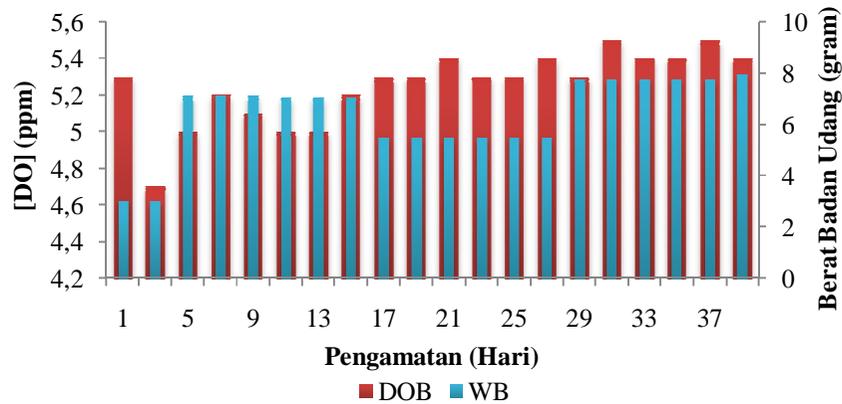
Gambar 4. 30 Hubungan DO dan Berat Badan Udang (W) Pagi di Akuarium C setelah Proses Disinfeksi



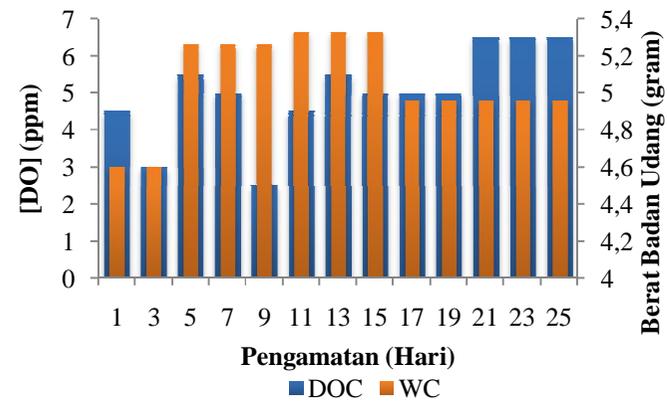
Gambar 4.31 Hubungan DO dan Berat Badan Udang (W) Pagi di Aquarium B setelah Proses Disinfeksi



Gambar 4.32 Hubungan DO dan Berat Badan Udang (W) Sore di Aquarium A setelah Proses Disinfeksi



Gambar 4.33 Hubungan DO dan Berat Badan Udang (W) Sore di Aquarium B setelah Proses Disinfeksi

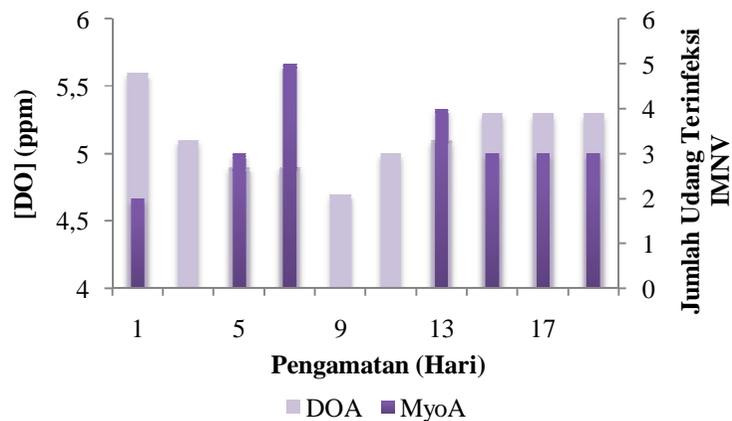


Gambar 4.34 Hubungan DO dan Berat Badan Udang (W) Sore di Aquarium C setelah Proses Disinfeksi

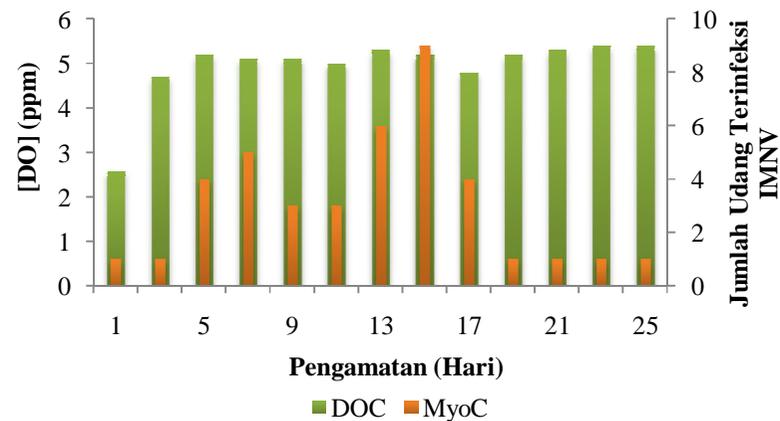
Pengukuran DO pada pagi dan sore hari pun ditujukan untuk mengetahui fluktuasi DO. Nilai DO pada pagi dan sore hari dalam penelitian ini tidak berbeda jauh. Pada akuarium A dan B kisaran DO adalah 4,7 – 5,6 ppm, sedangkan pada akuarium C memiliki kisaran DO sebesar 2,57 – 5,4 ppm. Kecenderungan nilai DO dalam penelitian ini dalam kategori aman sesuai dengan baku mutu BSN (Badan Standar Nasional) sebesar 5 – 8 ppm. Namun, pada akuarium C, nilai DO sempat menyentuh pada nilai 2,57 ppm. Pada saat itu, langsung dilakukan tindakan penambahan pompa sirkulasi dan aerator untuk meningkatkan nilai DO. Nilai DO yang rendah tersebut dapat disebabkan oleh gelembung udara yang berasal dari satu pompa saja. Nilai DO yang sesuai dengan baku mutu air tambak dapat mendukung pertumbuhan udang, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.29 – 4.34. Grafik di atas memiliki kecenderungan semakin tinggi DO maka pertumbuhan udang semakin baik sehingga berat badan udang bertambah. Pada hari pengamatan 17 – 25 terlihat bahwa berat badan (pertumbuhan) udang menurun, hal ini disebabkan adanya penanaman udang kembali.

Oksigen yang terlarut dalam air dapat berasal dari udara kemudian diserap dengan difusi langsung di permukaan air oleh angin dan arus. Oksigen terlarut pun dapat dihasilkan dari proses ozonasi dan atau reaksi oksidasi apapun oleh ozon yang terjadi di dalam air tambak (Derby, 2009).

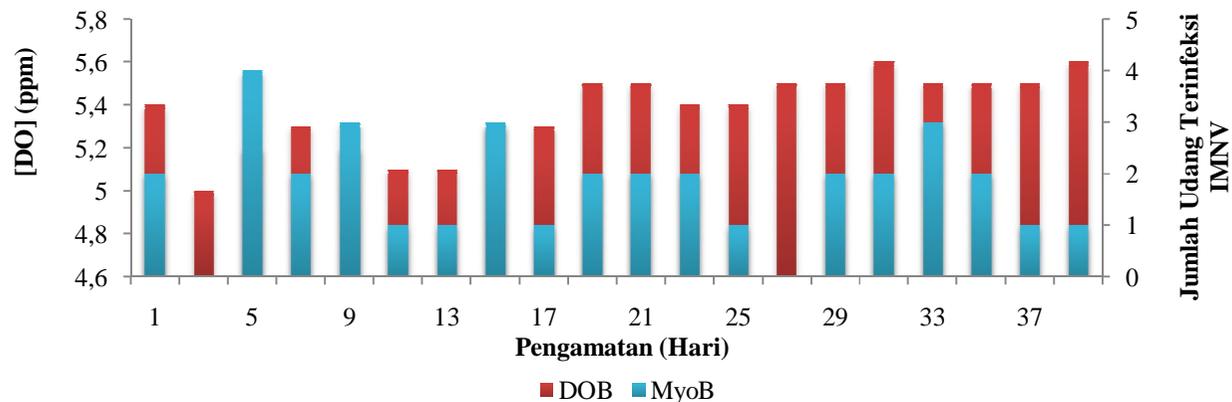
Jika kelarutan oksigen menurun, maka pernapasan udang dapat terganggu dan menyebabkan penurunan sistem imunitas udang. Pada kondisi ini, udang akan mudah terserang virus IMNV. Pengaruh DO terhadap infeksi virus IMNV dapat terlihat pada Gambar 4.39 dan 4.42 di bawah ini:



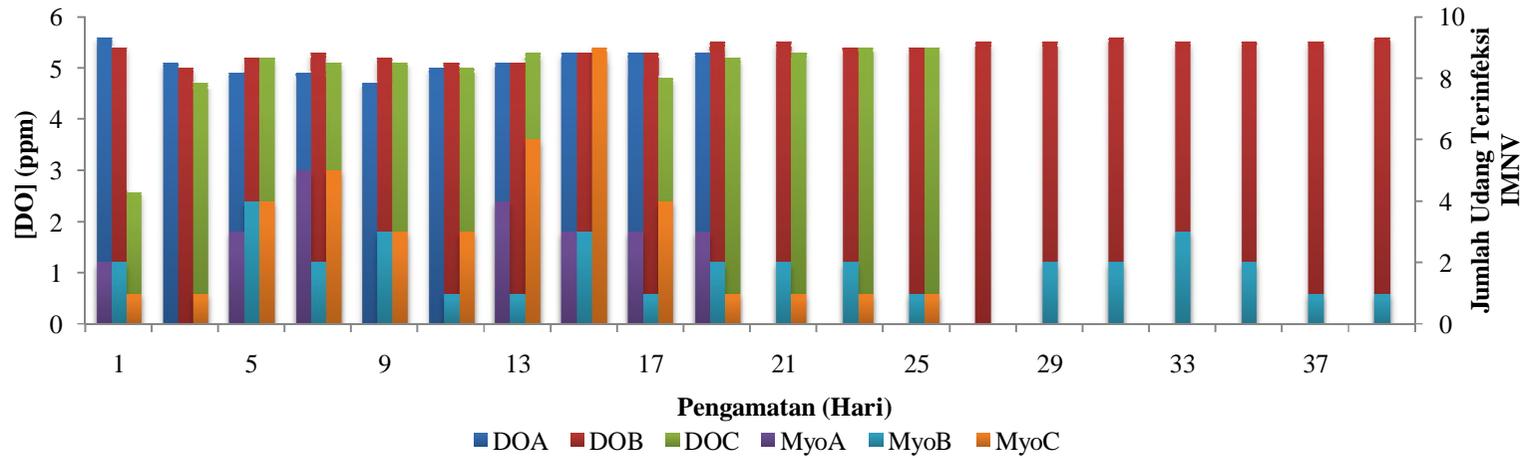
Gambar 4. 35 Pengaruh DO Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi di Akuarium A



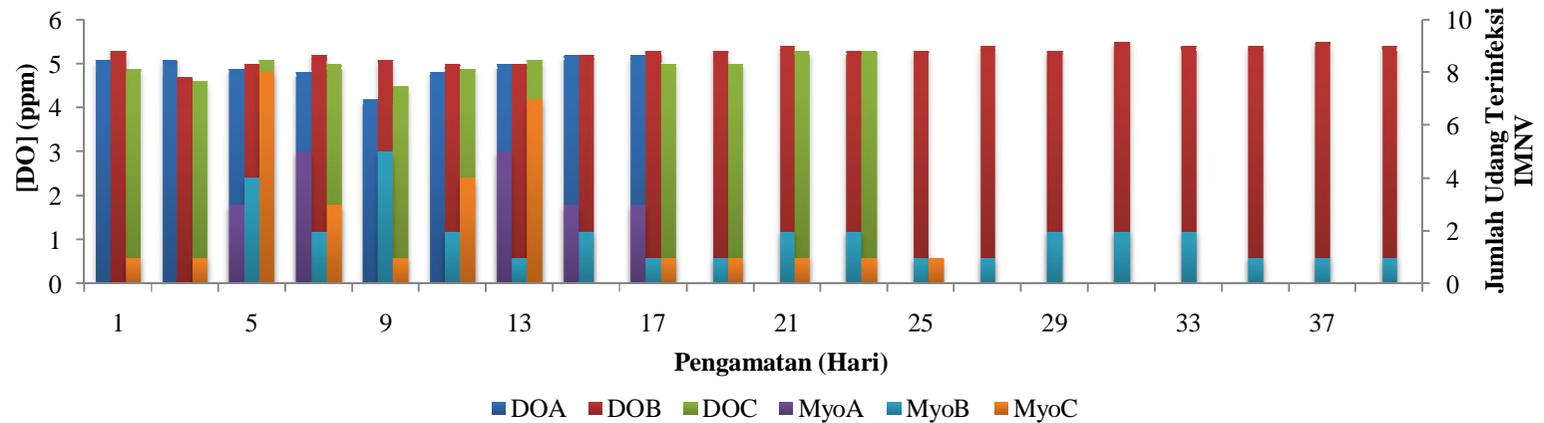
Gambar 4. 36 Pengaruh DO Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi di Akuarium C



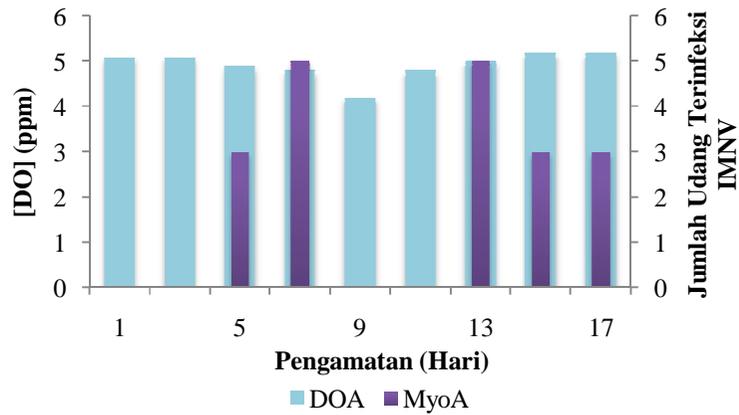
Gambar 4. 37 Pengaruh DO Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi di Akuarium B



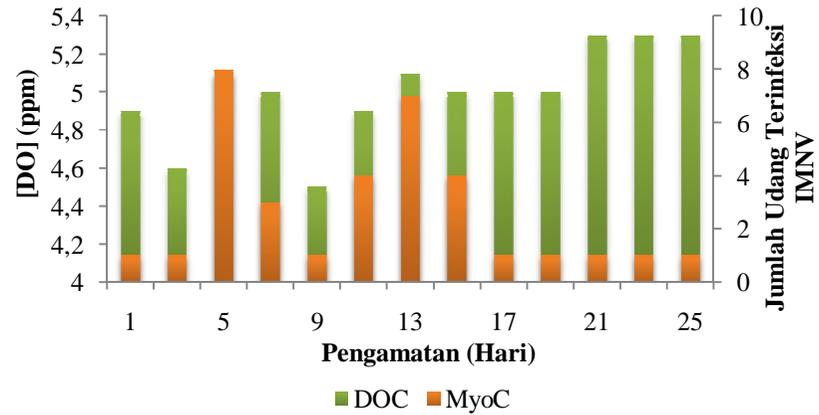
Gambar 4.38 Pengaruh DO Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi



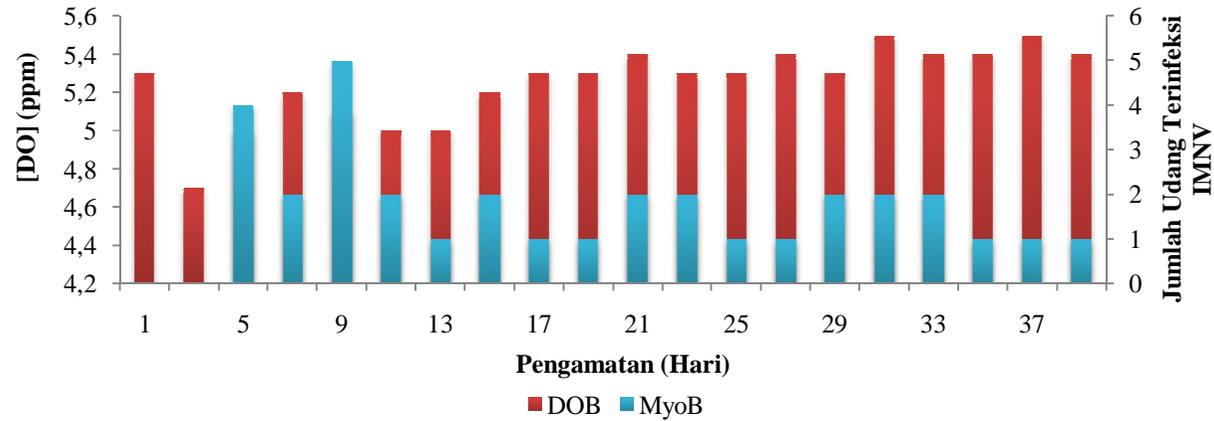
Gambar 4.39 Pengaruh DO Sore terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi



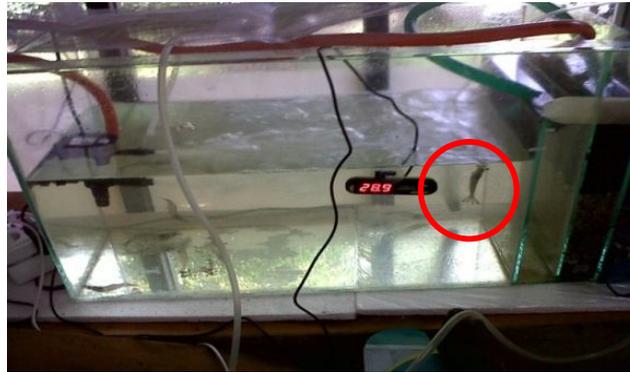
Gambar 4. 40 Pengaruh DO Sore terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi di Akuarium A



Gambar 4. 41 Pengaruh DO Sore terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi di Akuarium C



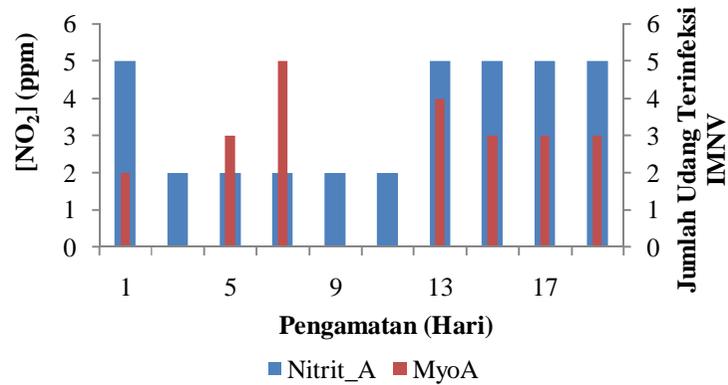
Gambar 4.42 Pengaruh DO Sore terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi di Akuarium B



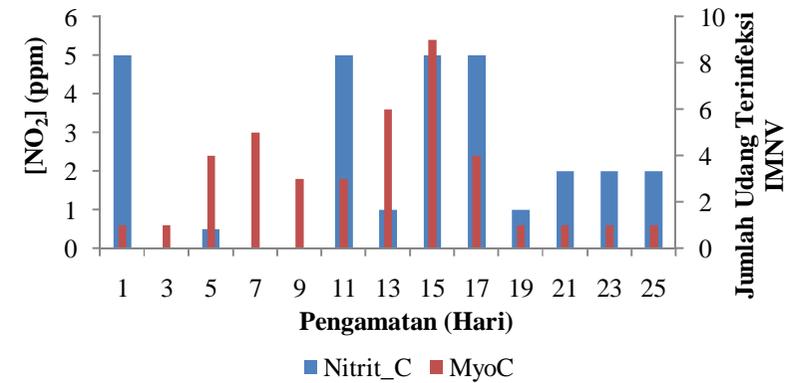
Gambar 4.43 Contoh Udang yang Berenang di Permukaan karena Kekurangan Oksigen

Pada grafik di atas (Gambar 4.36 – 4.42) terlihat bahwa akuarium A, B, dan C memiliki kecenderungan semakin tinggi DO maka infeksi virus IMNV pada udang semakin menurun. Udang pada akuarium B (menggunakan teknologi ozon) memiliki ketahanan terhadap virus IMNV lebih baik seiring dengan meningkatnya nilai DO dibandingkan dengan kondisi kualitas air di akuarium A dan C. Hal ini disebabkan akuarium A sebagai akuarium kontrol (tidak menggunakan teknologi ozon dan lampu UV) memiliki sumber DO dari gelembung udara pompa sirkulasi dan udara bebas. DO pada akuarium C (menggunakan teknik ozonasi dan radiasi UV) bersumber dari proses ozonasi, tetapi radiasi sinar UV dapat membunuh plankton sehingga memungkinkan udang mudah stress atas perubahan kondisi air tambak (sistem imunitas dapat menurun dan mudah terserang virus). Disinfeksi menggunakan sinar UV tidak memberikan dampak apapun terhadap DO (Anonim, 2012).

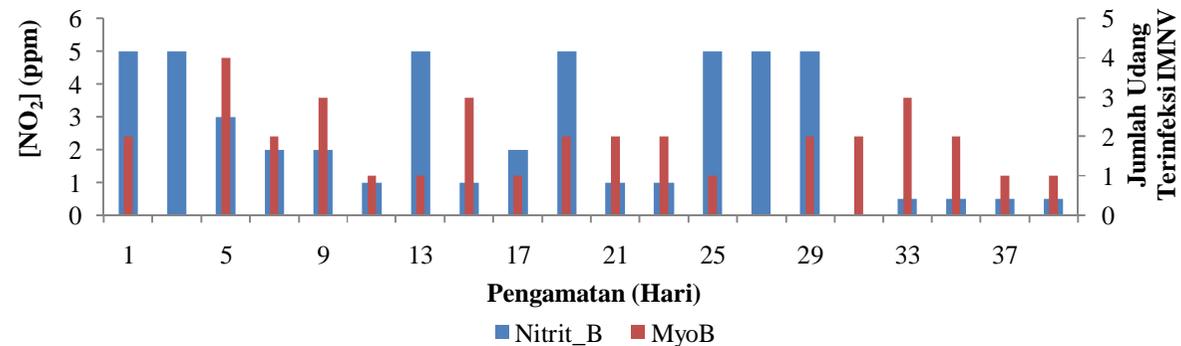
4.5.4. Analisis Nitrit (NO_2) Air Tambak pada Proses Disinfeksi Virus IMNV



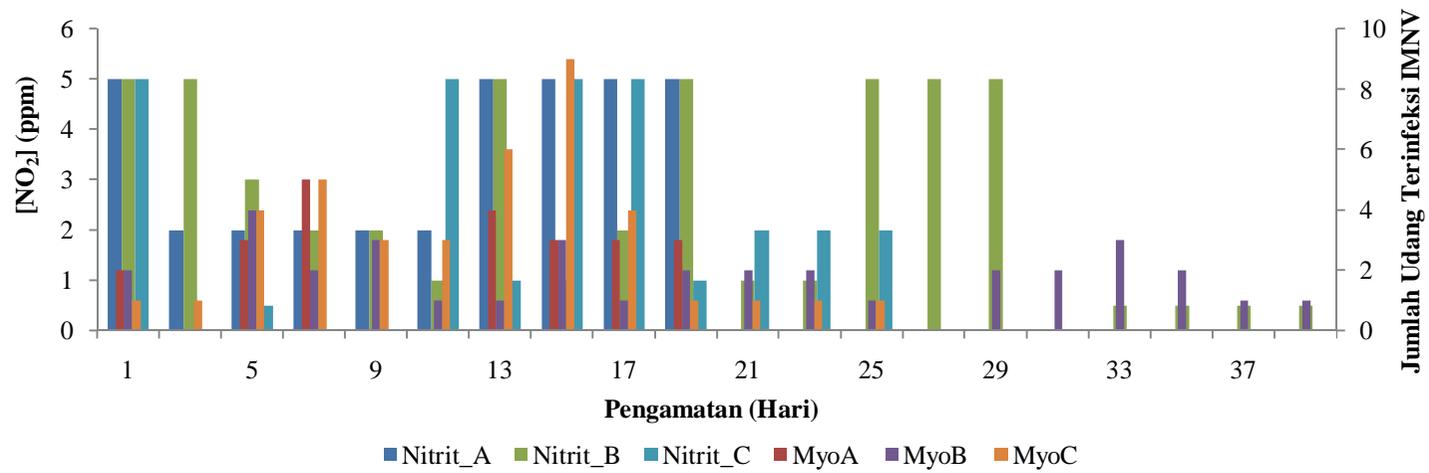
Gambar 4. 44 Pengaruh Nitrit Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi



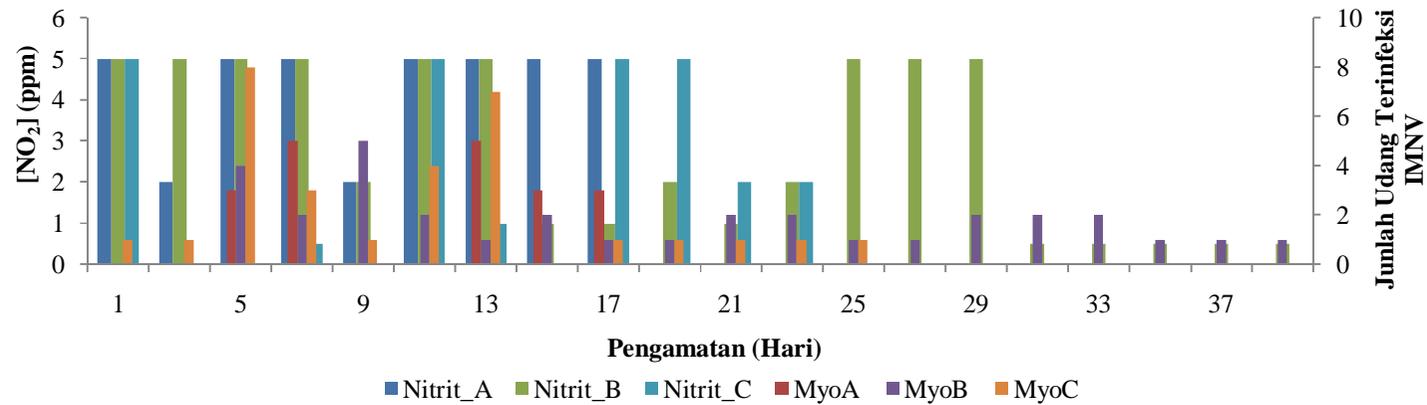
Gambar 4. 45 Pengaruh Nitrit Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi di Akuarium C



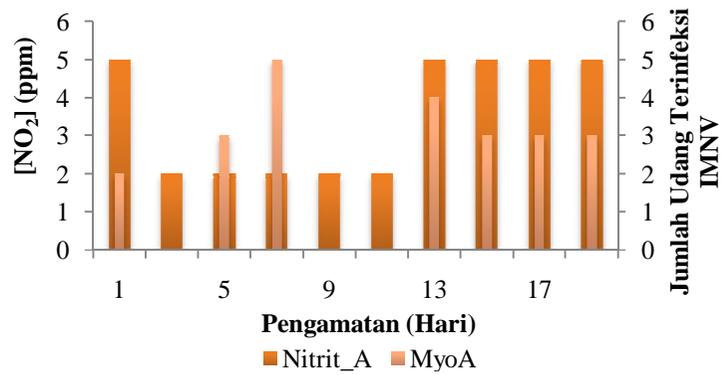
Gambar 4. 46 Pengaruh Nitrit Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi di Akuarium B



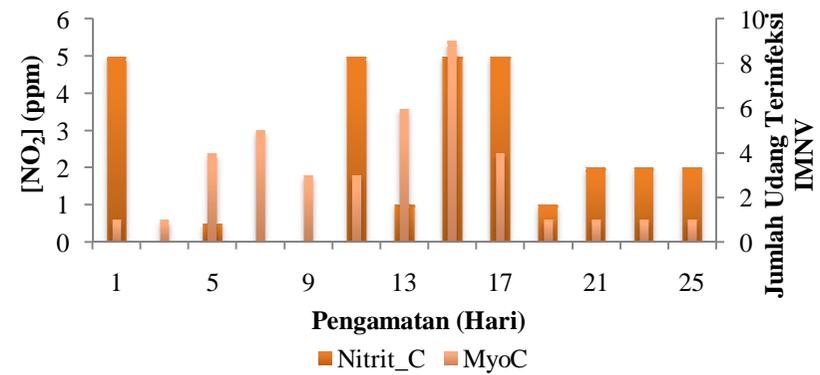
Gambar 4.47 Pengaruh Nitrit Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi



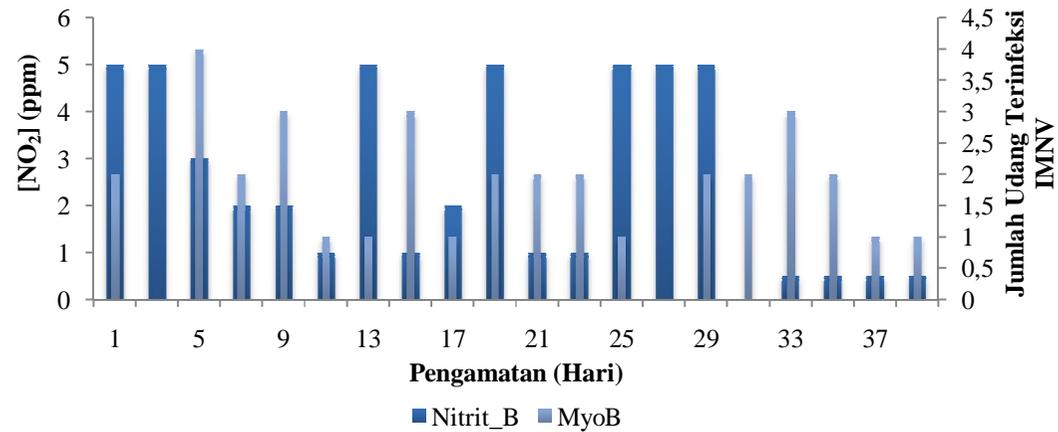
Gambar 4.48 Pengaruh Nitrit Sore terhadap Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi



Gambar 4. 49 Pengaruh Nitrit Sore terhadap Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi di Akuarium A



Gambar 4. 50 Pengaruh Nitrit Sore terhadap Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi di Akuarium C



Gambar 4. 51 Pengaruh Nitrit Sore terhadap Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi di Akuarium B

Berdasarkan grafik pada gambar 4.44 dan 4.51, konsentrasi nitrit pada penelitian ini memiliki kecenderungan di atas baku mutu air tambak (maksimal 0,5 ppm). Pada akuarium A, konsentrasi nitrit awal pengamatan dan akhir pengamatan memiliki nilai 5 ppm. Hal ini dapat disebabkan dari pakan dan feses udang yang menumpuk tanpa adanya filter serta kemungkinan penurunan bakteri nitrobakter akibat radiasi sinar UV. Pada akuarium B dan C, konsentrasi nitrit awal dan akhir pengamatan mengalami penurunan, hal ini pun disebabkan adanya bantuan proses ozonasi yang dapat mengubah nitrit menjadi nitrat.

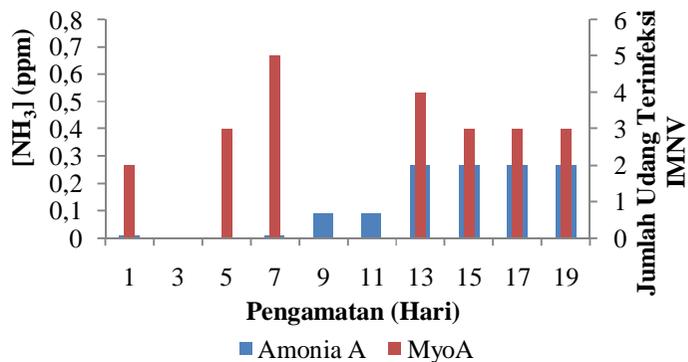
Amonia diekskresikan melalui insang udang kemudian dioksidasi oleh bakteri nitrosomonas menjadi nitrit. Bakteri nitrosomonas mengoksidasi amonia menjadi nitrit, seperti pada persamaan 4.6 dan 4.7. Selanjutnya, bakteri nitrobakter mengubah nitrit menjadi nitrat (persamaan 4.8).



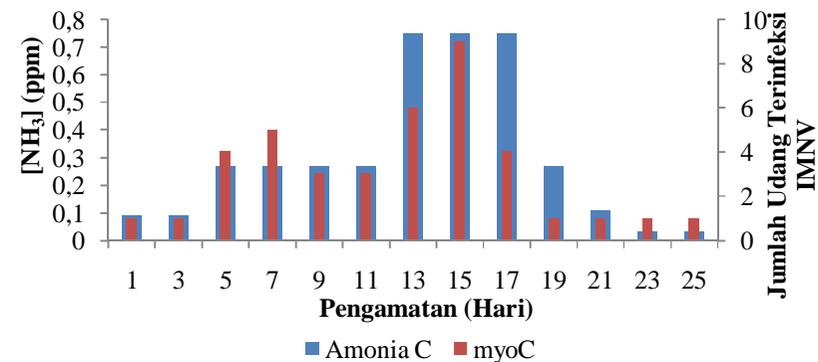
Pengubahan nitrit menjadi nitrat secara biologis seharusnya lebih cepat dan lebih baik daripada secara kimiawi (persamaan 4.9). Namun, konsentrasi nitrit dalam beberapa pengamatan masih cenderung tinggi. Hal ini dapat disebabkan kemungkinan berkurangnya jumlah bakteri nitrobakter dan ketidakseimbangan antara perubahan nitrit menjadi nitrat dan dari amonia menjadi nitrit. Nitrit dapat beracun bagi udang karena berpengaruh pada transportasi oksigen dalam darah dan kerusakan jaringan tubuh udang. Namun, karena didukung oleh DO dan suhu yang sesuai baku mutu kualitas air tambak, udang masih dapat bertahan tanpa ada kematian secara drastis karena virus IMNV.



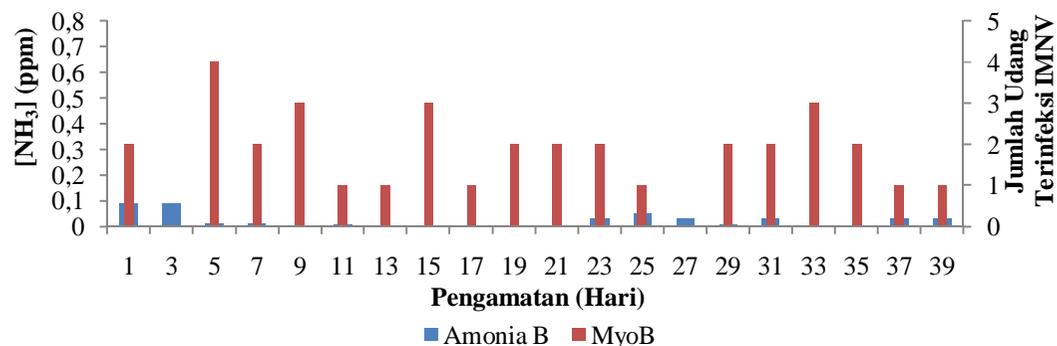
4.5.5. Analisis Amonia (NH_3) Air Tambak pada Proses Disinfeksi Virus IMNV



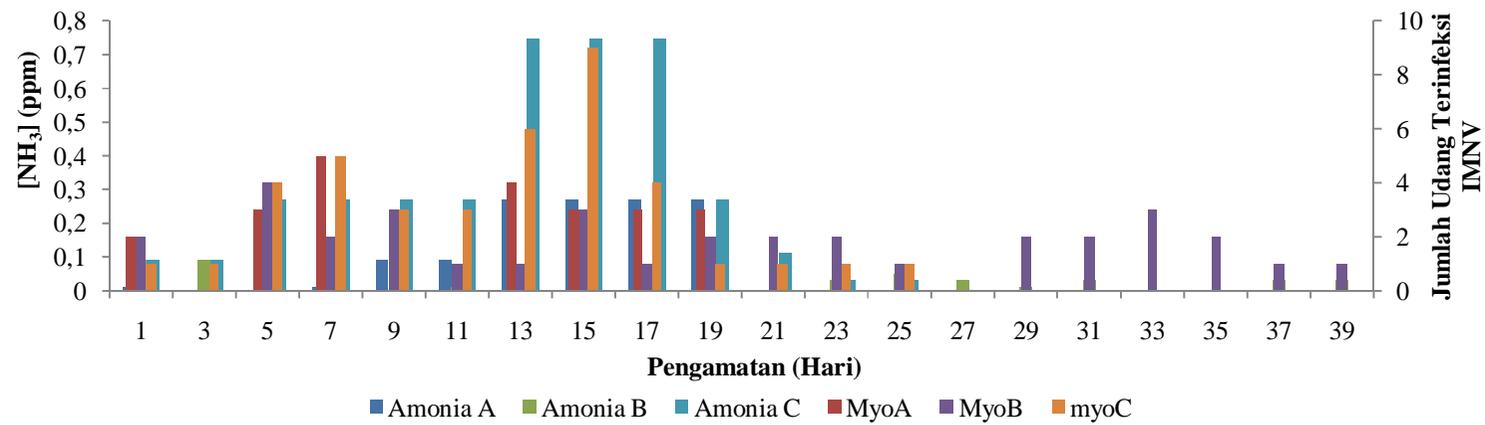
Gambar 4. 52 Pengaruh Amonia Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi di Akuarium A



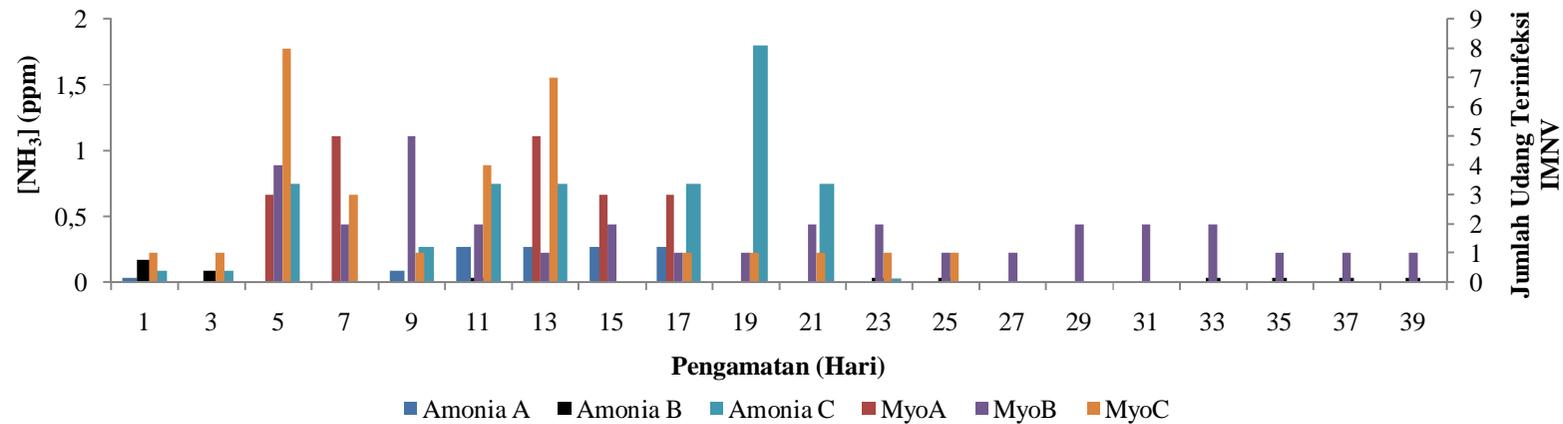
Gambar 4. 53 Pengaruh Amonia Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi di Akuarium C



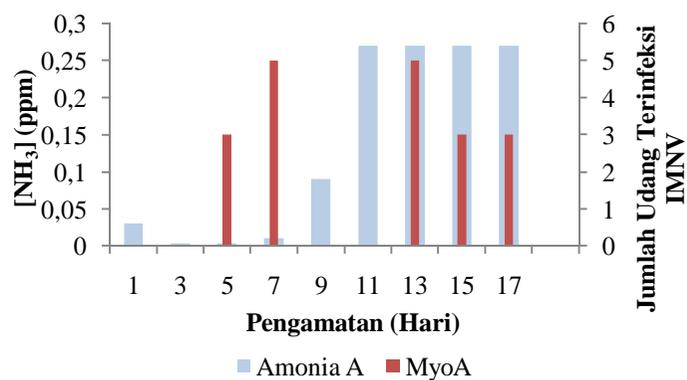
Gambar 4. 54 Pengaruh Amonia Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi di Akuarium B



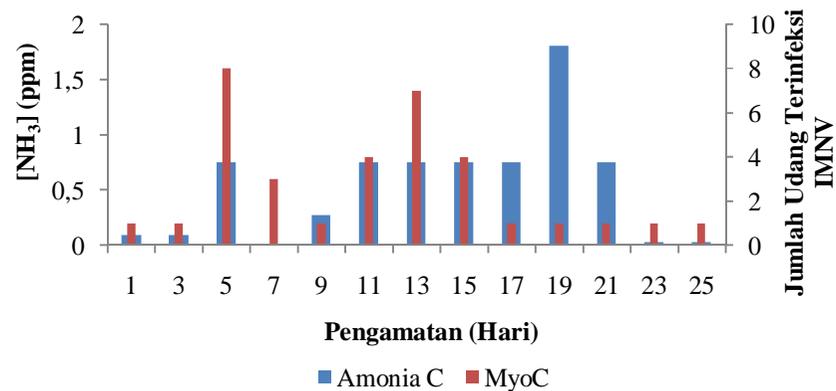
Gambar 4.55 Pengaruh Amonia Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi



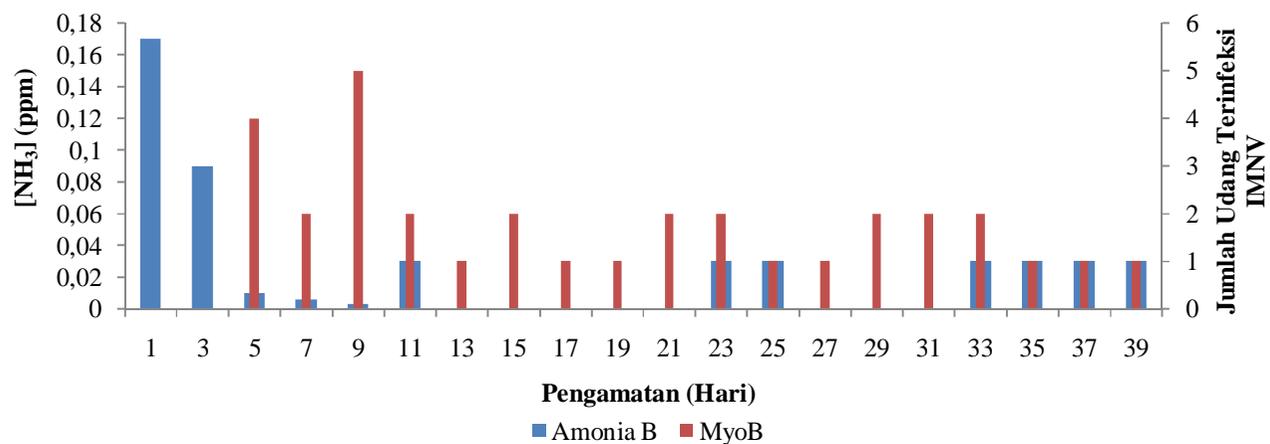
Gambar 4.56 Pengaruh Amonia Sore terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi



Gambar 4. 57 Pengaruh Amonia Sore terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi di Akuarium A



Gambar 4. 58 Pengaruh Amonia Sore terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi di Akuarium C



Gambar 4. 59 Pengaruh Amonia Sore terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang setelah Proses Disinfeksi di Akuarium B

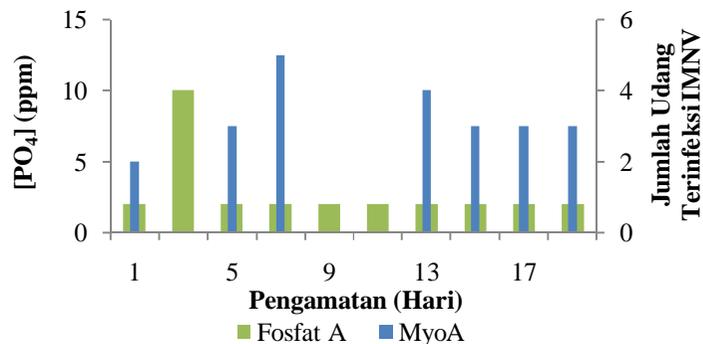
. Pada dasarnya amonia bebas (NH_3) yang tidak terionisasi bersifat toksik terhadap organisme akuatik. Amonia (NH_3) merupakan produk akhir utama dalam pemecahan protein pada budidaya udang maupun hewan akuatik lainnya. Udang mencerna protein pakan dan mengekskresikan amonia melalui insang dan feses. Jumlah amonia diekskresikan oleh udang bervariasi tergantung jumlah pakan dimasukkan ke dalam kolam atau sistem budidaya (Durborow, 1997).

Berdasarkan grafik hasil penelitian (gambar 4.18 dan 4.19), konsentrasi amonia dalam penelitian ini cenderung masih dalam batas aman baku mutu. Konsentrasi amonia pada akuarium A memiliki kisaran 0,003 – 0,27 ppm, akuarium B memiliki kisaran 0,009 – 0,17 ppm, dan akuarium C memiliki kisaran 0,006 – 0,75 ppm. Dari data yang diperoleh, pada beberapa kali pengamatan konsentrasi amonia di atas 0,5 ppm. Hal ini dapat disebabkan oleh penumpukan pakan udang dalam akuarium. Pada grafik di atas dapat dilihat terdapat konsentrasi amonia yang tidak terwakilkan oleh grafik batang, hal ini menandakan konsentrasi amonia sangat kecil.

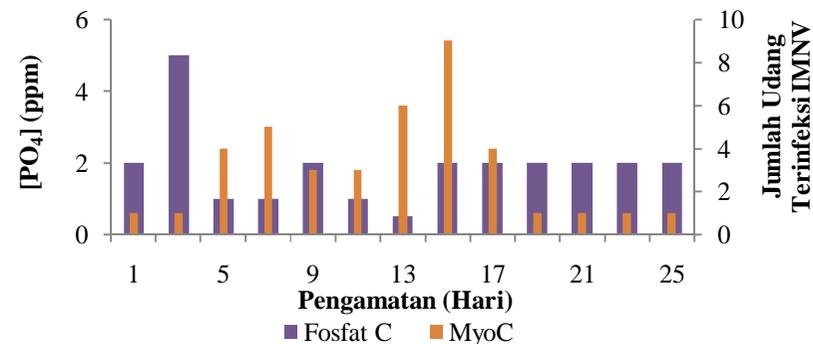
Peningkatan konsentrasi amonia dipengaruhi oleh suhu dan pH air tambak. Semakin tinggi pH dalam air tambak, daya racun amonia semakin meningkat karena amonia dalam bentuk molekul (NH_3) dapat menembus membran sel lebih cepat daripada NH_4^+ (Kordi, 2009). Kestabilan DO yang sesuai baku mutu dalam air tambak dapat membantu udang bertahan walaupun peningkatan suhu dan pH menyebabkan peluang udang keracunan amonia lebih besar. Jika diperoleh nilai amonia yang tinggi, perlu dilakukan pengenceran dengan air tambak sebanyak 10 – 15%.

Pada proses ozonasi dapat terjadi reaksi oksidasi antara ozon dengan amonia. Namun, perubahan dari amonia menjadi nitrit melalui reaksi oksidasi ozon sangatlah lambat sehingga amonia tidak dapat langsung diubah menjadi nitrit. Oleh karena itu, konversi amonia menjadi nitrit lebih baik secara biologis (Johnson, 2001).

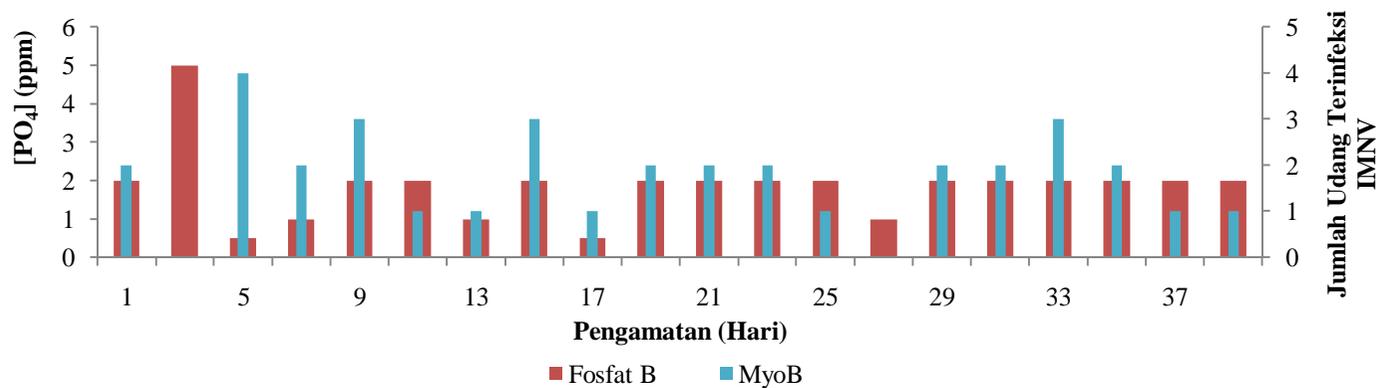
4.5.6. Analisis Fosfat (PO_4) Air Tampak pada Proses Disinfeksi Virus IMNV



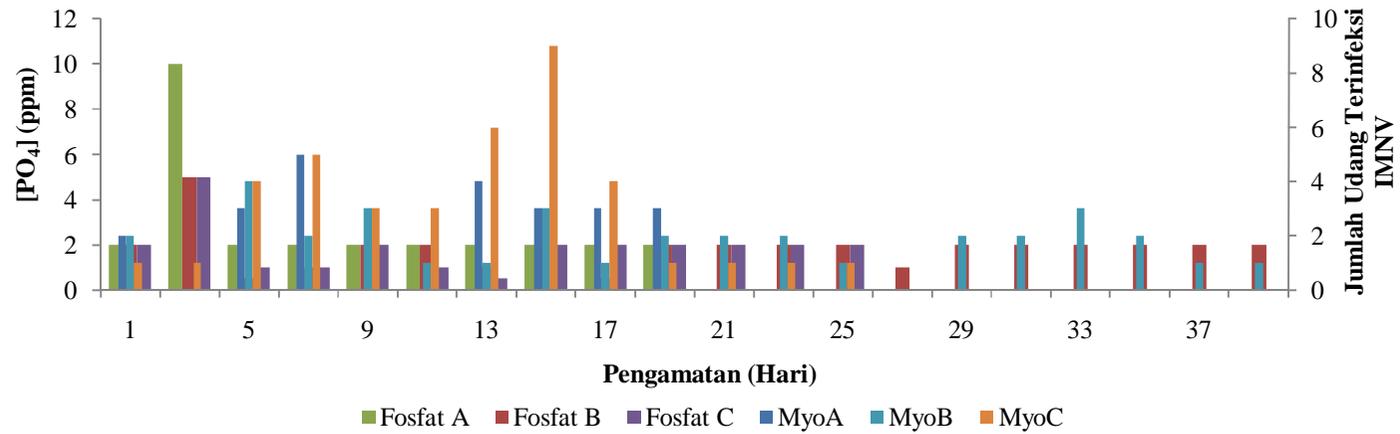
Gambar 4. 60 Pengaruh Fosfat Pagi pada Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi di Akuarium A



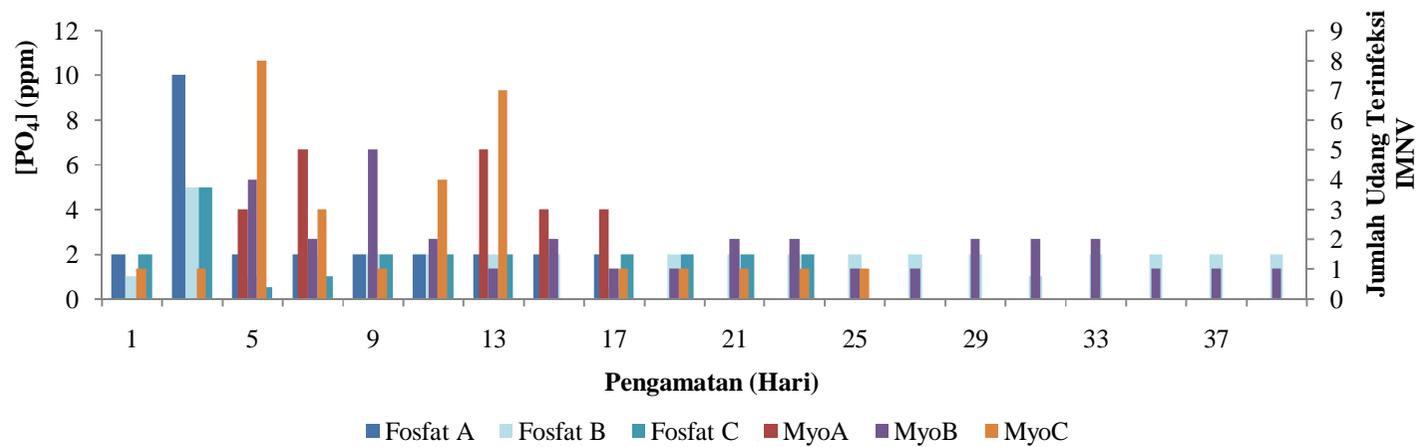
Gambar 4. 61 Pengaruh Fosfat Pagi pada Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi di Akuarium C



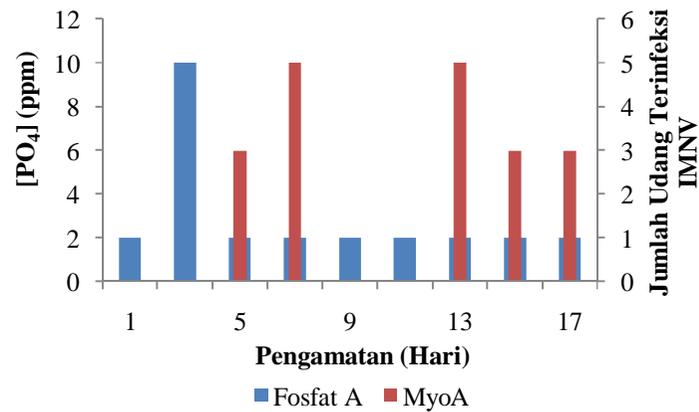
Gambar 4. 62 Pengaruh Fosfat Pagi pada Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi di Akuarium B



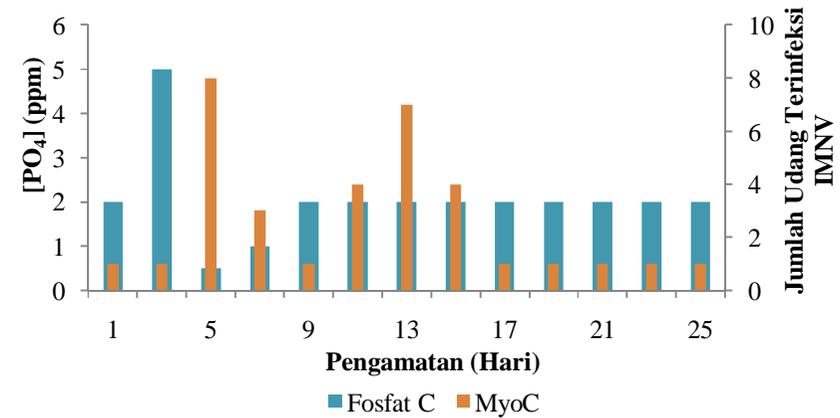
Gambar 4.63 Pengaruh Fosfat Pagi pada Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi



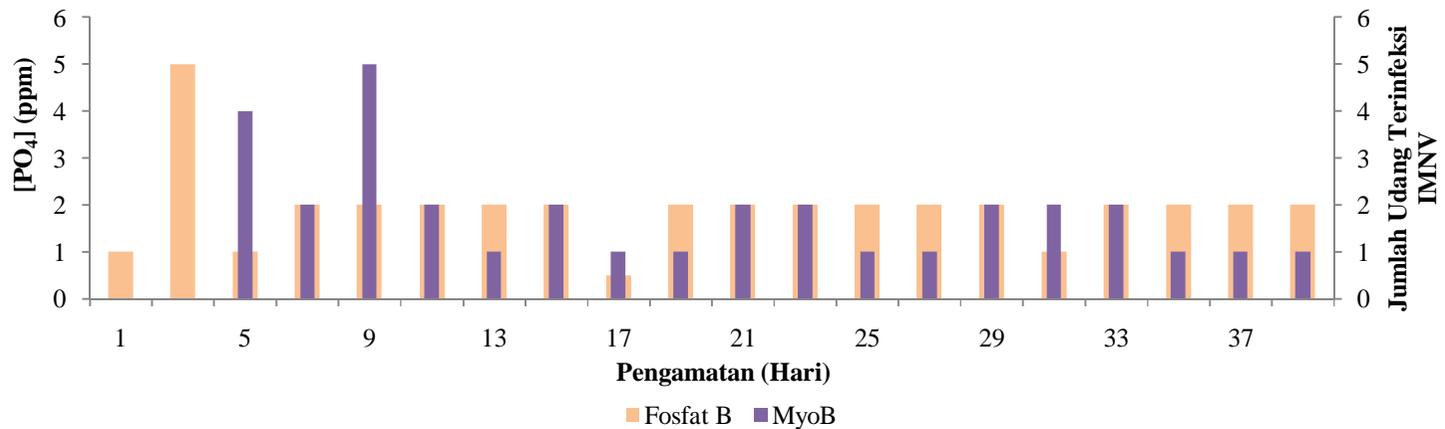
Gambar 4.64 Pengaruh Fosfat Sore pada Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi



Gambar 4. 65 Pengaruh Fosfat Sore pada Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi di Akuarium A



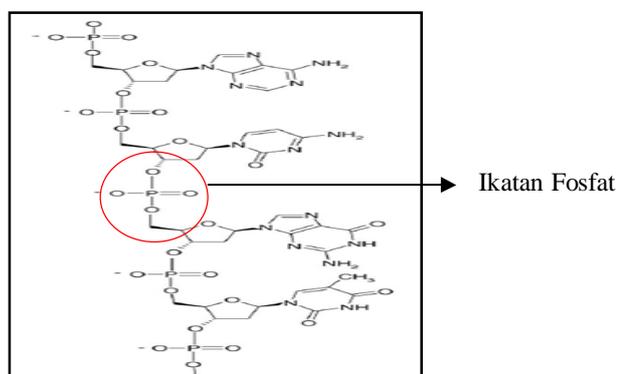
Gambar 4. 66 Pengaruh Fosfat Sore pada Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi di Akuarium C



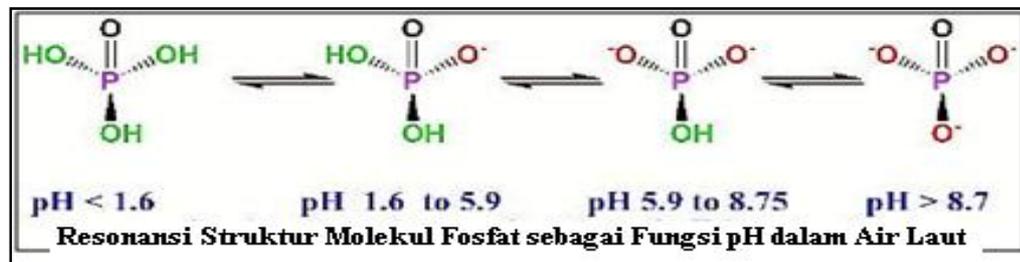
Gambar 4. 67 Pengaruh Fosfat Sore pada Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi di Akuarium B

Konsentrasi fosfat diukur pagi dan sore hari untuk mengetahui fluktuasi fosfat yang terjadi. Berdasarkan hasil pengamatan di atas (Gambar 4.60 – 4.67), konsentrasi fosfat pada akuarium A memiliki kisaran 2 – 10 ppm, akuarium B 0,5 – 5 ppm, dan akuarium C 0,5 – 5 ppm. Hal ini menandakan konsentrasi fosfat dalam akuarium di atas baku mutu sebesar 1 ppm. Pada saat konsentrasi fosfat mencapai angka 10 atau 5 ppm, dilakukan pencampuran air tambak sebanyak 10 – 15% sekali dalam seminggu. Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa fosfat yang tinggi cenderung meningkatkan infeksi virus IMNV karena fosfat dalam konsentrasi yang tinggi merupakan senyawa yang beracun.

Ortofosfat muncul pada beragam bentuk dalam air laut bergantung pada pH. Pada pH 8,1, air laut mengandung 0,5% H_2PO_4^- , 79% HPO_4^{2-} , dan 20% PO_4^{3-} (Gambar 4.69). Pada pH yang lebih tinggi, air laut mengandung PO_4^{3-} dan HPO_4^{2-} . Oleh karena itu, kandungan fosfat pada penelitian ini cenderung di atas standar mutu kualitas air tambak udang karena pH akuarium mendukung banyaknya kandungan fosfat dalam air. Konsentrasi fosfat tinggi pun dapat berasal dari aktivitas fitoplankton dalam air dan kotoran udang karena setiap makhluk hidup memiliki kandungan fosfat seperti halnya DNA yang memiliki ikatan fosfat (Gambar 4.68). Oleh karena itu, udang yang sudah mati dan semua makhluk hidup baik bakteri dan plankton yang sudah mati yang ada di dalam akuarium dapat menyebabkan kandungan fosfat bertambah.

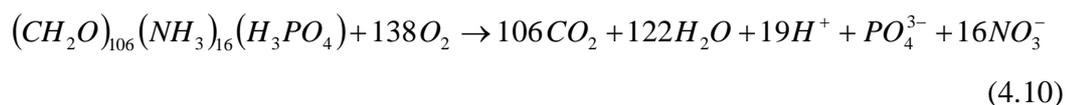


Gambar 4.68 Ikatan Fosfat pada DNA sebagai Salah Satu Sumber Fosfat di Air
(Cataldo, 2005)



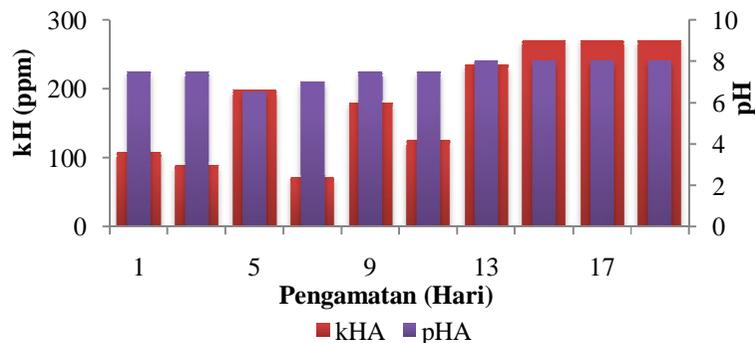
Gambar 4.69 Struktur Resonansi Ortofosfat Inorganik dalam Air Tawar
(Reefkeeping, 2012)

Senyawa organik ortofosfat, yang terkandung pada makanan udang akan dirubah menjadi fosfat sebagai hasil ekskresi udang. Kelebihan pemberian makanan akan menyebabkan kandungan fosfat semakin tinggi di dalam air. Konsentrasi fosfat yang melebihi baku mutu kualitas air pada penelitian ini dapat pula disebabkan oleh pemakaian karbon aktif secara permanen. Beberapa sampel karbon aktif untuk akuarium diketahui mengandung sejumlah fosfat terlarut (Steven, 2007). Persamaan 4.10 adalah reaksi metabolik senyawa organik pada fitoplankton yang menghasilkan fosfat dalam air, oksigen yang digunakan dapat bersumber dari udara, aerator dan atau dekomposisi ozon karena ozonasi atau radiasi UV (lihat persamaan 2.3 – 2.8) (Hense, 2010):

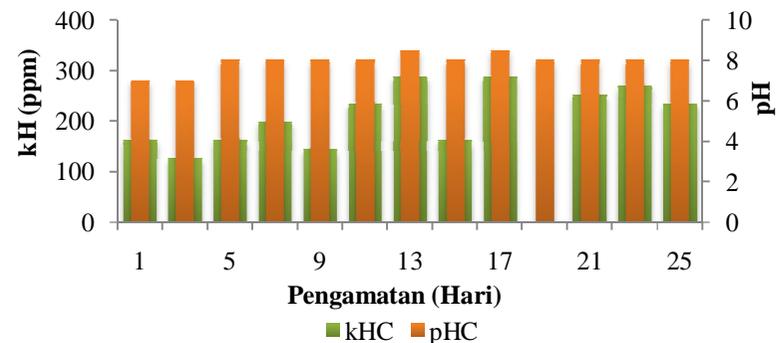


Gambar 4. 70 Udang Mati Memiliki Ciri Keracunan dengan Badan Membiru saat Konsentrasi Fosfat Tinggi

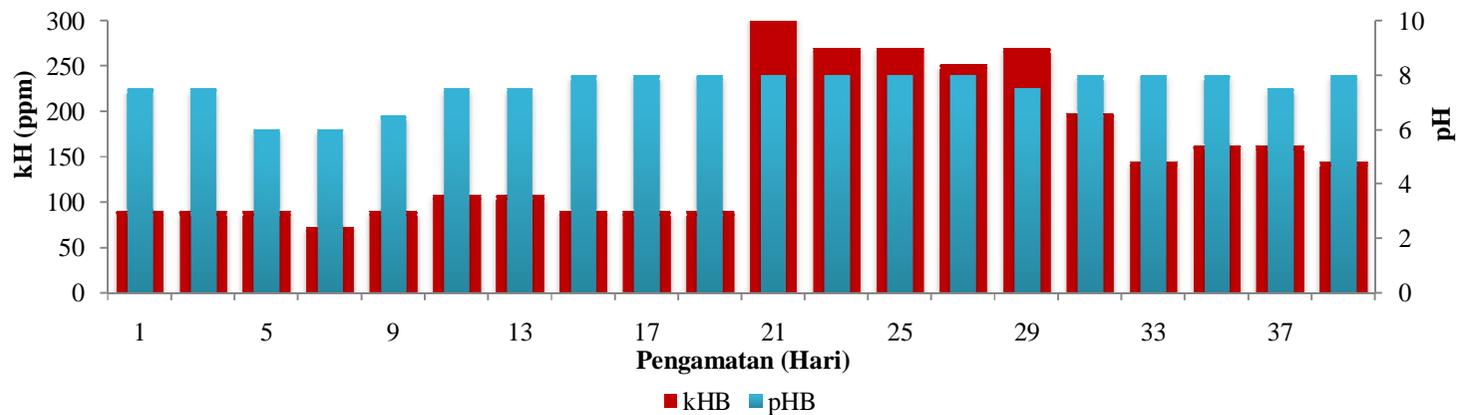
4.5.7. Analisis kH (*Carbonate Hardness*) Air Tampak pada Proses Disinfeksi Virus IMNV



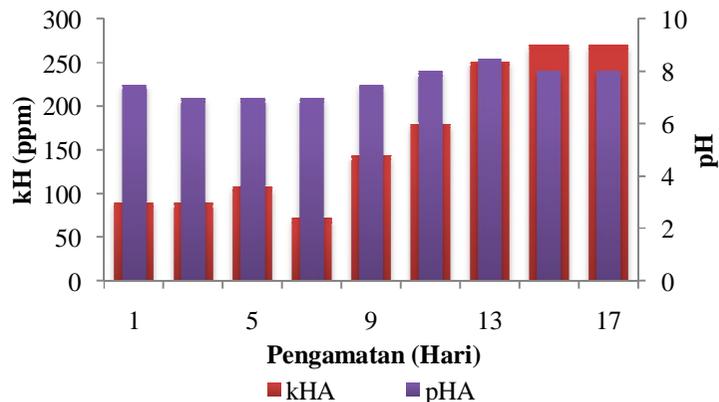
Gambar 4.71 Hubungan kH dan pH Pagi setelah Proses Disinfeksi Virus IMNV di Aquarium A



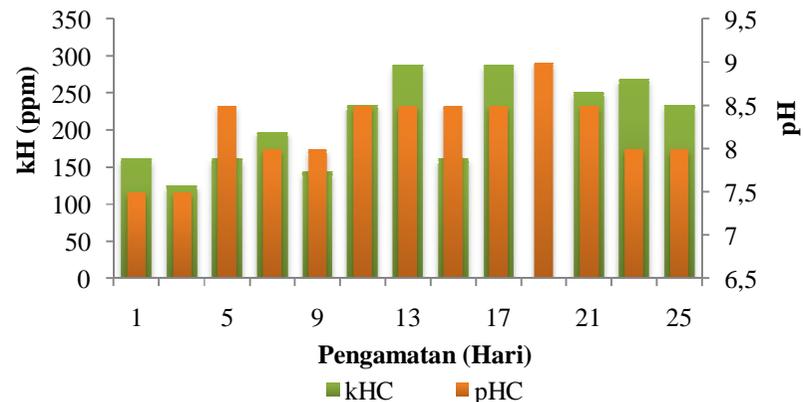
Gambar 4.72 Hubungan kH dan pH Pagi setelah Proses Disinfeksi Virus IMNV di Aquarium C



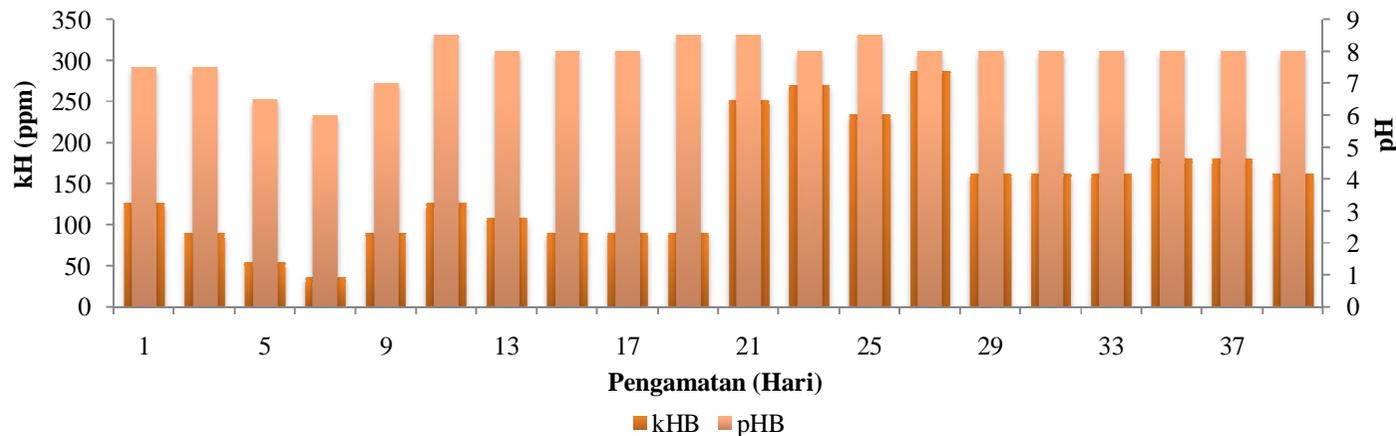
Gambar 4.73 Hubungan kH dan pH Pagi setelah Proses Disinfeksi Virus IMNV di Aquarium B



Gambar 4.74 Hubungan kH dan pH Sore setelah Proses Disinfeksi Virus IMNV di Aquarium A



Gambar 4.75 Hubungan kH dan pH Sore setelah Proses Disinfeksi Virus IMNV di Aquarium C



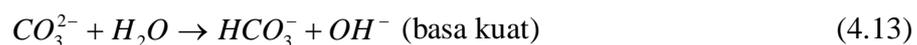
Gambar 4.76 Hubungan kH dan pH Sore setelah Proses Disinfeksi Virus IMNV di Aquarium B

Ketersediaan ion basa karbonat (CO_3^-) dalam air mempengaruhi pH. Baku mutu kekerasan karbonat dalam air tambak untuk pertumbuhan udang adalah 54 – 216 mg/L CaCO_3 atau 8 – 12°dH (Kordi, 2009). Konsentrasi kH dalam penelitian ini cenderung berada dalam rentang baku mutu kualitas air pertumbuhan udang, baik di akuarium A, B, maupun C.

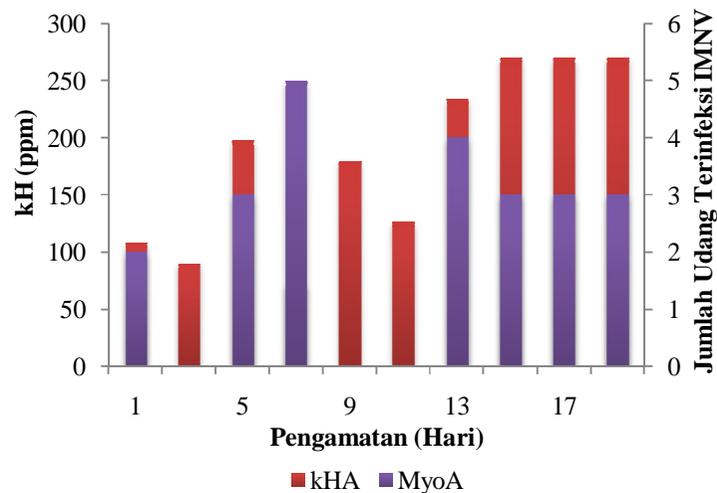
Pada siang hingga sore hari nilai pH akan meningkat dan konsentrasi karbonat akan menurun. Hal ini disebabkan pada siang hingga sore hari CO_2 dalam air yang bersifat asam digunakan oleh fitoplankton untuk fotosintesis. Dari data yang diperoleh nilai pada sore hari pH memang meningkat, tetapi konsentrasi karbonat tidak seluruhnya menurun. Hal ini dapat disebabkan pada saat pengambilan terjadi cuaca yang berbeda-beda dimana saat pukul 16.00 WIB atau 17.00 WIB, cuaca sangat mendung sehingga fotosintesis sudah tidak terjadi dan produksi karbonat berkurang. Pada Gambar 4.71 – 4.76 memiliki kecenderungan peningkatan konsentrasi karbonat diiringi penurunan pH, begitu pula sebaliknya.

Pada malam hingga pagi hari, fitoplankton tidak aktif berfotosintesis sehingga karbon dioksida yang dihasilkan dari proses pernapasan akan terhidrolisis menjadi hidrogen yang merupakan unsur asam sehingga pH menjadi turun dan karbonat meningkat seperti pada persamaan 4.5. Dari data yang diperoleh untuk akuarium A, B, dan C, pH yang diperoleh pada pagi hari memiliki kecenderungan menurun dan karbonat yang terukur memiliki kecenderungan meningkat.

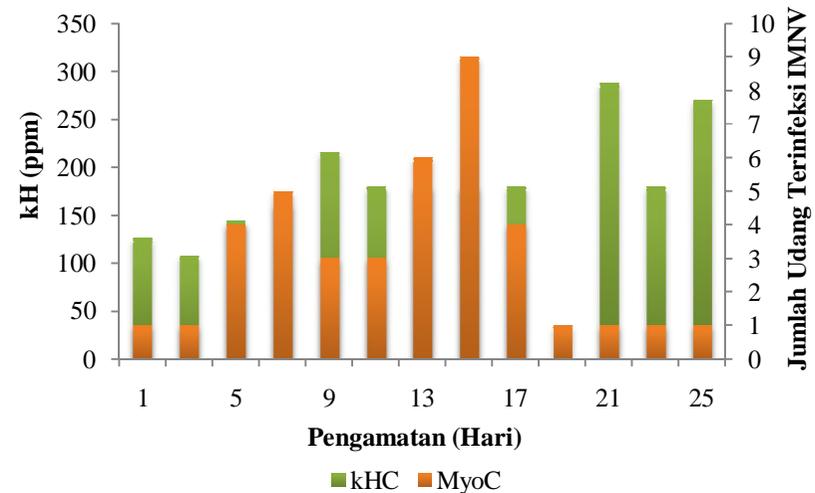
Fenomena yang terjadi pada pagi hari hingga siang hari adalah fitoplankton dan organisme yang memiliki klorofil dalam akuarium dapat mengambil bikarbonat (HCO_3^-) untuk membentuk CO_2 untuk fotosintesis dan melepaskan karbonat (CO_3^{2-}) seperti pada persamaan 4.12 dan 4.13:



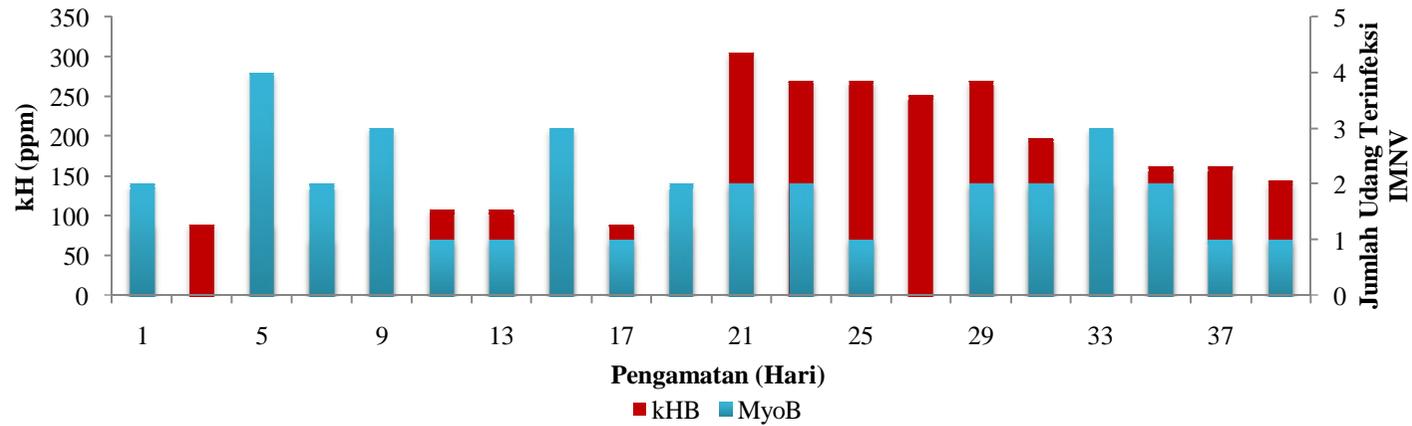
Peningkatan konsentrasi karbonat dapat meningkatkan waktu paruh ozon. Hal ini dapat mempertahankan konsentrasi ozon di dalam air selama proses ozonasi berlangsung sehingga efektivitas proses disinfeksi menggunakan teknologi ozon meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi ion karbonat. Proses disinfeksi menggunakan UV dapat menyebabkan pengendapan karbonat pada tabung lampu sehingga proses disinfeksi dapat terganggu. Dengan pembersihan tabung lampu UV saat penelitian berlangsung, diharapkan pengendapan karbonat pada lampu UV dapat berkurang.



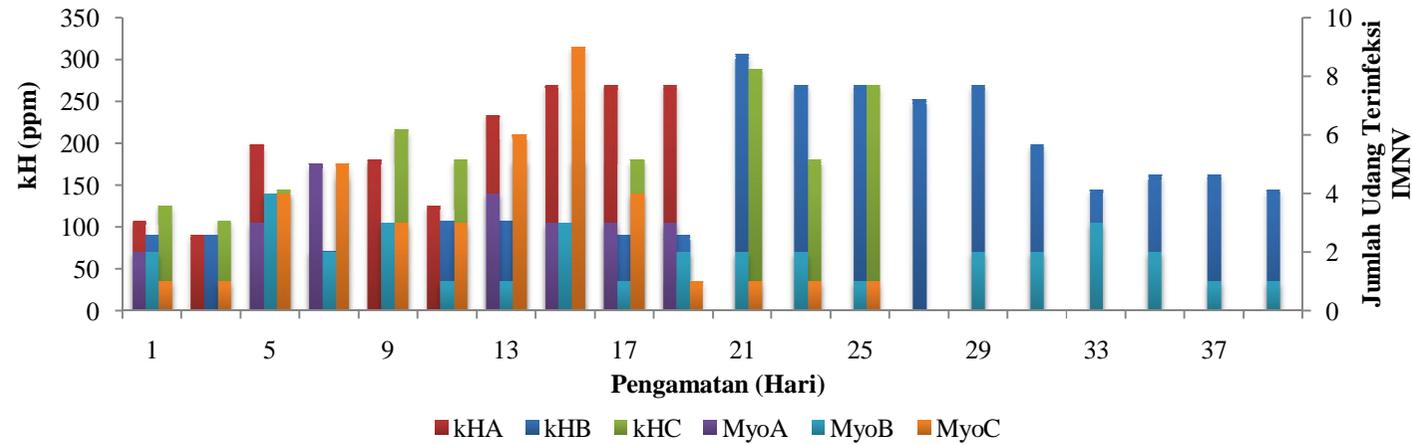
Gambar 4. 77 Pengaruh Karbonat *Hardness* Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang di Akuarium A



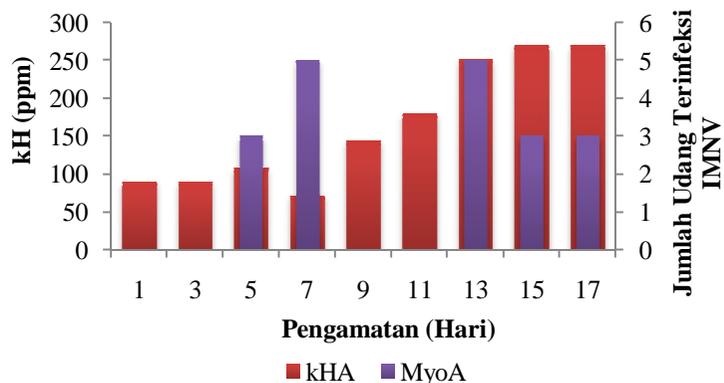
Gambar 4. 78 Pengaruh Karbonat *Hardness* Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang di Akuarium C



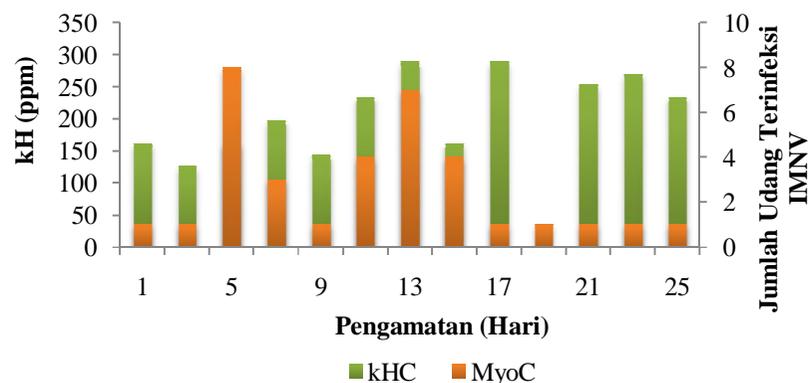
Gambar 4.79 Pengaruh Karbonat *Hardness* Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang di Akuarium B



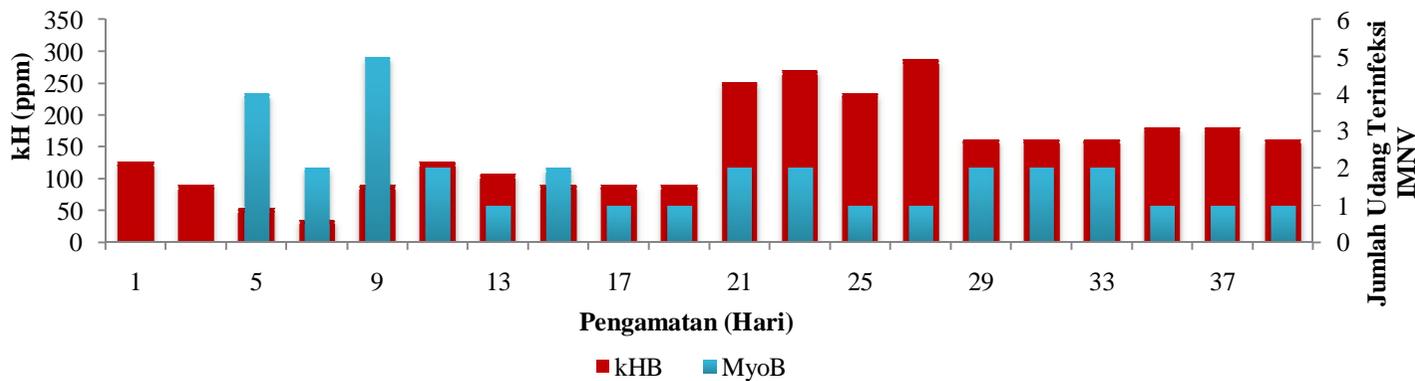
Gambar 4.80 Pengaruh Karbonat *Hardness* Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV



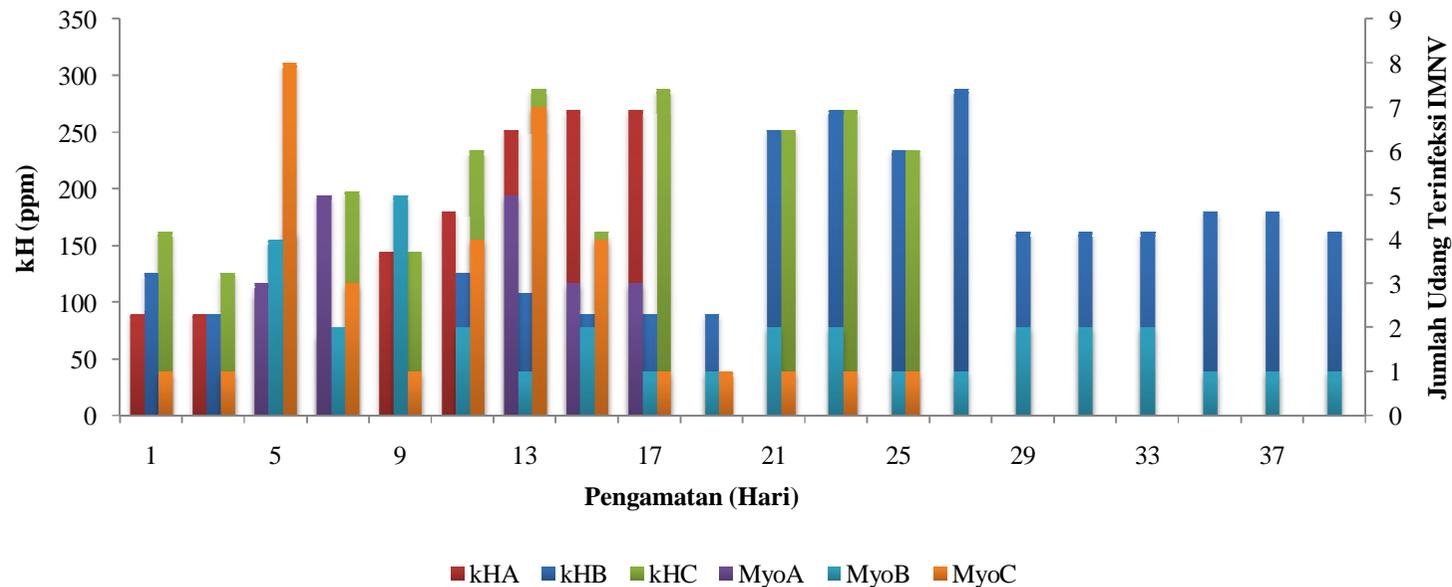
Gambar 4.81 Pengaruh Karbonat *Hardness* Sore terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang di Akuarium A



Gambar 4.82 Pengaruh Karbonat *Hardness* Sore terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang di Akuarium C



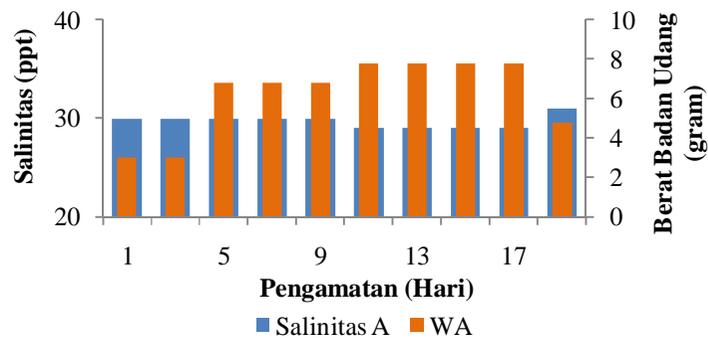
Gambar 4.83 Pengaruh Karbonat *Hardness* Sore terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang di Akuarium B



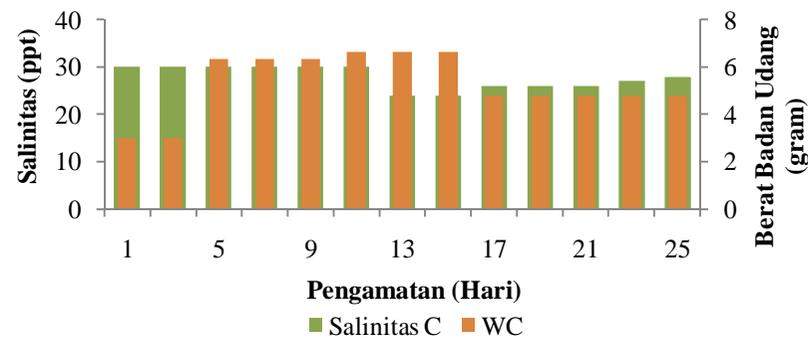
Gambar 4.84 Pengaruh Karbonat *Hardness* Sore terhadap Infeksi Virus IMNV pada Udang

Seperti pada penjelasan sebelumnya, proses ozonasi dengan konsentrasi karbonat yang tinggi akan mempertahankan ozon lebih lama dalam air tambak. Namun, berdasarkan data yang diperoleh (Gambar 4.77 – 4.84) dapat dilihat bahwa beberapa kali peningkatan konsentrasi karbonat justru diiringi peningkatan jumlah udang yang terinfeksi. Hal ini dapat disebabkan nilai karbonat yang terlalu tinggi membuat perairan menjadi keras dimana hal ini dapat membuat udang stres sehingga lebih mudah terserang virus.

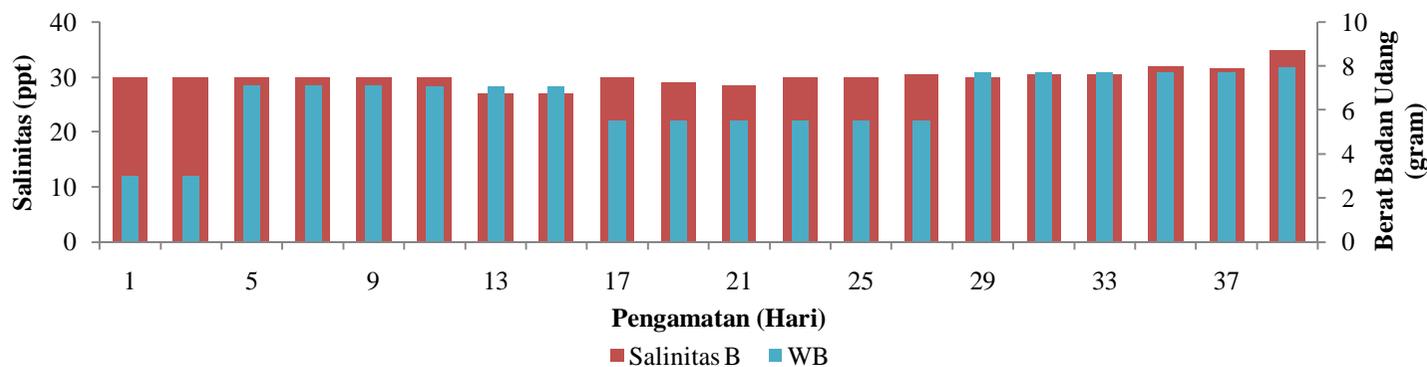
4.5.8. Analisis Salinitas Air Tambak pada Proses Disinfeksi Virus IMNV



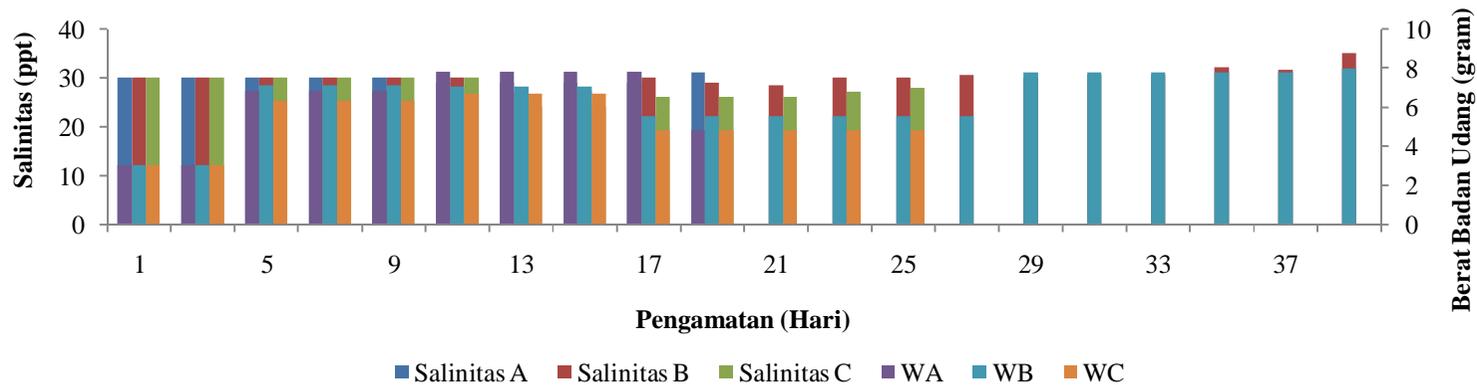
Gambar 4. 86 Pengaruh Salinitas Pagi terhadap Berat Badan Udang (W) setelah Proses Disinfeksi di Akuarium A



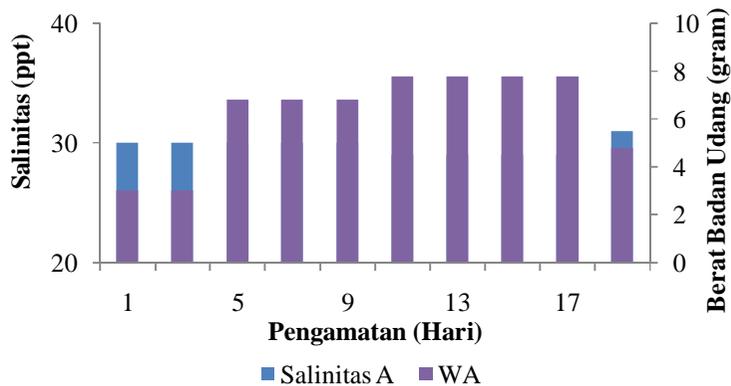
Gambar 4. 85 Pengaruh Salinitas Pagi terhadap Berat Badan Udang (W) setelah Proses Disinfeksi di Akuarium C



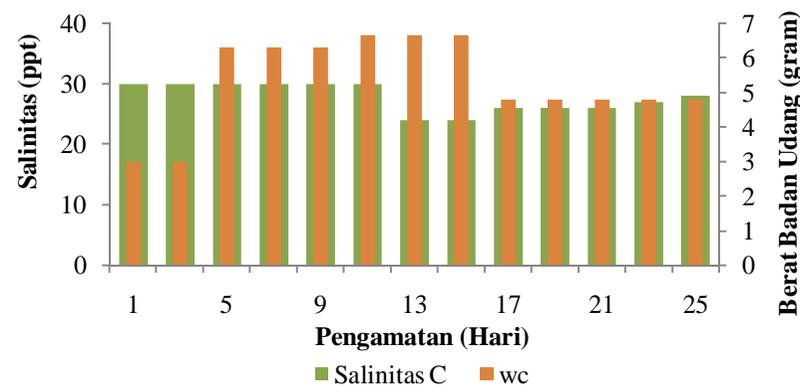
Gambar 4. 87 Pengaruh Salinitas Pagi terhadap Berat Badan Udang (W) setelah Proses Disinfeksi di Akuarium B



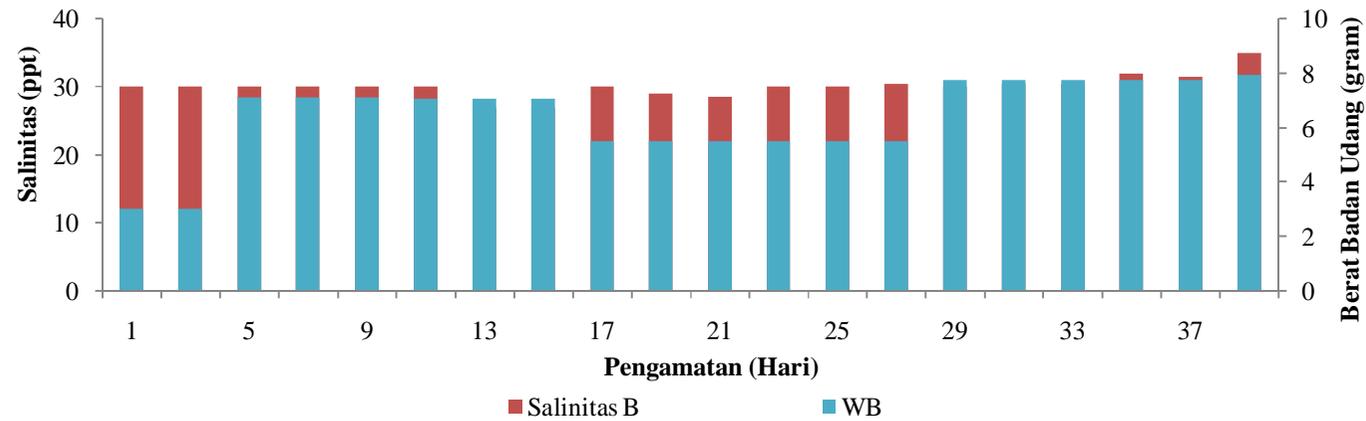
Gambar 4.88 Pengaruh Salinitas Pagi terhadap Berat Badan Udang (W) setelah Proses Disinfeksi



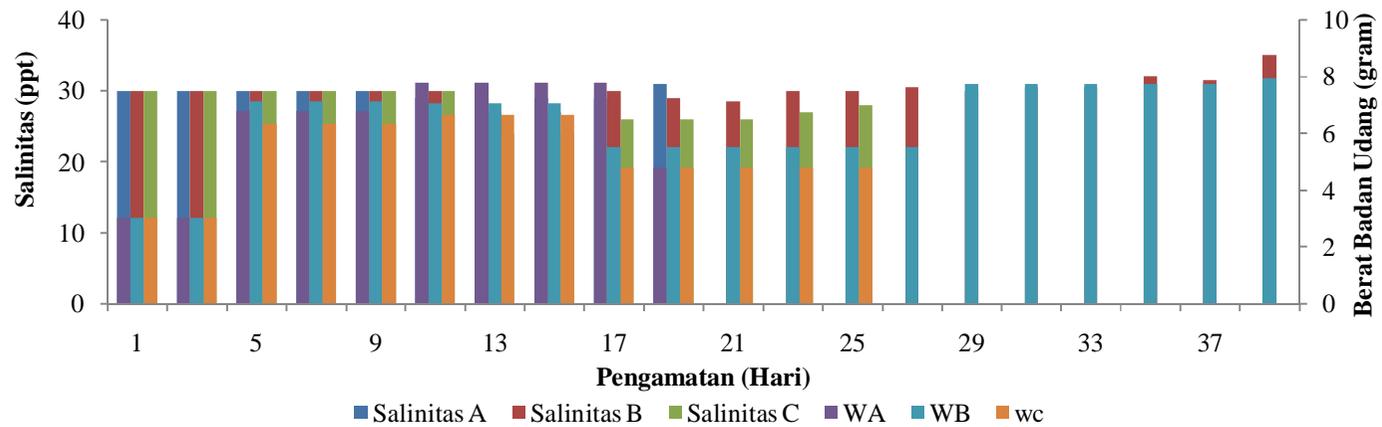
Gambar 4. 90 Pengaruh Salinitas Sore terhadap Berat Badan Udang (W) setelah Proses Disinfeksi di Akuarium A



Gambar 4. 89 Pengaruh Salinitas Sore terhadap Berat Badan Udang (W) setelah Proses Disinfeksi di Akuarium C



Gambar 4.91 Pengaruh Salinitas Sore terhadap Berat Badan Udang (W) setelah Proses Disinfeksi di Akuarium B

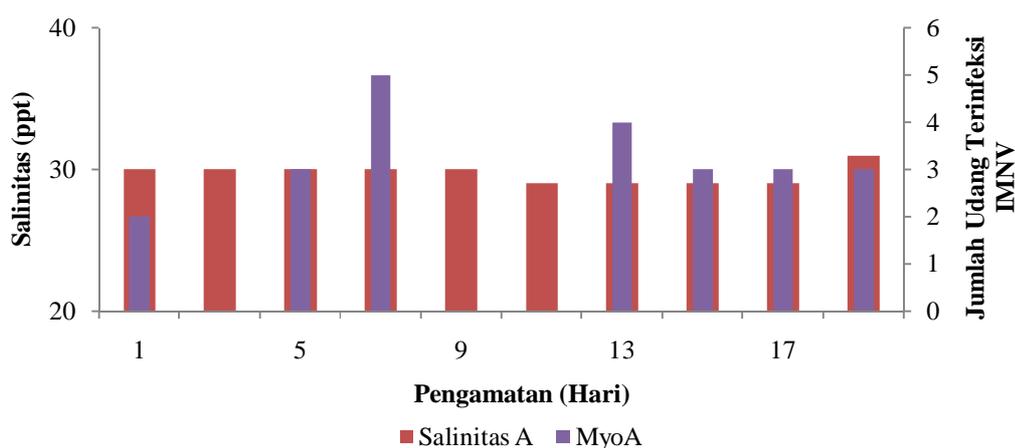


Gambar 4.92 Pengaruh Salinitas Sore terhadap Berat Badan Udang (W) setelah Proses Disinfeksi

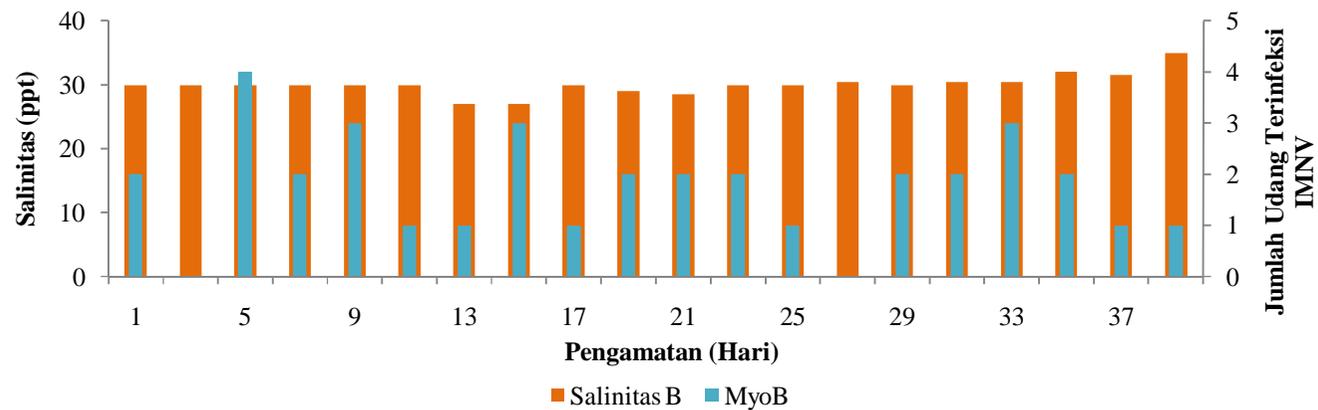
Salinitas merupakan salah satu kualitas air yang penting untuk pertumbuhan udang *vannamei*. Salinitas akan berhubungan erat dengan osmoregulasi pada udang. Di bawah ini akan dijelaskan bagaimana pengaruh salinitas terhadap pertumbuhan udang, seperti pada Gambar 4.85 – 4.92. Salinitas yang diperoleh dalam penelitian ini masih dalam batas aman (24 – 35 ppt) dimana baku mutu salinitas sebesar 5 – 35 ppt (Kordi, 2009).

Osmoregulasi merupakan proses pengaturan dan penyeimbang tekanan osmosis antara di dalam dan di luar tubuh udang. Pada lingkungan dengan salinitas yang tinggi (*hiperosmotik*), udang cenderung meminum banyak air kemudian insang dan permukaan tubuh udang membuang natrium klorida. Ginjal udang lalu mengeluarkan kelebihan ion-ion kalsium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), dan sulfat (SO_4^{2-}) sementara mengekresikan hanya sejumlah kecil air.

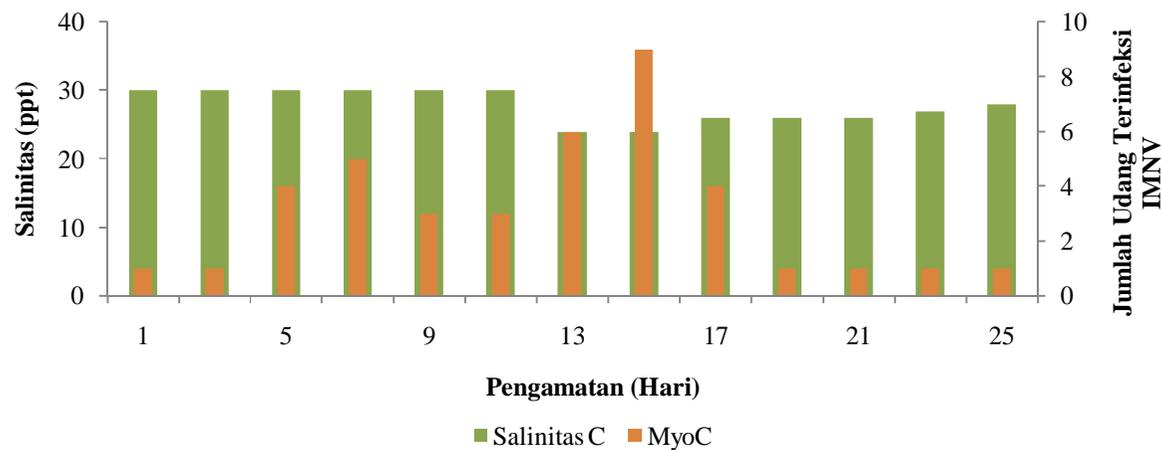
Pada salinitas yang lebih rendah (*hipoosmotik*), udang akan menyeimbangkan perolehan air dengan cara mengekresikan banyak urin yang *hipoosmotik* terhadap cairan tubuhnya. Pada kondisi ini, air dalam media cenderung menembus masuk ke dalam tubuh melalui lapisan kulit tipis udang sehingga patogen dari luar dapat menyerang udang. Pengaruh salinitas terhadap ketahanan udang dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



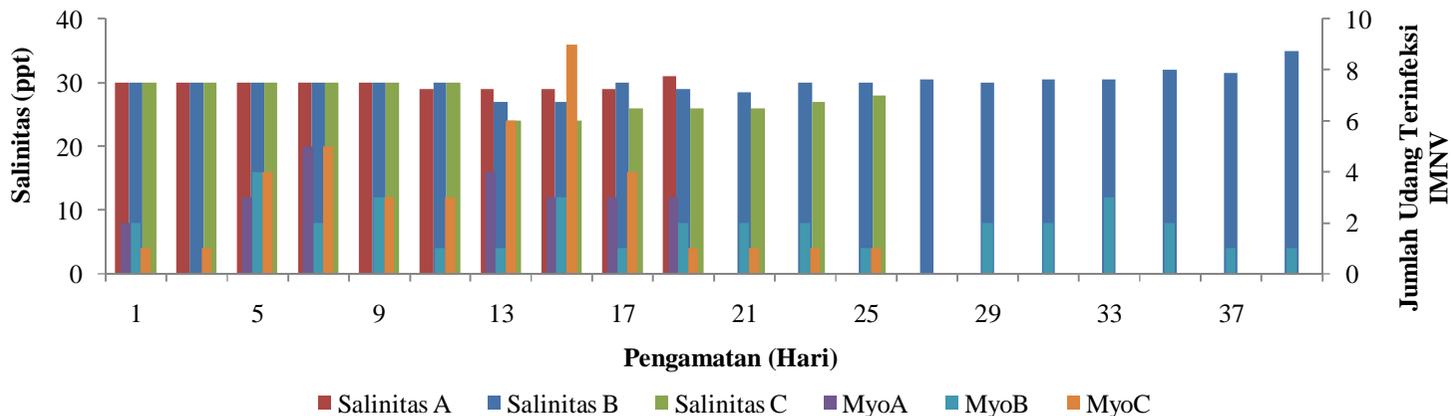
Gambar 4.93 Pengaruh Salinitas Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi di Akuarium A



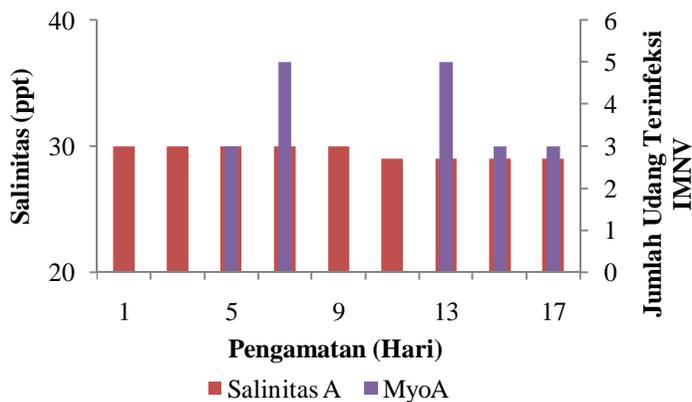
Gambar 4.94 Pengaruh Salinitas Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi di Akuarium B



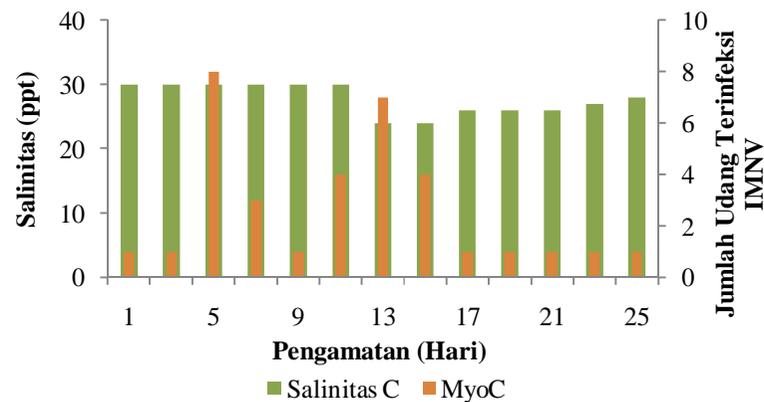
Gambar 4.95 Pengaruh Salinitas Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi di Akuarium C



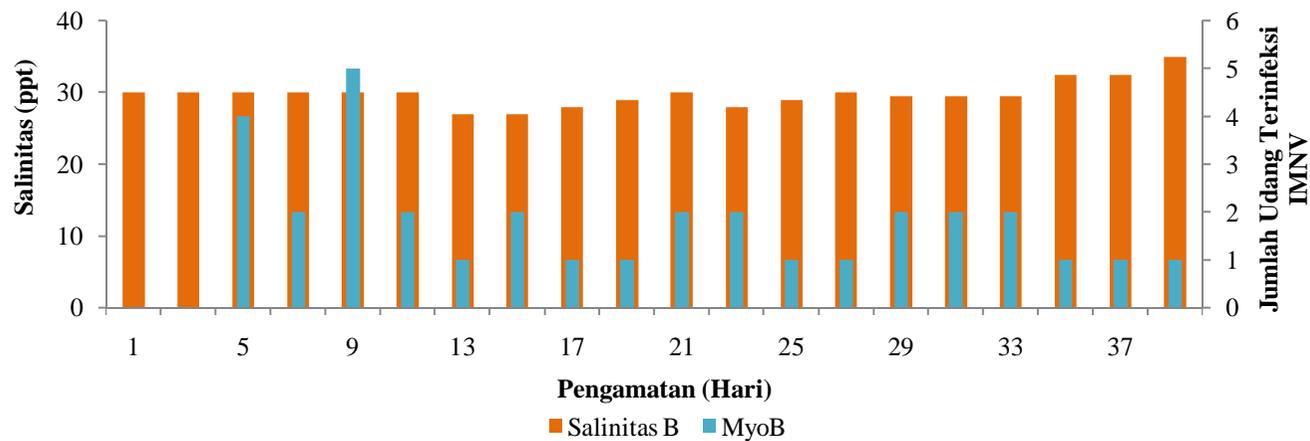
Gambar 4. 96 Pengaruh Salinitas Pagi terhadap Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi



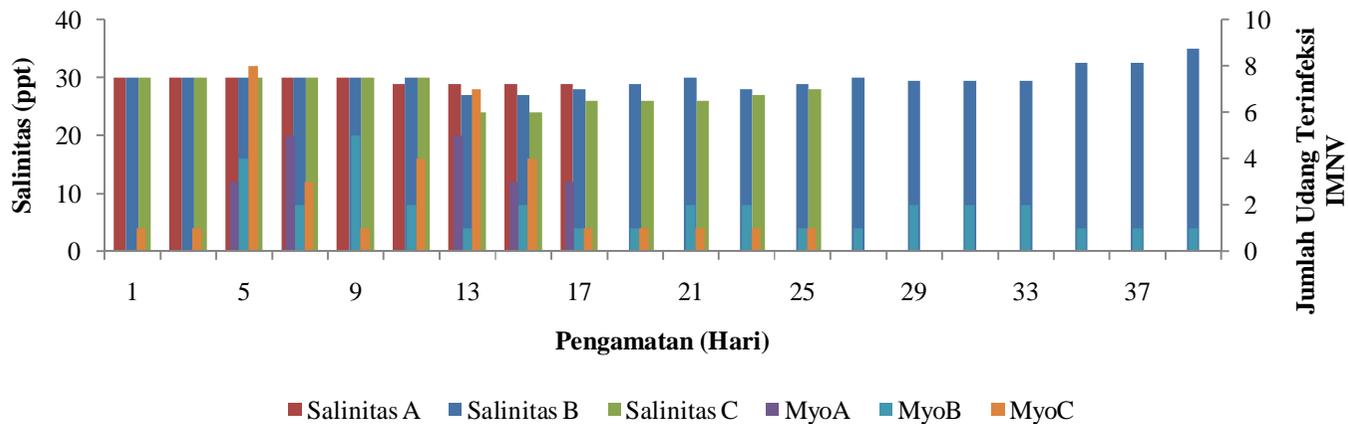
Gambar 4. 98 Pengaruh Salinitas Sore terhadap Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi di Akuarium A



Gambar 4. 97 Pengaruh Salinitas Sore terhadap Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi di Akuarium C



Gambar 4.99 Pengaruh Salinitas Sore terhadap Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi di Akuarium B



Gambar 4.100 Pengaruh Salinitas Sore terhadap Infeksi Virus IMNV setelah Proses Disinfeksi

Dari grafik di atas (Gambar 4.93 – 4.100), dapat dilihat bahwa penurunan salinitas cenderung diiringi dengan peningkatan infeksi virus IMNV, begitu pula sebaliknya. Perbedaan konsentrasi salinitas pada jangka waktu yang relatif singkat diduga tidak memberikan pengaruh yang nyata, tetapi mungkin akan berpengaruh pada jangka waktu yang lama. Contohnya pada salinitas tinggi, pertumbuhan udang menjadi lambat karena proses osmoregulasi terganggu. Salinitas yang tinggi juga bisa menyebabkan udang sulit berganti kulit karena kulit cenderung keras (Haliman, 2005).

Salinitas dapat berarti kadar seluruh ion – ion yang terlarut dalam air. Ion – ion tersebut adalah klorida, karbonat, bikarbonat, sulfat, dan sebagainya (Boyd, 1982 dalam Kordi, 2009). Saat proses ozonasi dan atau oksidasi lanjut (AOP – ozon dan UV) berlangsung, peningkatan konsentrasi karbonat dapat mempertahankan konsentrasi ozon di dalam air. Hal ini dapat menyebabkan efektivitas proses disinfeksi dengan teknologi ozon dan atau AOP meningkat.

BAB 5

KESIMPULAN

Dalam bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian dan saran dari penulis mengenai langkah-langkah yang harus dilakukan untuk mencapai hasil yang lebih optimal.

5.1. Kesimpulan

Berikut adalah beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini:

1. Produktivitas ozon yang dihasilkan oleh ozonator adalah 0,039 g/jam dengan laju alir sebesar 160 L/jam dan sinar UV yang digunakan sinar UVC, 5 W.
2. Perlakuan yang paling efektif untuk menginaktivasi virus adalah disinfeksi IMNV dengan ozonasi. Hal ini disebabkan proses ozonasi tidak membunuh klorofil segenas yang dilakukan sinar UV. Faktor yang menyebabkan hal ini terjadi karena pada saat ozonasi mungkin terjadi penurunan konsentrasi seiring semakin panjangnya jalur horizontal penyebaran ozon.
3. Perlakuan ozonasi dan sinar UV tidak menghasilkan hasil yang memuaskan karena lampu UV menjadi tempat penumpukan kotoran dan plankton yang mati dapat menumpuk di lampu UV sehingga dapat meningkatkan amonia dan menjadi racun bagi udang.
4. Kematian hingga 100% diperoleh pada hari pengamatan ke-19 pada akuarium A, pada hari pengamatan ke - 25 pada akuarium C. Udag pada akuarium B mencapai SR 33,3% hingga hari pengamatan ke-39.
5. Proses disinfeksi virus IMNV harus diiringi dengan penjagaan kondisi kualitas air tambak untuk meningkatkan ketahanan udang terhadap penyakit. Kualitas air yang berubah dapat menyebabkan udang mudah stres. Saat udang stress, sistem imunitas menurun sehingga lebih mudah terserang virus.
6. Kualitas air yang sangat berpengaruh pada ketahanan udang *vannamei* terhadap infeksi virus IMNV adalah DO (*Dissolved Oxygen*), suhu, pH, dan salinitas. Jika parameter kualitas air lainnya tidak optimum, tetapi nilai DO (5 – 8 ppm), suhu

(27 – 32°C), pH (7 – 8,5), dan salinitas (15 – 35 ppt) sesuai baku mutu, maka udang masih dapat bertahan sehingga SR yang didapatkan cukup baik.

5.2. Saran

1. Penelitian lebih baik dilakukan langsung di tambak sehingga jika udang mati massal dapat diganti dengan udang baru dan dapat langsung berkonsultasi dengan teknisi tambak.
2. Pemberian makan udang tidak boleh telat lebih dari setengah jam karena udang akan menjadi kanibal sehingga mengurangi jumlah udang.
3. Dosis ozon yang digunakan sebaiknya lebih besar agar disinfeksi IMNV dapat menghasilkan hasil yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Alsheyab, M. A. T., Aurelio H. Munoz. 2007. Optimisation of Ozone Production for Water and Wastewater Treatment. *Desalination*, 217, 1 - 7.
- Amirsardi, Y., Qu, U., Williams, P. 2001. Effect of Ozonation and UV Irradiation with Direct Filtration on Disinfection and Disinfection By-product Precursors in Drinking Water Treatment. *Environment Technology*, 22, 1015 - 1023.
- Amri, K. d. I. K. 2008. *Budidaya Udang Vannamei Secara Intensif, Semi Intensif, dan Tradisional*. Jakarta, Gramedia Pustaka Utama.
- Anonim. 2012. UV Disinfection for Wastewater. <http://trojanuv.com/solutions/municipal/wastewater>. 16 Juni 2012
- AP5I. 2012. Ekspor Udang Indonesia Januari - September. Jakarta, PT. Jorindo Sakti Utama.
- Bell, R. G. 2001. Framework Structure of Zeolite.
- Bismo, S. 2004. Analisis, Kajian serta Strategi Pemenuhan Air Bersih untuk Kawasan Industri dan Pemukiman di Berbagai Daerah di Indonesia.
- Bismo, S., K. Sutrasno, Nelson Saksono, Eva Fathul Karamah, Amien Rahardjo. 2009. Some Aspects of Lake Water Treatment to Produce Clean Water Using Integration Processes of Adsorption, Filtration, and Ozonation. *World Applied Sciences Journal*, 4, 472 - 478.
- Boyd. 1982. Water Quality Management for Pond Fish Culture. Elsevier Scientific Publishing Company, New York, USA.
- BPS. 2012. Nilai Ekspor Provinsi Lampung pada Januari 2012. Lampung.
- Brief, T. 2000. Ultraviolet Disinfection. http://www.nesc.wvu.edu/pdf/dw/ultraviolet_dwfsom53.pdf 10 Maret 2011
- BSN. 2006. Standar Kualitas Air Tambak Udang *L. vannamei*. Jakarta.
- Cataldo, F. 2005. Ozone Degradation of Ribonucleic Acid. *Polymer Degradation and Stability*, 89, 274 - 281.

- Chang, W.-S., Hong, S.-W. & Park, J. 2002. Effect of zeolite media for the treatment of textile wastewater in a biological aerated filter. *Process Biochemistry*, 37, 693-698.
- Chin, A., et. al. 2005. Removal of Disinfection By-Product Precursors with Ozone-UV Advanced Oxidation Process. *Journal of Water Research*, 39, 2136 - 2144.
- Clark, S. H. 2011. Ultraviolet Light Disinfection in the Use of Individual Water Purification Devices USAPHC.
- Derby, M. W., P.E. 2009. In-Situ Chemical Oxidation for Groundwater and Soil Remediation: Processes, Applications, and Implementation. *Environmental Conference*. East Tennessee, Groundwater & Environmental Services, Inc.
- Douglas, S. E. 2007. Design & Construction - Ozone Treatment & Disinfection Credit.
- DoultonUSA. 2012. Activated Carbon For Drinking Water Filtration. http://doultonusa.com/HTML%20pages/activated_carbon_water_filtration.htm. 30 April 2012
- Durborow, R., David M., Martin W. 1997. Ammonia in Fish Ponds. Southern Regional Aquaculture Centre.
- Eagleton, J. 1999. Ozone (O₃) in Drinking Water Treatment. <<http://www.epa.gov/>>. 16 Juni 2011
- Emerson, M. A., Otis J. Sproul, Charles E. Buck. 1981. Ozone Inactivation of Cell-Associated Viruses. *Applied and Environmental Microbiology*, 43, 603 - 608.
- EPA. 1999a. Disinfectants and Oxidants Guidance Manual.
- EPA. 1999b. Ozone Disinfection. IN EPA, U. (Ed.) *EPA 832 - F-99-063*. Washington DC, USEPA.
- EPA. 2011. Eight-Hour Average Ozone Concentrations. <<http://www.epa.gov/ne/airquality/avg8hr.html>>. 16 Juni 2011
- ExcelTek, I. 2011. The Truth about Ozone. <<http://www.mobilewatertreatmentsystems.com/ozone.asp>>. 16 Juni 2011

- Farooq, S., Akhlaque S. 1983. Comparative Response of Mixed Cultures of Bacteria and Virus to Ozone. *Water Research*, 17, 309.
- Gao, W., Zheng Y, Slusser JR, Helsler GM, Grant RH, Xu J dan He D. 2004. Effects of Supplementary Ultraviolet-B Irradiance on Maize Yield and Qualities a Field Experiment. *Photochem & Photobiol*, 80, 127 - 131.
- Gehr, R. 2003. Disinfection Efficiency of Peracetic Acid, UV and Ozone after Enhanced Primary Treatment of Municipal Wastewater. *Journal of Water Research*, 23, 4573 - 4586.
- Gerba, C. P., Dawn M. Gramos. 2002. Comparative Inactivation of Enteroviruses and Adenovirus 2 by UV Light. *Applied and Environmental Microbiology*, 68, 5167 - 5169.
- Gottschalk, C., J. Libra, Saupe A 2000. *Ozonation of Water and Wastewater: A Practical Guide to Understanding Ozone and its Application*. New York, Wiley-VCH.
- Gross, M. A. A. K. F.-P. 2005a. Disinfection Text. Arkansas, University Curriculum Development for Decentralized Wastewater Management.
- Gross, M. A. a. K. F.-P. 2005b. Disinfection Text. in (M.A. Gross and N.E. Deal, eds.). Arkansas, University Curriculum Development for Decentralized Wastewater Management. National Decentralized Water Resources Capacity Development Project. University of Arkansas, Fayetteville, AR.
- Guzman, D. F. J. 1997. MINUTES of the Stakeholder Meetings on the Report of the JSA Shrimp Virus Work Group. <<http://www.epa.gov/ncea/pdfs/shrimp5.pdf>>. 15 Juni 2011
- Halim, W. 2007. Disinfeksi Salmonella Typhimurium pada Air Tambak Udang dengan Menggunakan Ozon dan Sinar UV. *Departemen Teknik Kimia*. Depok, Universitas Indonesia.
- Haliman, R. W. d. A. 2005. Udang Vannamei, Pembudidayaan dan Prospek Pasar Udang Putih yang Tahan Penyakit. Jakarta.
- Jinghua Tang, W. F. O., Robert S. Sinkovits, Bonnie T. Poulos, Said A. Ghabrial, Donald V. Lightner, & Timothy S. Bakera, a. M. L. N. 2008. Infectious

- myonecrosis virus has a totivirus-like, 120-subunit capsid, but with fiber complexes at the fivefold axes. 3.
- Johnson, J. V. 2001. Application of Ozone in Marine Parks and Large Aquariums. San Diego, L'Institut Océanographique.
- Johnson, K. M., M.R. Anil Kumar, P. Ponmurugan and B. Mythili Gananamangai. 2010. Ultraviolet Radiation and Its Germicidal Effect in Drinking Water Purification. *Journal of Phytology*, 2, 12 - 19.
- Khadre, M. A., A.E. Yousef, dan J.-G. Kim. 2001. Microbiological Aspect of Ozone. *Journal of Food Science*, 66, 1242 - 1252.
- KKP. 2012. Ekspor Udang Indonesia. Jakarta, Kementerian Kelautan dan Perikanan.
- Kordi, K. 2007. *Pemeliharaan Udang Vannamei*. Surabaya, Penerbit Indah.
- Kordi, K., M. Ghufuran 2009. *Budidaya Perairan Buku Kedua*. Jakarta, PT. Citra Aditya Bakti.
- Kuncorojati, D. 2010. Sintesis komposit TiO₂ - Zeolit Alam Lampung - Karbon Aktif untuk Disinfeksi *E.coli* serta Oksidasi Fenol dan Reduksi Cr (VI) *Departemen Teknik Kimia*. Depok, Universitas Indonesia.
- Latha, B. P., T. Vijaya, I. Rama Manohar Reddy, M. Ismail dan S. Dattatreya Rao 2011. Therapeutic Efficacy of *Achyranthes aspera* Saponin Extract in High Fat Diet Induced Hyperlipidaemia in Male Wistar Rats. *African Journal of Biotechnology*, 10, 17038 - 17042.
- Lekang, O.-I. 2007. *Aquaculture Engineering*. Singapore, Blackwell Publishing.
- Liberti, L., M. Notarnicola, dan A. Lopez 2000. Advanced Treatment for Municipal Wastewater Reuse in Agriculture III: Ozone Disinfection. *Ozone Science*, 22, 151 - 166.
- Lightner, D. V., et. al. 2004. Infectious myonecrosis (IMN): a new virus disease of *Litopenaeus vannamei*. *World Aquaculture Society*.
- Mahdavian, K., M. Ghorbanli, Kh. M. Kalantari. 2007. The Effect of Ultraviolet Radiation on The Contents of Chlorophyll, Flavonoid, Anthocyanin and Prolinne in *Capsicum annum L*. *Turk J Bot*, 32, 25 - 33.

- Majumdar, S. B., Ceckler W. H dan Sproul O. J. 1973. Inactivation of Poliovirus in Water by Ozonation. *Water Pollut. Control Fed.*, 45, 2433 - 2443.
- Mardiani, D. 2012. Kena Virus IMNV, Ekspor Udang Indonesia Merosot Tajam. 5 Juni 2012
- Nurullita, d. 2010. Pengaruh Lama Kontak Karbon Aktif sebagai Media Filter Terhadap Persentase Penurunan Kesadahan CaCO_3 Air Sumur Artetis. *Kesehatan Masyarakat*, 6.
- Oh, B. S., Park, S.J., Lee, H.G., Kim, K.S., Lee, K.H., Kang, J.W.,. 2003. Application of The Ozone/UV Process for The Reclamation of Sewage Treatment Plant Effluent. *Journal of Water Environment*, 2, 141 - 153.
- OIE. 2010. Chapter 2.2.3 - Infectious myonecrosis.
- Oktiawan, d. 2007. Efektifitas Penurunan Fe^{2+} dengan Unit Saringan Pasir Cepat Media Pasir Aktif. *Presipitasi*, 2.
- Ozone. 2008. Ozone Generation Dynamic System Group. <http://www.ozone-industries.co.uk/ozone_generation.html>. 9 Maret2011
- Ozone. 2011. Ozone. <<http://en.wikipedia.org/wiki/Ozone>>. 16 Juni2011
- Puspitasari, D. 2010. Pengelolaan Infectious Myonecrosis Virus (IMNV) pada Perairan Pesisir Teluk Lampung di Sekitar Unit Pembenihan Udang Intensif PT. Centralpertiwi Bahari Lampung Selatan. *Departemen Perikanan*. Semarang, Universitas Diponegoro.
- Putra, N. S. S. U., S. Hut, M. Si dan Sugeng Raharjo, A. Pi. 2008. Ultraviolet sebagai Salah Satu Alat Disinfektan Penting di Pembenihan: Rekayasa dan Disain. IN TAKALAR, D. K. D. P. D. J. P. B. B. B. A. P. (Ed.). Jakarta.
- Rahman, M. M. 2007. Differences in Virulence between White Spot Syndrome Virus (WSSV) Isolates and Testing of Some Control Strategies in WSSV Infected Shrimp. *Department of Virology*. Germany, Ghent University.
- Reefkeeping. 2012. Phosphate and the Reef Aquarium. <http://reefkeeping.com/issues/2006-09/rhf/index.php>. 3 Juni2012
- Reeser, D. I., A Jammoul, D Clifford, M Brigante, B D'Anna, C George, J Donaldson 2008. Reactive Uptake of Ozone by Chlorophyll at The Ocean Surface: A Snk

- for Ozone and A Potential Source for Halogenated Species to The MBL. American Geophysical Union.
- Rice, R. G. 1989. Ozone Oxidation Products-Implications for Drinking Water Treatment. *Biohazards of Drinking Water Treatment*. Lewis Publishing.
- Rozali, I. 2012. Pasir Aktif, Zeolit dan Karbon Aktif. <http://sebening-air.blogspot.com/2011/09/pasir-aktif-zeolit-dan-karbon-aktif.html> 30 April 2012
- Said, e. a. 2012. Cara Pengolahan Air Sumur untuk Kebutuhan Air Minum. <http://www.kelair.bppt.go.id/Sitpa/Artikel/Akua/akua.html>. 30 April 2012
- Said, N. I. 2007. Disinfeksi untuk Pengolahan Air Minum. *JAI*, 3, 15- 28.
- Sharrer, M. J., Steven T. Summerfelt. 2007. Ozonation Followed by Ultraviolet Irradiation Provides Effective Bacteria Inactivation in a Freshwater Recirculating System. *Journal of Aquaculture Engineering*, 37, 180 - 191.
- Shinriki, N., Ishizaki K, Yoshizaki T, Nomura A, Miura K, dan Ueda T. 1988. Mechanism of inactivation of tobacco mosaic virus with ozone. *Water Research*, 22, 933 - 938.
- Slamet, I. K., Jayanudin, Desi Usmanizar, Eti Yuliati. 2008. Degradasi Senyawa Fenol dengan Metode Fotokatalisis Menggunakan Reaktor Annular UVC.
- Solomon, C., Peter Casey, Colleen Mackne, dan Andrew Lake. 1998. Ozone Disinfection. Environmental Technology Initiative.
- Steven. 2007. Activated Carbon and Phosphates. http://www.wetwebmedia.com/ca/volume_4/V4I2/carbon/artcarbon_comparisons.htm.
- Sugianto, R. 2011. Aclinop Penumpas Virus Myo di Tambak Udang. Lampung, CV. Minatama.
- Sutarti, M. 1994. Zeolit: Tinjauan Literatur. Pusat Dokumentasi dan Informasi Ilmiah.
- Tang, J., et al. 2008. Infectious myonecrosis virus has a totivirus-like, 120-subunit capsid, but with fiber complexes at the fivefold axes. *Microbiology*, 45, 17526-17531.

- Tchobanoglous, G., Burton, F.L., & Stensel, H. D. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse* (4th ed.). New York, McGraw Hill.
- Thurston-Enriquez, J. A., Charles N. Haas, Joseph Jacangelo, Charles P. Gerba. 2005. Inactivation of Enteric Adenovirus and Feline Calicivirus by Ozone. *Water Research*, 39, 3650 - 3656.
- USEPA. 2006. *Ultraviolet Disinfection Guidance Manual for The Final Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule*. IN AGENCY, U. S. E. P. (Ed.). Washington, DC.
- Van der Helm, A. W. C. 2007. *Integrated Modeling of Ozonation for Optimization of Drinking Water Treatment*. *Water Management Academic Press*. The Netherlands, Delft.
- Vaughn, J. M., Y.S. Chen, K. Lindburg, dan D. Morales. 1987. Inactivation of Human and Simian Rotaviruses by Ozone. *Applied and Environmental Microbiology*, 53, 2218 - 2221.
- Von, G. U. 2003. Review Ozonation of Drinking Water: Part I. Oxidation Kinetics and Product Formation. *Water Research*, 37, 1443 - 1467.
- White, G. C. 1992. *Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants*. IN REINHOLD, V. N. (Ed.). New York.
- Widiastuti, N., Wu, H., Ang, M. & Zhang, D.-k. 2008. The potential application of natural zeolite for greywater treatment. *Desalination*, 218, 271-280.
- Widmer, G., Clancy T, Ward HD, Batzer GM, Pearson CB, Bukhari Z. 2002. Structural and Biochemical Alterations in Giardia Lambliia Cysts Exposed to Ozone. *Parasitol*, 88, 1100 - 1106.
- WorsleySchool. 2012. What is a Virus? <http://www.worsleyschool.net/science/files/virus/page.html>. 20 Juni2011
- Yanuarda, F. K. 2011. SIGNIFIKANSI PENGGUNAAN ZEOLIT ALAM PADA PROSES OZONASI UNTUK DISINFEKSI HAMA BAKTERI *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* PADA TANAMAN PADI. *Departemen Teknik Kimia*. Depok, Universitas Indonesia.

Zvezdanovic, J. d. D. M. 2007. Bleaching of Chlorophylls by UV Irradiation *in vitro*: The Effects on Chlorophyll Organization in Acetone and *n*-hexane. *Journal of Serbian Chemical Society*, 3.

LAMPIRAN

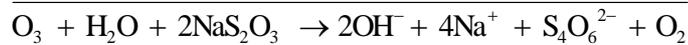
Lampiran 1. Perhitungan Uji Produktivitas Ozon

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 :

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

- $\text{mmol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = (\text{Vol. Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ hulu} + \text{Vol. Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ hilir}) \times 0,005 \text{ M}$
- $\text{mol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = \frac{(\text{Vol. Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ hulu} + \text{Vol. Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ hilir}) \times 0,005}{1000}$
- $\text{mol O}_3 = \frac{1}{2} \times \text{mol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
- $\text{gram O}_3 = \text{mol} \times 48$
- $\text{produktivitas ozon} = \frac{\text{gr O}_3}{t} \times 3.600$ di mana:
- $t =$ lamanya waktu yang diperlukan oleh larutan KI untuk berubah warna dari bening menjadi kuning kecokelatan (detik)
- produktivitas ozon memiliki satuan gr/jam

Contoh Perhitungan Produktivitas Ozon

Mengambil contoh data seperti:

$$Q \text{ umpan} = 160 \text{ L/jam}$$

$$t = 630 \text{ detik}$$

(Lanjutan)

Produktivitas Ozon

- $$\bullet \text{ mol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = \frac{(\text{Vol. Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ hulu} + \text{Vol. Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ hilir}) \times 0,005}{1000}$$

$$= \frac{57,6\text{mL} + 4\text{mL}}{1000\text{mL}} = 3,08 \times 10^{-4} \text{ mol}$$
- $$\bullet \text{ mol O}_3 = \frac{1}{2} \times \text{mol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = \frac{1}{2} \times 3,08 \times 10^{-4}$$

$$= 1,54 \times 10^{-4} \text{ mol}$$
- $$\bullet \text{ gram O}_3 = \text{mol} \times 48 = 1,54 \times 10^{-4} \text{ mol} \times 48 = 7,392 \times 10^{-3}$$

gram
- $$\bullet \text{ produktivitas ozon} = \frac{\text{gr O}_3}{t} \times 3.600$$

$$= \frac{7,392 \times 10^{-3}}{630} \times 3600 = 0,04224 \text{ g / jam}$$

Lampiran 2. Lampiran Uji Kualitas Air**Prosedur Pengujian Kualitas Air Menggunakan Sera Test Kit****Prosedur Pengukuran DO (*Dissolved Oxygen*)**

1. Kalibrasi DO meter pada aquades
2. Ukur DO dengan mencelupkan DO meter ke dalam air
3. Ukur konsentrasi DO hingga nilainya stabil
4. Catat angka yang terukur pada layar DO meter

Prosedur Pengukuran Salinitas

1. Ambil 50 mL air sampel
2. Masukkan air melalui filter salinitas hydrometer sampai batas air
3. Amati jarum ukur
4. Catat salinitas yang terukur

(Lanjutan)

Prosedur Pengukuran pH

1. Celupkan gelas ukur beberapa kali pada air bersih, isi gelas ukur sebanyak 5 mL. Meringankan luaran gelas ukur.
2. Tambahkan 4 tetes reagen dan kocok hingga cairan terdistribusi.
3. Bandingkan warna dengan cepat. Taruh gelas ukur pada grafik dan membandingkan warna sampel uji dengan warna grafik di bawah sinar matahari. Hindari sinar matahari secara langsung.
4. Catat pH yang terukur.
5. Bersihkan gelas ukur sebelum dan sesudah pengujian.
Tutup botol reagen dengan cepat setelah digunakan. Simpan pada suhu ruangan 15 – 25°C dan hindari cahaya. Jauhi reagen dari jangkauan anak kecil.

Prosedur Pengukuran Konsentrasi Nitrit

1. Celupkan gelas ukur beberapa kali pada air bersih, isi gelas ukur sebanyak 5 mL. Keringkan luaran gelas ukur.
2. Tambahkan reagen 1 dan 2 masing-masing 5 tetes dan kocok hingga cairan terdistribusi.
3. Bandingkan warna setelah 5 menit. Taruh gelas ukur pada grafik dan Bandingkan warna sampel uji dengan warna grafik di bawah sinar matahari. Hindari sinar matahari secara langsung.
4. Catat konsentrasi nitrit yang terukur.
5. Bersihkan gelas ukur sebelum dan sesudah pengujian.
Tutup botol reagen dengan cepat setelah digunakan. Simpan pada suhu ruangan 15 – 25°C dan hindari cahaya. Jauhi reagen dari jangkauan anak kecil.

(Lanjutan)

Prosedur Pengukuran Konsentrasi Amonia

1. Celupkan gelas ukur beberapa kali pada air bersih, isi gelas ukur sebanyak 5 mL untuk air asin. Keringkan luaran gelas ukur.
2. Tambahkan 6 tetes reagen 1 dan kocok hingga cairan terdistribusi.
3. Tambahkan 6 tetes reagen 2 dan kocok hingga cairan terdistribusi.
4. Tambahkan 6 tetes reagen 3 dan kocok hingga cairan terdistribusi.
5. Bandingkan warna setelah 5 menit. Taruh gelas ukur pada grafik dan bandingkan warna sampel uji dengan warna grafik di bawah sinar matahari. Hindari sinar matahari secara langsung.
6. Catat konsentrasi amonia yang terukur.
7. Bersihkan gelas ukur sebelum dan sesudah pengujian.
Tutup botol reagen dengan cepat setelah digunakan. Simpan pada suhu ruangan 15 – 25°C dan hindari cahaya. Jauhi reagen dari jangkauan anak kecil.

Prosedur Pengukuran Konsentrasi Fosfat

1. Celupkan gelas ukur beberapa kali pada air bersih, mengisi gelas ukur sebanyak 10 mL. Mengeringkan luaran gelas ukur.
2. Tambahkan 6 tetes reagen 1 dan kocok hingga cairan terdistribusi.
3. Tambahkan 6 tetes reagen 2 dan kocok hingga cairan terdistribusi.
4. Tambahkan satu sendok reagen 3 kemudian kocok hingga cairan terdistribusi.
5. Bandingkan warna setelah 5 menit. Taruh gelas ukur pada grafik dan Bandingkan warna sampel uji dengan warna grafik di bawah sinar matahari. Hindari sinar matahari secara langsung.
6. Catat konsenrasi fosfat yang terukur.
7. Membersihkan gelas ukur sebelum dan sesudah pengujian.
Menutup botol reagen dengan cepat setelah digunakan. Menyimpan pada suhu ruangan 15 – 25°C dan menghindari cahaya. Menjauhi reagen dari jangkauan anak kecil.

(Lanjutan)

Prosedur Pengukuran kH (*Carbonate Hardness*)

1. Celupkan gelas ukur beberapa kali pada air bersih, isi gelas ukur sebanyak 5 mL. Keringkan luaran gelas ukur.
2. Tambahkan reagen tetes demi tetes hingga sampel berubah warna dari biru, hijau menjadi kuning.
3. Catat jumlah tetesan hingga menjadi kuning sebagai derajat kekerasan karbonat (*Carbonate Hardness*)
4. Catat °dkH yang terukur dan mengkonversi 1 °dkH = 18 mg/L.
5. Bersihkan gelas ukur sebelum dan sesudah pengujian.
6. Tutup botol reagen dengan cepat setelah digunakan. Simpan pada suhu ruangan 15 – 25°C dan menghindari cahaya. Jauhi reagen dari jangkauan anak kecil.

Lampiran 3. Karakteristik Zeolit yang Digunakan sebagai Media Filter

No.	Karakteristik
1.	Luas Permukaan : 49,18 m ² /g
2.	VolumePori : 2,35 x 10 ⁻² cc/g
3.	Radius pori rata – rata : 9,56 Å

Sumber: CV. MINATAMA

Lampiran 4 Jumlah Bakteri dalam Air Tambak

No.	Nama Bakteri	Akuarium A	Akuarium B	Akuarium C
1	Total Bakteri (CFU/mL) - awal	3,3 x 10 ³	3,3 x 10 ³	3,3 x 10 ³
	Total Bakteri (CFU/mL) - akhir	2 x 10 ³	3 x 10 ⁴	2 x 10 ²
2	Total Vibrio (CFU/mL) - awal	6 x 10 ²	6 x 10 ²	6 x 10 ²
	Total Vibrio (CFU/mL) - akhir	-	-	-

Sumber: Laboratorium PT. Primanusa Jaya Abadi