

# Pengelolaan Limbah Medis Rumah Sakit yang Berkelanjutan: Eksplorasi Strategi Ekonomis dan Ramah Lingkungan

Yenni Ciawi<sup>1,3</sup>, Ni Made Utami Dwipayanti<sup>2</sup>, A.T. Wouters<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Doktor Ilmu Teknik, Fakultas Teknik, Universitas Udayana; e-mail: [yenniciawi@unud.ac.id](mailto:yenniciawi@unud.ac.id)

<sup>2</sup>Program Studi Ilmu Kesehatan Masyarakat, Fakultas Kedokteran, Universitas Udayana

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

## ABSTRAK

Limbah medis rumah sakit sangat berbahaya bagi manusia dan lingkungan dan berkontribusi besar pada pengeluaran rumah sakit. Apalagi pada masa pandemi covid-19, jumlah limbah medis meningkat. Sementara itu belum semua fasilitas pelayanan kesehatan mempunyai fasilitas pengolahan limbah medis yang memadai dan masih mengandalkan pihak ke tiga untuk memusnahkan limbah medis. Banyak sumber masalah dalam pengelolaan limbah medis rumah sakit, mulai dari kurangnya personil terlatih sampai pada besarnya resistensi untuk perubahan. Padahal volume limbah medis rumah sakit sebenarnya hanya 10-50% limbah yang dihasilkan rumah sakit. Tulisan ini bertujuan untuk membahas cara mereduksi jumlah limbah medis sehingga pengeluaran rumah sakit untuk pengelolaan limbah medis dapat ditekan sebesar mungkin, dengan membahas pengelolaan limbah rumah sakit secara umum dan menelaah beberapa alternatif pengelolaan dan pengolahan. Metode yang digunakan adalah studi literatur dari Pubmed-Medline, Research Gate, dan Google Scholar. Pemilahan di sumber dengan pengolahan sederhana dengan autoklaf untuk beberapa jenis limbah infeksius merupakan alternatif yang relatif mudah, murah, dan ramah lingkungan. Selain itu, komitmen dari seluruh *stakeholder* rumah sakit untuk melaksanakan secara konsisten pemilahan limbah di sumber mutlak diperlukan.

**Kata kunci:** Limbah B3 Medis, Rumah Sakit, Timbulan Limbah, Pengelolaan Limbah Padat, Pemilahan di Sumber.

## ABSTRACT

Hospital medical waste is very harmful to humans and the environment and contributes significantly to hospital expenses. Especially during the Covid-19 pandemic, the amount of medical waste increased. Meanwhile, not all healthcare facilities have adequate medical waste treatment facilities and count on the treatment by the third parties. There are many problems in hospital medical waste management, ranging from untrained personnel to the strong resistance to change. The actual volume of medical waste is only 10-50% of the waste generated by hospitals. This article aims to elaborate on ways to reduce the amount of medical waste in order to reduce hospital expenses for medical waste management by discussing the management of hospital waste in general and examining several management and waste treatment alternatives. The method used is a literature study from Pubmed-Medline, Research Gate, and Google Scholar. Separation at the source with simple autoclave treatment for several types of infectious waste is relatively easy, cheap, and environmentally friendly. Last but not least, commitment from all hospital stakeholders to consistently implement waste segregation at source is compulsory.

**Keywords:** Infectious Waste, Hospitals, Waste Generation, Waste Management, Sorting at Source.

**Citation:** Ciawi, Y., Dwipayanti, N.M.U., dan Wouters, A.T. (2024). Pengelolaan Limbah Medis Rumah Sakit yang Berkelanjutan: Eksplorasi Strategi Ekonomis dan Ramah Lingkungan. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(2), 365-374, doi:10.14710/jil.22.2.365-374

## 1. Pendahuluan

Residu pelayanan dapat berupa limbah bahan berbahaya dan beracun (B3), yang jika tidak diolah dengan baik, akan merugikan makhluk hidup serta mencemari tanah, air serta udara (Parida et al., 2019; Sholihah et al., 2021). Apalagi pada masa pandemi covid-19, residu ini bertambah dengan signifikan sehingga ongkos pengelolaan menjadi sangat besar.

Pandemi covid-19, yang bermula pada akhir tahun 2019 di Wuhan, China, berdampak sangat besar di seluruh dunia (Al Huraimel et al., 2020). Pandemi

Covid-19 meningkatkan aktivitas rumah sakit serta tempat pelayanan kesehatan, dan meningkatkan jumlah limbah B3 (Peng et al., 2020; Sangkham, 2020), yang harus dikelola dengan hati-hati, karena resiko penyebaran penyakit dan pencemaran lingkungan (Capoor & Parida, 2021; Narayana et al., 2014). Sebab itu, untuk melindungi masyarakat serta petugas yang bekerja pada rumah sakit, dan untuk menekan biaya pengelolaan limbah medis dan dampak terhadap lingkungan, reduksi jumlah limbah medis mutlak diperlukan (Ali et al., 2017; Sutrisno & Meilasari,

2020). Topik pengelolaan limbah rumah sakit ini dipilih karena urgensi pengelolaan sampah terutama limbah medis rumah sakit yang biayanya sangat mahal. Padahal jika dipilah dan dikelola di sumber, banyak bagian dari limbah medis rumah sakit dapat didaur ulang dan diperlakukan sebagai limbah biasa dengan keuntungan pengurangan biaya yang sangat signifikan. Tulisan ini bertujuan untuk membahas cara pengelolaan limbah medis rumah sakit secara umum, sumber masalah, menelaah beberapa alternatif pengelolaan dan pengolahan, dan pentingnya pemilahan di sumber untuk mereduksi jumlah limbah medis.

**2. Metode Penelitian**

Tulisan ini menggunakan metode *literature review* terhadap 80 literatur dari Pubmed-Medline, Research Gate, dan Google Scholar dengan rentang tahun 44% 2020-2023, 40% 2010-2019, dan 16% sebelum tahun 2010.

**3. Timbulan dan Karakteristik Limbah Medis Rumah Sakit**

Pandemi covid-19 meningkatkan timbulan limbah medis secara signifikan. Di Wuhan, kenaikannya dari 100 ton/hari sebelum pandemi menjadi 265,6 ton/hari saat pandemi (Ma et al., 2020). Sedangkan di Indonesia, sebelum pandemi, timbulan limbah medis adalah 290 ton/hari (170-an ton dikelola jasa pengelolaan limbah medis berizin, 60 ton dikelola oleh rumah sakit sendiri dengan insinerator, dan 74 ton/hari tidak terkelola dengan baik) (Humas UGM, 2019). Pada saat pandemi, timbulannya menjadi 383 ton/hari (“Keterangan Pers Menteri LHK usai Ratas Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun Medis COVID-19,” 2021) atau naik 30%-50% dari sebelum pandemi Covid-19 (Rikin, 2020). Peningkatan volume sampah domestik per hari dalam 60 hari selama masa pandemi Covid-19 di kota-kota di Asia Tenggara adalah 20 kg/kapita/hari, dan Jakarta berada pada urutan ke dua di bawah Manila (Tabel 1) (Kulkarni & Anantharama, 2020). Angka ini menambah beban TPA karena 85% dari limbah ini dibawa langsung ke TPA. Di antara limbah tersebut juga terdapat limbah masker bekas dari masyarakat.

Limbah padat RS dibagi menjadi tiga kategori utama, yaitu limbah menular atau limbah medis infeksius dan patologis (benda tajam, limbah yang mengandung darah, limbah dengan resiko tinggi

penularan, limbah bedah), limbah beracun (limbah bahan kimia dan farmasi, sitotoksik, merkuri atau peralatan rusak yang mengandung logam berat, serta tambalan gigi amalgam), dan limbah umum (limbah domestik dan limbah daur ulang) (Dang et al., 2021). Yang disebut sebagai limbah B3 medis padat adalah bahan atau barang sisa aktivitas yang tidak dimanfaatkan lagi dan memiliki potensi telah terkontaminasi oleh penginfeksi ataupun berkontak dengan pasien ataupun pekerja pada fasilitas pelayanan kesehatan (fasyankes), yang mencakup masker, sarung tangan, perban, tisu, alat suntik, dan APD bekas serta lainnya, yang berasal dari kegiatan pelayanan di Unit Gawat Darurat (UGD), perawatan, ruang isolasi, ICU, serta ruang pelayanan lain (Nurwahyuni et al., 2020). Komposisi limbah medis yang dihasilkan rumah sakit dari beberapa literatur diberikan pada Tabel 2.

Menurut Lampiran I PP No. 101 Tahun 2014, limbah medis rumah sakit dapat digolongkan sebagai limbah B3 karena bersifat menular. Limbah B3 merupakan limbah yang membahayakan lingkungan serta makhluk hidup apabila dibuang langsung tanpa diolah (Salman et al., 2021). Limbah B3 tidak mempunyai karakteristik seperti sifat limbah pada umumnya karena mempunyai sifat tidak stabil, reaktif, eksplosif, mudah terbakar serta beracun (Kemenkes RI, 2020). Limbah medis RS sangat berbahaya karena sifatnya yang menular, apalagi jika ditemukan banyak patogen yang resisten terhadap beberapa antibiotik seperti *Staphylococcus aureus* dan *Pseudomonas aeruginosa* (Bahri et al., 2006).

Berdasar Surat Edaran Menteri Lingkungan Hidup No SE.2/MENLHK/PSLB3/PLB.3/3/2020 tentang pengolahan limbah infeksius (salah satu jenis limbah B3) serta sampah rumah tangga dalam menangani pandemi Covid-19, pusat fasilitas pelayanan kesehatan penghasil limbah infeksius harus mengolah dengan insinerator yang suhu pembakarannya paling rendah 800°C; atau dengan autoklaf lengkap beserta pencacah (*shredder*). Pengolahan dengan insinerasi dan *landfill* yang terkelola baik menghindari penyebaran SAR-CoV-2 lewat limbah padat (Di Maria et al., 2020). Karena keterbatasan fasilitas pengolahan, di Indonesia, kebanyakan rumah sakit bekerjasama dengan pihak ke tiga dalam pengelolaan limbah medis padatnya (Sarmin et al., 2020; Sholihah et al., 2021) yang berdampak pada biaya pengelolaan yang sangat besar bagi rumah sakit.

**Tabel 1.** Estimasi Volume Limbah di Beberapa Kota di Asia Tenggara selama pandemi covid-19 (Kulkarni & Anantharama, 2020)

Kota	Populasi (juta)	Pertambahan Limbah Medis (ton/hari)	Estimasi Produksi Total dalam 60 Hari (metrik ton)	Jumlah Limbah yang masuk ke dalam sampah perkotaan dengan estimasi 85% (metrik ton)
Manila	14,00	280	16.800	14.280
Jakarta	10,60	212	12.750	10.838
Kuala Lumpur	7,70	154	9.240	7.854
Bangkok	10,50	210	12.600	10.710
Hanoi	8,00	160	9.600	8.160

**Tabel 2.** Komposisi umum limbah rumah sakit

Limbah umum	Limbah medis	Lokasi	Sumber Pustaka
90%	10%	Lahore, India	(Sobia et al., 2014)
61,1%	38,9%	Damanhour City, Mesir	(Abd El-Salam, 2010)
	20,3-22,3%	Nablus, Palestina	(Al-Khatib et al., 2016)
85%	15%	India	(Pandey, 2016)
85%	15%	Xanthi, Yunani	(Kalogiannidou et al., 2018)
85-90%	10-15%	Iran	(Farzadkia et al., 2009)
83,6%	16,4%	India	(Patil & Pokhrel, 2005)
55,6%	39,1%	Brazilia	(Santos et al., 2019)
85%	15%	India	(Parida et al., 2019)
76,2%-87%	13-23,8%	Vietnam	McDermott-Levy & Fazzini, 2010)

Untuk menentukan metode pengelolaan yang tepat, komposisi limbah rumah sakit perlu diketahui dahulu. Sebagai contoh, limbah RS di Lahore, Pakistan terdiri atas 10% limbah B3 dan 90% limbah umum, kaca dan plastik mendominasi limbah B3, sementara limbah umumnya didominasi oleh bahan organik (Sobia et al., 2014). Rumah sakit di Amerika Serikat menghasilkan lebih dari 6600 ton limbah padat per hari dan kira-kira 85% merupakan limbah padat tidak berbahaya seperti makanan, kardus, dan plastik (McDermott-Levy & Fazzini, 2010).

#### 4. Pengelolaan Limbah B3 Rumah Sakit

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No.56 Tahun 2015 menyatakan bahwa rumah sakit merupakan suatu fasilitas pelayanan kesehatan, yang limbah B3-nya harus dikelola dengan cara mengurangi serta memilah limbah, mengatur tempat menyimpan, mengangkut, mengolah, menguburkan, dan menimbun limbah B3. Pengelolaan limbah B3 di rumah sakit mutlak diperlukan untuk meminimalkan dampak lingkungan dan mencegah terjadinya penyakit nosokomial, yang dilakukan dengan cara terbaik untuk meminimalkan dampak tersebut. Masalah pada pengelolaan limbah rumah sakit dapat muncul pada semua tahapan: pengumpulan, pemilahan, pengangkutan, dan penyimpanan (Eleyan et al., 2013; Pertiwi et al., 2017). Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan nomor 6 tahun 2015 halaman 56 (Permen LHK no.6/2015), pengelolaan limbah B3 rumah sakit dilakukan dengan tahap yang berurutan, yaitu pemilahan, pewadahan, pengumpulan, dan pengangkutan, pemusnahan, pembuangan akhir dan daur ulang.

##### 4.1 Pengurangan dan Pemilahan

Mengacu pada ketentuan PP No.10 Tahun 2014, dalam permasalahan pengelolaan limbah medis infeksius, pusat pelayanan kesehatan sebagai penghasil limbah infeksius wajib bertanggung jawab terhadap limbah yang dihasilkan dengan melakukan pengurangan limbah (Permen LHK no.56/2015 halaman 45), demikian juga pengurangan limbah B3 kimia dengan substitusi bahan yaitu, memilih bahan yang tidak mengandung B3 dari yang awalnya

memakai bahan baku B3, serta memodifikasi proses dengan menerapkan proses yang efisien dengan memperhatikan keberlangsungan lingkungan hidup. Prosedur tersebut penting dilakukan untuk mengurangi timbulan limbah, misalnya pencegahan penumpukan obat atau bahan kimia kadaluarsa dengan melakukan pengelolaan yang cermat (Pertiwi et al., 2017), apalagi jika limbah tersebut bercampur dengan limbah medis. Pemilahan juga harus dilakukan sejak saat limbah itu akan dibuang. Di setiap ruangan seharusnya ada tempat sampah non-medis dan tempat sampah medis dan dipatuhi penggunaannya (Lee & Lee, 2022). Limbah medis tajam dapat diautoklaf bersama dengan wadahnya, kemudian bisa dibuang sebagai limbah berbahaya tajam (karena bisa melukai) tetapi bersifat non-infeksius (Pertiwi et al. 2017; Santos et al. 2019; Duong 2023) ataupun dimusnahkan dengan *needle burner* (Hanako & Trihadiningrum, 2021).

##### 4.2 Pengumpulan

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014 tentang pengelolaan limbah B3, limbah medis infeksius yang tergolong limbah B3 harus dikumpulkan oleh setiap fasilitas pelayanan kesehatan terpisah dari limbah non-medis. Wadah yang digunakan diberi kode warna untuk tiap jenis limbah. Dengan demikian pengumpulan dari tiap ruangan menggunakan troli di dalam rumah sakit juga harus dilakukan secara terpisah. Pelatihan tenaga kesehatan dan tenaga kebersihan di rumah sakit sangat dibutuhkan agar aturan pengumpulan ini dapat dijalankan dengan benar (Nosheen et al., 2022).

##### 4.3. Penyimpanan Sementara

Penyediaan fasilitas rumah sakit untuk penanganan dan pengolahan limbah sangat perlu direncanakan dengan matang dan benar (Pertiwi et al., 2017), termasuk kelengkapan sarana dan prasarannya. Sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang pengelolaan limbah B3, tempat tepat guna dalam menyimpan limbah ataupun TPS B3 rumah sakit adalah lokasi yang tidak rawan atau terbebas dari bencana alam serta berada di bawah pengawasan rumah sakit. TPS B3 wajib memiliki saluran aliran limbah yang dilengkapi dengan bak penampung, penerangan, ventilasi, serta atap yang melindungi limbah dari paparan sinar matahari maupun hujan. Lantai bangunannya harus kedap air, tidak retak, rata, serta dilengkapi dengan lambang-lambang yang sinkron dengan sifat limbah B3 serta memiliki alat pemadam api ringan (APAR) (Pertiwi et al., 2017; Santos et al., 2019; Sitepu, 2020).

Prosedur standar penyimpanan dan penyeterilan menjadi perhatian penting untuk mencegah terjadinya penularan penyakit terhadap tenaga medis maupun tenaga non-medis, yang menangani limbah medis B3 ini hingga ke tempat penimbunan dan pengolahannya (Prihartanto, 2020). Permen LHK no 56/2015 halaman 56 juga menyebutkan limbah

infeksius, benda tajam, dan/atau patologis tidak boleh disimpan lebih dari 2 (dua) hari untuk menghindari pertumbuhan bakteri, putrefaksi, dan bau. Jika lebih dari dua hari, limbah harus disimpan pada temperatur 0°C atau lebih rendah atau harus di-desinfeksi kimiawi atau untuk di ruangan, jarum suntik atau benda yang tajam dapat disimpan di dalam wadah khusus dengan cairan desinfektan berupa alkohol atau cairan hipoklorit 5 %. Setelah penyimpanan, biasanya limbah ini sudah tidak bersifat infeksius sehingga dapat diperlakukan sebagai limbah berbahaya tajam tidak infeksius (Pertiwi et al., 2017; Santos et al., 2019).

#### 4.4 Pengangkutan

Mengacu dalam PP No.101 Tahun 2014, proses pengangkutan limbah harus memakai kendaraan khusus pengangkut limbah B3 yang dilengkapi dengan simbol B3. Pengangkut limbah pun harus memakai APD berupa sarung tangan dan masker (Pertiwi et al., 2017). Kendaraan terlebih dulu didesinfeksi untuk meminimalkan penularan. Selain itu, wadah limbah harus mempunyai tutup yang kokoh (Sitepu, 2020). Di negara berkembang, biasanya kesehatan dan keselamatan kerja (K3) untuk pengangkut limbah kurang diperhatikan, padahal pekerjaan ini termasuk pekerjaan yang mempunyai tingkat resiko yang tertinggi. Ternyata, faktor yang berpengaruh terhadap tingkat kesehatan kerjanya yaitu pengalaman kerja, adanya APD, jumlah anggota keluarga, dan lama jam kerja (Melaku & Tiruneh, 2020).

#### 4.5 Pengolahan

Pengolahan limbah medis dilakukan secara thermal dengan beberapa opsi metode yaitu autoklaf tipe vakum atau tipe alir gravitasi, gelombang mikro, radiasi frekuensi radio dan/atau insinerator (Permen LHK No 56/2015). Dalam peraturan juga disebutkan bahwa untuk beberapa jenis limbah infeksius yang telah diolah dengan metode-metode autoklaf, gelombang mikro dan radiasi frekuensi radio kemudian dapat dibuang sebagai limbah non-B3 (McDermott-Levy & Fazzini, 2010).

#### 4.6 Penguburan dan penimbunan

Penimbunan dilakukan hanya untuk abu hasil pembakaran insinerator pada lahan khusus yang tertutup serta aksesnya sangat diawasi oleh pihak penyedia fasilitas pelayanan kesehatan sedangkan penguburan dilakukan pada benda patologis seperti bagian tubuh manusia dan benda tajam (Pertiwi et al., 2017; Santos et al., 2019).

### 5. Kesalahan dalam Pengelolaan Limbah Medis Rumah Sakit dan Faktor Penyebabnya

TPA adalah opsi terakhir untuk pembuangan limbah di Eropa, terutama karena banyaknya kejadian kebakaran TPA yang melepaskan banyak dioksin ke udara dan meracuni masyarakat sekitar

TPA (Mazzucco et al., 2020). Sementara beberapa tempat di negara berkembang, limbah medis masih dibuang tanpa pengolahan ke TPA (Al-Khatib et al., 2020; Damghani et al., 2008; Farzadkia et al., 2009; Karamouz et al., 2007; Melaku & Tiruneh, 2020; Rupani et al., 2019), termasuk di Indonesia banyak limbah medis yang dibuang sembarangan (BBC News, 2020; Candra & Puspita, 2021).

Akar permasalahan pengelolaan limbah rumah sakit yang buruk adalah pembiayaan yang minimum untuk pengelolaan limbah (hanya 10-15%), kurangnya edukasi, kesadaran dan personil terlatih untuk pengelolaan limbah RS (Gupta & Boojh, 2006; Saad, 2013). Di Vietnam, hanya ada 93,3% pengelola limbah RS terlatih, sisanya tidak terlatih (Dang et al., 2021), di Sudan bahkan 90% buta huruf atau berpendidikan sangat rendah (Saad, 2013). Faktor lain yaitu kurangnya pembiayaan dan kemampuan pengelolaan (Eleyan et al., 2013; Saad, 2013), kurangnya pelatihan untuk staf pengelola limbah dan kurangnya manajemen limbah terintegrasi (Farzadkia et al., 2009; Neveu C & Matus C, 2007; Saad, 2013), tidak ada segregasi antara limbah umum dan limbah B3 di RS (Farzadkia et al., 2009; Saad, 2013). Kurangnya pelatihan segregasi sampah dan tanggung jawab staf medis terhadap pemilahan sampah RS meningkatkan biaya lingkungan, maka perlu kebijakan dan komitmen dari manajemen rumah sakit (Ali et al., 2017; Doi & Moura, 2011; Farzadkia et al., 2009; Khan et al., 2019). Banyak penghalang untuk memperbaiki pengelolaan limbah rumah sakit seperti *leadership* yang lemah, pengetahuan staf yang salah tentang pengelolaan limbah, dan resistensi terhadap perubahan (Wyssusek et al., 2018), bahkan tidak ada aturan pengelolaan limbah rumah sakit (Saad, 2013).

### 6. Alternatif Pengelolaan Limbah Medis Rumah Sakit

#### 6.1 Insinerasi Limbah Medis

Insinerasi adalah salah satu teknologi pengolahan limbah medis dengan menggunakan panas yang dapat mengurangi berat serta volume limbah dengan signifikan dalam waktu yang relatif pendek (Rizal & Nurhayati, 2017). Konsentrasi kontaminan pada produk hasil insinerasi umumnya lebih rendah dari yang diizinkan, serta abu dan *slag* yang dihasilkannya biasanya antara 10-15% dari jumlah limbah awal, tetapi masih mengandung logam berat (Gielar & Helios-Rybicka, 2013), yang bahkan dapat digunakan di pabrik semen atau dikumpulkan di TPA *landfill* dengan persyaratan tertentu, (Ma et al., 2020).

Faktor yang terpenting pada insinerasi adalah suhu dan waktu pembakaran (Latief, 2012). Jika suhu pembakaran 1200°C, maka insinerasi merupakan suatu proses yang sangat efektif dan ideal (Girsang & Herumrti, 2013), apalagi gas buangnya dapat dikontrol sehingga meminimalkan dampak lingkungan (Saragih & Herumurti, 2013). Selain itu, panas pembakaran bisa dikonversi menjadi energi, dengan memperhatikan kuantitas serta kontinuitas umpan (Utami et al., 2018).



**Gambar 1.** Beberapa jenis autoklaf tipe kecil; a. panci tekan elektrik yang bisa dimanfaatkan sebagai autoklaf, b. panci tekan manual yang dipanaskan di atas kompor gas, c. autoklaf manual kapasitas lebih besar yang dipanaskan di atas kompor (ada juga versi elektriknya), d. autoklaf analog dengan pemanas listrik yang dapat diprogram (gambar tidak berskala).



**Gambar 2.** Berbagai contoh ukuran *microwave oven* untuk sterilisasi limbah medis (Medical Expo, n.d.): a. skala *benchtop*, b. skala sedang, c. skala besar.

Selain memiliki keuntungan, insinerator juga memiliki kelemahan, yaitu dibutuhkan modal awal yang sangat besar, tingginya biaya operasional serta diperlukan prosedur-prosedur lanjutan. Gas buang hasil insinerasi limbah padat RS biasanya mengandung lebih banyak Hg dibandingkan dengan gas buang hasil insinerasi sampah perkotaan (Liu et al., 2009). Abu terbang dari insinerator limbah RS biasanya mengandung *polychlorinated dibenzofurans* dan *polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDD/Fs)* yang sangat beracun dan persisten (Wei et al., 2017). Perlakuan untuk abu terbang dari insinerator sangat mahal, biasanya menggunakan bahan kimia plus cara mekanik (ditambahkan karbon aktif plus perlakuan dengan *microwave* atau dihaluskan dengan *ball mill*) atau perlakuan hidrotermal atau dengan deklorinasi reduktif (Pan et al., 2013; Wei et al., 2017). Insinerasi limbah medis merupakan sumber utama polusi oleh dioksin, merkuri, bahan-bahan beracun lainnya dan partikulat dan gas rumah kaca, yang menyebabkan pemanasan global (Ali et al., 2016). Dioksin merupakan karsinogen, dan merkuri adalah racun syaraf yang kuat (Liu et al., 2009; McDermott-Levy & Fazzini, 2010; Jang et al., 2006).

## 6.2 Desinfeksi dengan Autoklaf

Autoklaf adalah salah satu cara sterilisasi/desinfeksi dengan panas dan uap air (Gambar 1). Bahan yang akan didesinfeksi dimasukkan dalam wadah yang berisi air dan dipanaskan sampai 15 bar, sehingga temperatur uap air menjadi 121°C. Jika dibandingkan dengan alternatif penanganan yang tersedia, *hydroclave* merupakan teknologi penanganan limbah RS terbaik untuk negara berkembang (Rafiee et al., 2016). Untuk fasyankes di pelosok, untuk mendesinfeksi limbah medis pada jumlah terbatas, sebenarnya bisa

digunakan autoklaf berukuran kecil (Harte & Miller, 2004; N.N., 1984; Zorko et al., 2020), bahkan menggunakan panci tekan yang biasanya untuk memasak di dapur (Madden et al., 2021). Banyak kelebihan autoklaf, misalnya dapat mensterilkan limbah RS yang terkontaminasi bahan menular termasuk benda tajam seperti kaca dan pisau bedah serta limbah dari ruang operasi. Setelah itu, limbah bisa diperlakukan sebagai limbah biasa (non-B3) untuk diproses lebih lanjut atau dibawa ke TPA *sanitary landfill* (BWS, 2016, Peraturan Menteri KLHK no.56 pasal 20 ayat 7). Dengan demikian, pengelolaan sebagai limbah non-medis ini akan mengurangi biaya pengelolaan limbah medis. Tidak menutup kemungkinan beberapa limbah yang telah disterilkan ini kemudian dapat didaur ulang seperti *container* plastik, plastik kemasan, baju hazmat dan masker. Penanganan limbah dengan autoklaf sangat ramah lingkungan dan tidak menghasilkan gas berbahaya seperti pada insinerasi (Zorko et al., 2020). Namun, beberapa masalah yang dapat terjadi pada autoklaf adalah *pre-vacuum*, kebocoran udara, kurangnya penetrasi kukus ke dalam limbah yang mengakibatkan sampel masih terkontaminasi (Taghipour et al., 2016). Selain itu, penanganan limbah dengan cara ini tidak cocok untuk penanganan limbah bagian tubuh, limbah sitotoksik, limbah farmasi, dan limbah bahan kimia. Dengan demikian hanya limbah jenis ini yang harus dikirim ke insinerator.

## 6.3 Desinfeksi dengan Oven Microwave

Sistem pengolahan gelombang mikro (*microwave*), mirip dengan autoklaf, yang juga menggunakan panas untuk mendekontaminasi limbah medis, merupakan teknologi baru yang menjanjikan (Gambar 2) (Biomedical Waste Services (BWS), 2016; Medical

Expo, n.d.; Zimmermann, 2017). Hampir semua jenis mikroba dapat dimusnahkan dengan menggunakan frekuensi gelombang mikro sekitar 2450 MHz. Kandungan air dalam limbah akan terpanaskan dengan cepat dan memusnahkan semua bahan infeksius. Sistem ini bekerja paling baik untuk limbah yang tidak 100% kering atau padat, karena kelembaban memungkinkan panas menembus lebih dalam, dan uap mensterilkan. Oleh karena itu, sebelum diproses dengan oven *microwave*, sebagian besar jenis limbah medis perlu dicacah dan dicampur dengan air untuk mencapai efek yang diinginkan. Bonusnya, pencacahan mengurangi volume sampah, sehingga nantinya bisa ditimbun di TPA *sanitary landfill*. Kelebihan sistem ini adalah waktu proses yang singkat dan pemanasannya cepat dan seragam sehingga lebih ekonomis jika dibandingkan dengan sterilisasi menggunakan autoklaf serta lebih ramah lingkungan (Zimmermann, 2017).

#### 6.4 Desinfeksi dengan bahan kimia

Beberapa jenis desinfektan digunakan untuk mendesinfeksi limbah medis rumah sakit supaya mikroba patogen tidak berkembang biak, contohnya adalah dengan klorinasi menggunakan natrium dikloroisosianurat (NaDCC) yang bersifat mikrobisidal terhadap mikroba uji *Escherichia coli*, *Aspergillus brasiliensis*, dan *Staphylococcus aureus* yang biasanya menjadi agen infeksi nosokomial (Motta et al., 2018).

#### 6.5 Desinfeksi dengan sinar ultraviolet

Sinar UV dapat digunakan untuk mensterilkan permukaan karena sinar UV adalah sinar yang tidak menembus. Untuk air limbah yang mengandung nitrogen organik, sinar UV cukup efektif membunuh bakteri dan virus, lebih bagus dari klorinasi (Blatchley et al., 2007).

#### 6.6 Pemilahan dan Pengurangan Limbah Medis Rumah Sakit di Sumber untuk Daur Ulang

Di sebagian besar negara berkembang, limbah rumah sakit biasanya tidak dipilah (Abd El-Salam, 2010; Ali et al., 2017; Bellizzi et al., 2020; Farzadkia et al., 2009; Gupta & Boojh, 2006; Kalogiannidou et al., 2018; Karamouz et al., 2007; Pandey, 2016; Sobia et al., 2014). Bahkan, limbah RS merupakan bagian dari limbah yang dibuang ke TPA tanpa pengolahan yang layak (Ali et al., 2017; Damghani et al., 2008). Di Indonesia, pemilahan yang dilakukan di rumah sakit masih kurang optimal, misalnya hanya sebatas pemilahan medis dan non-medis, tetapi tidak mempertimbangkan material yang bisa didaur ulang seperti botol infus bekas (Sholihah et al., 2021).

Pengelolaan limbah rumah sakit di sumber sangat penting untuk mengurangi resiko bocornya limbah

yang dapat menyebarkan patogen selama pengangkutan dan dapat menghemat banyak biaya karena pengangkutan limbah B3 medis sangat mahal dan beresiko (Ali et al., 2017; Karamouz et al., 2007; Patil & Pokhrel, 2005; Santos et al., 2019). Jika sebagian limbah medis dapat diolah *onsite*, maka akan mengurangi jumlah yang harus dikirim ke insinerator yang juga mengurangi resiko pengiriman. Di sisi lain, peralatan-peralatan medis sekali pakai biasanya terbuat dari bahan baku bermutu tinggi, pemilahan dari awal akan sangat mengurangi volume limbah yang terbuang. Misalnya jarum suntik bisa dibuang terpisah dari tabung plastikanya dengan menggunakan tong sampah yang dirancang khusus yang dapat digunakan secara aman untuk tenaga medis dan lingkungan rumah sakit atau dimusnahkan dengan *needle burner*. Salah satu cara pemilahan limbah RS dapat mengacu pada Tabel 3 (Ali et al., 2016). Sebab itu, pelatihan mengenai pemilahan limbah rumah sakit diperlukan untuk semua tingkatan staf rumah sakit, dari dokter, perawat, maupun staf kebersihan (Abd El-Salam, 2010; Chaerul et al., 2008) dan diperlukan personel kunci dalam program reduksi timbulan limbah rumah sakit (McDermott-Levy & Fazzini, 2010).

Selain itu, penghindaran pemakaian peralatan sekali pakai dapat menekan timbulan limbah rumah sakit. Pakaian pelindung yang dapat digunakan sampai 75-100 kali dapat menekan biaya sampai 50%, ramah lingkungan dan berkelanjutan (Baker et al., 2020).

Pemilahan di sumber yang dilanjutkan dengan prioritas pada daur ulang. Pengelolaan dengan cara insinerasi total tidak disarankan dan hanya digunakan untuk limbah yang tidak dapat ditangani dengan cara yang lain (misalnya bagian tubuh) dan pembuangan ke TPA *landfill* merupakan opsi terakhir karena emisi gas rumah kaca yang ditimbulkannya. Untuk negara berkembang yang memiliki paparan sinar matahari yang lama, lembab, dan panas dan fasilitas pengolahan limbah RS-nya masih terbatas, penutup transparan dapat digunakan karena perlakuan kombinasi panas, UV, dan peningkatan kelembaban dapat membunuh virus SARS-CoV-2 (Bellizzi et al., 2020). Penanganan limbah medis rumah sakit di tempat (*on-site*) dapat menghemat biaya transport dan mengurangi resiko infeksi pada saat dipindahkan dulu ke pusat desinfeksi. Limbah rumah sakit yang sudah terpilah dan sudah didesinfeksi dapat dibuang ke TPA sebagai limbah umum (Ali et al., 2016). Jenis limbah medis rumah sakit seperti plastik HDPE dan polipropilena (PP), APD, masker berbahan (PP) dapat didaur ulang dengan cara ekstrusi pada suhu 170°C menghasilkan bijih plastik (Humas LIPI/LPTB, 2021) setelah didesinfeksi sebelumnya.

**Tabel 3.** Pengelolaan Limbah Rumah sakit berdasarkan jenis limbah (Ali et al., 2016)

Jenis Limbah	Alternatif Pengelolaan Limbah		
Limbah biasa	Pemisahan plastik, kertas, karton, logam, kaca, dll.	Limbah dapur & halaman untuk dijadikan kompos atau digunakan sebagai bahan baku untuk produksi biogas.	Barang-barang yang tidak dapat dipisahkan untuk ditimbun di TPA atau dibakar atau diolah dengan pirolisis
Benda tajam	Perlakuan autoklaf/microwave dan daur ulang jarum suntik, dll.	Peralatan bedah diautoklaf dan digunakan kembali.	Benda tajam yang terinfeksi prion harus dibakar di bawah tekanan tinggi setelah perlakuan kimia atau dipirolisis
Limbah patologis/jaringan	Bagian tubuh manusia dikubur menurut ritus agama/budaya masing-masing	Jaringan tubuh manusia/hewan dibakar atau dipirolisis atau diautoklaf & dibuang di TPA. Cairan tubuh didesinfeksi & dibuang ke saluran air limbah.	Jaringan yang terinfeksi prion harus dibakar di bawah tekanan tinggi setelah perlakuan kimia atau dipirolisis.
Limbah farmasi & sitotoksik	Obat sitotoksik dan barang-barang yang terpapar seperti seprai, benda tajam, sarung tangan, dll. harus dibakar.	Obat kadaluarsa dikembalikan ke pabrik obat. Kit pengujian, peralatan dialisis, dll. dapat didaur ulang. Obat terlarang ditangani oleh lembaga pemerintah terkait	Obat berbahaya yang tidak digunakan dan wadahnya harus dikembalikan ke pabriknya. Obat-obat tidak berbahaya dapat dibuang ke saluran air dalam jumlah terbatas secara berkala.
Limbah radioaktif	Diolah oleh instansi pemerintah yang sesuai.	Harus disegel dalam beton dan dikubur.	
Limbah kimia Racun seperti	Baterai dapat didaur ulang.	Cairan pembersih harus diencerkan.	Merkuri dapat didaur ulang. Bahan kimia yang mudah menguap harus dinetralkan.
Limbah campuran	Barang yang tercemar limbah menular dipirolisis atau dihancurkan, diautoklaf & dibuang ke TPA.	Barang yang terkena limbah kimia volatil atau radioaktif, masing-masing diperlakukan sebagai limbah kimia dan radioaktif	Lumpur dari pengolahan air limbah dapat dibakar atau dikomposkan atau diolah secara anaerob atau dipirolisis.

Harus ada usaha mengurangi timbulan sampah medis di RS, yaitu dengan pemilahan di sumber (Awad et al., 2004; Gupta & Boojh, 2006; McDermott-Levy & Fazzini, 2010) dengan melibatkan perawat di garis depan dan komitmen yang kuat dari segenap manajemen rumah sakit untuk mengurangi timbulan sampah medis. Untuk memperbaiki pengelolaan limbah medis rumah sakit, pelatihan rutin, komprehensif, dan berkala harus dilakukan terhadap petugas pengelola limbah medis dan staf rumah sakit dengan kewajiban hadir dan asesmen berkala harus masuk dalam penilaian kinerja tahunan (Parida et al. 2019). Gerakan *health care without harm* mungkin bisa jadi rekomendasi untuk jadi sumberdaya bagi rumah sakit, yaitu *greening initiatives* termasuk *reducing, recycling, reusing, rethinking* dan *researching*, dan penggunaan teknologi baru dan desain bangunan (Wyssusek et al., 2018). Juga pendidikan, pelatihan dan komitmen dari yang berwenang terhadap manajemen limbah di rumah sakit serta didukung oleh sarana perlimbahan dan penerapan aturan yang benar (Gupta & Boojh, 2006).

## 7. Kesimpulan

Usaha 3R dapat diterapkan dalam pengelolaan limbah medis rumah sakit. Pemilahan limbah padat rumah sakit paling bagus dilakukan di sumber dengan menerapkan tempat sampah yang lebih detail peruntukannya sehingga pengolahan lanjutan dapat dilakukan dengan lebih mudah dan timbulan sampah medis yang harus dikirim ke insinerator dapat ditekan jumlahnya. Pengolahan di sumber juga dapat mengurangi resiko pengangkutan dan menekan biaya pengelolaan karena limbah medis yang sudah diolah dapat dianggap sebagai limbah biasa yang tidak memerlukan persyaratan khusus dalam pengangkutan dan pengolahan lanjutannya.

Pembiasaan pemilahan limbah medis di sumber dan pengelolaan limbah secara terintegrasi harus dilakukan secara rutin yang melibatkan segenap jajaran rumah sakit mulai dari direktur rumah sakit, dokter, perawat, sampai tenaga kebersihan. Komitmen segenap manajemen dengan alokasi pembiayaan yang wajar untuk sarana/prasarana pengelolaan limbah medis akan sangat mendukung keberhasilan pengelolaan yang pada akhirnya akan menekan timbulan limbah medis dan akan menurunkan biaya pengelolaan dan mengurangi resiko kesehatan lingkungan.

## Ucapan Terima Kasih

Terimakasih disampaikan kepada Universitas Udayana yang membiayai penerbitan tulisan ini dengan dana PNBPN melalui skema Penelitian Unggulan Program Studi tahun 2024.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abd El-Salam, M. M. 2010. Hospital waste management in El-Beheira Governorate, Egypt. *Journal of Environmental Management*, 91(3): 618-629.
- Al Huraimel, K., M. Alhosani, S. Kunhabdulla, M.H. Stietiya. 2020. SARS-CoV-2 in the environment: Modes of transmission, early detection and potential role of pollutions. *Science of The Total Environment*, 744: 140946.
- Ali, M., W. Wang, N. Chaudhry. 2016. Application of life cycle assessment for hospital solid waste management: A case study. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 66(10): 1012-1018.
- Ali, M., W. Wang, N. Chaudhry, Y. Geng. 2017. Hospital waste management in developing countries: A mini review. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 35(6): 581-592.
- Al-Khatib, I.A., D. Eleyan, J. Garfield. 2016. A system dynamics approach for hospital waste management

- in a city in a developing country: The case of Nablus, Palestine. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(9): 503.
- Al-Khatib, I.A., A.-S. Khalaf, M.I. Al-Sari, F. Anayah. 2020. Medical waste management at three hospitals in Jenin district, Palestine. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(1): 10.
- Awad, A.R., M. Obeidat, M. Al-Shareef. 2004. Mathematical-Statistical Models of Generated Hazardous Hospital Solid Waste. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 39(2): 315–327.
- Bahri, M., R. Belkhadir, M. Benzakour, L. Idrissi, A. Khadri. 2006. Hospital Solid Waste: Quantification. *Bacteriological Analyses-Case of Hospital Ibn Sina. La Tunisie Medicale*, 84(1): 34–39.
- Baker, N., R. Bromley-Dulfano, J. Chan, A. Gupta, L. Herman, et al. 2020. COVID-19 Solutions Are Climate Solutions: Lessons From Reusable Gowns. *Frontiers in Public Health*, 8: 590275.
- BBC News. 2020, October 24. Virus corona: Limbah infeksius Covid-19 masih ditemukan di TPA, “ada kelonggaran, pengabaian, dan tidak ada pengawasan.”  
<https://www.bbc.com/indonesia/majalah-54640725>.
- Bellizzi, S., S.A. Kamal, A.E. Newir, G. Pichierri, P. Salaris., et al. 2020. Simple technology for COVID-19 medical solid waste treatment in low-resourced settings. *Journal of Global Health*, 10(2): 020373.
- Biomedical Waste Services (BWS). 2016, March 15. Key Methods of Medical Waste Treatment and Disposal. <https://bwaste.com/resources/the-knowledge-center/articles-insights-and-updates/key-methods-medical-waste-treatment>.
- Blatchley, E.R., W.-L. Gong, J. E. Alleman, J. B. Rose, D. E. Huffman, et al. 2007. Effects of Wastewater Disinfection on Waterborne Bacteria and Viruses. *Water Environment Research*, 79(1): 81–92.
- Candra, S.A., R. Puspita. 2021, July 28. KLHK Soroti Temuan Limbah Medis yang Dibuang Sembarangan. *Republika*.  
<https://www.republika.co.id/berita/qwy1q7428/klhk-soroti-temuan-limbah-medis-yang-dibuang-sembarangan>.
- Capoor, M.R., A. Parida. 2021. Current Perspectives of Biomedical Waste Management in Context of Covid-19. *Indian Journal of Medical Microbiology*, 39(2): 171–178.
- Chaerul, M., M. Tanaka, A.V. Shekdar. 2008. A system dynamics approach for hospital waste management. *Waste Management*, 28(2): 442–449.
- Damghani, A.M., G. Savarypour, E. Zand, R. Deihimfard. 2008. Municipal solid waste management in Tehran: Current practices, opportunities and challenges. *Waste Management*, 28(5): 929–934.
- Dang, H. T. T., H.V. Dang, T.Q. Tran. 2021. Insights of healthcare waste management practices in Vietnam. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(10): 12131–12143.
- Di Maria, F., E. Beccaloni, L. Bonadonna, C. Cini, E. Confalonieri, et al. 2020. Minimization of spreading of SARS-CoV-2 via household waste produced by subjects affected by COVID-19 or in quarantine. *Science of The Total Environment*, 743: 140803.
- Doi, K.M., G.M.S.S. de Moura. 2011. Resíduos sólidos de serviços de saúde: Uma fotografia do comprometimento da equipe de enfermagem. *Revista Gaúcha de Enfermagem*, 32(2): 338–344.
- Duong, D. 2023. Improper disposal of medical waste costs health systems and the environment. *Canadian Medical Association Journal*, 195(14): E518–E519.
- Eleyan, D., I.A. Al-Khatib, J. Garfield. 2013. System dynamics model for hospital waste characterization and generation in developing countries. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 31(10): 986–995.
- Farzadkia, M., A. Moradi, S.M. Mojtaba, S. Jorfi. 2009. Hospital waste management status in Iran: A case study in the teaching hospitals of Iran University of Medical Sciences. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 27(4): 384–389.
- Gielar, A., E. Helios-Rybicka. 2013. Environmental impact of a hospital waste incineration plant in Krakow (Poland). *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 31(7): 722–728.
- Girsang, V.E., W. Herumrti. 2013. Pengelolaan Limbah Padat B3 Hasil Insinerasi di RSUD Dr Soetomo Surabaya. *Jurnal Teknik ITS*, 2(2): D45–D50.
- Gupta, S., R. Boojh. 2006. Report: Biomedical waste management practices at Balrampur Hospital, Lucknow, India. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 24(6): 584–591.
- Hanako, A., Y. Trihadiningrum. 2021. Kajian Pengelolaan Limbah Padat B3 di Rumah Sakit X Surabaya. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2): C133–C138.
- Harte, J.A., C.H. Miller. 2004. Sterilization update 2003. *Compendium of Continuing Education in Dentistry (Jamesburg, N.J.: 1995)*, 25(1 Suppl): 24–29.
- Humas LIPI/LPTB. 2021, June 29. LIPI Tawarkan Solusi Timbulan Limbah Masker. <http://lipi.go.id/siaranpress/LIPI-Tawarkan-Solusi-Timbulan-Limbah-Masker/22432>.
- Humas UGM. 2019, August 16. Pengelolaan Limbah Medis di Indonesia Belum Maksimal. <https://ugm.ac.id/id/berita/18264-pengelolaan-limbah-medis-di-indonesia-belum-maksimal>.
- Jang, Y.-C., C. Lee, O.-S. Yoon, H. Kim. 2006. Medical waste management in Korea. *Journal of Environmental Management*, 80(2): 107–115.
- Kalogiannidou, K., E. Nikolakopoulou, D. Komilis. 2018. Generation and composition of waste from medical histopathology laboratories. *Waste Management*, 79: 435–442.
- Karamouz, M., B. Zahraie, R. Kerachian, N. Jaafarzadeh, N. Mahjouri. 2007. Developing a master plan for hospital solid waste management: A case study. *Waste Management*, 27(5): 626–638.
- Kemendes RI. 2020. Pedoman Pengelolaan Limbah Rumah Sakit Rujukan, Rumah Sakit Darurat dan Puskesmas Yang Menangani Pasien Covid-19. *Kementerian Kesehatan RI*.  
[https://kesmas.kemkes.go.id/assets/upload/dir\\_519d41d8cd98f00/files/Pedoman-Pengelolaan-Limbah-Fasyankes-Covid-19\\_1571.pdf](https://kesmas.kemkes.go.id/assets/upload/dir_519d41d8cd98f00/files/Pedoman-Pengelolaan-Limbah-Fasyankes-Covid-19_1571.pdf).
- Keterangan Pers Menteri LHK usai Ratas Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun Medis COVID-19. 2021, July 28. <https://www.youtube.com/watch?v=c20twbKDz8>.
- Khan, B.A., L. Cheng, A.A. Khan, H. Ahmed. 2019. Healthcare waste management in Asian developing countries: A



- mini review. *Waste Management & Research*, 37(9): 863-875.
- Kulkarni, B.N., V. Anantharama. 2020. Repercussions of Covid-19 pandemic on municipal solid waste management: Challenges and opportunities. *Science of The Total Environment*, 743: 140693.
- Latief, A.S. 2012. Manfaat dan Dampak Penggunaan Insinerator Terhadap Lingkungan. *Jurnal Teknis*, 5: 20-22.
- Lee, S.M., D. Lee. 2022. Effective Medical Waste Management for Sustainable Green Healthcare. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(22): 14820.
- Liu, Yangsheng, Z. Zhan, F. Du, S. Kong, Y. Liu. 2009. Indoor air concentrations of mercury species in incineration plants for municipal solid waste (MSW) and hospital waste (HW). *Chemosphere*, 75(2): 266-271.
- Ma, Y., X. Lin, A. Wu, Q. Huang, X. Li, et al. 2020. Suggested guidelines for emergency treatment of medical waste during COVID-19: Chinese experience. *Waste Disposal & Sustainable Energy*, 2(2): 81-84.
- Madden, A.A., L.B. Crowe, E.E. Logee, P.T.B. Starks. 2021. Growsafe: A Chemical Method to Deactivate Cultivated Microorganisms Using Low-Cost Kitchen Supplies. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 22(1): ev22i1.2577.
- Mazzucco, W., C. Costantino, V. Restivo, D. Alba, C. Marotta, et al. 2020. The Management of Health Hazards Related to Municipal Solid Waste on Fire in Europe: An Environmental Justice Issue? *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(18): 6617.
- McDermott-Levy, R., C. Fazzini. 2010. Identifying the Key Personnel in a Nurse-Initiated Hospital Waste Reduction Program. *Nursing Administration Quarterly*, 34(4): 306-310.
- Medical Expo. n.d. Microwave wastetreatment systems. *Medical Expo, VirtualExpoGroup*. <https://www.medicalexpo.com/medical-manufacturer/microwave-waste-treatment-system-41611.html>, July 20, 2021.
- Melaku, H.S., M.A. Tiruneh. 2020. Occupational Health Conditions and Associated Factors Among Municipal Solid Waste Collectors in Addis Ababa, Ethiopia. *Risk Management and Healthcare Policy*, Volume 13: 2415-2423.
- Motta, O., I. Zarrella, R. Cucciniello, M. Capunzo, F. De Caro. 2018. A new strategy to control the proliferation of microorganisms in solid hospital waste and the diffusion of nosocomial infections. *Le Infezioni in Medicina*, 26(3): 210-215.
- Narayana, V., S. Rudraswamy, N. Doggalli. 2014. Hazards and Public Health Impacts of Hospital Waste. *Indian Journal of Applied Research*, 4(6): 384-386.
- Neveu, C.A., C.P. Matus. 2007. Residuos hospitalarios peligrosos en un centro de alta complejidad. *Revista Médica de Chile*, 135(7). <https://doi.org/10.4067/S0034-98872007000700009>.
- N.N. 1984. Using a pressure cooker as an autoclave. *EPI Newsletter*, 6(6): 5-8.
- Nosheen, F., N. Malik, Z. Mehmood, F. Jabeen, A. Mahmood, et al. 2022. Biomedical waste management associated with infectious diseases among health care professionals in apex hospitals of a typical south asian city. *Environmental Research*, 215: 114240.
- Nurwahyuni, N.T., L. Fitriya, O. Umboh, D. Katiandagho. 2020. Pengolahan Limbah Medis Covid-19 Pada Rumah Sakit. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 10(2): 52-59.
- Pan, X., J. Yan, Z. Xie. 2013. Detoxifying PCDD/Fs and heavy metals in fly ash from medical waste incinerators with a DC double arc plasma torch. *Journal of Environmental Sciences*, 25(7): 1362-1367.
- Pandey, A. 2016. Bio-Medical Waste Management in a Tertiary Care Hospital: An Overview. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2016/22595.8822>.
- Parida, A., M.R. Capoor, K.T. Bhowmik. 2019. Knowledge, attitude, and practices of Bio-medical Waste Management (amendment) rules, 2016; and Solid Waste Rules, 2016, among health-care workers in a tertiary care setup. *Journal of Laboratory Physicians*, 11(04): 292-296.
- Patil, G.V., K. Pokhrel. 2005. Biomedical solid waste management in an Indian hospital: A case study. *Waste Management*, 25(6): 592-599.
- Peng, J., X. Wu, R. Wang, C. Li, Q. Zhang, et al. 2020. Medical waste management practice during the 2019-2020 novel coronavirus pandemic: Experience in a general hospital. *American Journal of Infection Control*, 48(8): 918-921.
- Pertiwi, V., T. Joko, H.L. Dangiran. 2017. Evaluasi Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) di Rumah Sakit Roemani Muhammadiyah, Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 5(3): 420-430.
- Prihartanto. 2020. Prediction of Medical Hazardous Waste Generation from Covid-19 Patient Handling Hospitals. *Jurnal Sains dan Teknologi Mitigasi Bencana*, 15(1): 12-18.
- Rafiee, A., K. Yaghmaeian, M. Hoseini, S. Parmy, A. Mahvi, et al. 2016. Assessment and selection of the best treatment alternative for infectious waste by modified Sustainability Assessment of Technologies methodology. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 14(1): 10.
- Rikin, A.S. 2020. Selama Pandemi, Indonesia hasilkan 1600 ton limbah medis. <https://www.beritasatu.com/nasional/698379/selama-pandemi-indonesia-hasilkan-1600-ton-limbah-medis>.
- Rizal, A.M., I. Nurhayati. 2017. Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) dengan Insinerator Tipe Reciprocating Grate. *Waktu: Jurnal Teknik Unipa*, 15(2): 21-27.
- Rupani, P.F., R.M. Delarestaghi, M. Abbaspour, M.M. Rupani, H.S. EL-Mesery, et al. 2019. Current status and future perspectives of solid waste management in Iran: A critical overview of Iranian metropolitan cities. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(32): 32777-32789.
- Saad, S.A.G. 2013. Management of hospitals solid waste in Khartoum State. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(10): 8567-8582.
- Salman, N., D. Aryanti, F.M.L. Taqwa. 2021. Evaluasi Pengelolaan Limbah Rumah Sakit (Studi Kasus: Rumah Sakit X di Kab. Tasikmalaya). *Jurnal Komposit*, 5(1): 7-16.
- Sangkham, S. 2020. Face mask and medical waste disposal during the novel COVID-19 pandemic in Asia. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 2: 100052.
- Santos, E. de S., K.M. dos S. Gonçalves, M. P. G. Mol. 2019.

- Healthcare waste management in a Brazilian university public hospital. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 37(3): 278–286.
- Saragih, J.L., W. Herumurti. 2013. Evaluasi Fungsi Insinerator dalam Memusnahkan Limbah B3 di Rumah Sakit TNI Dr. Ramelan Surabaya. *Jurnal Teknik ITS*, 2(2): 138–144.
- Sarmin, Y. Sabilu, Nurmaladewi. 2020. Pengelolaan Limbah Medis Padat Di Masa Pandemi Covid-19 Di Rumah Sakit Umum (rsu) Bahteramas Provinsi Sulawesi Tenggara. *Preventif Journal*, 5(2). <https://doi.org/DOI> : <http://dx.doi.org/10.37887/epj>.
- Sholihah, E.M., A.C. Sjaaf, A. Djunawan. 2021. Evaluasi Pengelolaan Limbah Medis Sebelum dan Saat Pandemi Covid19 di Rumah Sakit Sentra Medika Cikarang. *Jurnal Manajemen Kesehatan Yayasan RS.Dr. Soetomo*, 7(1): 105.
- Sitepu, N. A. 2020. Upaya Memutus Rantai Infeksi Pada Limbah Padat Medis B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) di Rumah Sakit. Preprint, Open Science Framework. <https://doi.org/10.31219/osf.io/ynfzs>.
- Sobia, M., S.A. Batool, M.N. Chaudhry. 2014. Characterization of hospital waste in Lahore, Pakistan. *Chinese Medical Journal*, 127(9): 1732–1736.
- Sutrisno, H., F. Meilasari. 2020. Review: Medical Waste Management for Covid-19. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 12(1si): 104.
- Taghipour, H., M. Alizadeh, R. Dehghanzadeh, M.R. Farshchian, M. Ganbari, et al. 2016. Performance of on-site Medical waste disinfection equipment in hospitals of Tabriz, Iran. *Health Promotion Perspectives*, 6(4): 202–206.
- Utami, R.D., D.G. Okayadnya, M. Mirwan. 2018. Meningkatkan Kinerja Insinerator pada Pemusnahan Limbah Medis RSUD Dr. Soetomo Surabaya. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 7(2): 115–123.
- Wei, G., H. Liu, R. Zhang, Y. Zhu, X. Xu, et al. 2017. Application of microwave energy in the destruction of dioxins in the froth product after flotation of hospital solid waste incinerator fly ash. *Journal of Hazardous Materials*, 325: 230–238.
- Wyssusek, K.H., M.T. Keys, A.A.J. van Zundert. 2018. Operating room greening initiatives—The old, the new, and the way forward: A narrative review. *Waste Manag. Res.*, 37(1): 3–19.
- Zimmermann, K. 2017. Microwave as an emerging technology for the treatment of biohazardous waste: A mini-review. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 35(5): 471–479.
- Zorko, D.J., S. Gertsman, S., K. O’Hearn, N. Timmerman, N. Ambu-Ali, et al. 2020. Decontamination interventions for the reuse of surgical mask personal protective equipment: A systematic review. *Journal of Hospital Infection*, 106(2): 283–294.