



Penerapan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Dalam Pengelolaan Limbah Medis Menggunakan Metode Life Cycle Assessment (LCA) (Studi Literatur)

Roosdiana Irawati¹, Tri Joko², Mursid Raharjo³

^{1,2,3} Magister Kesehatan Lingkungan Fakultas Kesehatan Masyarakat
Universitas Diponegoro

Abstract

Received: 17 Oktober 2024
Revised: 24 Oktober 2024
Accepted: 31 Oktober 2024

Rumah sakit sebagai salah satu layanan kesehatan menghasilkan limbah medis yang berbahaya bagi kesehatan lingkungan. Limbah medis yang dihasilkan harus dikelola sesuai ketentuan agar tidak mencemari lingkungan dan membahayakan Kesehatan. Berbagi risiko dari pengelolaan limbah medis dapat terjadi jika pengelolaan limbah yang dilakukan mengabaikan prosedur pengelolaan. Pilihan teknologi sebagai alat pengolah limbah juga dapat berisiko terhadap petugas, masyarakat sekitar serta penurunan daya dukung lingkungan. Metode LCA (life cycle assessment) merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk menganalisis risiko dalam pengelolaan limbah. Hasil analisis risiko dapat diajukan sebagai policy brief kepada pimpinan rumah sakit dalam menentukan kebijakan yang akan diambil agar pengelolaan limbah yang dilakukan tepat, aman bagi petugas, Masyarakat sekitar, lingkungan serta ramah lingkungan. Upaya sirkular ekonomi dari pengelolaan limbah fasilitas layanan kesehatan sebagai upaya pengelolaan limbah yang berkelanjutan juga dapat dianalisis menggunakan LCA untuk memastikan bahwa upaya sirkular ekonomi yang ditetapkan tidak membahayakan kesehatan lingkungan.

Keywords:

hospital waste, medical waste, life cycle assessment

(*) Corresponding Author: roosdianairawati76@gmail.com

How to Cite: Irawati, R., Joko, T., & Raharjo, M. (2024). Penerapan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Dalam Pengelolaan Limbah Medis Menggunakan Metode Life Cycle Assessment (LCA) (Studi Literatur). <https://doi.org/10.5281/zenodo.14504446>.

PENDAHULUAN

Keberadaan rumah sakit sebagai sarana pelayanan kesehatan bagi masyarakat mulai dari layanan konsultasi rawat jalan, layanan rawat inap, layanan haemodialisa, pemeriksaan kesehatan (*medical check up*), layanan pemeriksaan laboratorium, layanan bedah (operasi), layanan radiologi, layanan radioterapi, rehabilitasi medik dan lain sebagainya menjadi layanan yang sangat dibutuhkan oleh masyarakat. Dalam rangka menjaga agar pelayanan kesehatan untuk masyarakat dapat berjalan dengan baik, maka diperlukan pengelolaan terhadap peralatan kesehatan serta fasilitas umum di rumah sakit.

Rumah sakit sebagai pusat layanan kesehatan juga menghasilkan dampak yang harus dikendalikan, salah satunya limbah medis yang mengandung material berbahaya karena mempunyai efek ganda yaitu : berdampak terhadap pencemaran lingkungan dan kesehatan manusia. Pembuangan limbah benda tajam (jarum suntik bekas pakai) dari pasien terinfeksi yang tidak tepat dapat membahayakan petugas Kesehatan dengan risiko 30% terinfeksi HBV; 1,8% terinfeksi HCV dan 0,8% terinfeksi HIV.

Limbah medis merupakan bagian dari limbah yang dihasilkan dari fasilitas pelayanan Kesehatan seperti : rumah sakit, klinik, bank darah, klinik hewan serta fasilitas penelitian medis dan laboratorium lainnya. Secara umum limbah medis adalah limbah Kesehatan yang dapat terkontaminasi oleh darah, cairan tubuh lainnya serta bahan lain yang berpotensi menularkan penyakit.

Potensi risiko dari limbah medis dapat terjadi sejak limbah dihasilkan yaitu mulai dari pemilahan, pewadahan, pengumpulan, penampungan, pengangkutan, pembuangan hingga pemusnahan. Pencemaran lingkungan yang berdampak terhadap penurunan kualitas lingkungan dan risiko terhadap Kesehatan menjadi salah satu dampak yang ditimbulkan dari limbah medis. Limbah medis yang tidak dikelola dengan benar tentu akan berdampak terhadap Kesehatan karena mengandung berbagai jenis bakteri, virus, bahan kimia dan logam yang memiliki dampak tersendiri terhadap Kesehatan hingga terjadinya penyakit, baik secara langsung melalui kontak langsung dengan limbah medis maupun secara tidak langsung yang dapat terjadi melalui proses pembusukan, pembakaran dan pembuangan limbah.

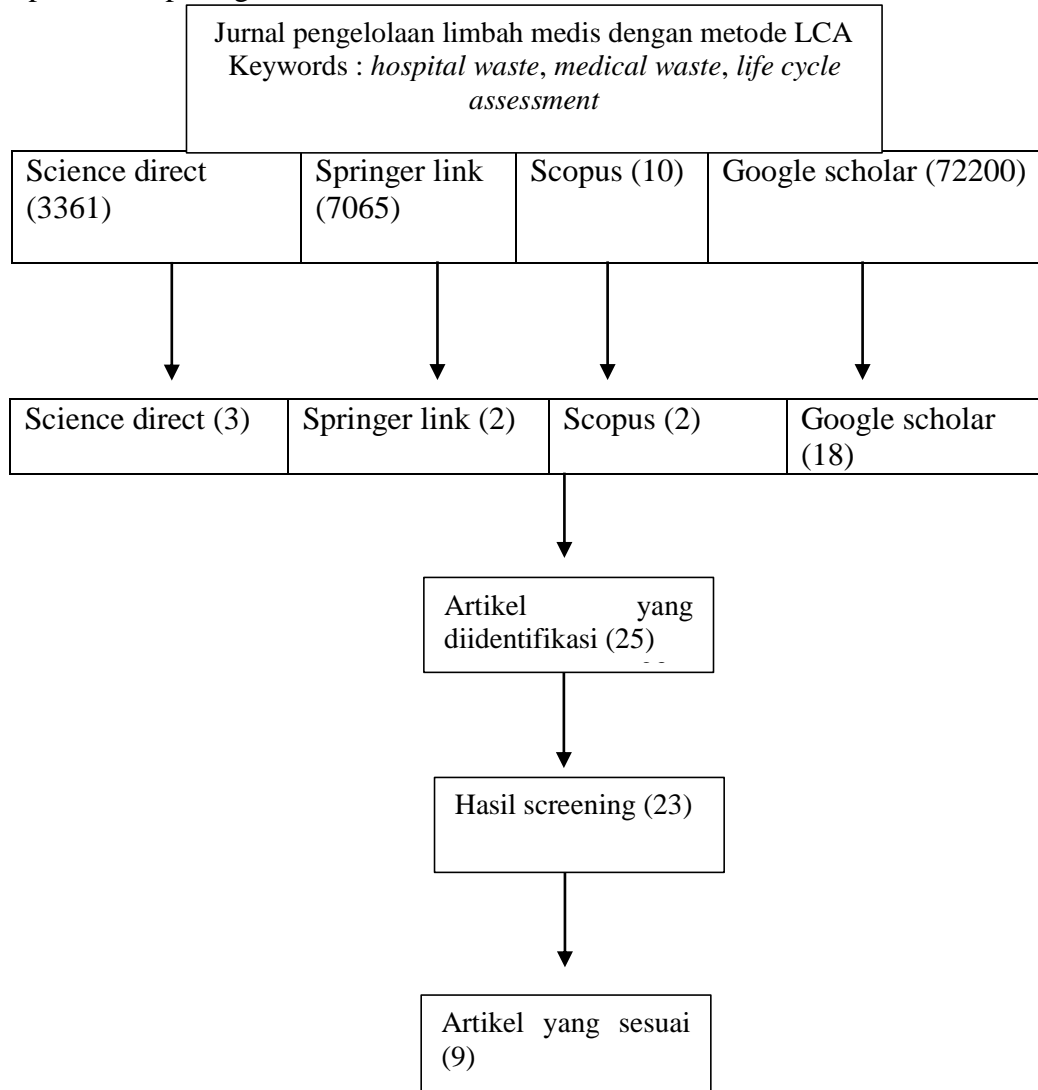
Life Cycle Assessment (LCA) diakui sebagai metode yang tepat dan efisien untuk menganalisis dampak lingkungan dari setiap kegiatan, sehingga hasil *assessment* dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan untuk memilih teknologi yang tepat dan ramah lingkungan. Dengan mempertimbangkan beberapa skenario pengelolaan limbah medis yang diteliti menggunakan LCA, akan didapatkan hasil perhitungan setiap kategori dampak pada kesehatan manusia, ekosistem serta penggunaan sumber daya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa LCA menjadi cara yang efisien untuk memperkirakan dampak emisi lingkungan yang dihasilkan pada setiap skenario pengelolaan limbah medis, sehingga menjadi pertimbangan dalam menentukan cara pengelolaan limbah medis yang tepat untuk mendukung SDG's (*Sustainable Development Goals*).

Metode *assessment* menggunakan LCA dapat dipilih untuk mengevaluasi dampak yang dihasilkan dari suatu proyek atau produk atau jasa terhadap lingkungan termasuk salah satunya adalah mengetahui potensi risiko dari pengelolaan limbah yang akan terjadi, konsumsi energi yang digunakan serta bahan baku yang diperlukan selama proses produksi melalui 4 (empat) tahap sesuai ISO 14040, antara lain : penentuan tujuan dan ruang lingkup, analisis inventori, analisis dampak dan interpretasi. Dokumen LCA juga dapat diintegrasikan sebagai upaya untuk menurunkan dampak lingkungan dalam pemanfaatan sumber daya serta peningkatan kinerja lingkungan melalui efisiensi energi, penurunan emisi, pengurangan dan pemanfaatan limbah B3, pengolahan limbah non B3 (termasuk pengolahan *reduce, reuse* dan *recycle*), efisiensi pemakaian air dan penurunan beban pencemaran ke lingkungan.⁷

METODE

Tinjauan literatur review terhadap penelitian dalam pengelolaan limbah medis dilakukan untuk mengetahui seberapa penting dan bermanfaatnya *assessment* risiko dalam rangkaian pengelolaan limbah medis menggunakan metode *life cycle assessment*. Pencarian artikel dilakukan dengan menggunakan kata kunci *hospital medical waste and life cycle assessment* di berbagai link jurnal bereputasi seperti : *science direct, springer link, scopus* dan *google scholar*.

Hasil *screening* dengan inklusi artikel yang diterbitkan tahun 2013 sampai dengan tahun 2023, *hospital solid waste* dan hanya jurnal yang dapat diakses (*open acces*), maka didapatkan dari 25 jurnal yang diidentifikasi hanya 9 jurnal yang sesuai dengan tujuan penelitian dalam literatur review ini. Alur pencarian jurnal dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Alur pencarian jurnal

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Tabel 1. Hasil literatur review analisis dampak risiko pengelolaan limbah medis menggunakan metode *life cycle assessment*

Judul	Tahun	Peneliti	Metode	Hasil Penelitian
<i>Healthcare waste in Bangladesh : Current status, the impact of covid-19 and</i>	2023	Musfekur Rahman Dihan, et al	Model regresi linier	Penerapan siklus daur hidup dan sirkular ekonomi diharapkan mampu mengendalikan produksi limbah medis menjadi sistem pengelolaan limbah medis

<p><i>sustainable management with life cycle and circular economy framework</i></p>			<p>berkelanjutan dengan beberapa cara antara lain :</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Pelatihan yang tepat tentang pengelolaan limbah medis b. Mengusulkan kebijakan terkait peraturan pengelolaan limbah medis yang ketat c. Alokasi biaya untuk penelitian terstruktur d. Implementasi kemitraan dengan publik swasta untuk mengurangi dan mengendalikan produksi limbah medis. <p>Metode sirkular ekonomi sangat mungkin untuk dikembangkan dan diterapkan di fasilitas pelayanan kesehatan melalui berbagai cara, seperti : penggunaan material yang ramah lingkungan, menghindari penggunaan alat-alat2 kesehatan sekali pakai, penerapan sterilisasi dan desinfeksi yang tepat untuk mencegah terjadinya infeksi pada pasien, kegiatan daur ulang limbah. Kerjasama yang baik antara pemerintah, fasilitas pelayanan Kesehatan serta perusahaan yang memasok alat-alat Kesehatan dalam penerapan sirkular ekonomi sangat dibutuhkan untuk mendukung pelaksanaan sirkular ekonomi</p>
<p><i>A preliminary life cycle assessment on healthcare waste management in Chittagong City Bangladesh</i></p>	<p>2019</p>	<p>O. Alam, et al</p>	<p>Studi dengan metode LCA</p> <p>Dampak risiko yang diukur dalam studi LCA ini adalah Pemanasan global, toksisitas pada manusia, ekotoksitas pada air, ekotoksitas pada tanah.</p> <p>Rata-rata, pengelolaan limbah yang mengakibatkan dampak terhadap lingkungan dan Kesehatan masyarakat secara umum adalah pembakaran terbuka, pembuangan ilegal dan <i>dumping</i>.</p> <p>Pengelolaan limbah dari fasilitas pelayanan kesehatan yang diusulkan untuk diterapkan dan memiliki dampak rendah terhadap lingkungan antara lain : pemilahan limbah yang tepat,</p>

				<p>komposting, insinerasi dengan pemanfaatan energi dan <i>sanitary landfill</i>. Hasil studi LCA dapat dijadikan dasar dalam menentukan kebijakan dalam pengelolaan limbah dari fasilitas Kesehatan sehingga limbah yang dihasilkan dapat dikelola dengan baik dan ramah lingkungan. Dengan pengelolaan limbah yang tepat dan ramah lingkungan, maka dampak buruk dari pengelolaan limbah terhadap lingkungan dan Kesehatan masyarakat dapat dikendalikan.</p>
<p><i>Life Cycle Assessment of Municipal Solid Waste Management System in Vyas Municipality, Tanahun, Nepal</i></p>	2014	Ramesh Chaudary, et al	Studi dengan metode LCA	<p>Sampah yang dihasilkan di Nepal didominasi oleh sampah organik sekitar 75% dan sampah an organik seperti kaca, plastik, limbah medis dan lain-lain sebesar 25%. Kenaikan timbulan sampah perkotaan di Nepal diakibatkan Adanya teknologi dan penggunaan material baru serta perubahan pola konsumsi masyarakat. Efisiensi pemilahan bahan daur ulang sampah termasuk plastik, kertas, dan kaca diasumsikan masing-masing 20%, 60% dan 80%. Studi LCA yang diukur adalah dampak potensial seperti : pemanasan global, penipisan lapisan ozon, pengayaan nutrisi, toksisitas manusia melalui tanah, air dan udara, serta ekotoksitas pada air dan tanah, pengasaman. Berdasarkan hasil analisis LCA pada skenario 1 dapat disimpulkan bahwa selama periode 100 tahun, dampak potensial terjadi adalah toksisitas manusia dan ekotoksitas pada air. Hal tersebut terjadi karena pembuangan sampah secara illegal di bantaran sungai Madi. Kajian LCA menunjukkan bahwa kontribusi terbesar (dampak langsung) terhadap kesehatan</p>

				lingkungan adalah karena pembuangan sampah secara langsung di bantaran sungai Secara umum hasil studi LCA menunjukkan bahwa skenario 2 jauh lebih baik dibandingkan skenario 1 karena menghasilkan dampak yang rendah terhadap Kesehatan manusia dan lingkungan dibandingkan skenario 1. Pengomposan sampah organik merupakan system pengelolaan sampah yang baik yang dapat diterapkan dalam pengelolaan sampah kota di Kotamadya Vyas.
<i>Environment impact and cost analysis</i>	2021	Setia Megawati Hutajulus, et al	Studi dengan metode LCA	Studi LCA dilakukan pada 3 rumah sakit yang berada di Deli Serdang Sumatera Utara Skenario 1 → limbah yang diolah menggunakan incinerator Skenario 2 → limbah yang diolah menggunakan <i>autoclave</i> Skenario 3 → limbah yang ditangani dengan desinfeksi kimia Berdasarkan analisis dampak risiko menggunakan LCA dapat disimpulkan bahwa teknologi pengolahan limbah menggunakan incinerator menghasilkan dampak tertinggi pada pemanasan global dan toksisitas pada manusia. Sedangkan teknologi pengolahan dengan desinfeksi kimia memiliki dampak paling rendah terhadap pemanasan global dan toksisitas manusia. Akan tetapi bila dilihat dari segi efisiensi biaya, incinerator termasuk teknologi pengolah limbah yang paling efisien dibandingkan <i>autoclave</i> dan desinfeksi kimia. Sedangkan teknologi pengolahan limbah dengan <i>autoclave</i> merupakan teknologi yang paling tinggi biaya operasionalnya.
<i>Life cycle assesment of Tehran municipal solid waste during the</i>	2023	Sakine Shekoochian, et al	Studi dengan metode LCA	Skenario terbaik dalam mengatasi masalah pengelolaan limbah padat di Teheran adalah dengan pemilahan limbah di sumber sebaik mungkin dan

<p><i>covid-19 pandemic and environmental impacts prediction using machine learning</i></p>				<p>meningkatkan jumlah limbah daur ulang menjadi 20%. Peningkatan jumlah limbah daur ulang dapat dilakukan dengan melengkapi sarana dan prasarana dalam mesin pengolah limbah daur ulang di Aradkouh. Berdasarkan hasil LCA juga diketahui bahwa diperlukan perbaikan dalam manajemen pengelolaan limbah padat di kota Teheran yaitu dengan peningkatan infrastruktur manajemen pengelolaan limbah padat melalui teknologi limbah daur ulang yang lebih efisien.</p>
<p><i>Comparison of incineration and autoclave methods in the treatment of medical wastes through life cycle assessment: A case study for Istanbul</i></p>	<p>2021</p>	<p>Ozge K�yl�c, et al</p>	<p>Studi dengan metode LCA</p>	<p>Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode pengolahan limbah dengan insinerasi tetap lebih tinggi risikonya dibandingkan dengan metode sterilisasi, sehingga Langkah yang tepat perlu dipertimbangkan untuk mengurangi dampak lingkungan seperti : efisiensi konsumsi listrik, mengurangi penggunaan bahan kimia, memilih teknologi energi bersih dan menggunakan teknologi untuk pemulihan energi. LCA digunakan untuk menentukan berbagai dampak lingkungan pada kategori sedang, sehingga dapat ditentukan skenario alternatif untuk kondisi saat ini. Studi penelitian menunjukkan bahwa pemulihan energi merupakan faktor penting dalam mengurangi beban lingkungan secara keseluruhan.</p>
<p><i>Environmental Performance of Alternative Hospital Waste Management Strategies Using Life Cycle Assessment (LCA) Approach</i></p>	<p>2022</p>	<p>Muhammad Hammad Mustaq, et al</p>	<p>Studi dengan metode LCA</p>	<p>Isu-isu dalam pengelolaan limbah medis, seperti : tingginya timbulan limbah medis yang dihasilkan dan kurangnya ketersediaan insinerator sebagai alat pengolah limbah medis menjadi permasalahan yang perlu menjadi perhatian dalam pengelolaan limbah medis di Pakistan. Tingginya persentase jumlah</p>

				<p>limbah daur ulang yang dihasilkan di 5 rumah sakit Pakistan yang dipilih menjadi tempat penelitian, menjadi salah satu pilihan yang paling efisien dan ramah lingkungan dalam pengelolaan limbah medis.</p> <p>Pemilahan limbah medis di sumber menjadi kunci utama keberhasilan pengelolaan limbah medis dengan daur ulang. Ini harus diimbangi dengan pengetahuan staf yang memadai terkait pengelolaan limbah, agar timbulan limbah medis yang diolah di insinerator berkurang, dengan memaksimalkan metode daur ulang.</p>
<i>Comparative life cycle assessment of emergency disposal scenarios for medical waste during the COVID-19 pandemic in China</i>	2021	Hailong Zhao, et al	Studi dengan metode LCA	<p>Pengolahan sampah kota (domestik) melalui pembakaran terpusat menggunakan incinerator menghasilkan dampak lingkungan lebih rendah dibandingkan dengan pembakaran limbah B3 terpusat menggunakan insinerator karena membutuhkan konsumsi energi yang cukup tinggi.</p> <p>Pengolahan limbah B3 dengan metode <i>autoclave</i> dan <i>sterilwave</i> yang kemudian dilanjutkan dengan pembakaran terpusat bersama dengan sampah domestik perkotaan lainnya menjadi sangat efektif karena dapat mengurangi penggunaan listrik sehingga disimpulkan dapat mengurangi dampak terhadap lingkungan.</p> <p>Jumlah limbah medis yang dihasilkan, kebutuhan ruang, fasilitas yang ada di sekitar dan dampak ekonomi harus dipertimbangkan untuk pemilihan skenario pembuangan darurat.</p>
<i>Analysis of hazardous medical waste in dr. Soehadi Prijonegoro hospital using a</i>	2023	Baku Kusuma Adi, Tri Joko, Onny Setiani	Studi deskriptif kualitatif dengan LCA	Hasil penelitian analisis gate to gate dengan pendekatan <i>life cycle assessment</i> pada pengelolaan limbah B3 rumah sakit menunjukkan bahwa dampak yang paling signifikan

<p><i>life cycle assessment approach</i></p>			<p>terhadap ekosistem adalah potensi pemanasan global di IGD, sedangkan dampak terhadap sumber daya dan ekosistem ada di ruang rawat inap akibat limbah medis yang berlebihan. Penilaian daur hidup menjadi salah satu metode yang menarik untuk digunakan dalam penilaian dampak lingkungan dari setiap tahapan produksi. Metode ini juga dapat digunakan untuk menentukan alternatif teknologi terbaik yang memberikan dampak lingkungan seminimal mungkin untuk membantu dalam pengambilan keputusan.</p>
--	--	--	---

Pembahasan

Pandemi covid-19 telah merubah komposisi dan jenis limbah yang dihasilkan bukan hanya di rumah sakit, melainkan juga di perkotaan. Oleh karena itu diperlukan identifikasi terhadap jenis serta timbulan limbah yang dihasilkan untuk menentukan langkah yang tepat dalam mengelola limbahnya. Dampak bahaya dan risiko limbah medis yang dihasilkan oleh fasilitas pelayanan Kesehatan ataupun isolasi mandiri pasien covid dapat terjadi jika pengelolaan limbah medis tidak dilakukan dengan tepat seperti : pembuangan illegal tanpa pengolahan dan pembakaran terbuka (*open dumping*).⁸

Kebijakan dalam pengelolaan limbah medis serta sumber daya yang mumpuni perlu menjadi perhatian agar bahaya risiko limbah medis dapat dikurangi. Strategi dalam pengurangan timbulan limbah medis juga harus dilakukan oleh setiap layanan kesehatan melalui pemilahan limbah yang tepat, karena dengan mengurangi timbulan limbah medis maka layanan kesehatan juga mendapatkan efisiensi biaya dari kegiatan tersebut.⁹

Pengelolaan limbah medis dilakukan sejak limbah dihasilkan mulai dari pemilahan limbah, pengemasan, pengumpulan, pengangkutan limbah ke TPS sampai ke pengolahan akhir. Pengurangan timbulan limbah medis merupakan tanggung jawab setiap penghasil limbah yang dilakukan pada tahap pemilahan. Dengan pemilahan limbah yang tepat, timbulan limbah medis akan berkurang, sehingga hanya limbah medis yang memiliki sifat infeksius dan berbahaya yang akan ditangani sebagai limbah B3. Pemilihan penggunaan material yang dapat digunakan berulang kali dengan proses sterilisasi dan desinfeksi yang tepat sebelum digunakan kembali untuk mencegah terjadinya infeksi pada pasien juga merupakan sebuah upaya untuk mengurangi biaya pengelolaan limbah. Pemanfaatan energi dari system pengolahan limbah serta upaya perbaikan terhadap kerusakan pada material dibandingkan dengan pembelian material baru merupakan berbagai upaya untuk melaksanakan sirkular ekonomi. Upaya dalam melakukan sirkular ekonomi berdampak positif selain untuk mengurangi timbulan limbah, efisiensi biaya pengolahan limbah juga sebagai pendapatan bagi fasilitas layanan kesehatan.¹⁰ Langkah tepat dalam pengelolaan limbah harus menjadi

pertimbangan antara lain : efisiensi dalam penggunaan energi listrik, mengurangi penggunaan bahan kimia, pemilihan teknologi bersih (*green technology*) dan penggunaan teknologi dalam pemulihan energi.¹¹ pemilihan teknologi limbah daur ulang dapat diterapkan pada pengelolaan limbah medis rumah sakit, karena timbulan limbah daur ulang yang dihasilkan di rumah sakit cukup tinggi. Teknologi pengelolaan limbah daur ulang juga merupakan teknologi bersih berkelanjutan yang ramah lingkungan.¹²

Metode LCA dapat digunakan untuk menganalisis risiko dari setiap metode pengelolaan limbah, sehingga dapat ditentukan teknologi pengolahan limbah yang paling ramah lingkungan dan efisien.

KESIMPULAN

Analisis risiko dampak melalui metode LCA sangat dibutuhkan dalam menganalisis risiko pengelolaan limbah yang dihasilkan dari fasilitas layanan kesehatan. Hasil analisis melalui metode LCA dapat menjadi acuan dalam menetapkan kebijakan pengelolaan limbah medis yang akan dipilih. Berbagai keuntungan menggunakan metode LCA dalam menganalisis risiko pengelolaan limbah antara lain :

1. Dapat diketahui tingkat risiko yang akan didapatkan dari seluruh tahap kegiatan pengelolaan limbah
2. Dapat menetapkan prosedur pengelolaan limbah untuk mengurangi potensi risiko yang dihasilkan terhadap kesehatan lingkungan
3. Sebagai *policy brief* bagi pimpinan rumah sakit dalam memilih metode pengelolaan limbah yang tepat dan ramah lingkungan
4. Hasil metode LCA juga dapat digunakan untuk menentukan metode pengelolaan limbah daur ulang sebagai upaya dalam melakukan sirkular ekonomi

Berdasarkan kesimpulan di atas, maka metode LCA dapat menjadi salah satu pilihan dalam melakukan analisis risiko dampak serta dalam melakukan pemilihan metode pengelolaan limbah yang tepat, aman dan ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Kumar, V., Gaurav, G., Khan, V., Choudhary, S. & Dangayach, G. S. Life cycle assessment and its application in medical waste disposal. *Mater. Today Proc.* (2023) doi:10.1016/j.matpr.2022.12.255.
- Kenny, C. & Priyadarshini, A. Review of current healthcare waste management methods and their effect on global health. *Healthc.* **9**, (2021).
- Agency, U. S. E. P. Medical Waste. *United States Environmental Protection Agency* <https://www.epa.gov/rcra/medical-waste> (2023).
- Adhani, R. *Pengelolaan Limbah Medis. Global Shadows: Africa in the Neoliberal World Order* vol. 44 (2018).
- Nabavi-Pelesaerai, A., Mohammadkashi, N., Naderloo, L., Abbasi, M. & Chau, K. wing. Principal of environmental life cycle assessment for medical waste during COVID-19 outbreak to support sustainable development goals. *Sci. Total Environ.* **827**, 154416 (2022).
- Luthfia, A., Abfertiawan, M. S., Nuraprianisandi, S. & Pranoto, K. Penggunaan Life Cycle Assessment dalam Penilaian Resiko Dampak Lingkungan dan

- Pemilihan Alternatif Teknologi di Pertambangan Batubara Indonesia. *Pros. Semin. Nas. Tek. Lingkung. Kebumihan Ke-II* 160–174 (2020).
- KLHK. Pedoman Penyusunan Laporan Penilaian Daur Hidup (LCA). *Direktorat Jendral Pengendali. Pencemaran dan Kerusakan Lingkung.* 1–82 (2021).
- Alam, O. & Mosharraf, A. A preliminary life cycle assessment on healthcare waste management in Chittagong City, Bangladesh. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* **17**, 1753–1764 (2020).
- Khan, B. A., Cheng, L., Khan, A. A. & Ahmed, H. Healthcare waste management in Asian developing countries: A mini review. *Waste Manag. Res.* **37**, 863–875 (2019).
- Dihan, M. R. *et al.* Healthcare waste in Bangladesh: Current status, the impact of Covid-19 and sustainable management with life cycle and circular economy framework. *Sci. Total Environ.* **871**, 162083 (2023).
- Kılıç, O. & Kuzu, S. L. Comparison of incineration and autoclave methods in the treatment of medical wastes through life cycle assessment: A case study for Istanbul. *Environ. Res. Technol.* **4**, 157–164 (2021).
- Mushtaq, M. H. *et al.* Environmental Performance of Alternative Hospital Waste Management Strategies Using Life Cycle Assessment (LCA) Approach. *Sustain.* **14**, (2022).