

IMPLEMENTASI ARSITEKTUR BERKELANJUTAN DENGAN PENGELOLAAN SAMPAH MELALUI SISTEM TEKNOLOGI WASTE TO ENERGY (WTE)

John Kevin Wirjawan¹⁾ Mieke Choandi^{2)*}

¹⁾Program Studi S1 Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara,
john.315200037@stu.untar.ac.id.

^{2)*}Program Studi S1 Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara, miekec@ft.untar.ac.id.

*Penulis Korespondensi: miekec@ft.untar.ac.id.

Masuk: 11-12-2023, revisi: 25-03-2024, diterima untuk diterbitkan: 26-04-2024

Abstrak

Pengolahan sampah dengan sistem arsitektur berkelanjutan hakikatnya berkembang berdampingan, guna mencapai kebutuhan masa kini dan keberlangsungan masa depan. Bahan bakar fosil merupakan salah satu faktor pemicu meningkatnya pemanasan global. Banyak negara maju mulai berinovasi dalam pengembangan sistem pengolahan sampah. Selain itu, pengalokasian investasi pada energi alternatif pun turut mereka upayakan. Salah satu yang relevan adalah *waste to energy* (WtE), sumber energi berkelanjutan yang dapat mengurangi permasalahan sampah dengan teknologi. Negara berkembang sulit untuk keluar dari ancaman serius ini yang tak kunjung menemukan solusi, seperti Negara Indonesia. Negara maju di Asia dan Eropa sudah mulai menerapkan sistem teknologi dan berkembang pesat hingga 29% di Uni Eropa 2018. Jelas penerapan ini dapat mengurangi tumpukan sampah, meminimalisir penumpukan di TPA, serta menghasilkan sistem daur ulang dan pengolahan teknologi menjadi energi. Tetapi pengembangan ini harus didukung dan melibatkan masyarakat sampai pemerintah melalui kebiasaan, pendidikan, komunitas, program, dan regulasi yang tepat. Sistem WtE sangat mungkin diterapkan di Indonesia, karena kebutuhan yang tinggi akan energi dan sampah dapat dikelola, sehingga masalah sampah yang sudah tertimbun bertahun-tahun dapat dikurangi. Arsitektur berkelanjutan dengan inovasi teknologi WtE sebagai wadah dari program tingkat terkecil masyarakat sampai pengembangan proyek swasta, dapat menciptakan arsitektur yang mengedepankan lingkungan dengan memperhatikan masalah lingkungan hidup sehat dimana arsitektur itu beridiri, sebagai inspirasi bagi masyarakat dan perilakunya.

Kata kunci: arsitektur berkelanjutan; energi; pengelolaan sampah; teknologi; *waste to energy*

Abstract

Waste processing with a sustainable architectural system essentially develops side by side, in order to achieve current needs and future sustainability. Fossil fuels are one of the factors triggering increasing global warming. Many developed countries are starting to innovate in developing waste processing systems. Apart from that, they are also trying to allocate investment in alternative energy. One that is relevant is waste to energy (WtE), a sustainable energy source that can reduce waste problems with technology. Developing countries find it difficult to get out of this serious threat that has never found a solution, such as Indonesia. Developed countries in Asia and Europe have started to implement technological systems and are growing rapidly to 29% in the European Union in 2018. It is clear that this application can reduce piles of waste, minimize accumulation in landfills, and produce recycling systems and technological processing into energy. But this development must be supported and involve the community and the government through appropriate habits, education, communities, programs and regulations. The WtE system is very possible to be implemented, because the high demand for energy and waste can be managed, so that the problem of waste that has been piled up for years can be reduced. Sustainable architecture with WtE technology innovation as a forum from the smallest community level programs to the development of private projects, can create architecture that prioritizes the environment by

paying attention to healthy environmental issues where the architecture stands, as an inspiration for society and its behavior.

Keywords: energy; sustainable architecture; waste management; waste technology; waste to energy

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pengelolaan sampah di Indonesia dapat dikatakan tak kunjung ada solusi dan tak ada jalan keluar sehingga segala regulasi ditetapkan tidak berjalan optimal. Berbagai aspek membatasi pergerakan pengelolaan sampah seperti ekonomi, sosial, dan teknologi (Nuryani, 2003). Permasalahan sampah menjadi serius ketika perkotaan memiliki masalah yang kompleks mengenai kepadatan penduduk sehingga persampahan di perkotaan lebih diprioritaskan (Moersid, 2004). Undang-undang No.18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah menyatakan bahwa sisa aktivitas manusia dan alami dalam bentuk padat atau semi padat, baik organik maupun anorganik, yang dianggap tidak lagi bermanfaat, seringkali dibuang ke lingkungan. Pertumbuhan ekonomi yang didorong oleh transaksi jual beli telah menyumbang pada peningkatan sampah, namun perilaku masyarakat yang bergantung pada petugas kebersihan telah mengabaikan masalah ini. Tindakan semacam ini berpotensi merusak ekosistem lingkungan, termasuk air, tanah, dan udara.

Data dari WALHI Jakarta (2022) menunjukkan peningkatan volume sampah harian di Jakarta dari tahun 2015 hingga 2020. Jumlah sampah meningkat dari sekitar 7.000 ton pada tahun 2015 menjadi 8.300 ton pada tahun 2020. Namun, dari total 8.369 ton sampah yang dihasilkan di tahun 2020, hanya 945 ton yang didaur ulang, sementara sisanya sebanyak 7.424 ton diolah di Bantar Gebang. Pemerintah telah mencoba mengatasi masalah ini dengan membangun Tempat Pembuangan Akhir (TPA) seperti Bantar Gebang sejak tahun 1986. Namun, prediksi dari Kompas.com (2019) menyatakan bahwa pada tahun 2021, Bantar Gebang akan mencapai kapasitas maksimalnya. Plastik dan kaleng menjadi sampah yang paling banyak dan sulit terurai. Sebuah artikel dalam jurnal Science Advances (2017) oleh Dr. Roland Geyer dan timnya di University of California, Santa Barbara, AS, memperkirakan total volume plastik yang pernah diproduksi mencapai 8,3 miliar ton. Penelitian lain dalam Science Journal (2015) memeriksa 192 negara pesisir yang berkontribusi pada sampah plastik di lautan. Negara-negara Asia termasuk dalam 13 dari 20 kontributor utama. Sekitar 6,3 miliar ton limbah plastik dari total tersebut memasuki lingkungan alam, dengan 79% berakhir di tanah.

Solusi berkelanjutan seperti arsitektur ramah lingkungan dapat menjadi langkah efektif. Pendekatan ini menekankan desain yang efisien dalam menggunakan sumber daya dan ramah lingkungan untuk penggunaan jangka panjang. Konsep pembangunan berkelanjutan, sebagaimana yang didefinisikan oleh World Commission on Environment and Development (1987) dalam laporan Brundtland, bertujuan untuk memenuhi kebutuhan generasi saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri. Ini melibatkan aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan, serta pengelolaan sampah yang berkelanjutan. Seiring dengan berjalannya sistem berkelanjutan, masalah penggunaan energi fosil sangat dieksploitasi menyebabkan krisis energi khususnya fosil di Indonesia, yaitu minyak bumi dengan 48% penggunaan dari seluruh energi nasional yang terpakai dan diperkirakan akan hilang dalam 12 tahun ke depan (DEN, 2014). Dengan itu Indonesia banyak mengeluarkan kelebihan Energi Nasional seperti Perpu no.79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional yang mengurangi penggunaan emisi fosil menjadi 25%. Tetapi hanya berupa minyak bumi, sedangkan potensi energi listrik yang besar dapat dihasilkan melalui sampah organik dan berpotensi dimanfaatkan dengan sistem Waste to Energy (WtE). Pemerintah DKI Jakarta sudah

mulai bergerak dengan mendirikan sistem teknologi WtE yang dikenal sebagai *Intermediate Treatment Facility* (ITF) dengan perkiraan dari tahun 2012-2032, sehingga masih dalam tahap pengembangan dan belum optimal. Celah ini dapat dimanfaatkan untuk mereduksi sampah yang diolah dengan sistem WtE dengan perkiraan 80-90% dari kapasitas ITF (Kementerian ESDM RI, 2015).

Dengan penerapan di beberapa kota besar di dunia yang menghadapi masalah sejenis mencapai tingkat keberhasilan yang cukup tinggi, solusi sistem ini dapat menjadi jawaban atas isu energi dan limbah melalui sistem *Waste to Energy* (WtE). Dengan WtE dapat meringankan beban penampungan TPS dan TPA dan memaksimalkan pengolahan energi dari penimbunan limbah untuk dikonversi menjadi ladang energi dari potensi yang melimpah dari limbah lingkungan.

Rumusan Permasalahan

Berdasarkan jbaran latar belakang, kondisi lingkungan yang sudah hampir mencapai titik kehabisan sumber daya, masyarakat segala golongan dari pemerintah, swasta, dan masyarakat harus berpartisipasi dalam pengembangan sistem dan teknologi WtE dalam pengolahan limbah menjadi sumber energi terbarukan untuk mencapai keberlangsungan hidup yang tercukupi di masa sekarang dan generasi mendatang, menggantikan pengeksploitasi energi alam secara konvensional melalui pendekatan *sustainable architecture*. Pertama, penerapan arsitektur berkelanjutan pengelolaan sampah dengan sistem WtE dapat mengatasi tantangan pengolahan sampah bagi masyarakat. Kedua, mengenai arsitektur berkelanjutan terintegrasi dengan teknologi WtE untuk mencapai keseimbangan antara kebutuhan energi dan lingkungan, dan terakhir, penerapan efisiensi energi dengan arsitektur berkelanjutan melalui sistem WtE untuk meminimalkan dampak negatif lingkungan.

Tujuan

Secara garis besar, untuk mencapai titik yang membentuk lingkungan lebih layak dan bertahan dalam keberlanjutan hidup antara alam dan manusia melalui pengurangan dampak negatif limbah terhadap keberlangsungan hidup masyarakat dan alam, yang memanfaatkan strategi arsitektur berkelanjutan dengan sistem *Waste to Energy* (WtE) yang memanfaatkan sumber daya lingkungan dengan optimal dan efisien. Bagi masyarakat, untuk mencapai akses terhadap energi bersih dengan mengurangi limbah dan sampah, dengan mempertahankan dan meningkatkan kelangsungan keberlanjutan kualitas hidup bersama dengan ekosistem alam. Bagi stakeholders, baik swasta, pemerintah, industri, lembaga penelitian, memiliki kepentingan guna mencapai pembangunan dan kebijakan atau sistem yang optimal dalam pembangunan keberlanjutan yang ramah lingkungan. Bagi bidang keilmuan, pengembangan inovasi, kreatifitas, pengetahuan, dan solusi dalam arsitektur berkelanjutan dan pengelolaan sampah melalui teknologi *Waste to Energy* (WtE) menjawab solusi tantangan global di bidang arsitektur, lingkungan, dan energi.

2. KAJIAN LITERATUR

Arsitektur Berkelanjutan

Arsitektur berkelanjutan adalah sebuah konsep yang mendukung pembangunan yang ramah lingkungan. Konsep ini dianggap sebagai arsitektur berkelanjutan jika perencanaannya dapat memenuhi kebutuhan penghuni tanpa mengancam kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri. Ini merupakan pilihan terbaik ketika diputuskan oleh komunitas yang bersangkutan (Steele, 1997). Dalam upaya meminimalkan dampak negatif pembangunan terhadap lingkungan, arsitektur berkelanjutan menitikberatkan pada penggunaan bahan, energi, dan proses pemrosesan yang efisien dan cerdas. Setiap pembangunan memiliki implikasi bagi generasi mendatang, sehingga kesadaran akan perlindungan lingkungan harus terwujud dalam perancangan bangunan (Tanuwidjaja, 2012).

Pertumbuhan populasi yang eksplosif, terutama di negara dengan standar hidup rendah, menjadi ancaman bagi lingkungan menurut Sassi (2006), bukan hanya akibat aktivitas manusia saja. Arsitektur berkelanjutan mempertimbangkan keberlanjutan penggunaan bangunan dengan memperhatikan lingkungan sekitarnya serta umur panjang penggunaan bangunan tersebut. Prinsip ini menjadi penting dalam konteks saat ini, di mana pengetahuan tentang arsitektur berkelanjutan diperlukan untuk melindungi planet kita (Mu'min, 2020).

Efisiensi dalam arsitektur berkelanjutan mencakup penggunaan lahan dan energi yang efisien, pengelolaan limbah, dan penggunaan material yang hemat. Bangunan hemat energi, penggunaan lahan yang efisien, serta penggunaan material yang tepat menjadi beberapa aspek yang dapat diterapkan dalam arsitektur berkelanjutan (Arsimedia, 2021). Konsep ini tidak hanya menjadi keharusan dalam tata ruang kota, namun juga melibatkan asal-usulnya, termasuk masyarakat, ruang publik, dan desain lingkungan yang ramah lingkungan (Alamsyah, 2014). Arsitektur berkelanjutan merupakan bagian yang tak terpisahkan dari pembangunan berkelanjutan yang mempertimbangkan kebutuhan saat ini tanpa mengorbankan sumber daya untuk generasi mendatang (Arsitur, 2020). Dalam penelitian Anisa dan Lissimia (2021), pembangunan berkelanjutan dihubungkan secara langsung dengan kelestarian kawasan, dimana sebuah bangunan dapat berperan dalam mendukung keberlanjutan lingkungannya.

Prinsip-Prinsip Arsitektur Berkelanjutan

Strategi keberlanjutan terdiri dari 9 prinsip utama yang berfokus pada faktor-faktor krusial dalam pengelolaan lingkungan, seperti ekologi perkotaan, strategi air, energi, limbah, material, komunitas lingkungan, strategi ekonomi, budaya, dan manajemen operasional (Adriani, 2015). Melalui prinsip ekologi perkotaan, strategi keberlanjutan bertujuan menjaga keseimbangan ekosistem agar tetap berlangsung dari generasi saat ini hingga mendatang. Pendekatan dalam strategi energi berkisar pada pengurangan penggunaan energi dan pengoptimalan daur ulang sumber energi yang sudah terpakai, melalui teknologi atau pendekatan konvensional. Adapun prinsip air menitikberatkan pada penghematan penggunaan air serta pemanfaatan sumber air yang dapat diperbarui dan dimanfaatkan kembali. Sementara itu, manajemen limbah melibatkan pengurangan, pengelolaan, dan daur ulang limbah dalam bentuk cair, padat, dan gas. Penggunaan material yang mudah terurai, ramah lingkungan, dan tidak membahayakan penghuni dan lingkungan menjadi fokus dalam prinsip material. Selain itu, aspek komunitas lingkungan menekankan penciptaan keseimbangan ekosistem dari satu generasi ke generasi berikutnya di lingkungan lokal. Strategi keberlanjutan juga mengarah pada memberikan peluang pada Usaha Kecil Menengah (UKM) sebagai pondasi ekonomi suatu negara.

Strategi Prinsip Berkelanjutan

Menurut Sassi (2006), enam prinsip keberlanjutan—*Land Use, Energy, Water, Material, Health and Wellbeing*, serta *Community*—memiliki peran masing-masing dalam menjaga lingkungan dan pembangunan yang berkelanjutan. *Land Use* menuntut pelestarian lahan sebagai respons terhadap pertumbuhan populasi yang dapat membatasi lahan yang tersedia. *Energy* menekankan pentingnya beralih ke sumber energi terbarukan untuk menangani dampak pemanasan global. *Water* mencermati ancaman terhadap kualitas air karena pembuangan limbah sembarangan, yang mengancam ketersediaan air bersih. *Material* membahas dampak negatif penggunaan bahan tidak terbarukan, seperti emisi karbon berlebihan, terhadap lingkungan. *Health and Wellbeing* memperhatikan pentingnya desain bangunan yang sehat dengan kualitas udara dan pencahayaan yang baik bagi penghuninya. Sementara *Community* menitikberatkan pada keterhubungan antarindividu melalui ruang terbuka bersama guna mendukung konsep pembangunan yang berkelanjutan.

Sampah

Definisi pakar Damanhuri dan Padmi (2016), limbah mengacu pada bahan yang tidak terpakai lagi dan berasal dari proses produksi atau dari penggunaan bahan habis pakai. Menurut Juli Slamet Soemirat (2004), sampah didefinisikan sebagai benda padat yang tidak diinginkan. Sedangkan menurut Kodoatie (2005), sampah mengacu pada limbah padat atau semi padat atau sampah yang dihasilkan sebagai hasil sampingan dari kegiatan perkotaan atau daur hidup manusia, hewan atau tumbuhan.

Karakter Sampah

Limbah memiliki klasifikasi berdasarkan sifat biologis dan kimianya, mempengaruhi strategi pengelolannya. Contohnya, limbah organik seperti sisa makanan, dedaunan, dan limbah pertanian bisa dikomposkan, sedangkan yang tidak mudah terurai seperti kertas, plastik, dan logam memerlukan pendekatan berbeda. Limbah berbahaya seperti debu/abu dari industri memiliki komposisi kimia yang membahayakan. Secara umum, limbah terbagi menjadi organik, non-organik, dan B3 (Bahan Berbahaya Beracun) (Amos Noelaka dalam Juli Soemirat Slamet, 2011). Sifat fisik dan kimia limbah juga berpengaruh besar dalam pengelolannya. Faktor fisik seperti berat jenis, kadar air, dan nilai kalor, bersama dengan karakterisasi kimia seperti komposisi unsur menjadi perhatian utama (Damanhuri et al. dalam Padmi, 2016).

Pengelolaan Sampah

Manajemen limbah padat melibatkan pengaturan dari pembentukan sampah hingga pembuangannya dengan memperhatikan berbagai aspek seperti kesehatan masyarakat, prinsip ekonomi, teknis, konservasi, dan pertimbangan lingkungan. Limbah padat dapat dikelompokkan berdasarkan karakteristik dan cara penanganan, seperti komponen yang mudah membusuk dari rumah tangga, bahan bervolume besar dan mudah terbakar, bervolume besar dan sulit terbakar, bervolume kecil dan terbakar atau sulit terbakar, wadah bekas, tabung bertekanan, serbuk dan abu dengan kategori organik atau logam, lumpur organik maupun non-organik, dan puing bangunan (Damanhuri dan Padmi, 2014). Pengelolaan sampah modern mengikuti konsep 3R (*reduce, reuse, recycle*) sebelum dibuang atau dimusnahkan. Dalam evolusinya, pengelolaan sampah perkotaan berkembang dari 3R menjadi 4R dan bahkan 5R, menambahkan konsep R lainnya seperti *rescue, renovate, repair, replant, replace, redesign*, dan lainnya. Cunningham dalam Damanhuri dan Padmi (2016) menjelaskan beberapa R tambahan yaitu, *Recovery, Reclamation, Replant, dan Replace*. Manajemen limbah menjadi kunci penting dalam mencapai lingkungan yang bersih dan sehat. Oleh karena itu, pengelolaan sampah harus dilakukan secara optimal agar tidak memberikan dampak negatif pada kehidupan.

Waste to Energy (WtE)

Menurut *Energy Council*, *Waste to Energy (WtE)* adalah proses yang menghasilkan energi dalam bentuk panas atau listrik dari sampah, yang juga dikenal sebagai Energi dari Sampah (EfW). Melalui pengembangan teknologi, metode diciptakan untuk mengompres dan membuang sampah sambil menghasilkan energi secara bersamaan. WtE mengubah sampah domestik dan limbah yang tidak dapat dihindari atau didaur ulang menjadi energi dengan cara membakarnya. Saat limbah terbakar, energi panas yang dihasilkan mengubah air menjadi uap bertekanan tinggi, yang kemudian digunakan untuk menggerakkan generator turbin dan menghasilkan energi listrik.

Menurut *Energy Council*, Tipe Teknologi Mengubah Sampah Menjadi Energi sebagai berikut: *Thermal Technology*

Ada beberapa metode pengelolaan limbah seperti *Depolymerization/Hydrous Pyrolysis* yang menggunakan dekomposisi termal dengan panas tinggi dan air, *Gasification* yang mengubah bahan karbon tanpa pembakaran, *Pyrolysis* yang mirip dengan pirolisis air tanpa oksigen, dan

Plasma Arc Gasification yang menggunakan plasma untuk menghasilkan gas sintesis dan listrik sambil memampatkan sampah.

Non-Thermal Technology

Fermentasi, Metode ini menghasilkan perubahan kimia pada zat organik melalui enzim tanpa adanya oksigen. Kedua, *Anaerobic digestion*, Penggunaan mikroorganisme untuk memecah zat bio-degradable. Metode ini digunakan di area pribadi dan komersial untuk memulihkan energi yang dilepaskan dalam proses.

Potensi Waste to Energy (WtE)

Di negara-negara Eropa, insinerator limbah dapat menyediakan energi listrik bagi 18 juta orang dan energi panas bagi 15,4 juta orang. Energi tersebut didasarkan pada 90 juta ton limbah rumah tangga dan sejenisnya yang dibuang di Eropa pada tahun 2015. Menurut *Association of European Institutions on Energy Waste (2018)*, metode untuk menangani limbah sisa (limbah kotor, bahan terkontaminasi, bahan yang terbuat dari bahan campuran, bahan daur ulang dengan kualitas yang lebih rendah dan bahan yang mengandung bahan berisiko tinggi), misalnya TPA atau *WtE*. Ketika pembuangan limbah di tempat pembuangan akhir tidak memungkinkan lagi, *WtE* menawarkan beberapa keuntungan seperti, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, menghemat jutaan ton karbon dioksida, mempromosikan swasembada energi dan menyediakan lingkungan yang berkelanjutan, lokal, rendah karbon dan pilihan energi murah. *CEWEP Organization* menyatakan bahwa metode daur ulang dan *WtE* saling melengkapi untuk mengurangi sampah yang dibuang ke TPA. Negara-negara Eropa seperti Austria, Belgia, Denmark, Swedia dan Finlandia telah menerapkan kebijakan penutupan TPA dan mengintegrasikan daur ulang dan air limbah ke dalam sistem pengelolaan limbah mereka.

3. METODE

Metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah deskriptif kualitatif. Menurut Sugiyono (2016:9), metode ini berakar pada filsafat pos positivisme dan bertujuan untuk meneliti kondisi objek alamiah tanpa melibatkan eksperimen. Peneliti berperan sebagai instrumen utama, menggunakan teknik pengumpulan data yang beragam seperti wawancara, observasi, dokumen, dan data audiovisual. Analisis data dilakukan secara induktif/kualitatif dengan fokus pada makna daripada generalisasi, melibatkan analisis tekstual dan analisis gambar. Pendekatan interpretatif mencakup identifikasi tema dan pola, sesuai dengan pandangan Creswell (2017). Tujuan utama dari metode penelitian ini adalah untuk menggambarkan, menjelaskan, dan menerangkan masalah yang diteliti, baik dari individu, kelompok, maupun peristiwa yang menjadi fokus penelitian.

4. DISKUSI DAN HASIL

Muara Angke sebagai Sampel Kawasan Penelitian

Sebagai bekas wilayah pelayaran dan perdagangan yang makmur di masa kolonial, Muara Angke, yang dulunya kawasan bersejarah penuh kemakmuran kehidupan nelayan dan ekosistem mangrove yang subur, mengalami perubahan besar akibat urbanisasi Jakarta. Pertumbuhan kota menimbulkan tekanan pada lingkungan, menyebabkan degradasi ekosistem *mangrove* dan kesulitan dalam pengelolaan sampah. Muara Angke kini berusaha menjaga keberagaman hayati, melakukan restorasi ekosistem, namun terhambat oleh masalah sampah yang mengancam lingkungan perairannya. Nelayan di sana, terdesak oleh perubahan lingkungan dan kebijakan penangkapan ikan, beralih profesi menjadi pemulung demi mencari rezeki di tengah keterbatasan sumber daya laut. Volume sampah yang dihasilkan di Muara Angke mencapai angka yang mencemaskan, antara 8-15 ton per hari, menurut laporan CNN Indonesia (Tiara, 2018).

Strategi Pengelolaan Sampah *Sample* Negara Maju

Data tabel produksi sampah di Asia saat ini dan perkiraan di masa depan dengan rasio naik dan turunnya produksi sampah.

No	Negara	Produksi Sampah per kg/org/hari		Naik/Turun (%)
		Saat ini	Prediksi 2025	
1	Jepang	1.71	1.7	- 0.5
2	Korea Selatan	1.24	1.4	+ 12.9
3	Singapura	1.49	1.8	+ 20.8
4	Indonesia	0.52	0.85	+ 63.5
5	China	1.02	1.7	+ 66.7
6	Philipina	0.50	0.9	+ 80.0
7	India	0.34	0.7	+ 105.9

Gambar 1. Produksi Sampah di Asia

Sumber: *World Bank Straits Times Graphics*

Meminimalisir Produksi Sampah

Strategi awal dalam pengelolaan sampah berkelanjutan, baik oleh perusahaan swasta maupun pemerintah, mencakup pengurangan penggunaan kemasan yang mendorong konsumen membeli barang dengan limbah ramah lingkungan. Singapura sukses menerapkan strategi serupa, mengurangi produksi sampah hingga 6% di Asia. Prototipe ini memberi peluang untuk mendorong pengurangan bahan tidak ramah lingkungan yang digunakan oleh masyarakat, bahkan dalam dunia arsitektur dengan penggunaan material yang memengaruhi lingkungan sekitar.

Daur Ulang dan *Reuse*

Pendekatan metode daur ulang sudah banyak diterapkan di Asia Tenggara, khususnya Indonesia, tetapi masih belum ada metode yang optimal dan pasti dalam sistem pengolahan berkelanjutan. Negara maju khususnya Uni Eropa menekan produksi sampah sangat signifikan mencapai angka lebih dari 50% dan menjadi salah satu alternatif energi dalam keberlanjutan ekosistem alam dan kebutuhan manusia dimana golongan sampah kemasan, kendaraan, alat listrik, sampah elektronik untuk dapat dikonversi menjadi energi terbarukan.

No	Negara	Daur Ulang (%)
1	Jerman	56,1
2	Austria	53,8
3	Korea Selatan	53,7
4	Wales	52,2
5	Swiss	49,7

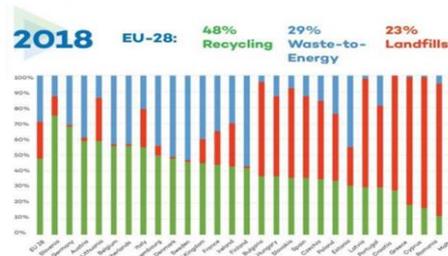
Gambar 2. Negara Terbaik Pengelolaan Sampah

Sumber: *World Bank Straits Times Graphics*

Tabel tersebut mencatat penerapan sistem daur ulang sampah di Jerman mencapai 56,1%, didukung oleh kebijakan pemerintah yang menekan produksi sampah perusahaan. Negara-negara seperti Austria, Korea Selatan, Wales, dan Swiss memiliki tradisi dan keterikatan hukum yang kuat terhadap daur ulang dan penggunaan kembali sampah. Korea Selatan menargetkan mencapai 70% daur ulang sampah pada tahun 2025. Swiss mencapai 49,7% daur ulang dengan sistem pengelolaan sampah tanpa Tempat Pembuangan Akhir, di mana sisanya dibakar untuk mendapatkan energi terbarukan.

Waste to Energy

Waste to Energy (WtE) merupakan proses transformasi limbah menjadi energi dalam bentuk listrik atau panas, yang melibatkan pengolahan limbah awal atau konversi limbah menjadi bahan bakar. Sebagian besar proses WtE melibatkan pembakaran langsung untuk menghasilkan listrik atau panas, atau menciptakan bahan bakar mudah terbakar seperti metana, metanol, etanol, dan bahan bakar sintetik.



Gambar 3. Grafik Pengelolaan sampah Uni Eropa tahun 2018
Sumber: Eurostat

Gambar diatas menunjukkan kemajuan pengelolaan sampah di negara-negara Uni Eropa pada tahun 2018. Proses daur ulang mencapai 48%, 29% diubah menjadi energi dan 23% dibuang. Hal ini menunjukkan bahwa sekitar 77% sampah tidak lagi dibuang ke TPA, melainkan diolah secara berkelanjutan dan ramah lingkungan. Energi dari limbah meningkat secara signifikan dan hampir semua negara di Uni Eropa telah mengembangkan sistem ini, meskipun sekitar 40% negara masih mengandalkan TPA. Finlandia paling berhasil mengembangkan energi dari sampah dengan pangsa lebih dari 55%, disusul Swedia sekitar 53% dan Denmark sekitar 51%.

Studi Preseden

Insenator Tokyo 1958

Jepang memiliki budaya mengenai sistem teknologi maju, salah satu negara Asia dengan mengandalkan pengelolaan insenerator atau pembakaran sampah. Tahun 2014, sudah ada 1.161 insenerator berdiri di Jepang dan 380 diantaranya adalah *Waste to Energy Plant*. Konsepnya untuk mengeringkan limbah dengan kandungan uap air yang dilengkapi belt conveyor. Tujuannya menciptakan sumber energi berkelanjutan untuk pasokan keseharian masyarakat lokal berupa pasokan air panas dari sisa pembakaran.



Gambar 4. Insenerator Tokyo 1958
Sumber: id.wikipedia.org

Maishima Incinerator, Osaka, Jepang

Insinerator Maishima di Osaka Jepang, merupakan contoh nyata penerapan teknologi insinerasi (pembakaran) sampah. Pabrik ini menggunakan limbah sebagai sumber energi melalui pembakaran yang efisien. Dengan sistem modern, insinerator Maishima mampu mengubah sampah menjadi listrik dan panas yang dapat digunakan untuk kebutuhan kota. Pendekatan limbah-ke-energi yang diterapkan di insinerator Maishima, membantu mengurangi jumlah limbah yang mencemari dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Selain itu, fasilitas ini memiliki sistem filter dan kontrol polusi yang ketat, menghasilkan pengurangan emisi dan lingkungan yang lebih bersih. Insinerator Maishima merupakan contoh sukses implementasi insinerator, yang tidak hanya mengolah limbah secara efektif, tetapi mempromosikan energi terbarukan untuk mendukung kelestarian lingkungan di Osaka, Jepang.



Gambar 5. Insinerator Tokyo 1958
Sumber: id.wikipedia.org

Mashima Insinerator merupakan proyek *waste to energy* yang tumpang tindih dengan kegiatan wisata dan pendidikan yang populer di Jepang dengan fasilitas teknologi canggih seperti animasi, dll. Beroperasi dari tahun 2001, diperkirakan membakar sampah sebanyak 300.000 ton per tahun sampah perkotaan dengan kapasitas energi 32 MW. Diperkirakan setiap harinya 900 ton sampah per hari tanpa mengeluarkan asap di cerobong dengan sistem penyaringan. Sisi lain, arsitektur berkelanjutan ini memiliki gaya khas *Hundertwasser*, dengan warna mencolok dan bentuk bola emas yang mencapai 100 buah.

Helsinki-Finlandia Incinerator Waste to Energy

Sejak tahun 2014, *Vaataan Energia*, sebuah pembangkit *Waste to Energy* di Helsinki, Finlandia, telah beroperasi sebagai insinerator pertama di wilayah tersebut. Fasilitas ini berperan sebagai pelopor dalam upaya mitigasi perubahan iklim. Diperkirakan, *Vaataan Energia* mampu membakar sekitar 340.000 ton limbah setiap tahun dengan tingkat efisiensi mencapai 95%. Pabrik ini menghasilkan energi panas dan listrik dengan kapasitas tahunan mencapai 600 GWh, dan juga menyediakan pemanasan distrik sebanyak 920GWh. Proyek ini memenuhi sekitar 60% kebutuhan listrik dan pemanasan bagi kota Vataan serta 40% bagi Helsinki.



Gambar 6. *Vataan Energia, Finland*
Sumber: <https://www.vataanenergia.fi/>

Vaatan Energia di Finlandia merupakan contoh menarik penerapan teknologi limbah menjadi energi. Perusahaan memiliki instalasi pengolahan air yang menggunakan limbah domestik dan industri sebagai bahan bakar untuk menghasilkan energi. Menggunakan proses insinerasi yang efisien, *Vaatan Energia* dapat mengubah sampah menjadi listrik dan panas, yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi setempat. Pendekatan *waste to energy Vaatan Energia* membantu mengurangi jumlah limbah yang berakhir di tempat pembuangan sampah dan mengurangi ketergantungan pada sumber bahan bakar fosil. Dengan menggunakan limbah sebagai sumber energi terbarukan, *Vaatan Energia* mempromosikan kelestarian lingkungan, pengurangan gas rumah kaca, dan diversifikasi sumber energi di Finlandia.

The Amager Bakke Waste Incinerator di Copenhagen, Denmark

Pabrik insinerasi Amager Bakke di Kopenhagen, Denmark, merupakan contoh utama arsitektur berkelanjutan dan pengelolaan limbah. Fasilitas inovatif ini menggabungkan pembakaran limbah dengan lereng ski atap yang unik dan area rekreasi. Tujuan utama Amager Bakke adalah mengubah limbah padat kota menjadi energi bersih sambil meminimalkan dampak terhadap lingkungan. Menggunakan teknologi canggih, pembakaran limbah ini mengurangi emisi gas rumah kaca, polusi udara, dan TPA. Sambungan lereng ski tidak hanya menyediakan ruang rekreasi bagi masyarakat, tetapi juga melambangkan transformasi sampah menjadi sesuatu yang bermanfaat dan menyenangkan. Sebagai sumber inspirasi bagi kota-kota di seluruh dunia, insinerator Amager Bakke menunjukkan kemungkinan menggabungkan keberlanjutan, pengelolaan limbah, dan partisipasi masyarakat dalam keajaiban arsitektur.



Gambar 7. *The Amager Bakke waste incinerator in Copenhagen, Denmark*
Sumber: e360.yale.ed

Pabrik insinerator Amager Bakke di Kopenhagen, Denmark merupakan contoh terkemuka teknologi insinerasi limbah. Fasilitas canggih ini menunjukkan bagaimana limbah dapat diubah menjadi sumber energi yang berharga secara berkelanjutan. Menggunakan proses insinerasi canggih, insinerator ini membakar limbah padat kota secara efisien dan menghasilkan panas serta listrik. Sistem limbah-ke-energi Amager Bakke memainkan peran penting dalam strategi pengelolaan limbah kota, mengurangi ketergantungan pada TPA dan mempromosikan ekonomi sirkular. Pendekatan inovatif ini tidak hanya memenuhi tantangan pengelolaan limbah, tetapi juga berkontribusi pada tujuan Denmark menjadi negara netral karbon. Insinerator limbah Amager Bakke mendemonstrasikan potensi teknologi insinerasi limbah untuk menawarkan solusi berkelanjutan untuk pengelolaan limbah dan produksi energi.

Perbandingan Pengelolaan Sampah di Indonesia

Di tahun 2016, rata-rata produksi sampah yang masuk ke TPST Bantar Gebang sebanyak 6.561,99 ton/hari (Laporan Akuntabilitas Kinerja Instansi Pemerintah/LAKIP Dinas Kebersihan Provinsi DKI Jakarta, 2016). TPST Bantar Gebang adalah satu satunya TPA di Jakarta yang berdasarkan perkiraan akan menurun daya tampungnya di tahun yang mendatang, sehingga penerapan sistem *WtE* harus digencarkan dan mulai diberlakukan seiring dengan menurunnya daya tampung TPA.

No.	Wilayah	Tahun 2016	
		Total	Rata-rata/hari
1	Jakarta Pusat	328.475,44	897,47
2	Jakarta Utara + SPA Sunter + Pesisir Pantai	444.037,50	1.213,22
3	Jakarta Barat	486.799,69	1.330,05
4	Jakarta Selatan	531.097,20	1.451,09
5	Jakarta Timur + PDUK Cacing	611.277,59	1.670,16
Jumlah:		2.401.687,44	6.561,99

Gambar 8. Data Sampah yang Ditampung TPST Bantar Gebang 2016.
Sumber: Laporan Akuntabilitas Kinerja Instansi Pemerintah/LAKIP Dinas Kebersihan Provinsi DKI Jakarta, 2016

Pemerintah Provinsi DKI Jakarta, melalui Dinas Kebersihan, berusaha mengatasi permasalahan limbah dengan membangun fasilitas pengolahan alternatif, dikenal juga sebagai *Waste to Energy* (WtE). Fasilitas ini, dikenal sebagai *Intermediate Treatment Facility* (ITF), diusulkan untuk dibangun di empat lokasi berbeda di wilayah DKI Jakarta, yakni Sunter, Marunda, Cakung, dan Duri Kosambi. Hal ini diharapkan dapat mengurangi ketergantungan pada TPST Bantargebang, sesuai dengan Rencana Induk Pengelolaan Sampah Provinsi DKI Jakarta 2012-2032.

Tujuan utama dari pembangunan ITF adalah untuk mengurangi limbah hingga 80-90%. Setiap fasilitas ITF memiliki kapasitas total pengolahan limbah yang akan memanfaatkan teknologi pengolahan limbah yang sesuai dengan persyaratan teknis, ekonomi, dan sosial. Teknologi yang akan diterapkan terbagi menjadi empat klasifikasi utama, yakni teknologi pembakaran, gasifikasi, pirolisis, dan bahan bakar limbah (RDF). Pendirian ITF, terutama di Sunter, Jakarta Utara, diharapkan menjadi solusi untuk mengurangi dampak polusi dan transportasi sampah dengan membuang limbah lebih dekat dengan sumbernya. Keputusan Presiden #18 Tahun 2016 mendukung percepatan pengembangan ITF di beberapa kota, termasuk DKI Jakarta, Tangerang, Bandung, Semarang, Surakarta, Surabaya, dan Makassar.

Meskipun pengembangan ini memiliki beberapa keunggulan dan kelemahan, seperti pengurangan limbah yang efisien dan pengolahan limbah menjadi energi, juga efektif dalam mengatasi limbah berbahaya, namun memerlukan biaya konstruksi yang besar dan dapat menyebabkan emisi berbahaya ke udara yang berpotensi meningkatkan jumlah limbah, G. Tyler Miller dan Scott E. Spoolman (2016).



Gambar 9. *Landfill Mining* dan *RDF Plant* di TPST Bantar Gebang.
Sumber: <https://news.republika.co.id/>

Proyek pertambangan *Landfill* dan pabrik pengolahan RDF di TPST Bantar Gebang, Bekasi memiliki beberapa kekurangan yang perlu dibenahi. Kerugiannya adalah kurangnya ruang yang cukup untuk penampungan/mengolah pembuangan limbah. Karena keterbatasan lahan, proyek ini mempersulit penghitungan jumlah sampah yang dihasilkan setiap harinya, sehingga menimbulkan penumpukan sampah dan masalah sanitasi. Proyek ini hanya mengelola 1000 ton/hari sedangkan produksi sampah setiap harinya mencapai 6.561,99 ton/hari. Selain itu, mengelola fasilitas pertambangan dan RDF *Landfill* memerlukan teknologi dan infrastruktur canggih, tetapi dengan keterbatasan sumber daya dan dana yang terbatas, membatasi kemampuan proyek untuk memperoleh peralatan dan sistem yang efisien untuk pengelolaan limbah secara optimal. Sisi lain, terdapat tantangan dalam mengelola terhadap dampak lingkungan, seperti berkurangnya luas lahan, polusi air, tanah, dan udara. Oleh karena itu, diperlukan langkah-langkah yang lebih baik untuk mengelola dan memitigasi dampak lingkungan yang disebabkan oleh kegiatan operasional proyek. Untuk mengatasi kekurangan ini, penting untuk melakukan evaluasi menyeluruh terhadap proyek ini, termasuk perencanaan yang matang, pemilihan teknologi yang tepat, pengalokasian sumber daya yang memadai dan mempertimbangkan masalah lingkungan secara serius.

Pengembangan dan Pengaplikasian *Waste to Energy (WtE)* di Indonesia

Pemanfaatan *Waste to Energy (WtE)* di Indonesia masih relatif terbatas, meskipun potensi pengembangannya sangat tinggi. Beberapa instalasi pengolahan limbah dengan teknologi WTE telah dibangun di beberapa kota seperti Jakarta, Surabaya dan Bali. Namun demikian, beberapa tantangan masih perlu diatasi untuk mengoptimalkan pemanfaatan WtE di Indonesia. Salah satu solusi yang mungkin adalah meningkatkan investasi dalam infrastruktur WtE. Pengembangan infrastruktur *Waste-to-Energy (WtE)* membutuhkan investasi besar dari pemerintah, swasta, dan mitra internasional. Kesadaran masyarakat tentang pengelolaan sampah yang berkelanjutan penting untuk mendukung adopsi teknologi WtE secara lebih luas. Kerjasama antara pemerintah, swasta, dan masyarakat diperlukan untuk menyelesaikan masalah regulasi, pembiayaan, dan pengelolaan proyek WtE. Adapun pengembangan teknologi WtE yang sesuai dengan karakteristik sampah Indonesia, seperti kandungan air tinggi dan proporsi bahan organik, menjadi kunci dalam mengubah limbah menjadi sumber energi. Dengan mengatasi tantangan ini dan menerapkan solusi yang tepat, penerapan Waste to Energy di Indonesia dapat mempercepat pengelolaan limbah secara signifikan, mengurangi emisi gas rumah kaca, dan menyediakan energi terbarukan yang berkelanjutan.

Strategi dan potensi sistem pengolahan perairan di lokasi penelitian Muara Angke

Pengelolaan sampah di Muara Angke memerlukan pendekatan holistik. Daratan dan perairan di sekitar wilayah ini menghadapi akumulasi sampah yang mengancam lingkungan. Pendekatan arsitektur berkelanjutan, khususnya melalui sistem Waste to Energy (WtE), menawarkan solusi efektif dengan mengubah sampah menjadi sumber energi. Ini tidak hanya mengurangi tumpukan sampah dan risiko pencemaran, tetapi juga mengurangi polusi udara dari pembakaran sampah terbuka. Di perairan, penumpukan sampah juga mengancam ekosistem laut. Penerapan sistem WtE dapat meminimalisir pencemaran laut dan menjaga keberagaman hayati di ekosistem perairan. Namun, penggunaan WtE tidak hanya berdampak pada lingkungan, tetapi juga aspek sosial. Kesadaran masyarakat tentang pentingnya pengelolaan sampah dan kesehatan lingkungan sangat diperlukan untuk keberhasilan sistem ini. Perubahan perilaku dalam membuang sampah dan partisipasi masyarakat lokal menjadi kunci keberlanjutan implementasi ini.

Dalam konteks budaya, pendekatan berkelanjutan harus menghormati nilai-nilai lokal dan memastikan perlindungan terhadap warisan budaya di sekitar Muara Angke. Keterlibatan kearifan lokal dalam pengelolaan lingkungan menjadi bagian penting dari desain sistem ini. Dari segi ekonomi, WtE dapat menciptakan peluang baru dengan pengelolaan sampah yang lebih efisien. Energinya dapat digunakan untuk keperluan lokal dan berpotensi menjadi sumber pendapatan tambahan. Namun, perlu diingat bahwa evaluasi yang cermat diperlukan terkait output produk sampah. Meskipun WtE mengubah sampah menjadi energi, penting untuk mengembangkan sistem yang juga mendorong pengurangan, daur ulang, dan penggunaan produk ramah lingkungan untuk mengurangi jumlah sampah yang masuk ke sistem WtE.

Pengaplikasian dan pengembangan WTE terhadap masyarakat nelayan

Penerapan *Waste to Energy* di perairan memberikan peluang bagi nelayan agar dapat menggunakan kapal untuk mengumpulkan sampah yang mengambang atau terdampar di sekitar wilayah mereka. Dengan pelatihan dan dukungan teknis, nelayan bisa mengelola sampah yang dikumpulkan, membawanya ke fasilitas WtE, membersihkan perairan tempat mereka bekerja, dan mendapatkan penghasilan tambahan dari usaha pengelolaan sampah. Kemitraan antara komunitas nelayan, pemerintah, dan swasta sangat penting. Program pelatihan, pendanaan, dan infrastruktur bersama dapat memungkinkan nelayan terlibat dalam mengelola sampah di perairan. Melihat sampah sebagai sumber energi potensial, keterlibatan nelayan dapat membantu menjaga kebersihan perairan dan menghasilkan energi terbarukan dari

sumber yang sebelumnya tidak terpakai.

Konsep *Sustainable Architecture* terkait dengan *Waste to Energy*

Arsitektur berkelanjutan dan *Waste to Energy* (WtE) saling terkait dalam beberapa aspek yang mendasar. Dari analisis terdapat beberapa poin, Desain bangunan berkelanjutan, misalnya, mendukung teknologi WtE dengan menyediakan ruang bakar dan sistem listrik berbasis gas. Fokus pada efisiensi energi dalam arsitektur berkelanjutan juga mendukung WtE dengan desain yang mengurangi kehilangan energi termal serta menggunakan energi secara optimal. Pemilihan material ramah lingkungan, yang tahan panas dan ramah terhadap lingkungan, juga menjadi bagian penting yang mendukung efektivitas proses WtE. Selain itu, dalam arsitektur berkelanjutan, penilaian siklus hidup digunakan untuk mengidentifikasi dan mengurangi dampak lingkungan dari proses WtE. Integrasi dengan lingkungan dan masyarakat merupakan poin penting lainnya; desain yang menyatu dengan lanskap serta partisipasi masyarakat dalam pengambilan keputusan meningkatkan kesadaran akan manfaat teknologi ini bagi lingkungan dan masyarakat secara keseluruhan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Permasalahan sampah yang terus bertambah membutuhkan solusi efektif. Penerapan arsitektur berkelanjutan, khususnya sistem *Waste to Energy* (WtE), menawarkan potensi besar untuk menangani masalah lingkungan. Namun, tantangan besar melibatkan investasi infrastruktur, kesadaran masyarakat, dan kerjasama lintas sektor untuk mewujudkan sistem ini di Indonesia. Solusi ini berpotensi mengurangi produksi sampah, emisi, dan menyediakan energi terbarukan yang berkelanjutan. Penerapan sistem *Waste to Energy* (WtE) menjadi solusi yang menjanjikan dalam mengelola sampah di perairan dalam kasus Muara Angke. Pendekatan ini tidak hanya mengurangi tumpukan sampah, menghindari risiko pencemaran lingkungan, dan menciptakan energi terbarukan, tetapi juga menimbulkan dampak positif secara sosial, budaya, dan ekonomi.

Namun, kesuksesan implementasi WtE memerlukan partisipasi aktif masyarakat, perhatian terhadap nilai-nilai lokal, serta evaluasi konstan terkait manajemen produk sampah. Keterlibatan nelayan dalam pengumpulan dan pengolahan sampah di perairan menjadi potensi besar, memungkinkan mereka tidak hanya membersihkan perairan yang mereka gunakan, tetapi juga mendapatkan peluang ekonomi baru dari manfaat energi yang dihasilkan dari sampah. Kolaborasi antara pemerintah, komunitas, dan sektor swasta menjadi kunci untuk kesuksesan penerapan WtE dalam menjaga lingkungan yang bersih, menciptakan peluang ekonomi, serta melestarikan budaya lokal di Muara Angke.

Saran

Berhubung teknologi tidak mudah diaplikasikan di Indonesia, tetapi peluang tersebut semakin besar jika terus dikembangkan dan akan memberikan dampak signifikan terhadap masalah persampahan. Saran penulis mengakar pada faktor, Edukasi masyarakat tentang pengelolaan sampah melalui program-program edukasi lingkungan, Pengembangan teknologi lokal untuk WtE yang sesuai dengan karakteristik sampah di Indonesia, Dukungan finansial dan infrastruktur dari pemerintah untuk mendukung pengembangan teknologi, dan Kolaborasi lintas sektor antara pemerintah, industri, lembaga, dan masyarakat dalam mengembangkan WtE yang berkelanjutan dan mendukung kebutuhan energi masyarakat.

REFERENSI

- Admin in Waste Management. (2020, Oktober 28). *Waste to Energy (WTE): Jawaban Atas Permasalahan Sampah?* Retrieved from waste4change: <https://waste4change.com/blog/waste-to-energy-wte-indonesia/>
- Alamsyah, B. (2014). Desain Arsitektur Kota Yang Beridentitas Budaya Sebagai Sebuah Konsep Yang Berkelanjutan. *Jurnal Ruas*, 12(2), 14-19.
- Aminah, N. Z., & Muliawati, A. (2021). Pengelolaan Sampah dalam Konteks Pembangunan Berkelanjutan (Waste Management in the Context of Waste Management). *Himpunan Mahasiswa Geografi Pembangunan. Universitas Gadjah Mada*.
- Ardiani, Y. M. (2015). *Sustainable Architecture*. Jakarta: Erlangga.
- Arsimedia (2022) *Penjelasan Arsitektur Berkelanjutan Dan Penerapannya Pada Bangunan*. Retrieved from Arsimedia: <https://www.arsimedia.com/2021/03/penjelasan-arsitektur-berkelanjutan-dan.html>
- BPK. (2023). *Pengelolaan Sampah dan Investasi Pemerintah Daerah pada Proyek Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah atau Intermediate Treatment Facility*. Retrieved February, 2023, from Badan Pemeriksa Keuangan Republik Indonesia: <https://jakarta.bpk.go.id/wp-content/uploads/2023/02/Tulisan-Hukum-DKI-Jkt-Pengelolaan-Sampah-ITF.pdf>
- Chartier, Y. (Ed.). (2014). *Safe management of wastes from health-care activities*. World Health Organization.
- Confederation of European Waste-to-Energy Plants. (2018). *Waste-to-Energy: Energising your waste*. Retrieved from cewep: <https://www.cewep.eu/wp-content/uploads/2018/07/Interactive-presentation-2018-New-slides.pdf>
- Cresswell, J. W. (2017). *Design Pendekatan Kualitatif, Kuantitatif, dan Mixed (Ketiga)*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Defitri, M. (2022, September 15). *Maishima Incineration Plant, Tempat Penampungan Sampah Unik di Jepang*. Retrieved from waste4change: <https://waste4change.com/blog/maishima-incineration-plant-tempat-penampungan-sampah-unik-di-jepang/>
- DPMPSTSP DKI Jakarta. (2008). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 Tentang Pengelolaan Sampah*. Retrieved from DPMPSTSP DKI Jakarta: <https://pelayanan.jakarta.go.id/download/regulasi/undang-undang-nomor-18-tahun-2008-tentang-pengelolaan-sampah.pdf>
- Ghofar, A. (2023, Februari 21) *Penghindaran Tanggung Jawab Produsen Dan Pengelolaan sampah di hilir Menghambat Visi Nol Sampah Dan Nol Emisi, WALHI Wahana Lingkungan Hidup Indonesia*. Retrieved from WALHI: <https://www.walhi.or.id/penghindaran-tanggung-jawab-produsen-dan-pengelolaan-sampah-di-hilir-menghambat-visi-nol-sampah-dan-nol-emisi>
- Hermawan, F. (2017). *Penerapan teknologi waste to energy (WTE) pada rencana pembangunan intermediate treatment facility (ITF) Sunter Jakarta Utara*. Dinas Lingkungan Hidup Provinsi DKI Jakarta.
- Miller, G. &. (2007). *Environmental Science: Solid and hazardous*. Boston: Cengage Learning.
- Moersid, M. M. (2004). Konsep National Action Plan Pengelolaan Sampah dalam rangka Millenium Development Goals. *Makalah Seminar Kajian Pengelolaan Sampah Secara Terintegrasi*, (Vol. 26).
- Mu'min, P. A., & Satwikasari, A. F. (2020). Kajian Konsep Arsitektur Berkelanjutan Pada Bangunan Pusat Perbelanjaan: Mal Cilandak Town Square. *Jurnal Arsitektur ZONASI*, 3(2), 142-51.
- Parsika. (2023). *Sustainable architecture Atau Arsitektur berkelanjutan*. Retrieved from Arsitur Studio: <https://www.arsitur.com/2019/08/sustainable-architecture-adalah.html>
- Riduan, D. (2015). *Diktat Kuliah TI-3104 Pengelolaan Sampah*. Retrieved from Academia.edu : https://www.academia.edu/11499790/Diktat_Sampah_Prof_Damanhuri

- Sassi, P. (2006). *Strategies for sustainable architecture*. Taylor & Francis.
- Soemirat, J. (2018). *Kesehatan Lingkungan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Steele, J. (1997). *Sustainable architecture*. New York: McGraw-Hill.
- Sugiyono. (2007). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Tanuwidjaja, G. (2011). *Desain Arsitektur Berkelanjutan di Indonesia: Hijau Rumahku Hijau Negeriku*.
- Unit Pengelola Sampah Terpadu Dinas Lingkungan Hidup Provinsi DKI Jakarta. (n.d.). *Intermediate Treatment Facility*. Retrieved from Portal Resmi Unit Pengelola Sampah Terpadu Dinas Lingkungan Hidup Provinsi DKI Jakarta: <https://upstdlh.id/itf/index>

