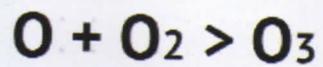
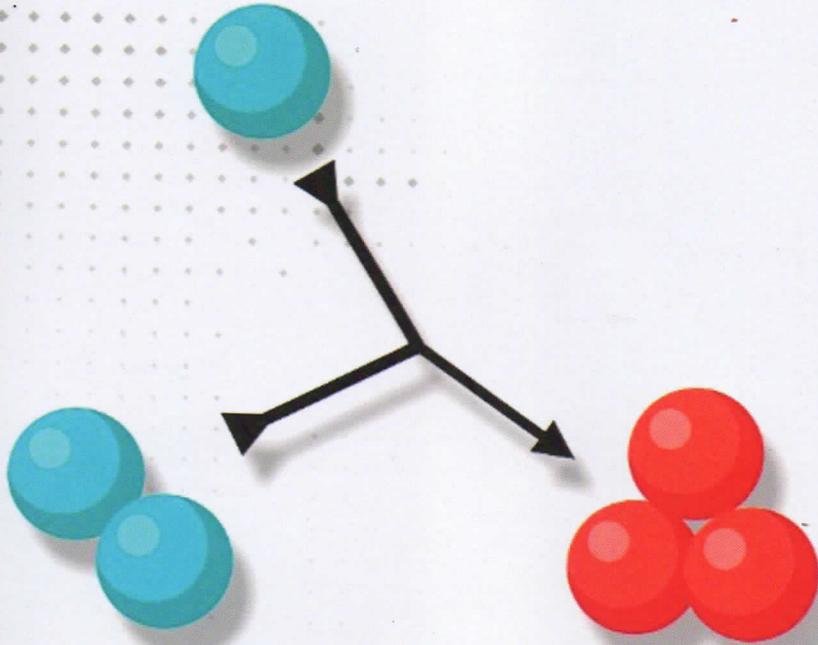


Sigit Kurniawan, S.Si., M.Si.
Novarini, S.T., M.T.
Ir. Erna Yuliwati, M.T., Ph.D.
Dr. Eko Ariyanto



OZON

DAN APLIKASINYA

Ozon dan Aplikasinya

Sigit Kurniawan, S.Si., M.Si.
Novarini, S.T., M.T.
Ir. Erna Yuliwati, M.T., Ph.D
Dr. Eko Ariyanto

Sanksi Pelanggaran Pasal 113 Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta

1. Hak Cipta adalah hak eksklusif pencipta yang timbul secara otomatis berdasarkan 1. prinsip deklaratif setelah suatu ciptaan diwujudkan dalam bentuk nyata tanpa mengurangi pembatasan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan. (Pasal 1 ayat [1]).
2. Pencipta atau Pemegang Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 8 2. memiliki hak ekonomi untuk melakukan: a. Penerbitan ciptaan; b. Penggandaan ciptaan dalam segala bentuknya; c. Penerjemahan ciptaan; d. Pengadaptasian, pengaransemenan, atau pentransformasian ciptaan; e. pendistribusian ciptaan atau salinannya; f. Pertunjukan Ciptaan; g. Pengumuman ciptaan; h. Komunikasi ciptaan; dan i. Penyewaan ciptaan. (Pasal 9 ayat [1]).
3. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang 3. Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/ atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah). (Pasal 113 ayat [3]).
4. Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang 4. dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah). (Pasal 113 ayat [4]).



OZON DAN APLIKASINYA

© Sigit Kurniawan, dkk.

viii + 94 ; 15 x 20 cm.
ISBN: 978-623-261-296-9

Hak cipta dilindungi oleh Undang-Undang.
Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian
atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun
juga tanpa izin tertulis dari penerbit.

Cetakan I, September 2021

Penulis : Sigit Kurniawan, S.Si., M.Si.
Novarini, S.T., M.T.
Ir. Erna Yuliwati, M.T., Ph.D.
Dr. Eko Ariyanto
Editor : Wahyu Dewanto, S.IP., M.M.
Desain Sampul : Tim Samudra Biru
Layout : Eka Tresna Setiawan

Diterbitkan oleh:

Penerbit Samudra Biru (Anggota IKAPI)

Jln. Jomblangan Gg. Ontoseno B.15 RT 12/30

Banguntapan Bantul DI Yogyakarta

Email: admin@samudrabiru.co.id

Website: www.samudrabiru.co.id

WA/Call: 0812-2607-5872

Kata Pengantar

Ozon pertama kali ditemukan oleh C.F. Schönbein pada tahun 1839 secara tidak sengaja pada saat mengelektrolisis air, dia mengidentifikasi zat bau tersebut dengan istilah ozon dalam bahasa Yunani berarti tercium. Ozon pertama kali digunakan secara komersial pada tahun 1907 untuk pengolahan air bersih di St. Petersburg. Seiring dengan perkembangan waktu, pemanfaatan ozon juga berkembang karena ozon memiliki keunggulan untuk diterapkan pada proses strerilisasi, disinfektansi dan dekomposisi senyawa organik dan anorganik.

Buku ini mencoba menerangkan konsep dasar ozon dan aplikasinya untuk menjadi pedoman awal pengembangan teknologi ozon yang disusun berdasarkan hasil-hasil penelitian ozon.

Bab 1 membahas tentang definisi ozon, sifat fisika sifat dan kimia ozon, cara pembangkitan ozon dan potensi pengaplikasian ozon.

Bab 2 membahas tentang cara pembangkitan ozon melalui lucutan elektrik, elektrolisis, radiasi UV dan radiokimia.

Bab 3 membahas tentang cara pengukuran ozon melalui metode titrasi, metode spektrofotometri, metode absorsi UV, sensor ozon semikonduktor

Bab 4 membahas tentang aplikasi dalam pengolahan air, aplikasi ozon dalam penjernihan udara, aplikasi ozon dalam bidang kesehatan dan aplikasi ozon dalam industri pangan.

Bab 5 membahas tentang aplikasi dalam pengolahan

limbah air meliputi parameter kualitas air, cara pengukuran kualitas air dan cara pengolahan limbah air domestik, rumah sakit dan industri.

Dengan terbitnya buku ini penulis mengucapkan terimakasih pada semua pihak yang telah membantu khususnya civitas akademika Politeknik Jambi dan rekan penelitian ozon. Akhirnya penulis menyadari tentu akan ada kesalahan tulisan dan istilah yang sekira pembaca dapat memberikan kritikan maupun komentar kepada penulis untuk perbaikan pada penerbitan berikutnya.

Jambi, September 2021

Penulis

DAFTAR ISI

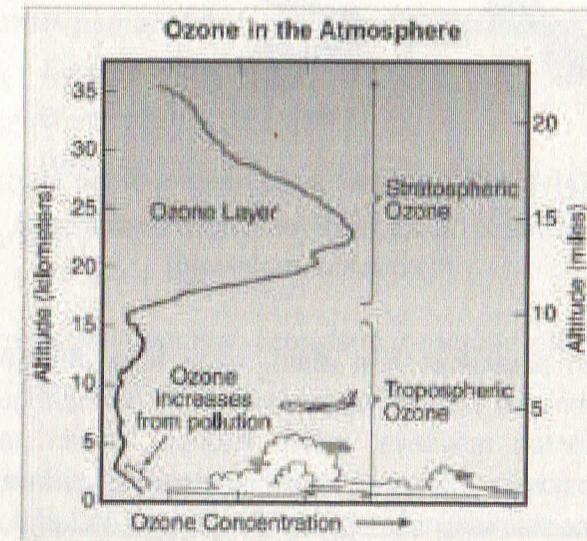
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
BAB 1 Definisi Ozon	1
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Sifat dan Kimia	5
1.3 Pembangkitan Ozon	7
1.4 Aplikasi Ozon	8
BAB 2 Pembangkitan Ozon	14
2.1 Pendahuluan	14
2.2 Lucutan Elektrik	15
2.3 Photochemical	23
2.4 Elektrolisis	25
2.5 Radiokimia	26
2.6 Perhitungan Produksi Ozon	27
BAB 3 Pengukuran Ozon	30
3.1 Pendahuluan	30
3.2 Metode Titrasi	31
3.3 Metode Spektrofotometri	38
3.4 Metode Absorsi UV	41
3.5 Sensor Ozon Semikonduktor	42

BAB 4 Aplikasi Ozon	46
4.1 Pendahuluan	46
4.2 Aplikasi Ozon dalam Pengolahan Air	47
4.3 Aplikasi Ozon dalam Penjernihan Udara	49
4.4 Aplikasi Ozon dalam Bidang Kesehatan	51
4.5 Aplikasi Ozon dalam Industri Pangan	54
BAB 5 Aplikasi Ozon pada Pengolahan Limbah Air	62
5.1 Parameter Kualitas Air	62
5.2. Metode Pengukuran Kualitas Air	63
5.3 Ozon dalam Penanganan Limbah Rumah Tangga	85
5.4 Ozon dalam Penanganan Limbah Rumah Sakit	88
5.5 Ozon dalam Penanganan Limbah Industri	89
Bio Data Penulis	93

BAB 1 DEFINISI OZON

1.1. Pendahuluan

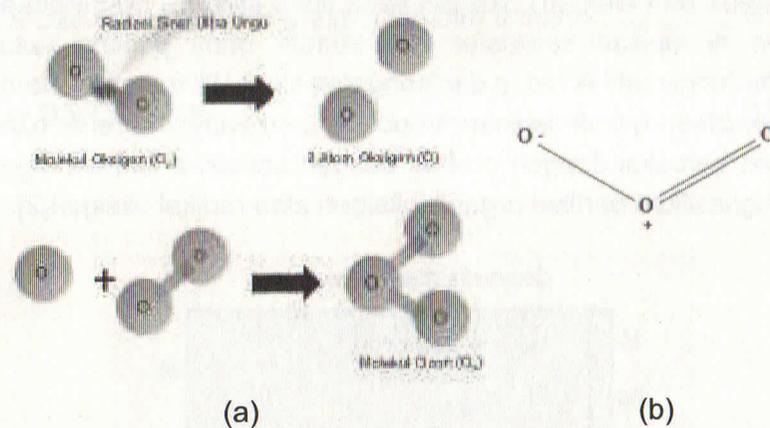
Ozon merupakan gas berwarna kebiru-biruan dengan bau menyengat, sangat reaktif dan merupakan alotrop (bentuk berbeda dari elemen) oksigen yang tidak stabil[1]. Keberadaan ozon di lapisan stratosfer dari atmosfer bumi penting untuk melindungi makhluk hidup dari sengatan sinar UV matahari, namun keberadaannya di lapisan troposfer berbahaya karena ozon dapat bereaksi dengan mudah dengan senyawa lain sehingga menghasilkan partikel organik oksigen atau radikal oksigen[2].



Gambar 1 Konsentrasi ozon di alam raya[3]

Ozon pertama kali ditemukan oleh peneliti eropa bernama C.F. Schönbein pada tahun 1839. Selama mengelektrolisis air, dia mengidentifikasi bau yang timbul pada anoda. Senyawa baru yang didapat diberi nama ozon. Ozon pertama kali digunakan secara komersial pada tahun 1907 dalam menyediakan air yang baik dan pada tahun 1910 di St. Petersburg.

Struktur dari ozon terdiri dari tiga molekul oksigen (trioksigen:IUPAC) dengan rumus kimia O_3 , secara alamiah ozon terbentuk secara foto-kimia dari radiasi sinar UV matahari. Sinar UV dengan panjang gelombang < 240 nm dapat mengeksitasi gas oksigen menjadi tidak stabil dan menyebabkan atom oksigen terlepas[4], atom oksigen yang terlepas kemudian bergabung dengan molekul oksigen dan membentuk molekul ozon.



Gambar 2 Ozon: (a) Proses pembentukan[5],
(b) Struktur molekul[6]

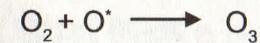
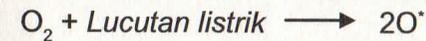
Selain dihasilkan dari alam, ozon juga dihasilkan dari peralatan modern yang menggunakan listrik bertegangan tinggi. Sebagai contoh misalnya, mesin fotokopi, mesin pembersih ruangan (*vacuum cleaner*), mesin pembersih udara, printer laser, generator listrik dan lain sebagainya. Alat-alat tersebut akan menghasilkan ozon yang dilepaskan ke dalam lingkungan ruangan. Konsentrasi ozon di udara menjadi parameter ukuran

dari kualitas udara. Hal ini karena gas oksigen berbahaya bagi sistem pernapasan makhluk hidup, ahli kesehatan merekomendasikan agar level ozon di udara tidak melebihi 0,08 ppmv (1 ppm = 1mg/1L volume udara).

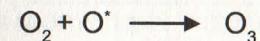
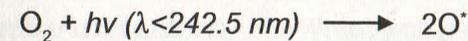
Dalam kondisi normal, ozon bersifat tidak stabil dan mudah terurai dalam bentuk gas yang lebih stabil yaitu molekul oksigen (O_2). Karena sifat ini maka ozon tidak dapat disimpan dalam jangka waktu lama (tidak memungkinkan untuk disimpan seperti gas oksigen), seringkali dalam pemanfaatannya ozon harus dibangkitkan pada lokasi dimana ozon tersebut dibutuhkan. Untuk menghasilkan ozon dengan konsentrasi tertentu maka biasanya ozon dihasilkan melalui proses lucutan listrik tegangan tinggi atau radiasi sinar UV dari gas umpan oksigen.

Produksi ozon sebagian besar diperoleh dari tiga metode yakni lucutan korona (*corona discharge*), metode elektrokimia dan metode radiasi ultraviolet (UV). Metode pelepasan korona mempunyai efisiensi yang rendah (2- 10%) jika dibandingkan dengan elektrokimia atau sinar UV. Akan tetapi, metode ini banyak digunakan karena mampu menghasilkan produktivitas ozon yang tinggi dengan sistem sederhana.

Proses pembentukan ozon dengan lucutan listrik[1]:



Proses pembentukan ozon dengan Sinar UV[4]:



Proses pembentukan ozon dengan metode elektrokimia[7]:



Konsentrasi ozon yang terbentuk dari ketiga proses diatas bergantung pada konsentrasi oksigen yang tercampur pada gas atau larutan. Masing-masing metode untuk membangkitkan ozon memiliki kekurangan dan kelebihan, sinar UV memiliki kelebihan

berupa konsumsi energinya rendah namun kekurangannya produktivitas ozon yang didangkitkan cukup kecil, sedangkan metode elektrokimia mampu menghasilkan ozon dengan produktivitas tinggi namun kekurangannya tingkat konsumsi energi yang dibutuhkan juga besar. Yang menjadi pertimbangan lain dalam membangkitkan ozon menggunakan metode listrik adalah tingkat keamanan kerja baik pada kondisi tegangan tinggi (lucutan korona) maupun arus besar (elektrokimia).

Pembangkit ozon atau ozonator pertama kali diperkenalkan oleh von Siemens pada tahun 1857. Ozonator jenis inilah yang menjadi cikal bakal purwarupa (prototipe) bagi sebagian besar ozonator jenis lucutan listrik modern. Von Siemens memperkenalkan pembangkitkan ozon dengan teknik plasma DBD (*dielectric barrier discharge*), dimana teknik ini termasuk dalam lucutan senyap yang bekerja pada tekanan udara atmosfer.

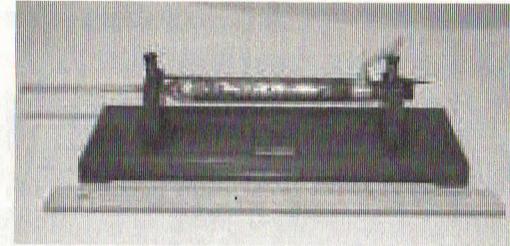
Main parameters of processes in which ozone is obtained by various methods

Ozone synthesis method	Typical ozone concentration, wt %	Typical value of specific energy expenditure, kWh kg ⁻¹ O ₃
UV radiation	0.01-0.2	20-300
Corona discharge air	0.5-4	15-20
oxygen	4-15	9-20
Anodic oxidation of water	15-40	50-175

Sumber[7].

DBD termasuk jenis plasma nonthermal (plasma dengan temperatur rendah karena temperatur elektron tidak sama dengan muatan netral atau ion) yang umumnya terdiri atas dua elektroda yang dipisahkan oleh celah beberapa milimeter dan ditutupi dengan lapisan dielektrik. Dielektrik berfungsi sebagai pembatas arus, mencegah pembentuk *spark* dan mendistribusikan lucutan

secara merata di seluruh area elektroda.

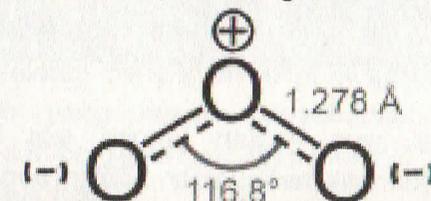


Gambar 3 Pembangkit Ozon von Siemen[8]

Sebuah ozonator DBD biasanya terdiri dari reaktor DBD dan Generator AC tegangan tinggi. Reaktor DBD dibuat menggunakan dua konduktor (positif-negatif) dan bahan dielektrik yang dapat berupa kaca, keramik atau lapisan polimer sebagai isolator. Konfigurasi elektroda dapat bermacam-macam, bisa berbentuk plat atau tabung yang dikelilingi oleh elektroda satu sedangkan elektroda yang lain diletakkan di tengah tabung. Ketika gas oksigen masuk ke dalam tabung atau berada disekitar plat tegangan tinggi maka lucutan listrik akan melepaskan elektron dari oksigen dan menumbuk molekul oksigen yang lain sehingga menyebarkan atom oksigen terlepas dan bergabung dengan molekul oksigen yang lain membentuk ozon.

1.2. Sifat Fisika dan Kimia

Struktur ozon berdasarkan analisa elektron dapat digambarkan sebagaimana ditunjukkan pada di bawah ini. Struktur ozon menyerupai molekul air dengan jarak antar atom O sejauh 1,27 Amstrong dan membentuk sudut O-O=O sebesar 116.8°. Ozon merupakan molekul polar dengan momen dipole 0.53 D.



Gambar 4 Struktur Ozon[6]

Sifat dari gas ozon yang dapat menyerap gelombang UV (panjang gelombang 290-320 nm) dibutuhkan dalam melindungi bumi dari bahaya sinar UV. Ozon bersifat larut terhadap semua zat, ozon dapat larut empat kali lipat di air daripada oksigen tetapi dalam bentuk larutan metastabil. Kestabilan ozon (*retention*) dalam air dipengaruhi oleh pH, temperatur dan mineral yang terkandung dalam air[9] sedangkan perpindahan massa (*mass transfer*) ozon dalam air secara dipengaruhi oleh konsentrasi ozon, daya kelarutan ozon dalam larutan, waktu kontak, jumlah dan ukuran gelembung gas, tekanan dan temperatur operasi.

Kelarutan Ozon Dalam Air

Temperatur	Kelarutan
0	1,09
10	0,78
20	0,57
30	0,40
40	0,27
50	0,19
60	0,14

Sifat Fisis Ozon

Karakteristik	Nilai
Berat molekul	48 gr/mol
Tekanan kritis	5460 kPa
Temperatur kritis	-12,10°C
Densitas (0°C dan 1 atm)	2,143 kg/m ³
Densitas relatif (di udara)	1,667 kg/m ³
Energi	142,3 kJ/mol
Potensial oksidasi	2,07 volt
Waktu paruh dalam larutan cair	20 – 30 menit
Waktu paruh dalam udara kering	12 jam

Sifat kimia ozon adalah berupa gas beracun yang mempunyai karakteristik berbau tajam. Zat ini pengoksidasi yang kuat dan bereaksi dengan banyak senyawa jika dibandingkan

dengan oksigen (O₂). Tabel dibawah ini membandingkan potensi oksidasi ozon dengan zat pengoksidasi kuat lainnya.

Oksidator dan Potensial Oksidasi

Oksidator	Potensial Oksidasi
Fluorine	3,06
Hydroxyl radical	2,80
Nascent oxygen	2,42
Ozone	2,07
Hydrogen	1,77
Perhydroxyl	1,70
Permanganat	1,67
Klorin dioksida	1,50
Hypochlorus	1,49
Chlorine	1,36

Dalam larutan air, ozon dapat bereaksi pada berbagai senyawa baik melalui reaksi langsung dengan molekul ozon maupun secara tidak langsung yaitu bereaksi dengan radikal yang terbentuk ketika ozon mendekomposisi molekul air.

1.3. Pembangkitan Ozon

Sebagaimana dijelaskan sebelumnya bahwa gas ozon bersifat tidak stabil sehingga dalam memanfaatkan ozon perlu dibuat sistem pembangkit pada tempat (*in situ*) dimana gas ozon tersebut dimanfaatkan. Pembangkitan ozon dapat dilakukan dengan berbagai metode, antara lain[10]:

1. Lucutan Korona

Ozon dapat dibangkitkan melalui metode lucutan korona (*Corona Discharger*), prinsip kerja pembangkitan ozon ini adalah dengan memanfaatkan momentum tumbukan antara elektron dengan molekul oksigen, Adanya energi tumbukan yang besar menyebabkan atom oksigen terlepas dan bergabung dengan molekul oksigen yang lain membentuk ozon.

2. Fotokimia

Ozon di alam dibangkitkan dari radiasi sinar ultraviolet (UV) yang memecah molekul oksigen (O_2) menjadi atom-atom oksigen, kemudian atom oksigen akan bereaksi dengan molekul Oksigen yang lain membentuk Ozon (O_3). Panjang gelombang UV yang digunakan untuk menghasilkan ozon adalah kurang dari 242.5 nm[4]. Cara ini merupakan cara alami pembentukan ozon pada lapisan Atmosfer bumi.

3. Elektrolisis

Larutan elektrolit ketika diberi tegangan listrik akan menyebabkan pelepasan atom oksigen. Dengan cara elektrolisis, senyawa air (H_2O) dapat terpisah menjadi oksigen O_2 dan melepaskan 4 ion H^+ serta mengalirkan air ke katode. Molekul O_2 juga dapat terpisah menjadi O dan bergabung untuk membentuk ozon. Pada anode ozon diproduksi secara katalistik dari air (in situ) diatas sebuah elektroda potensial 1.7 V dengan pembentukan oksigen secara stilmutan. Kuantitas ozon dengan cara ini tidak hanya bergantung pada densitas muatan pada sel elektrolisis, tetapi juga pada temperatur dan elektrorit.

4. Radiokimia

Iradiasi radioaktif dapat menyebabkan pemisahan molekul oksigen menjadi atom oksigen. Atom oksigen yang terpisah karena tidak stabil kemudian bergabung dengan molekul oksigen yang lain membentuk ozon. Biasanya isotop seperti ^{137}Cs , ^{60}Co atau ^{90}Sr digunakan untuk mengeksitasi gas oksigen agar membentuk ozon.

1.4. Aplikasi ozon

Dalam aplikasinya, gas ozon juga berguna dalam kehidupan manusia. Ozon termasuk zat pengoksidasi kuat yang bisa difungsikan untuk sterilisasi (membunuh bakteri, virus dan mikroorganisme), deodorisasi (menghilangkan bau), dan disinfektan (mengurai jumlah bakteri atau mikroorganisme). Ozon

dapat bereaksi dengan senyawa kimia atau mikroorganisme baik secara langsung dengan membentuk hidroksil (OH^*) dan molekul ozon sendiri atau tidak langsung melalui produk yang radikal hidrosil (OH^*) yang dihasilkan.

Prinsip sterilisasi dan disinfeksi menggunakan ozon hampir sama yaitu molekul ozon akan mengoksidasi dinding sel bakteri kemudian membuat lubang pada dinding sel tersebut sehingga menyebabkan bakteri kehilangan dinding sel, kondisi ini terjadi karena molekul ozon memiliki potensial oksidasi yang cukup besar dibandingkan dengan hydrogen peroksida, proses sterilisasi dan disinfeksi juga dapat terjadi karena keberadaan radikal hidrosil (OH^*) atau radikal oksigen (O^*) yang memiliki kemampuan merusak membran bakteri atau DNA/RNA.

Pengubahan bau (Deodorization) biasanya disebabkan oleh bakteri atau jamur senyawa organik yang lain yang hal ini dapat direduksi oleh produk radikal hidrosil ozon untuk merusak struktur sel atau struktur senyawa yang menyebabkan bau. Pengubahan warna (*Decolorization*) terjadi karena selama proses treatment terjadi pengurangan unsur organik pada air yang menjadi penyebab kekeruhan atau keberadaan zat berwarna buatan yang kemudian didegradasikan oleh radikal hidrosil (OH^*) ozon.

Pemanfaatan ozon sebagai disinfektan bergantung pada kebutuhan dosis dari target molekul atau bakteri, beberapa jenis bakteri atau virus membutuhkan dosis yang beragam. Kebutuhan dosis tersebut biasanya diistilahkan sebagai waktu kontak (Contact Time) atau CT. sebagai contoh bakteri *Bacillus* membutuhkan CT sebesar 0.1 (konsentrasi ozon 0.2 mg/L x 0,5 menit). Nilai CT ini dapat disesuaikan dengan rata-rata dosis yang digunakan artinya untuk menghasilkan CT 0.1 maka operator juga dapat menggunakan konsentrasi ozon 0.1 mg/L selama 1 menit.

Berikut merupakan dosis yang dibutuhkan untuk menghilangkan bakteri atau virus pada proses sterilisasi menggunakan ozon.

Berdasarkan keefektifitasnya sebagai disinfektan, penggunaan ozon banyak dikembangkan dalam berbagai industri pengolahan antara lain:

1. Pengolahan air minum

Penggunaan ozon pada industri air minum sangat ramah lingkungan karena mengurangi secara signifikan pemakaian bahan kimia berbahaya yang tidak ramah lingkungan seperti klorin. Ozon berfungsi sebagai disinfektan air minum yang mengandung bakteri dengan cara melakukan inaktivasi bakteri pencemar air. Ozon juga mempunyai kemampuan untuk mereduksi rasa dan bau serta kemampuan mengoksidasi mineral yang terkandung didalam air.

2. Pengolahan limbah cair

Air limbah industri atau perumahan mengandung polutan organik dan non organik, disamping itu terdapat pencemar seperti surfaktan dan ammonium. Kemampuan ozon dalam mengoksidasi senyawa baik organik maupun non organik memiliki peran penting dalam proses pengolahan air limbah. Proses pemanfaatan senyawa oksidasi dalam proses pengolahan air limbah dikenal sebagai AOP (*Advanced Oxidation Process*).

3. Sterilisasi peralatan medis

Sifat dari molekul ozon yang reaktif dan memiliki waktu hidup (*life time*) sangat cocok dimanfaatkan untuk sterilisasi peralatan medis. Umumnya gas hanya ozon hanya mampu bertahan sekitar 10-15 menit sehingga tidak meninggalkan residu (sisa) pada peralatan medis, sterilisasi ozon juga tidak membutuhkan senyawa kimia tambahan sehingga lebih murah dan efektif.

4. Pengelantangan (bleaching) pada pabrik tekstil

Terkandung bahan kain memiliki beberapa komponen warna bawaan yang berasal dari serat selulosa sehingga warna-warna tersebut memiliki sifat menyerap gelombang

Pathogen	Dosage	Exposure Time
Adenovirus (group 1)	1.0 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 2)	0.5 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 3)	0.2 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 4)	0.1 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 5)	0.05 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 6)	0.02 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 7)	0.01 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 8)	0.005 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 9)	0.002 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 10)	0.001 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 11)	0.0005 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 12)	0.0002 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 13)	0.0001 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 14)	0.00005 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 15)	0.00002 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 16)	0.00001 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 17)	0.000005 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 18)	0.000002 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 19)	0.000001 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 20)	0.0000005 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 21)	0.0000002 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 22)	0.0000001 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 23)	0.00000005 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 24)	0.00000002 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 25)	0.00000001 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 26)	0.000000005 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 27)	0.000000002 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 28)	0.000000001 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 29)	0.0000000005 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 30)	0.0000000002 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 31)	0.0000000001 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 32)	0.00000000005 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 33)	0.00000000002 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 34)	0.00000000001 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 35)	0.000000000005 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 36)	0.000000000002 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 37)	0.000000000001 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 38)	0.0000000000005 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 39)	0.0000000000002 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 40)	0.0000000000001 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 41)	0.00000000000005 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 42)	0.00000000000002 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 43)	0.00000000000001 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 44)	0.000000000000005 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 45)	0.000000000000002 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 46)	0.000000000000001 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 47)	0.0000000000000005 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 48)	0.0000000000000002 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 49)	0.0000000000000001 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 50)	0.00000000000000005 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 51)	0.00000000000000002 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 52)	0.00000000000000001 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 53)	0.000000000000000005 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 54)	0.000000000000000002 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 55)	0.000000000000000001 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 56)	0.0000000000000000005 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 57)	0.0000000000000000002 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 58)	0.0000000000000000001 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 59)	0.00000000000000000005 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 60)	0.00000000000000000002 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 61)	0.00000000000000000001 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 62)	0.000000000000000000005 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 63)	0.000000000000000000002 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 64)	0.000000000000000000001 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 65)	0.0000000000000000000005 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 66)	0.0000000000000000000002 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 67)	0.0000000000000000000001 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 68)	0.00000000000000000000005 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 69)	0.00000000000000000000002 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 70)	0.00000000000000000000001 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 71)	0.000000000000000000000005 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 72)	0.000000000000000000000002 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 73)	0.000000000000000000000001 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 74)	0.0000000000000000000000005 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 75)	0.0000000000000000000000002 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 76)	0.0000000000000000000000001 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 77)	0.00000000000000000000000005 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 78)	0.00000000000000000000000002 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 79)	0.00000000000000000000000001 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 80)	0.000000000000000000000000005 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 81)	0.000000000000000000000000002 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 82)	0.000000000000000000000000001 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 83)	0.0000000000000000000000000005 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 84)	0.0000000000000000000000000002 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 85)	0.0000000000000000000000000001 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 86)	0.00000000000000000000000000005 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 87)	0.00000000000000000000000000002 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 88)	0.00000000000000000000000000001 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 89)	0.000000000000000000000000000005 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 90)	0.000000000000000000000000000002 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 91)	0.000000000000000000000000000001 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 92)	0.0000000000000000000000000000005 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 93)	0.0000000000000000000000000000002 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 94)	0.0000000000000000000000000000001 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 95)	0.00000000000000000000000000000005 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 96)	0.00000000000000000000000000000002 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 97)	0.00000000000000000000000000000001 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 98)	0.000000000000000000000000000000005 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 99)	0.000000000000000000000000000000002 mg/l for 10 min	10 min
Adenovirus (group 100)	0.000000000000000000000000000000001 mg/l for 10 min	10 min

Sumber [11].

kemudian menimbulkan kesan buram (bukan putih cerah). Treatment ozon mampu membuat bahan kain menjadi putih sempurna karena radikal hidrosilnya mampu mengurangi molekul C=O yang dihasilkan oleh serat selulosa yang membuat warna kain agak kusam. Pengelantangan (bleaching) pada industri tekstil dengan menggunakan ozon selain mengurangi pemakaian bahan kimia juga menghemat biaya operasional[12].

5. Sterilisasi dan pengawetan bahan pangan.

Ozon sebagai disinfektan dapat digunakan pada proses sterilisasi bahan pangan seperti buah atau sayur untuk menghilangkan kontaminan pestisida, bakteri atau kandungan logam berat seperti besi (Fe) dan mangan (Mn) yang menempel pada produk pangan. Proses ini selain memberi jaminan keamanan makanan (food safety) juga dapat memperpanjang masa simpan. Pengawetan sayuran dan buah-buahan dengan ozon tidak mengubah/merusak kandungan gizinya karena prosesnya hanya membunuh bakteri atau mikroorganisme yang dapat mempercepat pembusukan. Kandungan ozon itu sendiri akan hilang dengan cara penguapan. Namun penggunaan ozon untuk proses sterilisasi bahan pangan juga perlu memperhatikan dosis yang diizinkan sebagaimana besaran dosis yang digunakan pada pengolahan air minum.

Referensi :

- [1] Rekhate C V and Srivastava J K 2020 Recent advances in ozone-based advanced oxidation processes for treatment of wastewater- A review *Chem. Eng. J. Adv.* **3** 100031
- [2] Salonen H, Salthammer T and Morawska L 2018 Human exposure to ozone in school and office indoor environments *Environ. Int.* **119** 503–14
- [3] _____ 2020 Ozone in the Atmosphere ; Chemical Destruction of Ozone in the Stratosphere *Univ. Arizona* **3**
- [4] Lynch C 2020 Ozone *Sky Day ozone*
- [5] _____ 2019 Perlindungan Lapisan Ozon *Dinas Lingkungan. Hidup DIY Artikel*
- [6] _____ 2020 Ozone *Natl. Library Med. Compounds*
- [7] Pushkarev A S and Pushkareva I 2016 Electrochemical Generation of Ozone in a System with a Solid Polymer Electrolyte *Russ. J. Appl. Chem.* **89** 1054–65
- [8] _____ 2015 Ozone generator by Werner Von Siemens *Hell. Arch. Sci. Instruments Ozone generator by Werner Von Siemens*
- [9] Andoyo R, Prawitasari I A P, Mardawati E, Cahyana Y, Sukarminah E, Rialita T, Djali M, Zaida, Hanidah I and Setiasih I S 2018 Retention time of ozone at various water condition *Journal of Physics:Conference* pp 1–7
- [10] Heim C and Glas K 2011 Ozone I : Characteristics / Generation / Possible Applications *BrewingScience* **64** 8–12
- [11] _____ 2019 The Definitive Guide to Understanding *OZONE Solut.* 10–1
- [12] Hamada K, Ochiai T, Tsuchida Y and Miyano K 2020 catalysts Eco-Friendly Cotton / Linen Fabric Treatment Using Aqueous Ozone and Ultraviolet Photolysis *catalysts* **10** 1–12

R K Ozonation
s in hospital
one dose
018 Treatment
ISNPINSA-7
ro) pp 1-4
öldstam T O,
hult J D 2021
Ozonation to
otic-Resistant

of ozone for
w *Ozone Sci.*

Bio Data Penulis



Sigit Kurniawan, S.Si.,M.Si. adalah tenaga pengajar (dosen) di Program Studi Teknik Elektronika Politeknik Jambi. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 dan S2 Fisika Instrumentasi di Universitas Brawijaya Malang. Saat ini penulis sedang melakukan riset terkait ozon dan aplikasi untuk pengolahan limbah rumah tangga.



Novarini, S.T., M.T. adalah tenaga pendidik (dosen) di Prodi Teknik Mesin Politeknik Jambi. S1 Teknik Kimia diselesaikan di Universitas Sriwijaya Palembang dan S2 Teknik Mesin di Universitas Hasanuddin Makasar. Bidang penelitian beliau pengembangan metode pirolisis untuk pengolahan air sampah plastik..



Ir. Erna Yuliwati, M.T., Ph.D. adalah tenaga pengajar (dosen) Program Sarjana dan Pasca sarjana Teknik Kimia di Universitas Muhammadiyah Palembang. Bidang penelitian beliau adalah Teknologi Membran untuk pengolahan air limbah..



Dr. Eko Ariyanto adalah tenaga pengajar (dosen) Program Sarjana dan Pasca Sarjana Teknik Kimia di Universitas Muhammadiyah Palembang. Bidang penelitian beliau adalah physiochemical treatment untuk pengolahan air limbah.



Ozon dan Aplikasinya pertama kali ditemukan oleh peneliti Eropa bernama C.F. Schönbein pada tahun 1839, dalam aplikasinya, gas ozon berguna dalam kehidupan manusia. Ozon termasuk zat pengoksidasi kuat yang bisa difungsikan untuk disinfeksi dan sterilisasi (inaktivasi/membunuh microorganisme), oksidator (mendekomposisi senyawa/unsur) dan sebagai partikel radikal (perubahan struktur senyawa/unsur). Seiring dengan perkembangan waktu, pemanfaatan ozon juga berkembang karena ozon memiliki keunggulan untuk diterapkan pada proses sterilisasi, disinfeksi dan dekomposisi senyawa organik dan anorganik maka penerapan ozon pada industri menjadi berkembang, termasuk pengembangan teknologinya pada dunia medis dan industri pengolahan makanan. Buku diharapkan menjadi jawaban bagi para pemulayang akan mempelajari dan memperdalam teknologi ozon.