

# PEMILIHAN BAHAN KIMIA YANG TEPAT UNTUK DEKONTAMINASI DI DALAM LABORATORIUM

(Ulasan Ilmiah / *Review Articles*)

MUHAMMAD ZAHID

*Pelayanan Sertifikasi dan Pengamanan Hasil Uji*

*Balai Besar Pengujian Mutu dan Sertifikasi Obat Hewan, Gunungsindur – Bogor, 16340*

## ABSTRAK

Dekontaminasi ruangan dan peralatan laboratorium perlu dilakukan secara rutin dan berkala untuk memastikan bahwa lingkungan kerja terbebas dari semua bentuk kontaminasi mikroorganisme yang dapat menyebabkan infeksi terhadap personil yang bekerja. Hampir sebagian besar produk dekontaminan atau sterilan berasal dari senyawa kimia yang memiliki mekanisme kerja baik yang dapat menghambat pertumbuhan ataupun membasmi mikroorganisme. Pemilihan bahan dekontaminan yang tepat dengan konsentrasi yang sesuai, penetrasi yang baik, distribusi yang merata, serta waktu kontak yang cukup akan menentukan keberhasilan dan efektifitas dari proses dekontaminasi.

**Kata kunci:** dekontaminasi, bahan kimia, laboratorium, peralatan.

## ABSTRACT

*Room and laboratory equipment decontamination should be routine and periodically performed in order to make sure that working environment is absence from all class of microorganism contamination causing infection toward personnel. Most decontaminant or sterilant products are obtained from chemical substances that have property either to suppress or destroy microorganisms. The selection of good decontaminant products with proper concentration, good penetration, complete distribution, and sufficient contact time will achieve the successful and effectivity of decontamination process.*

**Key words:** decontamination, chemical substance, laboratory, equipment.

## PENDAHULUAN

Infeksi terkait lingkungan laboratorium atau yang dikenal dengan infeksi yang diperoleh dari laboratorium (*Laboratorium Acquired Infection* - LAI) dapat ditularkan atau ditransmisikan baik secara langsung maupun tidak langsung dari sumber lingkungan, seperti: alat pelindung diri (APD) yang terkontaminasi, instrumen laboratorium, dan *aerosol* terhadap pekerja di dalam laboratorium. Mengurangi kontaminasi mikroba di dalam lingkungan laboratorium dengan prosedur pembersihan konvensional dapat mencegah penyebaran infeksi. Namun, cara ini terkadang kurang efektif untuk membasmi sumber penularan yang berasal dari kuman-kuman yang sangat patogen dan virulen. Dekontaminasi dengan gas atau larutan senyawa kimia telah lama digunakan dan terbukti efektif untuk mencegah atau membasmi mikroorganisme seperti bakteri, virus, termasuk spora baik untuk peralatan laboratorium, *biosafety cabinet* (BSC), maupun ruangan laboratorium.

Umumnya antimikroba memiliki dua tujuan penggunaan, yaitu:

- Untuk mendisinfeksi, mensanitasi, mengurangi, atau menghambat pertumbuhan atau perkembangan organisme mikrobiologi
- Untuk melindungi benda (seperti: lantai dan dinding), sistem atau proses industri, permukaan, air, atau bahan kimia lain dari kontaminasi, kotoran, atau kerusakan disebabkan oleh bakteri, virus, fungi, protozoa, atau *algae*.

Dalam rangka penerapan program *biosafety* di laboratorium, sangat penting untuk memahami prinsip atau mekanisme kerja dari dekontaminasi, antiseptik, antimikroba, sterilisasi, dan disinfeksi. Untuk memahami istilah-istilah umum dalam *biosafety*, *WHO Biosafety Manual* edisi III tahun 2004 mencantumkan beberapa definisi, antara lain:

- Dekontaminasi adalah setiap proses untuk menghilangkan dan/atau membunuh mikroorganisme. Istilah yang sama juga dapat digunakan untuk menghilangkan atau menetralkan bahan-bahan kimia berbahaya dan radioaktif.
- Antiseptik adalah bahan yang digunakan untuk

menghambat pertumbuhan dan perkembangan mikroorganisme tanpa membunuhnya. Antiseptik biasanya digunakan untuk permukaan tubuh manusia.

- Antimikroba adalah bahan yang digunakan untuk membunuh atau menekan pertumbuhan dan perbanyakan mikroorganisme.
- Sterilisasi adalah suatu proses untuk membunuh dan/atau menghilangkan semua bentuk mikroorganisme, termasuk spora.
- Disinfeksi adalah cara fisika maupun kimiawi untuk membunuh mikroorganisme, tetapi bukan spora.

Tabel di bawah menerangkan level aktifitas germisida cair dengan konsentrasi yang sesuai terhadap mikroorganisme berdasarkan prosedur dekontaminasi yang dilakukan (sterilisasi dan disinfeksi)

**Tabel 1. Level Aktifitas Germisida Cair<sup>(3)</sup>**

Prosedur / Produk	Konsentrasi dalam air	Level aktifitas
<b>Sterilisasi</b>		
- Glutaraldehid	Bervariasi	-
- Hidrogen peroksida	6 - 30%	-
- Formaldehid	6 - 8%	-
- Klorin dioksida	Bervariasi	-
<b>Disinfeksi</b>		
- Glutaraldehid	Bervariasi	Tinggi - sedang
- <i>Ortho-phthalaldehyde</i>	0,5%	Tinggi
- Hidrogen peroksida	3 - 6%	Tinggi - sedang
- Formaldehid	1 - 8%	Tinggi - rendah
- Klorin dioksida	Bervariasi	Tinggi
- Senyawa klorin	Bervariasi	Sedang
- Alkohol (etanol, isopropanol)	70%	Sedang
- Senyawa fenol	0,5 - 3%	Sedang - rendah
- Senyawa iodofor	0,1 - 0,2	Sedang - rendah
- Senyawa amonium kuaterner	%	Rendah

Selain proses dekontaminasi, pembersihan juga perlu dilakukan untuk mengurangi kontaminasi. Pembersihan merupakan cara untuk menghilangkan kotoran, bahan organik, dan noda. Pembersihan termasuk menyikat, memvakum, mencuci, atau mengelap dengan air yang mengandung sabun atau deterjen. Kotoran, tanah, dan bahan organik dapat menghambat atau mengganggu kerja bahan dekontaminan (antiseptik, germisida, dan disinfektan) terhadap mikroorganisme. Oleh karena itu, pembersihan diperlukan untuk mencapai proses dekontaminasi atau sterilisasi menjadi lebih efektif.

Di dalam tulisan ini akan dibahas beberapa

bahan kimia yang digunakan untuk dekontaminasi, cara-cara dekontaminasi, serta memilih bahan kimia dan konsentrasi yang tepat agar dicapai proses dekontaminasi yang efektif.

#### CARA-CARA DEKONTAMINASI

Sebelum menentukan metode atau cara yang sesuai, perlu diperhatikan bahwa efektifitas metode dekontaminasi ditentukan oleh faktor-faktor sebagai berikut <sup>(14)</sup>:

- Distribusi baik dan merata (*good and complete distribution*)
- Penetrasi baik dan total (*good and total penetration*)
- Waktu kontak cukup dengan konsentrasi yang tepat

Di bawah ini merupakan cara atau metode yang biasanya digunakan untuk proses mengurangi, menghilangkan, membasmi, atau membunuh mikroorganisme baik secara kimiawi maupun fisika.

#### Menyemprot dan mengelap

Cara ini biasanya dilakukan dengan menyemprotkan desinfektan busa atau cair berkonsentrasi tinggi di atas permukaan, atau dengan membasahkan kain dan mengelap permukaan, yang berguna untuk menghilangkan atau membunuh organisme. Metode penyemprotan memiliki kemungkinan yang lebih besar untuk menjangkau semua permukaan dibandingkan dengan metode pengelapan. Kekurangan dari kedua metode ini adalah sulitnya menyemprot atau mengelap bagian-bagian sudut, celah, bagian bawah dari *grill* ventilasi, dan bagian dalam dari komponen peralatan <sup>(14)</sup>. Selain itu, pada metode ini keseragaman area jangkauan (*uniform coverage area*) dari proses dekontaminasi sulit didapatkan, karena area yang kurang terjangkau akan menyebabkan proses dekontaminasi kurang lengkap dan efektif.

Desinfektan cair yang digunakan harus tetap berada dalam keadaan basah di atas permukaan untuk beberapa saat lamanya, biasanya 10-20 menit untuk desinfeksi atau sampai dengan beberapa jam untuk sterilisasi, seperti yang terlihat di dalam Tabel 1. Ketika metode penyemprotan atau pengelapan digunakan, respirator dapat digunakan untuk melindungi pengguna dari uap yang berbahaya.

Banyak larutan desinfektan yang bersifat korosif dan memerlukan pekerjaan tambahan, seperti membilas dengan air untuk menghilangkan residu yang korosif <sup>(13)</sup>. Teknik penyemprotan dan pengelapan merupakan metode yang cocok digunakan untuk dekontaminasi dalam jumlah yang sangat kecil atau hanya berupa noda, dan tidak mensyaratkan untuk menutup secara total (*shut down*) atau mengevakuasi ruang yang terkontaminasi <sup>(13)</sup>.

**Tabel 2. Definisi Tingkat Pemusnahan (Levels Of Kill) Menurut U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency) <sup>(18, 19)</sup>**

Tingkat Pemusnahan	Definisi
<i>Sterilizers (Sporicides)</i>	Digunakan untuk memusnahkan atau mengurangi segala bentuk dari mikroba hidup termasuk <i>fungi</i> (jamur), virus, dan semua bentuk bakteri dan sporanya. Spora merupakan bentuk mikroorganisme yang paling sulit untuk dimusnahkan. Oleh karena itu, U.S EPA mempertimbangkan terminologi dari <i>Sporicides</i> bersinonim dengan " <i>Sterilizers</i> ".
Disinfektan ( <i>Disinfectants</i> )	Digunakan untuk memusnahkan atau menginaktivasi secara permanen <i>fungi</i> dan bakteri yang infeksius tetapi bukan sporanya pada objek atau benda mati.
<i>Sanitizers</i>	Digunakan untuk mengurangi, tetapi tidak sampai menghilangkan mikroorganisme dari benda mati atau lingkungan ke level aman berdasarkan aturan kesehatan masyarakat
Antiseptik dan Germisida ( <i>Antiseptics and Germicides</i> )	Digunakan untuk menghindari infeksi atau pembusukan dengan menghambat pertumbuhan mikroorganisme. Karena produk ini digunakan di dalam atau pada makhluk hidup (manusia atau hewan), mereka dipertimbangkan sebagai obat dan oleh karena itu disetujui dan diatur oleh pemerintahan.

### Pengasapan otomatis

*Sprayer, fogger, atomizer, dan mister* merupakan pengembangan dan perbaikan dari metode penyemprotan dan pengelapan untuk ruangan. Pada metode ini operator tidak dilibatkan di dalam proses, akan tetapi hanya meletakkan peralatan/ mesin, dan proses dekontaminasi dilakukan secara otomatis. Tetapi, perlu diingat bahwa peralatan/ mesin yang ditempatkan tidak benar, mengakibatkan proses dekontaminasi tidak tercapai dengan efektif. Walaupun proses yang dilakukan secara otomatis, kekurangan dari metode ini adalah masih terbatasnya kemampuan untuk mencapai seluruh area yang dikehendaki<sup>(13)</sup>.

*Fogger* atau *mister* umumnya memerlukan desinfektan cair level tinggi dan menyemprotkan kabut yang sangat halus atau tetesan sangat kecil sekitar 5–100 mikron di dalam ruangan. Karena semprotan dan cairan dalam bentuk kabut, biasanya lebih berat dari udara, dan tinggal dalam waktu lama, memungkinkan untuk kontak dengan jaringan. Biasanya dinding akan terpapar dengan desinfektan dengan baik, sedangkan bagian bawah dan belakang dari komponen peralatan kurang terpapar dengan cukup, yang menyebabkan bagian atau area ini tidak terdekontaminasi dengan baik. Selain itu, perlengkapan yang berada di dalam ruangan (rak dan meja) harus dikeluarkan karena semprotan tidak dapat mencapai bagian belakang atau bawah dari peralatan. Kelebihan dari metode ini adalah dari segi keselamatan karena personil tidak berada di dalam ruangan selama proses dekontaminasi, oleh karena itu dapat mengurangi efek buruk terhadap kesehatan manusia<sup>(13)</sup>.

### Sterilisasi panas

Sterilisasi adalah suatu proses untuk menghilangkan atau membunuh hampir semua kelas mikroorganisme termasuk spora<sup>(22)</sup>. Sterilisasi dapat dilakukan dengan cara panas, menggunakan gas etilen oksida, gas hidrogen oksida, plasma, ozon, dan radiasi (di dalam industri)<sup>(3)</sup>. Panas merupakan salah satu agen fisik yang paling umum digunakan untuk dekontaminasi dari patogen. Metode sterilisasi panas kering, banyak digunakan untuk peralatan laboratorium, yang umumnya dapat tahan panas pada suhu 160°C atau lebih selama 2 hingga 4 jam. Oven merupakan salah satu aplikasi

dari sterilisasi panas kering.

### Autoklaf

Autoklaf atau dikenal dengan metode sterilisasi panas basah biasanya sterilisasi yang menggunakan bantuan alat autoklaf dengan tekanan bersaturasi. Berikut ini merupakan siklus (*cycle*) yang akan menjamin proses sterilisasi di dalam autoklaf menjadi efektif:

- 3 menit pada suhu 134°C
- 10 menit pada suhu 126°C
- 15 menit pada suhu 121°C
- 25 menit pada suhu 115°C<sup>(22)</sup>.

Hal yang perlu diperhatikan saat pengisian bahan/ alat yang ingin disterilkan adalah material tersebut dikemas cukup longgar di dalam sebuah wadah (*chamber*) untuk mempermudah penetrasi uap panas dan menghilangkan udara setelah proses sterilisasi selesai.

Di bawah ini ada beberapa aturan yang perlu diperhatikan untuk menghindari kecelakaan atau bahaya saat menjalankan autoklaf:

- Harus ditunjuk personil yang terlatih dan berpengalaman untuk bertanggung jawab dan melakukan perawatan rutin.
- Program pemeliharaan harus mencakup inspeksi secara rutin terhadap *chamber, door seals*, dan semua *gauges*, yang dilakukan oleh personil yang cakap Uap panas harus jenuh (*saturated steam*) dan bebas dari bahan kimia korosif yang dapat mengkontaminasi bahan yang sedang disterilkan.
- Semua bahan yang diautoklaf harus berada di dalam wadah yang memungkinkan uap panas mudah berpenetrasi secara merata dan membuang udara keluar setelah proses.
- Untuk autoklaf yang tanpa alat *interlocking safety* yang dapat mencegah pintu terbuka saat *chamber* diberi tekanan, saluran uap panas utama (*the main steam valve*) harus ditutup dan suhu harus turun hingga dibawah 80°C sebelum pintu dibuka.
- *Slow exhaust setting* harus digunakan ketika bahan cair sedang diautoklaf, untuk menghindari terjadinya proses pendidihan secara berlebihan akibat proses pemanasan yang terlalu tinggi.
- Operator harus mengenakan sarung tangan

- yang sesuai dan pelindung muka ketika membuka autoklaf, bahkan ketika suhu turun hingga di bawah 80°C.
- Pada pemantauan rutin dari kinerja autoklaf, indikator biologik atau *thermocouples* harus diletakkan di tengah dari tiap bahan yang diautoklaf untuk menentukan siklus operasional yang baik.
- *Drain screen filter* dari *chamber* harus dilepas dan dibersihkan setiap hari.
- Perawatan harus selalu dilakukan untuk menyakinkan bahwa *relief valve* dari *pressure cooker* autoklaf tidak terhambat oleh kertas atau bahan lain <sup>(22)</sup>.

## BAHAN KIMIA YANG DIGUNAKAN UNTUK DEKONTAMINASI

### Formaldehid

Formaldehid merupakan agen dekontaminasi yang telah lama dikenal dan umum digunakan untuk dekontaminasi ruangan dan BSC <sup>(14)</sup>. Formaldehid umumnya berbentuk gas, dan untuk menghasilkan gas formaldehid dengan konsentrasi 0,3 g/ft<sup>3</sup> atau 11 g/m<sup>3</sup> (berdasarkan *NSF International Standard 49 Annex G*), dilakukan dengan cara memanaskan paraformaldehid di dalam nampan (*frying pan*) <sup>(3, 14)</sup>. Cara lain juga bisa dilakukan dengan mendidihkan formalin untuk melepaskan gas formaldehid <sup>(14)</sup>. Keuntungan menggunakan gas formaldehid adalah biaya yang dibutuhkan murah, mampu berpenetrasi hingga pada area yang sulit dijangkau, dan sangat efektif terhadap sebagian besar jenis mikroorganisme, termasuk spora di atas suhu 20°C, namun tidak terhadap prion <sup>(13, 22)</sup>. Walaupun formaldehid sangat efektif untuk membasmi mikroorganisme, akan tetapi penggunaannya perlu diperhatikan karena dikategorikan sebagai zat karsinogenik terhadap manusia oleh *International Agency for Research on Cancer* (IARC) tahun 2004.

Saat dilakukan dekontaminasi dengan gas formaldehid, sebaiknya kondisi lingkungan ruangan diatur, seperti kelembaban relatif (*relative humidity*, RH), ukuran atau volume ruangan, maupun suhu. Level RH yang sesuai untuk formaldehid adalah 60% - 85% agar sistem dapat bekerja dengan baik <sup>(1,17,20,21,22)</sup>, karena kelembaban yang tinggi dapat

menyebabkan peningkatan pertumbuhan spora <sup>(13)</sup>. Pada volume ruangan atau BSC, misalnya jika volume BSC telah ditentukan, BSC harus ditutup rapat untuk mendapatkan gas *sterilant* yang optimal. Apabila, BSC memiliki *ducting*, maka *dumper* harus ditutup dengan rapat. Ini akan mengurangi kehilangan gas dalam *exhaust system* <sup>(13)</sup>.

Umumnya untuk mendekontaminasi BSC, dibutuhkan waktu minimal 6 jam agar terpapar oleh gas formaldehid, lebih baik hingga 12 jam, untuk menghasilkan lebih besar dari 5 *log kill* (daya bunuh) <sup>(16)</sup>. Selama proses pemanasan, BSC *blower* harus diberikan energi selama 10-15 detik ketika 25%, 50%, 75%, dan 100% paraformaldehid yang telah terpolimerisasi. Konsentrasi formaldehid dapat mencapai 8000-10.000 ppm di dalam BSC <sup>(10)</sup>. Aktivasi *blower* atau "bumping" memungkinkan gas berpenetrasi ke semua area dari BSC termasuk di bagian atas dari *outlet HEPA filter*. Jika *blower* inaktif atau tidak bekerja, sistem resirkulasi harus diatur agar mendapatkan gas di atas exhaust HEPA filter. Apabila waktu paparan telah berakhir, gas perlu dialirkan keluar, dibersihkan atau dinetralisasi.

Proses dekontaminasi menggunakan gas formaldehid akan meninggalkan residu. Untuk menghilangkan residu tersebut perlu dilakukannya netralisasi menggunakan ammonium bikarbonat sebanyak 110% dari jumlah formaldehid. Caranya ammonium bikarbonat dipanaskan untuk melepaskan gas ammonia untuk menetralsasi formaldehid. Produk ikutan yang dihasilkan dari proses netralisasi ini adalah *methenamine* yang relatif aman <sup>(10, 11)</sup>. Waktu yang dibutuhkan untuk proses netralisasi adalah minimum 1 jam. Untuk mendapatkan proses netralisasi yang efektif, *blower* harus dinyalakan agar gas ammonia dapat menjangkau semua area. Penggunaan konsentrasi ammonium bikarbonat untuk netralisasi perlu diperhatikan dengan cermat. Menggunakannya dalam konsentrasi yang terlalu kecil tidak akan tercapai proses netralisasi yang efektif. Sebaliknya, konsentrasi yang terlalu besar akan meninggalkan residu yang sulit untuk dibersihkan <sup>(14)</sup>.

### Hidrogen peroksida

Gas hidrogen peroksida telah lama digunakan untuk dekontaminasi isolator <sup>(2)</sup>, ruangan <sup>(15)</sup>, dan fasilitas <sup>(4,5)</sup>. Hidrogen peroksida tersedia

dalam bentuk sediaan siap pakai dengan konsentrasi 3% atau dalam bentuk larutan dengan konsentrasi 30% yang dapat diencerkan sebanyak 5–10 kali dengan air steril. Larutan hidrogen peroksida 3–6% akan tetapi memiliki sifat germisida yang cukup rendah dengan kerja yang lambat. Saat ini, banyak produk hidrogen peroksida yang ditambahkan bahan lain untuk meningkatkan stabilitasnya, mempercepat kerja aksi germisidanya hingga membuatnya kurang korosif<sup>(12)</sup>. Untuk menghasilkan gas, 30% – 35% hidrogen peroksida dipanaskan hingga mencapai suhu 109°C, kemudian gas dialirkan ke seluruh ruangan<sup>(14)</sup>. Uap hidrogen peroksida terbukti efektif sebagai sporisida pada konsentrasi 0,5 mg/L – 10 mg/L. Konsentrasi optimal adalah sekitar 2,4 mg/L dengan waktu kontak paling tidak selama 1 jam<sup>(3)</sup>.

Pada prinsipnya ada 2 (dua) metode dekontaminasi dengan menggunakan hidrogen peroksida, yaitu metode kering dan metode basah. Kedua metode tersebut menghasilkan uap dari proses pemanasan larutan hidrogen peroksida<sup>(14)</sup>. Pada metode kering, RH di dalam ruangan harus lebih rendah sebelum mengalirkan uap hidrogen peroksida. Uap hidrogen peroksida dijaga dibawah titik kondensasi untuk mencegah kondensasi di atas suatu permukaan benda di dalam ruangan. Jika kondensasi terjadi, dapat merusak permukaan benda tersebut<sup>(12)</sup>. Untuk metode basah, RH di dalam ruangan tidak harus lebih rendah sebelum mengalirkan uap hidrogen peroksida. Ini akan mempersingkat waktu siklus. Namun, personil harus berhati-hati terhadap pola kondensasi yang dihasilkan selama periode pembentukan siklus dan harus memperkecil kondensasi yang terlalu kuat di dalam arca tertentu untuk mencegah korosi. Satu kekurangan dari metode basah adalah ketika ambient RH, atau suhu ruangan, berbeda dari saat siklus terjadi, kecepatan aliran uap harus diatur untuk menjada proses kondensasi tetap konstan dan dapat berulang<sup>(14)</sup>. Beberapa peneliti mengaplikasikan kedua metode ini untuk mendekontaminasi BSC. Lin dkk. (2010) mendekontaminasi BSC dari *Esco Technologies Inc.* (Marlboro, PA) *Class II type A2 6-ft* dengan metode basah dan kering, menghasilkan total waktu siklus adalah masing-masing 3 jam dan 5 jam<sup>(6, 7)</sup>. Sedangkan Jones dkk (1993) mendekontaminasi BSC dari *Baker Company*

(Stanford, ME) model *SG-600 Class II Type A2* menghasilkan total waktu siklus selama 6 jam<sup>(8)</sup>. Total waktu siklus meliputi persiapan, proses dekontaminasi, aerasi, dan *breakdown*<sup>(13)</sup>.

Meskipun uap yang dihasilkan kurang toksik, konsentrasi yang digunakan lebih sedikit, waktu kontak yang lebih pendek, dan tidak memerlukan proses pembersihan setelah dekontaminasi jika dibanding dengan formaldehid<sup>(3, 13)</sup>, hidrogen peroksida memiliki beberapa kekurangan, antara lain, hidrogen peroksida cenderung membentuk ikatan hidrogen yang kuat antar molekul, yang dapat membatasi pergerakannya di udara<sup>(4)</sup>. Selain itu, uap hidrogen peroksida tidak berpenetrasi ke air. Oleh sebab itu, dalam proses pembersihan, personil atau pengguna harus memastikan tidak ada air disekitarnya. Lebih jauh lagi, hidrogen peroksida dapat menjadi sangat korosif terhadap logam, seperti: aluminium, tembaga, kuningan (*brass*), dan seng, serta dapat juga menyebabkan perubahan warna (*decolorized*) terhadap pakaian, rambut, kulit, dan membran mukosa<sup>(22)</sup>.

#### Klorin dioksida (*chlorine dioxide*)

Klorin dioksida adalah germisida kuat yang bekerja cepat, juga sebagai bahan disinfektan dan *oxidizer*. Dalam bentuk gas klorin dioksida tidak stabil dan akan terurai menjadi gas klorin ( $Cl_2$ ), gas oksigen ( $O_2$ ), serta menyemburkan panas. Klorin dioksida larut dalam air dan stabil dalam bentuk larutan. Klorin dioksida dapat diperoleh dengan 2 (dua) cara: (1) pembuatan langsung (*on site generation*), yaitu dengan mencampurkan dua komponen yang terpisah, asam klorida (HCl) dan natrium klorit ( $NaClO_2$ ), dan (2) membuat dalam bentuk stabil, yang kemudian diaktivasi langsung (*on site activation*) ketika dibutuhkan<sup>(22)</sup>. Gas klorin dioksida dapat digunakan untuk mendekontaminasi ruangan laboratorium, peralatan, dan inkubator<sup>(3, 14)</sup>, yang memiliki titik didih 11°C, dan efektif terhadap mikroorganisme secara luas, bersifat non karsinogen, serta bebas residu. Konsentrasi yang direkomendasikan kira-kira 10 mg/L dengan waktu kontak selama satu sampai dua jam.

Klorin dioksida merupakan gas pada suhu ruang, dan tidak diperuntukan untuk proses kondensasi, atau tidak dipengaruhi oleh perubahan

suhu normal di dalam ruangan. Keuntungannya adalah gas digunakan dalam konsentrasi yang sangat rendah (360 ppm – 1800 ppm), memiliki waktu kontak yang cepat dibanding formaldehid (0,5 – 2 jam), tidak mudah terbakar) pada konsentrasi yang digunakan, larut air, dan tetap berada dalam larutan sebagai gas terlarut. Disamping itu, pembersihan setelah paparan tidak diperlukan, gas dapat langsung dibuang atau dikeluarkan, dan proses aerasi lebih cepat dibanding uap hidrogen peroksida, sehingga total waktu siklus menjadi singkat <sup>(14)</sup>.

Gas klorin dioksida dapat dengan mudah diatur berdasarkan ukuran ruangan, juga terhadap ruang kosong maupun ruang yang berisi peralatan. Biasanya, satu generator diperlukan untuk setiap 30.000 ft<sup>3</sup> (*feet cubic*) ruangan. Karena gas klorin oksida merupakan gas pada suhu ruang, gas ini dapat dispersi dengan baik di ruangan besar, ruang yang banyak atau ruang yang berisi peralatan. Kipas angin dibutuhkan untuk membantu pendispersian gas dan mempercepat waktu distribusi <sup>(14)</sup>.

Gas tidak dapat dikompres atau disimpan di dalam silinder bertekanan tinggi, akan tetapi dihasilkan dengan menggunakan sistem fase solid berbasis kolom (*column based solid phase generation system*). Paparan terhadap sinar matahari langsung harus dihindari, karena klorin dioksida dapat terurai yang menyebabkan efektifitasnya berkurang selama dekontaminasi dan menyebabkan korosi <sup>(13, 22)</sup>.

Tabel di bawah mendeskripsikan ringkasan cara dan bahan-bahan yang telah dijelaskan di atas yang digunakan khusus untuk dekontaminasi ruangan dan BSC <sup>(14)</sup>.

**Tabel 3. Ringkasan Cara dan Bahan Untuk Dekontaminasi Ruangan dan BSC**

Cara dan bahan	Spray/ Uap/ Mop	Fogging	Gas Formaldehid	Uap Hidrogen Peroksida	Gas Klorin Dioksida
Biaya peralatan	Rendah	Rendah	Rendah	Sedang-tinggi	Sedang
Biaya personal	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Rendah	Rendah
Biaya bahan consumable	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah
Biaya siklus waktu ( <i>cycle time cost</i> )	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Sedang-tinggi	Rendah
Sifat korosif	Rendah-tinggi	Rendah-tinggi	Rendah	Rendah (kecuali kondensasi)	Rendah

Waktu siklus total	1-2 hari	1-2 hari	9-15 jam + pembersihan	4 jam (ruang kecil), 12 jam (ruang besar)	1,5 jam (ruang kecil), 5 jam (ruang besar)
Residu	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Rendah	Rendah
Monitoring konsentrasi	Tidak	Tidak	Tidak	Ya	Ya
Scalability	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya

<sup>1</sup>Sedang hingga tinggi karena peralatan menggunakan multiple generator untuk beberapa ruangan.

<sup>2</sup>Pengaturan konten dekontaminasi berdasarkan ukuran ruangan.

### Natrium dikloroisosianurat

Natrium dikloroisosianurat dalam bentuk serbuk mengandung 60% klorin. Larutan disiapkan dengan mencampurkan masing 1,7 g/L dan 8,5 g/L serbuk natrium dikloroisosianurat dengan 1 g/L atau 5 g/L klorin. Tablet natrium dikloroisosianurat umumnya berisi setara dengan 1,5 g klorin per tablet. Satu atau empat tablet dilarutkan dalam 1 L air yang akan memberikan konsentrasi yang dibutuhkan masing-masing 1 g/L atau 5 g/L. Serbuk maupun tablet natrium dikloroisosianurat mudah dan aman untuk disimpan <sup>(22)</sup>.

### Kloramin (*Chloramines*)

Kloramin tersedia dalam bentuk serbuk yang mengandung 25% klorin. Kloramin melepaskan klorin lebih lambat dibanding hipoklorat. Umumnya konsentrasi awal dibutuhkan lebih tinggi untuk efisiensi kesetaraan dengan hipoklorat. Larutan kloramin tidak dinaktivasi dengan bahan organik seperti pada larutan hipoklorat, dan konsentrasi sebanyak 20 g/L direkomendasikan untuk keadaan bersih dan kotor. Larutan kloramin tidak berbau, akan tetapi barang-barang yang direndam di dalam larutan kloramin harus dicuci dan dibilas dengan hingga bersih untuk menghilangkan residunya <sup>(22)</sup>.

### Glutaraldehid

Glutaraldehid sangat efektif terhadap bakteri vegetatif, spora, *fungi* (jamur), dan virus yang mengandung *lipid* dan *non-lipid*, dengan kerja yang lebih cepat dibanding formaldehid, dan tidak korosif. Namun, memerlukan waktu beberapa jam untuk membunuh spora bakteri. Glutaraldehid umumnya tersedia dalam bentuk larutan dengan konsentrasi 2 g/L (2%) dan beberapa produknya perlu diaktivasi menjadi bentuk basa sebelum digunakan dengan menambahkan senyawa bikarbonat.

Larutan yang diaktivasi dapat digunakan kembali selama 1-4 minggu tergantung formulasi, tipe, dan frekuensi penggunaannya. Larutan glutaraldehid yang telah keruh harus dibuang. Glutaraldehid bersifat toksik dan iritan terhadap kulit dan mukosa membran, dan kontak dengannya harus dihindari. Pembuatan atau pengenceran larutan glutaraldehid harus dilakukan di lemari asam atau area yang bersirkulasi udara baik<sup>(22)</sup>.

#### Senyawa fenol

Senyawa fenol, merupakan salah satu agen germisida yang pertama digunakan. Akan tetapi, saat ini penggunaannya dibatasi berkenaan dengan isu keamanannya. Senyawa fenol sangat aktif terhadap bakteri vegetatif, virus yang mengandung lemak (*lipid virus*), serta *mycobacteria* dalam dosis yang tepat, dan tidak aktif terhadap spora dan beberapa virus non lemak (*nonlipid viruses*). Banyak senyawa fenol yang digunakan untuk dekontaminasi permukaan lingkungan, dan beberapa seperti *triclosan* dan *chlorohexylenol* digunakan sebagai antiseptik<sup>(22)</sup>.

*Triclosan* merupakan antiseptik untuk mencuci tangan, aktif terhadap bakteri vegetatif dan aman untuk kulit dan membran mukosa. Akan tetapi, berdasarkan studi di laboratorium, bakteri menjadi resisten terhadap *triclosan* dengan konsentrasi rendah, juga memperlihatkan resistensi terhadap antibiotika tertentu. Beberapa senyawa fenol sangat sensitif dan dapat dinaktivasi dengan kesadahan air dan oleh karenanya harus dilarutkan atau diencerkan dengan air suling atau air tidak berion.

#### Senyawa amonium kuarterner

Banyak senyawa amonium kuarterner yang digunakan sebagai campuran atau dikombinasikan dengan germisida lainnya, seperti alkohol. Senyawa ini aktif terhadap beberapa bakteri vegetatif dan virus mengandung lemak. Beberapa tipe senyawa ini, seperti benzalkonium klorida digunakan sebagai antiseptik. Aktivitas germisida dari beberapa senyawa amonium kuarterner dapat berkurang dengan adanya senyawa organik, kesadahan air, dan deterjen anion. Oleh karena itu penggunaan bahan pembersih harus dipilih dengan tepat ketika menggunakan senyawa ini sebagai disinfektan.

Memiliki sifat *biodegradability* yang rendah menyebabkan senyawa ini dapat terakumulasi ke dalam lingkungan<sup>(22)</sup>.

#### Senyawa alkohol

Etanol (etil alkohol), dan 2-propanol (isopropil alkohol) memiliki sifat disinfektan yang serupa, aktif terhadap bakteri vegetatif, fungi, virus mengandung *lipid*, dan beberapa virus *nonlipid*, namun tidak aktif terhadap spora. Untuk meningkatkan efektifitasnya, konsentrasi senyawa alkohol yang digunakan harus sekitar 70% di dalam air, konsentrasi lebih rendah atau lebih kecil dari ini menyebabkannya tidak bersifat germisida. Keuntungan dari senyawa ini adalah tidak meninggalkan residu<sup>(22)</sup>.

Campuran dengan bahan lain memberikan hasil yang lebih efektif dibanding digunakan sendiri, misalnya campuran 70% alkohol dengan 100 g/L formaldehid, dan alkohol yang mengandung 2 g/L senyawa klorin. Alkohol 70% dapat digunakan sebagai antiseptik kulit, pada permukaan meja laboratorium, dan BSC. Alkohol mudah menguap dan terbakar, oleh karena itu tidak boleh digunakan di dekat sumber api. Larutan alkohol harus disimpan dalam wadah yang sesuai untuk menghindari penguapan. Botol atau wadah yang mengandung senyawa alkohol didalamnya harus dilabel dengan baik dan jelas, serta tidak boleh diautoklaf<sup>(22)</sup>.

#### Iodin dan iodoform

Mekanisme kerja dari senyawa iodin serupa dengan senyawa klorin, namun sedikit dihambat oleh senyawa-senyawa organik. Iodin dapat meninggalkan warna pada kain dan permukaan benda, dan umumnya tidak cocok digunakan sebagai disinfektan. Di sisi lain, iodoform, tingtur iodin dan *polyvidone iodine* merupakan antiseptik yang baik. Iodin tidak boleh digunakan bersama dengan logam aluminium dan tembaga. Iodin bersifat toksik, dan produk dengan bahan dasar iodin harus disimpan pada suhu 4-10°C untuk menghindari pertumbuhan bakteri berbahaya<sup>(22)</sup>.

## KESIMPULAN

Dari pembahasan di atas dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Proses dekontaminasi dapat dilakukan dengan dua cara yaitu secara fisik (sterilisasi dengan otoklaf dan oven), maupun secara kimia (pengelapan, penyemprotan, dan pengasapan).
2. Formaldehid, hidrogen peroksida, dan klorin dioksida umum digunakan untuk sterilisasi ruangan karena uap yang dihasilkan dapat berdistribusi hingga area yang sulit dijangkau dengan menggunakan produk dekontaminan cair.
3. Penetrasi yang baik, distribusi yang merata, waktu yang cukup, serta konsentrasi bahan dekontaminan yang sesuai merupakan faktor-faktor penting yang mempengaruhi keberhasilan dan efektifitas proses dekontaminasi.

## DAFTAR PUSTAKA

1. **Agalloco J, Carleton P & Frederick J.** 2008. Validation of Pharmaceutical Processes, 3<sup>rd</sup> Edition, 203. New York: Information Healthcare USA Inc.
2. **Akers JE, Agalloco JP, & Kennedy CM.** 1995. Experience in the Design and Use of Isolator System for Sterility Testing. *PDA Journal Pharmaceutical Science Technology*, 49(3), 140-144.
3. **Centres for Disease Control and Prevention.** 2009. Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories (BMBL). The Fifth Edition. 326-334.
4. **Herd M.** 2005. Hydrogen Peroxide Vapor for Room/Building Decontamination Following a Chemical or Biological Agent Attack: Overview of Efficacy and Practical Issues. Presentation for "Workshop on Decontamination, Cleanup, and Associated Issues for Sites Contaminated with Chemical, Biological, or Radiological Materials", February 24, 2005.
5. **Herd ML. & Warner A.** 2005. Hydrogen Peroxide Vapor Biodecontamination of the Jackson Laboratory's New Animal Facility. *Animal Lab News*, 4(7), 31-39.
6. **Jones R, Drake J. & Eagleson D.** 1993a. Using Hydrogen Peroxide Vapor to Decontaminate Biological Safety Cabinets. *Acumen*, 1(1), 1-3.
7. **Jones R, Stuart D, Large S. & Ghidoni D.** 1993b. Cycle Parameters for Decontaminating A Biological Safety Cabinets Using H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Vapor. *Acumen*, 1(2), 1-4.
8. **Lin XQ, Atmadi A. & Nelson O.** 2010a. Decontamination of Esco Class II Biosafety Cabinet Using Steris VHP-1000 ARD Hydrogen Peroxide Vaporizer. Marlboro, PA: Esco Technologies, Inc. USA. [www.escoglobal.com/resources/biological-safety-cabinets/decontamination-bsc.php](http://www.escoglobal.com/resources/biological-safety-cabinets/decontamination-bsc.php). diunduh pada 2010.
9. **Lin XQ. & Atmadi A.** 2010b. Decontamination of Esco Class II Biosafety Cabinet Using Bioquell EBDS Hydrogen Peroxide Vaporizer. Marlboro, PA: Esco Technologies, Inc. USA. [www.escoglobal.com/resources/biological-safety-cabinets/decontamination-bsc.php](http://www.escoglobal.com/resources/biological-safety-cabinets/decontamination-bsc.php) diunduh pada 2010.
11. **Luftman H.** 2005. Neutralization of Formaldehyde Gas by Ammonium Bicarbonate and Ammonium Carbonate. *Applied Biosafety: Journal of the American Biological Safety Association*, 10(2), 101-106.
12. **Luftman HS, Regits MA, Lorcheim P, Lorcheim K. & Paznek D.** 2008. Validation Study for the Use of Chlorine Dioxide gas As A Decontamination for Biological Safety Cabinets. *Applied Biosafety: Journal of the American Biological Safety Association*, 13(4), 199-212.
13. **Malmberg A, Wingren M, Bonfield P. & McDonnell G.** 2001. VHP Takes its Place in Room Decontamination. *Clean Rooms*, 15(11).

14. **Mark AC. & Kevin L.** 2011. A Discussion of Biological Safety Cabinet Decontamination Methods: Formaldehyde, Chlorine Dioxide, and Vapor Phase Hydrogen Peroxide. *Applied Biosafety: Journal of the American Biological Safety Association*, 16(1), 26-33.
15. **Mark AC.** 2007. Selecting the Right Chemical Agent for Decontamination of Rooms and Chambers. *Applied Biosafety: Journal of the American Biological Safety Association*, 12(2), 85-92.
16. **Meszaros JE, Antloga K, Justi C, Plesnicher C. & McDonnell G.** 2005. Area Fumigation with Hydrogen Peroxide Vapor. *Applied Biosafety: Journal of the American Biological Safety Association*, 10(2), 91-100.
17. **Rogers JV, Sabourin CL, Taylor ML, Riggs K, Choi YW, Joseph DW, Ritcher WR. & Rudnicki DC.** 2004. Environmental Tehnology Verification Report-CERTEK, Inc. 1414RH Formaldehyde Generator/ Neutralizer. [www.epa.gov/ctv/pdfs/vrvs/11\\_vr\\_certek.pdf](http://www.epa.gov/ctv/pdfs/vrvs/11_vr_certek.pdf). diunduh pada 2004.
18. **Spiner DR. & Hoffman RK.** 1971. Effect of Relative Humidity on Formaldehyde Decontamination. *Applied Microbiology*, 22, 1138-1140.
19. **U.S. Environmental Protection Agency (EPA).** 2006. What are Antimicrobial Pesticides? [www.epa.gov/oppad001/ad\\_info.htm](http://www.epa.gov/oppad001/ad_info.htm) diunduh pada 27 September 2013.
20. **U.S. Environmental Protection Agency (EPA).** 2007. Assessing Health Risks from Pesticides. [www.epa.gov/pesticides/factsheets/riskasess.htm](http://www.epa.gov/pesticides/factsheets/riskasess.htm) diunduh pada 2 Oktober 2013.
21. **Westphal AJ, Price PB, Leighton TJ. & Wheeler KE.** 2003. Kinetics of Size Changes of Individual *Bacillus thuringiensis* Spores in Response To Change in Relative Humidity. *Proceedings of The National Academy of Sciences*, 100(6), 3461-3466.
22. **Whitney EAS, Beatty ME, Taylor Jr. TH, Weyant R, Sobel J, Arduino MJ, et al.** 2003. Inactivation of *Bacillus anthracis* Spores. *Emerging Infectious Disease*, 9(6), 623-627.
23. **World Health Organization (WHO).** 2004. Laboratory Biosafety Manual. The Third Edition. 82-90.