

Teknologi Insinerasi Sebagai Solusi Pengolahan Sampah Perkotaan dan Pemulihan Energi: A Review

M. Idris¹, Martomo Setyawan^{1*}, Zahrul Mufrodi¹

Departemen Magister Teknik Kimia, Universitas Ahmad Dahlan, Jl. Jend. Ahmad Yani, Banguntapan, Bantul, Yogyakarta, Indonesia, 55166

*Corresponding Author: martomo.setyawan@che.uad.ac.id

Abstrak

Penanganan peningkatan volume sampah perkotaan yang signifikan menjadi isu kritis di banyak kota besar, terutama karena kurangnya penerapan sistem pengelolaan sampah yang baik. Artikel ini menjelaskan bahwa salah satu solusi teknologi yang dapat digunakan adalah melalui proses insinerasi, sebuah metode pengolahan sampah dengan pembakaran pada suhu 850°C sampai 1200°C. Saat ini, proses insinerasi masih jarang diterapkan di negara berkembang. Gambaran umum tentang proses ini dan faktor-faktor yang memengaruhinya seperti suhu, komposisi sampah, laju alir udara, kadar air, waktu tinggal serta proses pencampuran bahan bakar dan udara memiliki peranan penting dalam meningkatkan efisiensi proses. Proses ini tidak hanya mengurangi volume sampah sampai 90% lebih, tetapi juga dapat menghasilkan energi panas yang dapat dikonversi menjadi energi listrik dan hasil samping pembakaran berupa abu dapat digunakan sebagai bahan konstruksi. Pemahaman mendalam ini diharapkan dapat membantu implementasi yang baik dari teknologi insinerasi dalam penanganan sampah di kota-kota besar, mengarah pada pengolahan sampah yang lebih efisien dan memulihkan energi yang dapat digunakan secara produktif.

Kata kunci: efisiensi, energi, insinerasi, sampah.

Abstract

Handling the significant increase in urban waste volume has become a critical issue in many large cities, especially due to the lack of implementation of a good waste management system. This article explains that one technological solution that can be used is through the incineration process, a method of processing waste by burning it at a temperature of 850°C to 1200°C. Currently, the incineration process is still rarely applied in developing countries. An overview of this process and the factors that influence it such as temperature, waste composition, air flow rate, water content, residence time and the process of mixing fuel and air have an important role in increasing process efficiency. This process not only reduces the volume of waste by more than 90%, but can also produce heat energy which can be converted into electrical energy and the by-product of combustion in the form of ash can be used as construction material. It is hoped that this in-depth understanding can help the good implementation of incineration technology in waste handling in big cities, leading to more efficient waste processing and recovering energy that can be used productively.

Keywords: efficiency, energy, incineration, waste.

PENDAHULUAN

Beberapa kota besar merupakan penyumbang potensial penimbunan sampah karena banyak kota belum menerapkan sistem pengelolaan sampah yang baik. Hal ini menjadi masalah karena sampah perkotaan biasanya

menimbulkan timbunan karena volumenya yang besar (Abdel-Shafy & Mansour, 2018; Farid & Wibowo, 2021). Volume sampah yang dihasilkan dari wilayah perkotaan meningkat pesat sebagai akibat dari bertambahnya populasi manusia dan pesatnya urbanisasi. Bank Dunia memperkirakan bahwa sampah padat yang

dihasilkan dari wilayah perkotaan akan meningkat dari sekitar 3,5 juta ton per hari yang dihasilkan saat ini menjadi 6,1 juta ton per hari pada tahun 2025 (Makarichi dkk., 2018). Sampah padat perkotaan atau biasa dikenal *municipal solid waste* (MSW) adalah sampah yang dibuang sehari-hari oleh masyarakat dan terdiri dari barang-barang seperti makanan, kertas dan karton, sampah taman, kayu, plastik, karet, kulit, tekstil, logam, kaca, dan sampah tidak mudah terbakar lainnya (Dong dkk., 2016). Komposisi dan sifat MSW sangat bervariasi, namun dalam banyak kasus, bagian terbesarnya adalah sisa makanan, diikuti oleh bahan tidak mudah terbakar, kertas dan karton, serta plastik (Kaza dkk., 2018; Makarichi dkk., 2019; Zhou dkk., 2014). Lebih khusus lagi, variabilitas MSW merupakan konsekuensi dari banyak faktor, seperti status ekonomi, preferensi budaya, iklim dan kebijakan pengelolaan sampah lokal (Nas & Bayram, 2008; Zhou dkk., 2014). Oleh karena itu diperlukan suatu teknologi pengolahan sampah.

Salah satu teknologi pengolahan sampah yaitu dengan sistem termal. Teknologi ini memberikan keuntungan karena bisa mengurangi jumlah sampah yang besar dalam waktu yang relatif singkat. Pilihan teknologi yang tepat dalam proses termal dapat membantu mengurangi polusi yang disebabkan oleh gas buang. Pembakaran (insinerasi) merupakan suatu teknologi pengolahan sampah dengan sistem termal (Jamilatun dkk., 2023). Karena keterbatasan lahan sebagai tempat pembuangan akhir maka teknologi secara insinerasi ini digunakan (Jamine & Hermana, 2020).

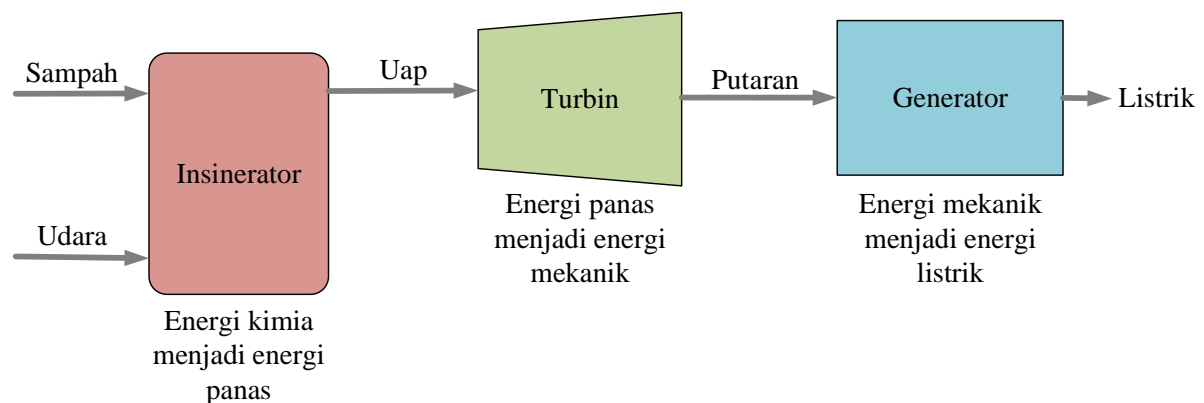
Insinerasi MSW memainkan peran penting tidak hanya dalam mengelola peningkatan volume sampah tetapi juga dalam memulihkan energi yang dapat digunakan untuk menambah pasokan energi terbarukan. Insinerator adalah peralatan atau unit pembakar sampah. Insinerator dapat diklasifikasikan berdasarkan segi kegunaan: insinerator dapat digunakan sebagai pemusnah sampah dengan membuang panas dari hasil pembakaran sampah atau insinerator dapat digunakan menjadi energi listrik dengan mengkonversi panas yang dihasilkan dari pembakaran sampah (Yusuf dkk., 2019). Dengan lebih dari 80% pasokan energi primer global dipenuhi dari bahan bakar fosil. Insinerasi MSW dapat memainkan peran penting dalam mengimbangi konsumsi bahan

bakar fosil dan meningkatkan pasokan energi terbarukan sekaligus membantu pengolahan sampah (Makarichi dkk., 2018).

Saat ini teknologi insinerasi untuk pengolahan sampah kota masih jarang digunakan di negara berkembang (Yuliani, 2016). Untuk mencapai tujuan ini, diperlukan suatu gambaran umum tentang teknologi insinerasi dan faktor-faktor yang mempengaruhi proses insinerasi sehingga menjadi solusi permasalahan sampah kota dan pemulihan energi.

INSINERASI

Insinerasi merupakan suatu teknologi pengolahan sampah dengan cara pembakaran senyawa yang terkandung pada material sampah. Proses insinerasi memungkinkan transformasi energi kimia yang terkandung dalam limbah menjadi energi panas, dengan menggunakan udara berlebih, pada suhu antara 850°C sampai 1200°C (Lisbona dkk., 2023). Proses ini lebih ramah lingkungan daripada proses pembakaran dengan sistem terbuka seperti yang sering masyarakat lakukan (Yuniar & Santosa, 2022). Saat ini, ada beberapa teknologi insinerasi yaitu insinerator *fluidized bed*, *rotary kiln* dan *moving grate* (Makarichi dkk., 2018), dimana telah digunakan di 80% pabrik *waste to energy* (WTE) di seluruh dunia (Jurczyk dkk., 2016). Banyak sampah yang dapat digunakan dalam proses insinerasi, beberapa contohnya adalah limbah padat perkotaan, limbah kehutanan dan pertanian, limbah kertas, dan lumpur limbah (Chen dkk., 2020; Yang dkk., 2021). Salah satu kelemahan sistem pembakaran insinerasi adalah bahwa mereka membutuhkan banyak energi sebagai pemanas sampah. Namun, sistem insinerasi memiliki keunggulan, karena mereka dapat mengurangi sebesar 90% lebih volume sampah dengan waktu pembakaran yang singkat dan mampu mendetoksifikasi bahan patogen sampai 100% (Jamine & Hermana, 2020; Susastrio dkk., 2020). Selain mengurangi volume sampah, pengolahan dengan insinerator juga dapat digunakan sebagai metode pemulihan energi, di mana panas dari hasil pembakaran sampah dikonversi menjadi energi listrik (Gupta & Mishra, 2015; Susastrio dkk., 2020). Gambar 1 menunjukkan proses pembakaran menjadi energi listrik.



Gambar 1. Proses insinerasi sampah menjadi energi listrik (Rachmasari et al., 2022).

Dalam proses pemulihan energi, insinerator membutuhkan alat khusus sehingga dapat mengubah sampah menjadi energi lain. Panas yang dihasilkan insinerator akan digunakan untuk menghasilkan uap yang dapat memutar turbin kemudian dikonversi menjadi listrik (Gupta & Mishra, 2015). Menurut Traven, fasilitas pemulihan energi ini menghasilkan listrik sebesar 2 MJ/ton sampah (Traven, 2023). Sedangkan dari Gupta dan Mishra, pemulihan energi dari insinerator

menghasilkan panas sebesar 1.430 MW/h dan energi listrik sebesar 480 MWh/h dari 100 ton/h sampah. Gas buang yang berbahaya diolah dan kemudian dilepaskan ke atmosfer (Gupta & Mishra, 2015). Produk sampingannya yang berupa abu residu pembakaran dapat dimanfaatkan kembali sebagai bahan konstruksi (Gupta & Mishra, 2015; Yuniar & Santosa, 2022). Pada tabel 1 menyediakan produk insinerasi dari berbagai jenis sampah.

Tabel 1. Produk insinerasi dari berbagai jenis sampah.

Jenis Sampah	Sumber Sampah	Hasil	Ref.
Sampah organik	Dapur, restoran dan pasar	Biogas, pupuk organik	(Arinih, 2019)
Sampah plastik	Rumah tangga dan industri	Listrik dan energi panas	(Gupta & Mishra, 2015; Jamine & Hermana, 2020)
Sampah kayu	Konstruksi dan industri	Listrik, energi panas dan briket	(Dwi Gita Anggagana dkk., 2023)
Sampah kertas	Kantor dan sekolah	Listrik dan energi panas	(De Greef dkk., 2013; Pujotomo, 2016)

Kualitas dan kuantitas bahan bakar sampah harus diperhatikan selama proses insinerasi. Menurut Yuliani (Yuliani, 2016) ada 2 persyaratan yang harus dipenuhi sebelum sampah dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk proses insinerasi antara lain:

1) Bahan bakar sampah harus memiliki nilai kalori sebesar 7 MJ/kg. Jika nilai kalori sampah kurang dari nilai ini, *pretreatment* diperlukan untuk meningkatkan nilai kalori dan melanjutkan proses insinerasi.

2) Proses insinerasi sampah harus memiliki pasokan yang stabil setiap tahun sebesar 50.000 ton.

Untuk membuat insinerator pengolah sampah, maka harus memiliki gambaran jangka panjang tentang jumlah sampah yang akan dihasilkan. Selain itu komposisi, sumber, dan nilai kalor sampah perlu untuk diperhatikan (Junaidi dkk., 2021). Kisaran nilai kalor dalam hasil insinerator dari berbagai jenis sampah kota disajikan dalam tabel 2.

Tabel 2. Kisaran nilai kalori dalam hasil insinerator dari berbagai jenis sampah kota.

Jenis Sampah	Nilai Kalor (kJ/kg)	Ref.
Sampah komersial dan industri	7.600 - 12.600	(Yuliani, 2016)

Sampah organik dan makanan	6.300 - 11.590	(Amber dkk., 2012; Yuliani, 2016)
Minyak bekas	33.600 - 42.000	(Yuliani, 2016)
<i>Bulky waste</i>	10.500 - 16.800	(Yuliani, 2016)
Limbah lumpur (75% kandungan air)	1.200	(Yuliani, 2016)
Kertas	10.140	(Amber dkk., 2012)
Plastik	14.890	(Amber dkk., 2012)
<i>Cardboard</i>	11.033	(Amber dkk., 2012)

FAKTOR - FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PROSES INSINERASI Suhu

Suhu pada saat proses insinerasi sangat dipengaruhi oleh jenis komponen sampah, desain insinerator, pasokan udara, bahan bakar tambahan dari luar dan pengaturan insinerasi (Farid & Wibowo, 2021; Junaidi dkk., 2021). Insinerasi sempurna memerlukan suhu tinggi, biasanya lebih dari 650°C (Jamine & Hermana, 2020). Untuk sampah medis karena banyak mengandung zat berbahaya, insinerasi dapat dilakukan pada suhu sekitar 1000°C, yang dapat menghasilkan lebih sedikit abu selama proses (Utami dkk., 2018).

Waktu Tinggal

Dalam pembakaran sempurna waktu tinggal berpengaruh, yaitu waktu yang diperlukan untuk memastikan bahwa campuran udara dan bahan bakar tercampur secara sempurna agar dapat bereaksi secara stokiometris. Untuk mencapai pembakaran yang sempurna pada suhu rendah dengan turbulensi campuran yang rendah serta nilai kalor yang rendah pada sampah akan menyebabkan waktu tinggal yang lebih lama (Jamine & Hermana, 2020). Rasio kadar oksigen juga berpengaruh dalam lama waktu tinggal, dimana dibutuhkan waktu untuk memenuhi kebutuhan oksigen sehingga tercapai reaksi stokiometris dalam insinerator (Naryono dkk., 2015). Dalam pengoperasian insinerator waktu tinggal berpengaruh waktu

tinggal dan produk yang dihasilkan, karena semakin tinggi suhu pembakaran dan waktu pembakaran yang lama sehingga menghasilkan lebih sedikit abu dan kuliatas abu serta asap yang lebih baik (Rohman & Muslimim Ilham, 2019).

Komposisi Sampah

Pengurangan massa sampah melalui proses insinerasi bergantung pada komposisi materi dan tingkat *recovery* (Ruslinda dkk., 2018). Komposisi kimia sampah, terutama kandungan karbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O) mempengaruhi temperature dan komposisi gas buang insinerasi (Jamine & Hermana, 2020; Wyn dkk., 2020). Keragaman komposisi sampah merupakan tantangan besar tidak hanya dalam perancangan dan pengoperasian insinerator. Di industri, komposisi MSW biasanya diperoleh melalui audit limbah standar (Kaza dkk., 2018), yang tidak mungkin dilakukan secara rutin jika MSW memasuki insinerator komersial. Dalam penelitian, kumpulan data komprehensif tentang karakteristik fisik dan kimia dari berbagai fraksi sampah serta kontribusinya dalam campuran sampah perkotaan tidak ada. Kekurangan ini menghambat para ilmuwan untuk mencapai kemajuan penuh dalam memperoleh wawasan yang lebih luas mengenai proses degradasi termal sampah (Hoang dkk., 2021). Tabel 3 menyajikan karakteristik MSW dari berbagai penelitian.

Tabel 3. Karakteristik MSW dari berbagai penelitian.

Analisis Proksimat				Analisis Ultimat					Nilai kalori LHV (MJ/kg)	Ref.
Volatile matter (%)	Kadar air (%)	Kadar abu (%)	Fixed carbon (%)	C	H	O	N	S		
79,7	3,3	9,1	7,2	63,6	8,19	27	0,4	0,1	15,98	(Azam dkk.,

										2020)
52,21	8,6	24,42	24,48	22,78	5,92	46,73	0,28	0,07	11,48	(Beyene dkk., 2018)
51,28	7,55	16,34	24,83	60,17	6,44	15,22	1,51	0,32	26,42	(Cao dkk., 2019)
78,9	3	11,3	-	42,8	5,4	39,9	0,12	0,03	15,8	(Becidan dkk., 2021)
82,03	33,77	9,8	8,2	46,53	4,93	33	2,2	0,8	10,09	(Makarichi dkk., 2019)
62,49	51,66	17,46	20,05	43,13	5,11	35,74	-	-	15,92	(Naryono dkk., 2015)
73,8	9,2	4,2	12,8	48,4	6,3	29,2	0,8	0,3	22,5	(Dong dkk., 2016b)
32	36	23,8	8,2	50,2	5,8	42,3	0,97	0,63	32,05	(Hoang dkk., 2021)
32,2	52,24	15,57	-	17,84	2,34	10,98	0,42	0,1	-	(Lu dkk., 2017)
75,87	42,95	6,84	17,29	51,35	6,39	40,5	1,59	0,18	19,46	(Zhou dkk., 2014)

Laju Alir Massa Udara

Laju aliran udara secara langsung mempengaruhi jumlah oksigen yang diangkut ke bagian pembakaran. Peningkatan aliran udara meningkatkan ketersediaan oksigen dan meningkatkan reaksi oksidasi (Wyn dkk., 2020). Hal ini bermanfaat karena menyediakan panas yang diperlukan untuk mempertahankan panas reaksi, yang mencakup reaksi endotermik dan zona pengeringan (Yermán dkk., 2015). Sebuah studi yang dilakukan oleh Junaidi dkk (Junaidi dkk., 2021), menunjukkan bahwa peningkatan aliran udara dapat meningkatkan suhu pembakaran. Kelemahan

dari peningkatan laju aliran udara adalah karena aliran udara biasanya dimasukkan pada suhu sekitar. Ini berarti peningkatan aliran udara akan mengakibatkan peningkatan energi yang dibutuhkan untuk memanaskan udara yang disuntikkan (Wyn dkk., 2020).

Kadar Air

Kadar air yang terkandung dalam sampah juga mempengaruhi komposisi gas buang dan suhu insinerasi (Jamine & Hermana, 2020; Wyn dkk., 2020). Tabel 4 menyediakan pengaruh kadar air terhadap suhu pembakaran.

Tabel 4. Pengaruh kadar air terhadap suhu pembakaran (Jamine & Hermana, 2020).

Komponen Sampah (%)				Kadar air (%)	Suhu (°C)
Plastik	Kayu	Kain	Kardus dan kertas		
50	25	25	0	7,58	1.105,553
50	0	25	25	5,13	1.103,832
60	20	20	0	6,096	1.110,627
60	0	20	20	4,136	1.109,358
70	15	15	0	4,612	1.114,893
70	0	15	15	3,142	1.114,011
80	10	10	0	3,128	1.118,53
80	0	10	10	2,148	1.122,982

Dari table 4. terlihat kadar air yang terkandung dalam sampah berpengaruh terhadap suhu pembakaran, semakin kecil kadar air sampah yang dibakar maka suhu yang dihasilkan akan semakin besar. Komponen penyusun sampah

juga berpengaruh terhadap suhu pembakaran yang dihasilkan.

Proses Pencampuran Udara dan Bahan Bakar

Proses pencampuran gas yang terbakar dan udara yang baik akan menghasilkan suhu yang tinggi dan terjadilah proses pembakaran sempurna (Jamine & Hermana, 2020). Bahan bakar dan udara yang tercampur dalam ruang bakar memengaruhi proses insenerasi sampah. Proses pencampuran yang baik dapat membantu mencegah titik dingin di penumpukan dan ruang bakar (Yuliani, 2016). Tingkat pencampuran dipengaruhi oleh desain dari ruang pembakaran dan sistem injeksi udara insinerator. Pembakaran dengan sistem terbuka memiliki sirkulasi udara yang alami sehingga tidak terjadi proses pencampuran dengan baik. Selain itu, terlalu tingginya tumpukan sampah dapat menyebabkan tersumbatnya rongga aliran gas dan udara yang mudah terbakar. Proses pencampuran pada insinerator yang menggunakan *forced circulation* (sistem sirkulasi paksa) akan menghasilkan pembakaran secara sempurna (Jamine & Hermana, 2020).

SIMPULAN

Insinerasi adalah teknologi yang menjanjikan untuk mengelola sampah perkotaan dengan efisien. Proses ini memanfaatkan suhu tinggi (850°C-1200°C) untuk mengubah sampah menjadi energi panas yang dapat dikonversi menjadi listrik. Meskipun memiliki keuntungan seperti pengurangan volume sampah dan detoksifikasi bahan patogen, tantangan seperti komposisi sampah yang beragam dan faktor operasional seperti suhu, kadar air, dan laju udara perlu diatasi. Dengan dukungan kebijakan yang tepat, insinerasi memiliki potensi besar sebagai solusi yang efektif dalam mengelola sampah kota sambil mendaur ulang energi secara produktif.

SARAN

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait implementasi teknologi insenerasi dan faktor-faktor yang mempengaruhi prosesnya sehingga dapat memaksimalkan efisiensi dan pemulihan energi dari teknologi ini.

DAFTAR PUSTAKA

Abdel-Shafy, H. I., & Mansour, M. S. M. (2018). Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization. Dalam *Egyptian Journal of Petroleum* (Vol. 27, Nomor 4, hlm. 1275–

1290). Egyptian Petroleum Research Institute.

<https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.07.003>

Amber, I., Kulla, D. M., & Gukop, N. (2012). Generation, characteristics and energy potential of solid municipal waste in Nigeria. *Journal of Energy in Southern Africa*, 23(3), 47–51. <https://doi.org/10.17159/2413-3051/2012/v23i3a3172>

Arinih, C. (2019). Efisiensi Pembakaran Sampah Organik Dan Analisis Kualitas Limbah Yang Dihasilkan Alat Pembakar Sampah Tanpa Asap. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 1(1), 1–9.

Azam, M., Jahromy, S. S., Raza, W., Raza, N., Lee, S. S., Kim, K.-H., & Winter, F. (2020). Status, characterization, and potential utilization of municipal solid waste as. *Environment International*, 134, 1–9.

Becidan, M., Ditaranto, M., Carlsson, P., Bakken, J., Olsen, M. N. P., & Stuen, J. (2021). Oxyfuel combustion of a model MSW— an experimental study. *Energies*, 14(17).

<https://doi.org/10.3390/en14175297>

Beyene, H. D., Werkneh, A. A., & Ambaye, T. G. (2018). Current updates on waste to energy (WtE) technologies: a review. *Renewable Energy Focus*, 24, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2017.11.001>

Cao, Y., Fu, L., & Mofrad, A. (2019). Combined-gasification of biomass and municipal solid waste in a fluidized bed gasifier. *Journal of the Energy Institute*, 92(6), 1683–1688. <https://doi.org/10.1016/j.joei.2019.01.006>

Chen, L., Liao, Y., Ma, X., & Lu, S. (2020). Heavy metals chemical speciation and environmental risk of bottom slag during co-combustion of municipal solid waste and sewage sludge. *Journal of Cleaner Production*, 262. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121318>

De Greef, J., Villani, K., Goethals, J., Van Belle, H., Van Caneghem, J., & Vandecasteele, C. (2013). Optimising energy recovery and use of chemicals, resources and materials in modern waste-to-energy plants. *Waste Management*, 33(11), 2416–2424.

- <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.05.026>
- Dong, J., Chi, Y., Tang, Y., Ni, M., Nzihou, A., Weiss-Hortala, E., & Huang, Q. (2016a). Effect of Operating Parameters and Moisture Content on Municipal Solid Waste Pyrolysis and Gasification. *Energy and Fuels*, 30(5), 3994–4001. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.6b00042>
- Dong, J., Chi, Y., Tang, Y., Ni, M., Nzihou, A., Weiss-Hortala, E., & Huang, Q. (2016b). Effect of Operating Parameters and Moisture Content on Municipal Solid Waste Pyrolysis and Gasification. *Energy and Fuels*, 30(5), 3994–4001. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.6b00042>
- Dwi Gita Anggagana, Rizky Ramadani, & Ratna Mustika Yasi. (2023). Strategi Pengelolaan Limbah Kayu di Kawasan Pantai Mustika Pestanggaran Kabupaten Banyuwangi. *TEKIBA: Jurnal Teknologi dan Pengabdian Masyarakat*, 3(2), 40–45. <https://doi.org/10.36526/tekiba.v3i2.3140>
- Farid, A., & Wibowo, H. (2021). Analisis Kinerja Alat Pembakar Sampah Portable Dengan Pengatur Kecepatan Blower. *National Conference of Industry, Engineering and Technology*, 217–223.
- Gupta, S., & Mishra, R. S. (2015). Estimation of Electrical Energy Generation from Waste to Energy using Incineration Technology. *International Journal of Advance Research and Innovation*, 3(4), 631–634. <http://www.ijari.org>
- Hoang, Q. N., Vanierschot, M., Blondeau, J., Croymans, T., Pittoors, R., & Caneghem, J. Van. (2021). Review of numerical studies on thermal treatment of municipal solid waste in packed bed combustion. *Fuel Communications*, 7, 1–27. <https://doi.org/10.1016/j.jfueco.2021.10>
- Jamilatun, S., Pitoyo, J., & Setyawan, M. (2023). Technical, Economic, and Environmental Review of Waste to Energy Technologies from Municipal Solid Waste. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(3), 581–593. <https://doi.org/10.14710/jil.21.3.581-593>
- Jamine, Annisa. R., & Hermana, J. (2020). Kajian Pembakaran Sampah Plastik Jenis Polipropilena (PP) Menggunakan Insinerator. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2), 124–130.
- Junaidi, Kurniawan, E., & Lasmana, A. (2021). Analisis Laju Aliran Udara dan Laju Aliran Massa Bahan Bakar Terhadap. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 5(1), 17–23.
- Jurczyk, M., Mikus, M., & Dzedzic, K. (2016). Flue gas cleaning in municipal waste-to-energy plants part I. *Infrastruktura i Ekologia Terenow Wiejskich*. <https://doi.org/10.14597/infraeco.2016.4.1.086>
- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*.
- Lisbona, P., Pascual, S., & Pérez, V. (2023). Waste to energy: Trends and perspectives. *Chemical Engineering Journal Advances*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.ceja.2023.100494>
- Lu, J. W., Zhang, S., Hai, J., & Lei, M. (2017). Status and perspectives of municipal solid waste incineration in China: A comparison with developed regions. *Waste Management*, 69, 170–186. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.04.014>
- Makarichi, L., Jutidamrongphan, W., & Techato, K. anan. (2018). The evolution of waste-to-energy incineration: A review. Dalam *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 91, hlm. 812–821). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.088>
- Makarichi, L., Kan, R., Jutidamrongphan, W., & Techato, K. A. (2019). Suitability of municipal solid waste in African cities for thermochemical waste-to-energy conversion: The case of Harare Metropolitan City, Zimbabwe. *Waste Management and Research*, 37(1), 83–94. <https://doi.org/10.1177/0734242X18804029>
- Naryono, E., Atikah, Rachmansyah, A., & Soemarno. (2015). Simulasi dan Evaluasi Insinerasi Sampah Organik Rumah Tangga pada Reaktor Unggun Tetap (Fixed Bed). *Indonesian Green Technology Journal*, 10(1), 28–35.
- Nas, S. S., & Bayram, A. (2008). Municipal solid waste characteristics and

- management in Gümüşhane, Turkey. *Waste Management*, 28(12), 2435–2442. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.09.039>
- Pujotomo, I. (2016). Pemanfaatan Sampah Menjadi Sumber Energi. *Jurnal Energi & Kelistrikan*, 8(2), 108–113.
- Rachmasari, D., Marbun, R., Kirani, N. S., Ramadhan, R., Purwo, A., & Utomo, Y. (2022). Upaya Konservatif UNNES dalam Menyikapi Urgensi Krusial Climate Change di Lingkungan Kampus. *Indonesian Journal of Conservation*, 11(1), 22–28. <https://doi.org/10.15294/ijc.v11i1.36913>
- Rhohman, F., & Muslimim Ilham, M. (2019). Analisa dan Evaluasi Rancang Bangun Insinerator Sederhana dalam Mengelola Sampah Rumah Tangga. *Jurnal Mesin Nusantara*, 2(1), 52–60.
- Ruslinda, Y., Raharjo, S., & Putri, D. F. (2018). Kajian Teknologi Pengolahan Sampah Bahan Berbahaya dan Beracun Rumah Tangga (SB3-RT) di Kota Padang. *UMJ*, 17, 1–12.
- Susastrio, H., Ginting, D., Sinuraya, E. W., & Pasaribu, G. M. (2020). Kajian Incinerator Sebagai Salah Satu Metode Gasifikasi Dalam Upaya Untuk Mengurangi Limbah Sampah Perkotaan. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 1(1), 28–34. <https://doi.org/10.14710/jebt.2020.8137>
- Traven, L. (2023). Sustainable energy generation from municipal solid waste: A brief overview of existing technologies. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100491>
- Utami, R. D., Okayadnya, D. G., & Mirwan, M. (2018). Meningkatkan Kinerja Incinerator pada Pemusnahan Limbah Medis RSUD Dr. Soetomo Surabaya. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 7(2), 115–123.
- Wyn, H. K., Konarova, M., Beltramini, J., Perkins, G., & Yermán, L. (2020). Self-sustaining smouldering combustion of waste: A review on applications, key parameters and potential resource recovery. *Fuel Processing Technology*, 205. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2020.106425>
- Yang, W., Pudasainee, D., Gupta, R., Li, W., Wang, B., & Sun, L. (2021). An overview of inorganic particulate matter emission from coal/biomass/MSW combustion: Sampling and measurement, formation, distribution, inorganic composition and influencing factors. *Fuel Processing Technology*, 213. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2020.106657>
- Yermán, L., Hadden, R. M., Carrascal, J., Fabris, I., Cormier, D., Torero, J. L., Gerhard, I., Krajcovic, M., Pironi, P., & Cheng, Y.-L. (2015). Smouldering combustion as a treatment technology for faeces: exploring the parameter space 1. *Fuel*, 147, 108–116. <http://www.elsevier.com/open-access/userlicense/1.0/>
- Yuliani, M. (2016). Insenerasi Untuk Pengolahan Sampah Kota. *JRL*, 9(2), 89–96.
- Yuniar, R., & Santosa, J. M. J. P. (2022). Metode Insenerasi pada Fasilitas Pengolahan Sampah di Jakarta Timur. *Jurnal Sains, Teknologi, Urban, Perancangan, Arsitektur (Stupa)*, 3(2), 3165–3176. <https://doi.org/10.24912/stupa.v3i2.12400>
- Yusuf, N., Earnestly, F., Muchlisinalahuddin, Handradol, N., & Setiawan, R. (2019). Perancangan, Pembuatan dan Pengujian Kereta Pembakar Sampah. *Rang Teknik Journal*, 9(1), 101–108.
- Zhou, H., Meng, A., Long, Y., Li, Q., & Zhang, Y. (2014). An overview of characteristics of municipal solid waste fuel in China: Physical, chemical composition and heating value. Dalam *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 36, hlm. 107–122). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.024>