

**WASTE-TO-WONDERLAND: PERANCANGAN WASTE-TO-ENERGY
DENGAN PENDEKATAN *ECO-TECH ARCHITECTURE* DI TPA TERJUN**

MEDAN

SKRIPSI

Disusun Oleh:

HANIYAH ADELIA BATUBARA

218140013

Dosen Pembimbing:

Yunita Syafitri Rambe, ST., MT.



PROGRAM STUDI ARSITEKTUR

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MEDAN AREA

2025

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 17/4/26

Access From (repository.uma.ac.id)17/4/26

**WASTE-TO-WONDERLAND: PERANCANGAN WASTE-TO-ENERGY
DENGAN PENDEKATAN *ECO-TECH ARCHITECTURE* DI TPA TERJUN**

MEDAN

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana di Fakultas

Teknik Universitas Medan Area

Oleh:

HANIYAH ADELIA BATUBARA

218140013



PROGRAM STUDI ARSITEKTUR

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MEDAN AREA

2025

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 17/4/26

Access From (repository.uma.ac.id)17/4/26

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Tugas Akhir : *WASTE-TO-WONDERLAND: PERANCANGAN WASTE-TO-ENERGY DENGAN PENDEKATAN ECO-TECH ARCHITECTURE* DI TPA TERJUN MEDAN

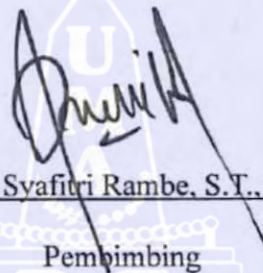
Nama : Haniyah Adelia Batubara

NPM : 218140013

Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh:

Komisi Pembimbing



Yunita Syafitri Rambe, S.T., M.T.

Pembimbing



Dr. Eng. Supratno, S.T., M.T.

Dekan Fakultas Teknik



Yunita Syafitri Rambe, S.T., M.T.

Kepala Program Studi Arsitektur

Tanggal Lulus: 23 September 2025

HALAMAN PERNYATAAN

Dengan penuh tanggung jawab, saya menyatakan bahwasannya tugas akhir ini merupakan hasil karya tulis saya sendiri, yang disusun sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana. Terdapat bagian-bagian tertentu dalam penulisan tugas akhir yang merupakan hasil kutipan dari karya orang lain yang telah dicantumkan sumbernya secara jelas dan sesuai dengan ketentuan dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima segala konsekuensi, termasuk pencabutan gelar dan sanksi lainnya yang sesuai dengan peraturan yang berlaku apabila di kemudian hari ditemukan adanya unsur plagiarisme dalam penulisan tugas akhir ini.

Medan, 28 Oktober 2025

Hormat Saya,



Haniyah Adelia Batubara

218140013

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagi bagian dari sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Haniyah Adelia Batubara

NPM : 218140013

Program Studi : Arsitektur

Fakultas : Teknik

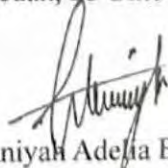
Jenis Karya : Tugas Akhir

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (*Non-Exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**WASTE-TO-WONDERLAND: PERANCANGAN WASTE-TO-ENERGY
DENGAN PENDEKATAN ECO-TECH ARCHITECTURE DI TPA TERJUN
MEDAN**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Hak ini mencakup kewenangan bagi Universitas Medan Area untuk menyimpan, mengalih media/formatkan, mengolah dalam bentuk pangkalan data (*data base*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya dengan tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan pemegang hak cipta. Demikian pernyataan ini saya buat.

Medan, 28 Oktober 2025


Haniyah Adelia Batubara
218140013

ABSTRAK

Permasalahan sampah di Kota Medan semakin mendesak, dengan timbulan harian yang semakin meningkat namun belum diimbangi oleh sistem pengelolaan yang efisien. TPA Terjun sebagai lokasi pembuangan akhir mengalami beban berlebih dan risiko pencemaran lingkungan yang signifikan. Kondisi ini menuntut hadirnya solusi pengelolaan sampah yang tidak hanya menanggulangi volume limbah, tetapi juga mampu memberikan manfaat berkelanjutan. Perancangan fasilitas Waste-to-Energy di TPA Terjun bertujuan sebagai solusi pengelolaan sampah berkelanjutan yang mampu mengonversi limbah menjadi energi listrik melalui proses insinerasi. Proyek ini mengusung konsep “Waste-to-Wonderland” yang tidak hanya berfokus pada fungsi pengolahan sampah, tetapi juga menciptakan ruang edukatif dan rekreatif yang terintegrasi. Pendekatan desain menggunakan prinsip Eco-tech architecture, yang menekankan efisiensi energi, teknologi ramah lingkungan, serta respons kontekstual terhadap tapak dan masyarakat sekitar.

Kata Kunci: Pengelolaan sampah, *Waste-to-Energy*, *Eco-tech architecture*.

ABSTRACT

The waste problem in Medan City is increasingly pressing, with increasing daily volumes but not yet balanced by an efficient management system. TPA Terjun as a final disposal site is experiencing an overload and significant risk of environmental pollution. This condition demands the presence of a waste management solution that not only addresses the volume of waste, but is also able to provide sustainable benefits. The design of the Waste-to-Energy facility at TPA Terjun aims to be a sustainable waste management solution that is able to convert waste into electrical energy through the incineration process. This project carries the concept of "Waste-to-Wonderland" which not only focuses on the function of waste processing, but also creates an integrated educational and recreational space. The design approach uses the principles of Eco-tech architecture, which emphasizes energy efficiency, environmentally friendly technology, and contextual responses to the site and surrounding community.

Key Words: *Waste management, Waste-to-Energy, Eco-tech architecture.*

RIWAYAT HIDUP

Penulis lahir di Kota Medan, pada tanggal 12 Januari 2002. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara.

Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SD Swasta Jenderal Sudirman pada tahun 2013. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Swasta Islam An-Nizam dan lulus pada tahun 2016. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) di Madrasah Aliyah Negeri (MAN) 1 Medan dan lulus pada tahun 2016. Pada tahun 2019 – 2021 penulis pernah melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Medan (ITM) dengan Program Studi Arsitektur. Kemudian, pada tahun 2021 penulis melanjutkan pendidikan di Perguruan tinggi swasta Universitas Medan Area (UMA) pada Fakultas Teknik Program Studi Arsitektur.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan Syukur kepada Allah SWT Tuhan yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Proposal Skripsi yang berjudul “*Waste-to-Wonderland: Perancangan Waste-to-Energy dengan Pendekatan Eco-Tech Architecture*” sebagaimana mestinya, dengan segala kekurangan dan kelebihanannya.

Terwujudnya penulisan proposal skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak. Maka, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang telah banyak membantu penulis dalam penyusunan proposal skripsi ini. Penulis ucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Yunita Syafitri Rambe, S.T., M.T. selaku Kepala Program Studi Arsitektur Universitas Medan Area sekaligus selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahnya kepada penulis dan berkontribusi besar dalam memberikan waktu, pikiran, perhatian, dan kesabaran selama proses penyusunan skripsi ini.
2. Para dosen pengajar dan staf Program Studi Arsitektur yang telah banyak memberikan ilmu dan pengetahuan serta pengalaman yang berharga bagi penulis selama menempuh pendidikan di Program Studi Arsitektur Universitas Medan Area.
3. Kedua orang tua penulis yang senantiasa memberikan dukungan dan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

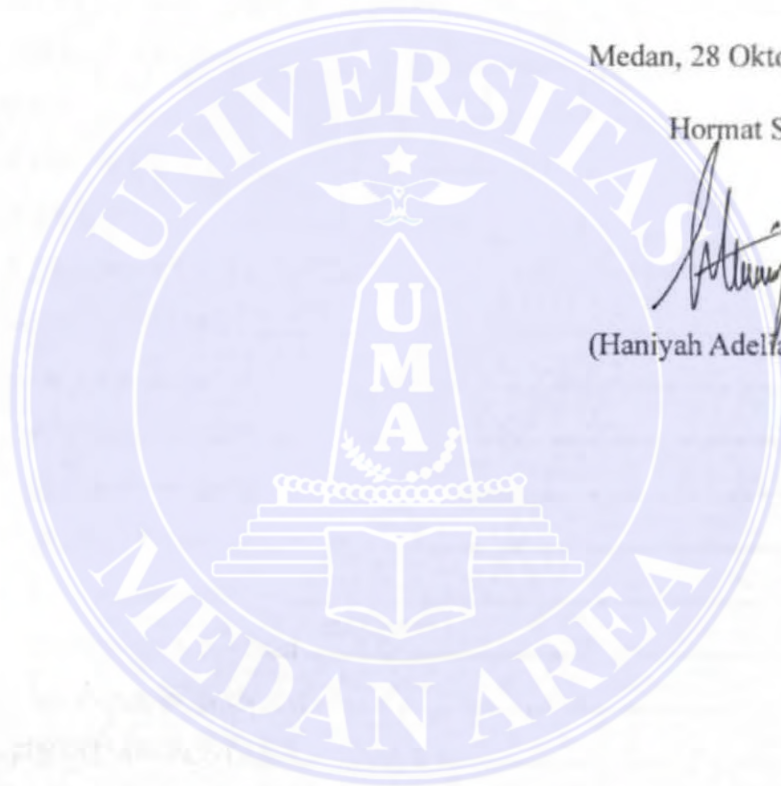
Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun dalam penyempurnaan penulisan skripsi ini. Akhir kata, dengan Rahmat dari Allah SWT, semoga skripsi ini dapat bermanfaat. Dengan kerendahan hati perkenankanlah penulis menyampaikan permohonan maaf apabila terdapat kata-kata yang kurang berkenan di dalam skripsi ini

Medan, 28 Oktober 2025

Hormat Saya,



(Haniyah Adelia Batubara)



DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PERNYATAAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
RIWAYAT HIDUP	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR DIAGRAM.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Perancangan	4
1.4 Manfaat Perancangan	5
1.5 Batasan Masalah.....	5
1.6 Sistematika Penulisan	6
1.7 Kerangka Berpikir	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Terminologi Judul.....	9
2.2 Sampah	10
2.2.1 Pengertian Sampah	10
2.2.2 Timbulan Sampah.....	11
2.2.3 Komposisi Sampah	11
2.2.4 Sampah di Kota Medan.....	12
2.2.5 Dampak Sampah Terhadap Manusia dan Lingkungan	14
2.3 Pengelolaan Sampah dan Tantangannya.....	16

2.3.1	Definisi Pengelolaan Sampah.....	16
2.3.2	Prinsip Pengelolaan Sampah	16
2.3.3	Metode Pengelolaan Sampah	20
2.3.4	Sistem Pengelolaan Sampah di Kota Medan.....	23
2.3.5	Pengelolaan Sampah di TPA Terjun.....	25
2.4	<i>Waste-to-Energy</i> (WtE) sebagai Solusi Pengolahan Sampah	27
2.4.1	Definisi <i>Waste-to-Energy</i>	27
2.4.2	Prinsip <i>Waste-to-Energy</i>	28
2.4.3	Sistem Kerja <i>Waste-to-Energy</i>	29
2.4.4	Jenis-Jenis Teknologi <i>Waste-to-Energy</i>	33
2.4.5	Kelebihan dan Kekurangan <i>Waste-to-Energy</i> Secara Umum.....	36
2.4.6	Kelebihan dan Kekurangan Jenis Teknologi <i>Waste-to-Energy</i>	37
2.4.7	Potensi Energi pada <i>Waste-to-Energy</i> di TPA Terjun.....	38
2.5	Standar Arsitektur Fasilitas <i>Waste-to-Energy</i>	42
2.5.1	Standar Perencanaan	42
2.5.2	Standar Perancangan.....	43
2.6	<i>Eco-Tech Architecture</i>	48
2.6.1	Pengertian <i>Eco-Tech Architecture</i>	48
2.6.2	Prinsip-Prinsip <i>Eco-Tech Architecture</i>	48
2.6.3	Relevansi <i>Eco-Tech Architecture</i> dalam Perancangan <i>Waste-to-Energy</i> (WtE).....	50
2.7	Studi Banding	52
2.7.1	Studi Banding Fungsi Sejenis.....	52
2.7.2	Kesimpulan Studi Banding Fungsi Sejenis	68
2.7.3	Studi Banding Pendekatan Sejenis	70
2.7.4	Kesimpulan Studi Banding Pendekatan Sejenis	82
BAB III METODOLOGI PERANCANGAN		84
3.1	Deskripsi Proyek	84
3.2	Tinjauan Lokasi.....	85
3.3	Metodologi Perancangan	90
3.2.1	Metode Pengumpulan Data	90
3.2.2	Metode Pengolahan dan Analisis Data	92

3.2.3	Konsep Perancangan.....	93
3.2.4	Dokumen Pra-Rancangan.....	93
BAB IV ANALISIS PERANCANGAN		95
4.1	Analisis Bentuk dan Massa Bangunan	95
4.1.1	Analisis Kriteria Perancangan	95
4.1.2	Analisis Struktur Organisasi dan Alur Proses Operasional	98
4.1.3	Analisis Aktivitas Pengguna dan Kebutuhan Ruang	104
4.1.4	Analisis Program Ruang	109
4.1.5	Analisis Zoning dan Hubungan Ruang	113
4.2	Analisis Tapak	116
4.2.1	Analisis Lokasi Perancangan.....	116
4.2.2	Analisis Peraturan dan Lingkungan Sekitar	117
4.2.3	Analisis Klimatologi	120
4.2.4	Analisis Kebisingan dan Bau	125
4.2.5	Analisis Pencapaian dan Sirkulasi	126
4.2.6	Analisis View.....	128
4.2.7	Analisis Vegetasi.....	128
4.3	Analisis Struktur.....	129
4.3.1	Struktur Bawah	129
4.3.2	Struktur Tengah	131
4.3.3	Struktur Atas.....	132
4.4	Analisis Utilitas	133
BAB V KONSEP PERANCANGAN		136
5.1	Konsep Utama	136
5.2	Konsep Bentuk dan Massa Bangunan	136
5.3	Konsep Lokasi Perancangan, Peraturan, dan Lingkungan Sekitar.....	138
5.4	Konsep Klimatologi.....	139
5.5	Konsep Kebisingan dan Bau	141
5.6	Konsep Pencapaian dan Sirkulasi	143
5.7	Konsep View	145
5.8	Konsep Vegetasi	147
5.9	Konsep Utilitas	149

5.10 Hasil Akhir	155
BAB VI PENUTUP	160
6.1 Kesimpulan	160
6.2 Saran	160
DAFTAR PUSTAKA	161
LAMPIRAN	165



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Komposisi Sampah di Kota Medan	13
Gambar 2. 2 Sumber Sampah di Kota Medan	14
Gambar 2. 3 Metode <i>Open Dumping</i>	21
Gambar 2. 4 Metode <i>Sanitary Landfill</i>	21
Gambar 2. 5 Metode <i>Composting</i>	22
Gambar 2. 6 Metode <i>Waste-to-Energy</i>	23
Gambar 2. 7 Sistem Kerja <i>Waste-to-Energy</i>	32
Gambar 2. 8 Teknologi <i>Incineration</i>	34
Gambar 2. 9 Teknologi <i>Pyrolysis</i>	35
Gambar 2. 10 Teknologi <i>Gasification</i>	35
Gambar 2. 11 Teknologi <i>Anaerobic Digestion</i>	36
Gambar 2. 12 Jembatan Timbang	44
Gambar 2. 13 Area Manuver Kendaraan	44
Gambar 2. 14 <i>Waste Bunker</i>	45
Gambar 2. 15 <i>Crane Operator Room</i>	45
Gambar 2. 16 Skema <i>Energy Recovery</i>	46
Gambar 2. 17 Skema <i>Flue Gas Treatment</i>	47
Gambar 2. 18 Pembakaran Limbah Menjadi Residu Padat	48
Gambar 2. 19 CopenHill	53
Gambar 2. 20 Produksi Energi di CopenHill	53
Gambar 2. 21 <i>Ski Slope</i> CopenHill	54
Gambar 2. 22 <i>Hiking Trail</i> CopenHill	54
Gambar 2. 23 <i>Climbing Wall</i> CopenHill	55
Gambar 2. 24 Potongan CopenHill	58
Gambar 2. 25 TuasOne <i>Waste-to-Energy Plant</i>	59
Gambar 2. 26 <i>Reception Hall & Waste Bunker</i> TuasOne WtE Plant	59
Gambar 2. 27 <i>Incinerator & Boiler</i> TuasOne WtE Plant	60
Gambar 2. 28 <i>Steam Turbine & Generator</i> TuasOne WtE Plant	60
Gambar 2. 29 <i>Ash Handling System</i> TuasOne WtE Plant	61

Gambar 2. 30 <i>Flue Gas Treatment</i> TuasOne WtE <i>Plant</i>	61
Gambar 2. 31 Tur Edukasi TuasOne WtE <i>Plant</i>	62
Gambar 2. 32 Lahan TuasOne WtE <i>Plant</i>	63
Gambar 2. 33 <i>Shenzhen East Waste-to-Energy Plant</i>	64
Gambar 2. 34 <i>Visitor Center</i> pada <i>Shenzhen WtE</i>	64
Gambar 2. 35 <i>Observatory Deck</i> pada <i>Shenzhen WtE</i>	65
Gambar 2. 36 Tata Letak Mesin <i>Shenzhen WtE</i>	65
Gambar 2. 37 Tata Letak Lansekap <i>Shenzhen WtE</i>	66
Gambar 2. 38 <i>Nanjing Eco-Tech Island Exhibition Center</i>	70
Gambar 2. 39 Bentuk Bangunan <i>Nanjing Eco-Tech</i>	71
Gambar 2. 40 Potongan <i>Nanjing Eco-Tech</i>	71
Gambar 2. 41 Okulus pada <i>Nanjing Eco-Tech</i>	72
Gambar 2. 42 Fasad Dinding Kaca pada <i>Nanjing Eco-Tech</i>	72
Gambar 2. 43 Koridor pada <i>Nanjing Eco-Tech</i>	73
Gambar 2. 44 Respon <i>Nanjing Eco-Tech</i> terhadap Lingkungan	73
Gambar 2. 45 Koneksi Lingkungan pada <i>Nanjing Eco-Tech</i>	74
Gambar 2. 46 Simbolis pada <i>Nanjing Eco-Tech</i>	74
Gambar 2. 47 <i>Yongjia Gymnasium, Swimming Pool Competition</i>	75
Gambar 2. 48 Struktur Pipa dan Kabel Baja pada <i>Yongjia Gymnasium</i>	75
Gambar 2. 49 <i>Skylight</i> pada <i>Yongjia Gymnasium</i>	76
Gambar 2. 50 Bentuk Bangunan <i>Yongjia Gymnasium</i>	76
Gambar 2. 51 Bagian Depan <i>Yongjia Gymnasium</i>	77
Gambar 2. 52 <i>Skybridge</i> pada <i>Yongjia Gymnasium</i>	77
Gambar 2. 53 Konteks Lingkungan <i>Yongjia Gymnasium</i>	78
Gambar 2. 54 <i>Orokonui Ecosanctuary Visitor Center</i>	78
Gambar 2. 55 Elemen Ekspos <i>Orokonui Ecosanctuary Visitor Center</i>	79
Gambar 2. 56 Fasad Kaca pada <i>Orokonui Ecosanctuary Visitor Center</i>	79
Gambar 2. 57 <i>Sun Shading</i> pada <i>Orokonui Ecosanctuary Visitor Center</i>	80
Gambar 2. 58 Solar Panel pada <i>Orokonui Ecosanctuary Visitor Center</i>	80
Gambar 2. 59 <i>Siteplan</i> <i>Orokonui Ecosanctuary Visitor Center</i>	81
Gambar 2. 60 Tampak <i>Orokonui Ecosanctuary Visitor Center</i>	81
Gambar 2. 61 Simbolis <i>Orokonui Ecosanctuary Visitor Center</i>	82

Gambar 3. 1 Peta Kecamatan Medan Marelan	85
Gambar 3. 2 RDTR Kecamatan Medan Marelan	86
Gambar 3. 3 RDTR Lokasi Perancangan	87
Gambar 3. 4 Lokasi Perancangan	87
Gambar 3. 5 Eksisting Site	88
Gambar 3. 6 Batasan Site Sebelah Barat	88
Gambar 3. 7 Batasan Site Sebelah Timur	89
Gambar 3. 8 Batasan Site Sebelah Utara	89
Gambar 3. 9 Batasan Site Sebelah Selatan	89
Gambar 3. 10 Tumpukan Sampah di Sekitar TPA Terjun	90
Gambar 4. 1 Zoning Lantai 1 Massa A	114
Gambar 4. 2 Zoning Lantai 2 Massa A	114
Gambar 4. 3 Zoning Lantai 3 Massa A	115
Gambar 4. 4 Zoning Lantai 1 Massa B	115
Gambar 4. 5 Zoning Lantai 2 Massa B	115
Gambar 4. 6 Peta Lokasi Fasilitas <i>Waste-to-Energy</i>	116
Gambar 4. 7 Batasan Site dan Lingkungan Sekitar	118
Gambar 4. 8 Alternatif Zona	119
Gambar 4. 9 Alternatif Zona	119
Gambar 4. 10 <i>Green Buffer</i>	120
Gambar 4. 11 Lintasan Matahari, Pergerakan Angin, dan Curah Hujan	120
Gambar 4. 12 Orientasi Bangunan pada Tapak	121
Gambar 4. 13 Penggunaan <i>Solar Panel</i>	121
Gambar 4. 14 <i>Sun Shading</i>	122
Gambar 4. 15 Penempatan Zona Teknis pada Tapak	122
Gambar 4. 16 Void, Arium Terbuka, dan <i>Skylight</i>	123
Gambar 4. 17 <i>Cross Ventilation</i>	123
Gambar 4. 18 Elevasi Bangunan	124
Gambar 4. 19 <i>Rainwater Harvesting</i>	124
Gambar 4. 20 Perkerasan Permeabel	125
Gambar 4. 21 Analisis Kebisingan dan Bau pada Tapak	125
Gambar 4. 22 Pembagian Zoning Bangunan pada Tapak	126

Gambar 4. 23 Pembagian Akses Keluar Masuk pada Tapak.....	127
Gambar 4. 24 Potensi View pada Tapak	128
Gambar 4. 25 Vegetasi Eksisting pada Tapak.....	129
Gambar 4. 26 Pondasi Bore Pile.....	130
Gambar 4. 27 Pondasi Telapak	131
Gambar 5. 1 Gubahan Massa	136
Gambar 5. 2 Gubahan Massa	137
Gambar 5. 3 Gubahan Massa	137
Gambar 5. 4 Gubahan Massa	137
Gambar 5. 5 Perletakan Zona Teknis	138
Gambar 5. 6 Penggunaan Green Buffer	138
Gambar 5. 7 Pembagian Zoning dan Orientasi Bangunan.....	139
Gambar 5. 8 Menaikkan Elevasi Bangunan.....	139
Gambar 5. 9 Bukaan pada Bagian Tengah Bangunan.....	140
Gambar 5. 10 Green Roof	140
Gambar 5. 11 Atap dengan Panel Surya.....	141
Gambar 5. 12 Sun Shading Metal Perforated.....	141
Gambar 5. 13 Akses Terpisah	142
Gambar 5. 14 Buffer Vegetasi	142
Gambar 5. 15 Sirkulasi Truk Sampah	143
Gambar 5. 16 Sirkulasi Kendaraan Pekerja Teknis	143
Gambar 5. 17 Sirkulasi Kendaraan Roda 4.....	144
Gambar 5. 18 Sirkulasi Kendaraan Roda 2	144
Gambar 5. 19 Sirkulasi Bus.....	145
Gambar 5. 20 Sirkulasi Pejalan Kaki	145
Gambar 5. 21 Penerapan Konsep View dari Dalam ke Luar.....	146
Gambar 5. 22 Penerapan Konsep View dari Luar ke Dalam.....	146
Gambar 5. 23 Jenis Tanaman yang Ditambahkan pada Tapak	147
Gambar 5. 24 Perletakan Vegetasi pada Site	148
Gambar 5. 25 Vertical Garden	148
Gambar 5. 26 Sistem, Air Bersih	149
Gambar 5. 27 Sistem Air Kotor dan Limbah Cair	150

Gambar 5. 28 Sistem Drainase	150
Gambar 5. 29 Sistem Kelistrikan.....	151
Gambar 5. 30 Sistem Pencahayaan.....	151
Gambar 5. 31 Sistem Penghawaan Zona Teknis	152
Gambar 5. 32 Sistem Penghawaan Zona Publik	152
Gambar 5. 33 Sistem Komunikasi dan Keamanan	153
Gambar 5. 34 Sistem Proteksi Kebakaran	153
Gambar 5. 35 Sistem Transportasi Vertikal dan Horizontal.....	154
Gambar 5. 36 Sistem Pengolahan Sampah Internal.....	154
Gambar 5. 37 Bird View	155
Gambar 5. 38 View ke Massa Teknis.....	156
Gambar 5. 39 Area Parkir.....	156
Gambar 5. 40 Drop Off Area.....	157
Gambar 5. 41 Side Entrance.....	157
Gambar 5. 42 Lobby Kantor.....	158
Gambar 5. 43 Eco-Park.....	158
Gambar 5. 44 Jogging Track	159

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Jumlah Timbunan Sampah di Kota Medan	12
Tabel 2. 2 Jumlah Kendaraan Pengelola Sampah Menurut Kecamatan di Kota Medan Tahun 2023	23
Tabel 2. 3 Jumlah Rumah Tangga Terlayani Pengelolaan Sampah Menurut Kecamatan di Kota Medan tahun 2021-2023.....	24
Tabel 2. 4 Volume Sampah Menurut Kecamatan Pada TPA Terjun (Ton) Januari-Juli 2023	25
Tabel 2. 5 Volume Sampah Menurut Kecamatan Pada TPA Terjun (Ton) Agustus-Desember 2023	26
Tabel 2. 6 Kelebihan dan Kekurangan Jenis-Jenis Teknologi WtE	37
Tabel 2. 7 Konsep Dasar CopenHill	55
Tabel 2. 8 Konsep Desain Shenzhen <i>East Waste-to-Energy Plant</i>	66
Tabel 2. 9 Kesimpulan Studi Banding Fungsi Sejenis	68
Tabel 2. 10 Kesimpulan Studi Banding Pendekatan Sejenis.....	82
Tabel 3. 1 Pembagian Zona pada Perancangan <i>Waste-to-Energy</i>	84
Tabel 4. 1 Analisis Kriteria Perancangan Teori Pemilihan Tapak	95
Tabel 4. 2 Analisis Kriteria Perancangan Teori Pendekatan.....	97
Tabel 4. 3 Analisis Kriteria Perancangan Studi Banding	98
Tabel 4. 4 Mesin dan Persyaratan Ruang	100
Tabel 4. 5 Analisis Aktivitas Pengguna dan Kebutuhan Ruang	104
Tabel 4. 6 Analisis Program Ruang	109

DAFTAR DIAGRAM

Diagram 1. 1 Kerangka Berpikir	8
Diagram 4. 1 Struktur Organisasi <i>Waste-to-Energy</i>	99
Diagram 4. 2 Alur Proses <i>Waste-to-Energy</i>	100



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengelolaan sampah di Indonesia merupakan salah satu permasalahan lingkungan terbesar seiring dengan pertumbuhan populasi dan meningkatnya daya konsumsi masyarakat. Menurut data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), timbulan sampah di Indonesia mencapai 69,7 juta ton/tahun sepanjang tahun 2023. Berdasarkan data tersebut, persentase sampah terkelola sebanyak 67% atau 46,7 juta ton dan sampah tidak terkelola sebanyak 33% atau 23 juta ton (KLHK RI, 2023). Namun, pengelolaan sampah di Indonesia masih menghadapi banyak masalah dan tidak dikelola dengan baik sehingga menimbulkan dampak negatif pada lingkungan, kesehatan masyarakat dan ekosistem perkotaan. Volume sampah yang terus meningkat sehingga antisipasi untuk pengelolaan sampah menjadi sangat penting. Masalah pengelolaan sampah membutuhkan strategi pengelolaan berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan saat ini tanpa mengorbankan kebutuhan masa mendatang (Rahim, n.d.).

Dalam mengatasi permasalahan pengelolaan sampah ini, Pemerintah Indonesia telah mengeluarkan berbagai kebijakan, salah satunya dengan menerapkan pendekatan *Waste-to-Energy* (WtE) atau konversi sampah menjadi energi. Menurut Undang-Undang No. 18 Tahun 2008 tentang pengelolaan sampah, pengelolaan sampah harus dilakukan sesuai dengan prinsip pengurangan, penggunaan kembali, dan pengolahan (3R), dengan fokus pada pemanfaatan kembali sebagai sumber energi alternatif. Terdapat juga Peraturan Presiden No. 35

Tahun 2018 tentang percepatan pembangunan instalasi pengolahan sampah menjadi energi listrik berbasis teknologi ramah lingkungan. Selain itu, sebagai bagian dari strategi diversifikasi sumber energi nasional, RPJMN (Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional) 2025 – 2029 menargetkan untuk meningkatkan bauran energi terbarukan, dengan RUPTL (Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik) PT PLN 2021 – 2030 yang mendukung pengembangan pembangkit listrik berbasis energi terbarukan, termasuk limbah kota. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) No. 4 Tahun 2020 turut memberikan regulasi yang bertujuan untuk mempercepat pengembangan energi terbarukan.

Medan sebagai kota terbesar ke-3 di Indonesia juga menghadapi permasalahan sampah serupa. Jumlah penduduk kota Medan menurut data Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Medan mencapai 2.474.166 jiwa (BPS Kota Medan, 2024). Berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) tahun 2023, Medan berada di urutan ke-6 sebagai kota dengan penyumbang timbulan sampah terbanyak di Indonesia dengan volume sampah sebesar 645.661,28 ton/tahun (KLHK RI, 2023). Menurut data Dinas Lingkungan Hidup Kota Medan, rata-rata volume sampah yang dihasilkan pada tahun 2023 mencapai sekitar 2.000 ton per hari. Tetapi, hanya sekitar 800 ton sampah per hari saja yang dapat ditangani oleh fasilitas pengangkutan sampah untuk menuju Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Sisa sampah sebanyak 1.200 ton per hari yang tidak terangkut berpotensi mencemari lingkungan karena tidak dikelola dengan baik (Dinas Kominfo Kota Medan, 2024).

Sistem pengelolaan sampah di Kota Medan saat ini masih menghadapi banyak tantangan, termasuk kurangnya infrastruktur, rendahnya kesadaran

masyarakat tentang pemilahan sampah, dan sedikitnya fasilitas daur ulang. TPA (Tempat Pembuangan Akhir) Terjun yang menjadi lokasi utama pembuangan sampah di Medan, saat ini menghadapi masalah kelebihan kapasitas karena volume sampah semakin meningkat yang jika tidak segera ditangani dapat memperburuk pencemaran lingkungan dan mempercepat produksi gas metana penyebab efek rumah kaca (Hafizah et al., 2023). Oleh karena itu, salah satu solusi utama untuk mengurangi jumlah sampah secara bersamaan dengan menghasilkan energi yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik kota adalah dengan implementasi *Waste-to-Energy* (WtE) di Medan (Utami et al., 2024).

Pemerintah Kota Medan, di bawah kepemimpinan Wali Kota Bobby Nasution telah menunjukkan komitmen dalam menangani permasalahan sampah dengan mendorong investasi dan kerja sama dengan pihak swasta untuk membangun fasilitas *Waste-to-Energy* (WtE) di TPA Terjun sehingga mewujudkan sistem pengolahan sampah yang lebih canggih dan efisien (Dinas Kominfo Kota Medan, 2025). Langkah ini sejalan dengan kebijakan pemerintah pusat dan daerah untuk meningkatkan pemanfaatan energi terbarukan dan ketergantungan pada *landfill*.

Dalam perancangan fasilitas WtE ini tidak hanya mempertimbangkan teknologi pengolahan sampah, tetapi juga nilai edukasi dan rekreasi bagi masyarakat. Ide "*Waste-to-Wonderland*" digunakan sebagai cara kreatif untuk mengubah persepsi masyarakat terhadap sampah yang identik dengan pencemaran dan bau menjadi elemen yang dapat diolah menjadi energi dan menjadi ruang edukatif dan rekreatif. Pendekatan *Eco-tech Architecture* digunakan dalam

perencanaan WtE ini untuk memastikan bahwa teknologi yang digunakan sesuai dengan prinsip keberlanjutan dan ramah lingkungan. Dengan menggunakan prinsip desain *Eco-tech Architecture*, fasilitas ini dapat beroperasi secara optimal tanpa memberikan dampak negatif terhadap ekosistem sekitar. Oleh karena itu, pengembangan fasilitas WtE di Medan tidak hanya berperan dalam menangani persoalan sampah, tetapi juga merupakan solusi jangka panjang dan sebagai langkah menuju lingkungan yang bersih, sehat, dan berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, terdapat beberapa permasalahan dalam merancang "*Waste-to-Wonderland*", yaitu:

1. Bagaimana merancang *Waste-to-Energy* di TPA Terjun Medan sebagai solusi untuk mengatasi permasalahan sampah di Kota Medan dan mendukung penyediaan energi terbarukan?
2. Bagaimana *Waste-to-Wonderland* dapat diintegrasikan dalam perancangan *Waste-to-Energy* sebagai ruang edukatif dan rekreatif dengan menggunakan pendekatan *Eco-tech Architecture*?

1.3 Tujuan Perancangan

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, terdapat tujuan dari perancangan *Waste-to-Energy* di TPA Terjun Medan, yaitu:

1. Menerapkan *Waste-to-Energy* sebagai solusi untuk mengurangi volume sampah di Kota Medan sekaligus menghasilkan energi terbarukan.

2. Menciptakan fasilitas yang optimal secara arsitektural dan fungsional dengan mempertimbangkan teknologi, tata ruang, dan integrasi dengan lingkungan sekitar.
3. Mewujudkan ide “*Waste-to-Wonderland*” dengan menggabungkan fungsi pengolahan sampah, edukasi, dan rekreasi untuk meningkatkan kesadaran masyarakat.
4. Mengintegrasikan pendekatan *Eco-tech Architecture* ke dalam desain fasilitas sehingga menjadi ramah lingkungan, efisien, dan berkelanjutan.

1.4 Manfaat Perancangan

Adapun manfaat perancangan *Waste-to-Energy* di TPA Terjun Medan adalah sebagai berikut:

1. Sebagai wadah pengelolaan sampah yang dapat mengurangi volume limbah, menekan emisi gas rumah kaca, mendukung energi terbarukan dengan optimalisasi ruang hijau, dan berkontribusi dalam meningkatkan kualitas lingkungan sekitar.
2. Menciptakan ruang sebagai sarana edukasi dan rekreasi untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pengelolaan sampah dan energi berkelanjutan.
3. Mendorong investasi, membuka lapangan pekerjaan, dan dapat menghasilkan energi listrik yang dapat digunakan untuk kebutuhan kota.

1.5 Batasan Masalah

Agar perancangan *Waste-to-Energy* di TPA Terjun Medan ini lebih terarah, terdapat beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Perancangan difokuskan pada fasilitas WtE sebagai wadah pengelolaan sampah menjadi energi yang dilengkapi dengan sarana edukasi dan rekreasi dengan menggunakan pendekatan *Eco-tech Architecture*.
2. Kajian mencakup aspek arsitektural, fungsional, dan lingkungan, tanpa membahas secara mendalam aspek teknis mesin pengolah sampah dan sistem distribusi energi.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan laporan ini terdiri dari enam bab, setiap bab terdapat beberapa sub-bab. Adapun sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas latar belakang perancangan, rumusan masalah, tujuan perancangan, manfaat perancangan, batasan masalah, sistematika penulisan, dan kerangka berpikir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi kajian teori yang mendukung perancangan, termasuk pendekatan *Eco-tech Architecture*, serta studi banding fungsi sejenis dan studi banding tema.

BAB III METODOLOGI PERANCANGAN

Bab ini menjelaskan metode yang digunakan dalam penelitian dan perancangan, meliputi pengumpulan data dan pemilihan lokasi.

BAB IV ANALISIS PERANCANGAN

Bab ini berisi tentang deskripsi proyek, analisis program ruang, analisis tapak, analisis bangunan, dan lainnya yang terkait dengan perancangan.

BAB V KONSEP PERANCANGAN

Bab ini berisikan konsep dasar perancangan, konsep program ruang, konsep perancangan tapak, konsep bangunan, konsep sistem struktur, dan konsep sistem utilitas dalam desain.

BAB VI PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil perancangan.

DAFTAR PUSTAKA

Berisikan informasi mengenai sumber-sumber yang digunakan dalam penulisan laporan dan perancangan.

1.7 Kerangka Berpikir

Adapun kerangka berpikir atau tahapan pemikiran dalam proses perancangan mulai dari tahap awal hingga akhir, yaitu:

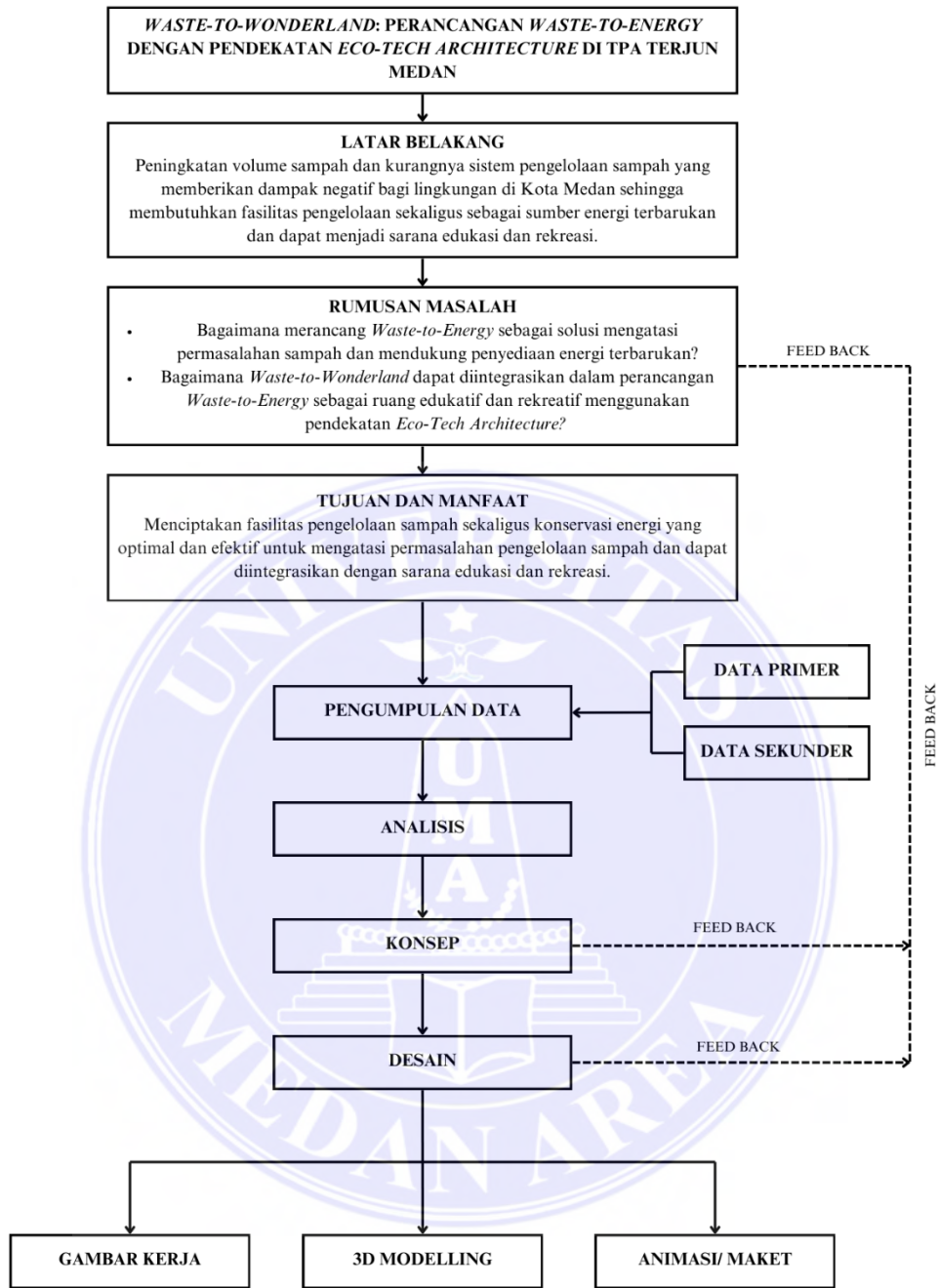


Diagram 1. 1 Kerangka Berpikir

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Terminologi Judul

Judul perancangan ini adalah “*Waste-to-Wonderland: Perancangan Waste-to-Energy dengan Pendekatan Eco-Tech Architecture di TPA Terjun Medan*”. Untuk memahami ruang lingkup perancangan, diperlukan penjelasan dari istilah-istilah utama yang ada pada judul sebagai berikut:

- *Waste-to-Wonderland* : Merupakan penggabungan dari kata “*Waste*” dan “*Wonderland*”. Kata *Waste* diambil dari *Waste-to-Energy* yang merujuk pada limbah. *Wonderland* secara harfiah berarti “negeri ajaib” atau “dunia yang menakjubkan”. Dalam konteks arsitektur *Wonderland* dapat diartikan sebagai lingkungan yang memberikan pengalaman unik, menyenangkan, dan interaktif bagi pengunjung. *Waste-to-Wonderland* melambangkan transformasi dari sesuatu yang dianggap tidak berharga (limbah) menjadi sesuatu yang bermanfaat dan memiliki nilai lebih, baik secara edukatif, rekreatif, dan ekologis. Juga menjadikan salah satu tempat yang paling tidak diminati (tempat pembuangan sampah) menjadi tempat yang ingin dikunjungi oleh masyarakat.
- Perancangan : Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), perancangan yaitu proses, cara, perbuatan merancang sesuatu. Dalam arsitektur, perancangan berarti proses merencanakan dan merancang bangunan, lingkungan, dan kawasan dari tidak ada menjadi ada.
- *Waste-to-Energy* : *Waste-to-energy* (WtE) adalah teknologi yang mengubah limbah menjadi energi dalam bentuk listrik, panas, atau bahan

bakar. *Waste-to-energy* (WtE) memiliki keutamaan yang signifikan, mulai dari berkontribusi untuk mengurangi volume sampah yang berakhir di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sehingga menghemat lahan dan mengurangi emisi gas rumah kaca (Rahim, n.d.).

- Pendekatan : Menurut KBBI, pendekatan adalah proses, perbuatan, atau cara mendekati. Pendekatan juga dapat diartikan sebagai sikap atau pandangan terhadap sesuatu. Dalam konteks arsitektur, pendekatan adalah metode atau cara yang digunakan untuk merancang serta menyelesaikan proyek arsitektur.
- *Eco-Tech Architecture*: Merupakan suatu pendekatan arsitektur yang menjaga dan mengutamakan lingkungan dengan penerapan teknologi (Arif et al., n.d.).
- TPA Terjun : Tempat Pembuangan Akhir Terjun adalah lokasi utama pembuangan sampah di Kota Medan (Hafizah et al., 2023).
- Medan : Medan adalah Ibu Kota Provinsi Sumatera Utara di Indonesia dan merupakan kota terbesar ke-3 (tiga) yang ada di Indonesia.

Berdasarkan penjelasan terhadap terminologi di dalam judul ini, perancangan fasilitas *Waste-to-energy* (WtE) dapat lebih terarah dengan mengintegrasikan pendekatan *Eco-Tech Architecture* untuk menciptakan lingkungan yang berkelanjutan.

2.2 Sampah

2.2.1 Pengertian Sampah

Menurut Undang-Undang No. 18 Tahun 2008, sampah adalah material sisa atau buangan dari kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang

tidak memiliki nilai guna lagi. Sampah dapat berupa benda padat, cair, atau gas. Sampah dapat berasal dari rumah tangga, industri, pertanian, komersial, dan aktivitas lainnya. World Health Organization (WHO) mengatakan sampah adalah segala jenis bahan atau substansi yang tidak lagi berguna. Sampah dapat berupa padat atau cair, organik atau anorganik, dan terdiri dari berbagai macam zat.

2.2.2 Timbulan Sampah

Timbulan sampah adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan jumlah atau volume sampah yang dihasilkan oleh masyarakat dalam satuan waktu tertentu, biasanya ditunjukkan dalam bentuk kilogram per kapita per hari atau meter kubik per hari. Berbagai faktor, seperti jumlah penduduk, Tingkat aktivitas ekonomi, pola konsumsi, dan karakteristik sosial budaya masyarakat, berkontribusi pada besarnya timbulan sampah (Aulia et al., 2024). Timbulan sampah cenderung meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk dan perubahan pola konsumsi (Wardiha et al., 2013). Untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat, strategi pengelolaan sampah yang efektif dapat direncanakan dan diterapkan dengan memahami volume sampah dan komponen yang mempengaruhinya.

2.2.3 Komposisi Sampah

Sampah dikelompokkan menjadi 3 (tiga) kategori utama (Rasyid & Hasibuan, n.d.), yaitu:

1. Sampah organik: Sampah yang terdiri dari bahan-bahan yang dapat terurai secara alami, seperti sisa makanan, rumput, dedaunan, dan

limbah tumbuhan lainnya. Bakteri dan mikroorganisme dapat menguraikan sampah organik menjadi kompos yang kemudian dapat digunakan sebagai pupuk.

2. Sampah anorganik: Sampah yang terdiri dari bahan-bahan yang sulit terurai secara alami, seperti kertas, plastik, logam, kaca, dan lainnya. Sampah organik membutuhkan pengelolaan atau daur ulang khusus untuk dapat diolah kembali menjadi bahan baru dan mengurangi dampak negatifnya terhadap lingkungan.
3. Sampah berbahaya: Sampah yang mengandung bahan berbahaya atau racun seperti baterai, lampu neon, cat, pestisida, obat-obatan, dan limbah medis. Pengelolaan khusus dibutuhkan untuk menghindari kerusakan lingkungan dan risiko bagi kesehatan manusia dari sampah berbahaya.

2.2.4 Sampah di Kota Medan

Kota Medan sebagai salah satu kota metropolitan di Indonesia, menghadapi tantangan serius dalam pengelolaan sampah akibat meningkatnya jumlah penduduk dan aktivitas ekonomi. Berdasarkan data dari Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Medan, rata-rata volume sampah yang dihasilkan Kota Medan mencapai 2.000 ton per hari dengan volume timbulan sampah mencapai 645.661,28 ton/tahun. Berikut ini terdapat informasi timbulan sampah di Kota Medan dari tahun 2020-2023.

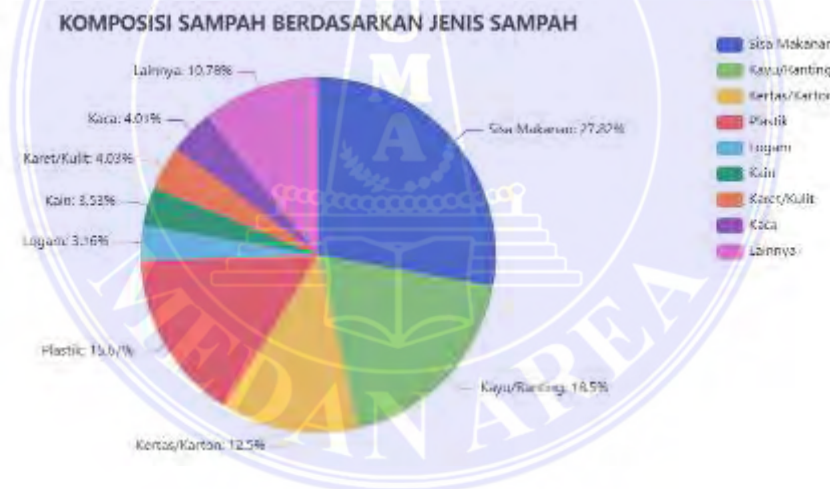
Tabel 2. 1 Jumlah Timbulan Sampah di Kota Medan

Tahun	Provinsi	Kabupaten/ Kota	Timbulan Sampah Harian (ton)	Timbulan Sampah Tahunan (ton)
-------	----------	--------------------	---------------------------------	-------------------------------------

Tahun	Provinsi	Kabupaten/ Kota	Timbulan Sampah Harian (ton)	Timbulan Sampah Tahunan (ton)
2020	Sumatera Utara	Kota Medan	1.704,68	622.206,89
2021	Sumatera Utara	Kota Medan	1.767,16	645.012,56
2022	Sumatera Utara	Kota Medan	1.722,60	628.749,22
2023	Sumatera Utara	Kota Medan	1.763,94	645.661,28

Sumber: Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN)

Berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan bahwa timbulan sampah di Kota Medan cenderung dari tahun 2020 – 2023 cenderung meningkat, Adapun komposisi berdasarkan jenis timbulan sampah tersebut dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2. 1 Komposisi Sampah di Kota Medan

Sumber: Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN)

Komposisi sampah yang ada di Kota Medan berasal dari berbagai sumber sampah, seperti rumah tangga, perkantoran, perniagaan, pasar, fasilitas publik, kawasan, dan lain-lain. Berikut itu terdapat persentase komposisi sampah berdasarkan sumber sampah pada Kota Medan:



Gambar 2. 2 Sumber Sampah di Kota Medan

Sumber: Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN)

2.2.5 Dampak Sampah Terhadap Manusia dan Lingkungan

Sampah yang tidak ditangani dengan baik dapat memberikan dampak negatif bagi manusia maupun lingkungan. Berikut dampak negatif sampah terhadap manusia dan lingkungan (Gulo et al., 2022), yaitu:

1. Pencemaran udara

Kategori sampah organik dan padat yang membusuk mengeluarkan gas seperti metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2) serta senyawa lainnya. Gas-gas tersebut menyebabkan menurunnya kualitas udara dengan bau yang tidak sedap/ bau busuk dan menghasilkan efek rumah kaca (*green house effect*) yang menyebabkan peningkatan suhu dan hujan asam.

2. Pencemaran air

Sampah yang utuh maupun yang telah dipecahkan menjadi partikel kecil dapat mengakibatkan pencemaran air. Hal ini terjadi karena plastik membawa zat kimia seperti bifenil poliklorinasi dan

pestisida, yang dapat mengontaminasi air dan merusak habitat serta kehidupan di sekitarnya. Racun yang dikonsumsi hewan laut juga dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui hewan laut yang dikonsumsi.

3. Pencemaran tanah

Partikel mikroplastik, logam berat, dan zat kimia yang dihasilkan dari penguraian plastik dapat masuk ke dalam lapisan tanah dan menempel pada tumbuhan yang tertanam di dalamnya, seperti sayuran dan buah. Risiko terkena penyakit dapat meningkat jika manusia mengonsumsi sayuran dan buah tersebut. Selain itu, kontaminasi sampah plastik juga dapat menyebabkan tanah tidak subur.

4. Mengurangi nilai estetika lingkungan

Sampah yang berada di lahan terbuka dan sampah yang dibuang sembarangan akan menimbulkan kesan yang buruk dan dapat mempengaruhi estetika lingkungan sekitarnya. Ceceran sampah yang diangkat dari kendaraan pengangkut juga sering terjadi apabila kendaraan tidak memiliki penutup dan kualitas yang memadai, sehingga dapat mengurangi nilai estetika pada lingkungan tersebut.

5. Sumber penyakit

Sampah adalah sumber penyakit, baik secara langsung maupun tidak langsung. Sampah merupakan tempat berkembang biak parasit, bakteri, dan patogen secara langsung, sementara

secara tidak langsung sampah merupakan tempat tinggal bagi vektor (pembawa penyakit) seperti kecoa, tikus, lalat, dan nyamuk. Berbagai penyakit disebabkan karena sampah yang tidak dikelola seperti diare, disentri, cacingan, malaria, kaki gajah (*elephantiasisi*), dan demam berdarah.

6. Dampak sosial

Orang-orang tidak akan senang dengan adanya tumpukan sampah yang tidak terkelola yang ada disekitarnya. Tumpukan sampah tersebut dapat memberikan tampak yang kurang baik dan berpengaruh terhadap dampak sosial pada lingkungan tersebut.

2.3 Pengelolaan Sampah dan Tantangannya

2.3.1 Definisi Pengelolaan Sampah

Pengelolaan sampah merupakan serangkaian kegiatan yang sistematis, menyeluruh, dan berkelanjutan dalam menangani sampah mulai dari sumbernya hingga ke pembuangan akhir (Arifin, 2018). Menurut Undang-Undang No. 18 Tahun 2008, sampah yang dikelola terbagi atas, sampah rumah tangga, sampah sejenis sampah rumah tangga, dan sampah spesifik. Pengelolaan sampah bertujuan untuk meningkatkan kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat, serta dapat menjadi sumber daya.

2.3.2 Prinsip Pengelolaan Sampah

Prinsip merupakan konsep dasar atau acuan yang menjadi landasan dalam pengelolaan sampah. Pengelolaan sampah yang optimal, berkelanjutan, serta efektif untuk diterapkan didasarkan pada beberapa prinsip utama, yaitu:

1. Prinsip 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*)

Prinsip pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) terkait dengan prinsip 3R dalam pengelolaan sampah, terutama dalam hal penerapan penghematan sumber daya (*resource efficiency*) dan penghematan energi (*energy efficiency*). Prinsip 3R dalam pengelolaan sampah terdiri dari (Wahyuni et al., 2014):

- a. *Reduce* (pengurangan), merupakan upaya mengurangi timbulan sampah dilingkungan yang dilakukan sejak sebelum sampah dihasilkan, dengan cara mengurangi penggunaan bahan atau material yang menghasilkan limbah.
- b. *Reuse* (penggunaan kembali), dilakukan dengan cara menggunakan kembali bahan atau material tanpa melalui proses pengolahan agar tidak menjadi sampah.
- c. *Recycle* (daur ulang), merupakan proses mengolah bahan yang sudah tidak berguna (sampah) menjadi bahan lain yang bermanfaat.

2. Prinsip *Waste Hierarchy* (Hirarki Pengelolaan Sampah)

Hirarki pengelolaan sampah merupakan kerangka prioritas dalam pengelolaan sampah yang terdiri dari beberapa langkah-langkah (Ranno Marlany Rachman et al., 2024), yaitu:

- a. Pencegahan (*Prevention*), merupakan upaya menghindari timbulnya sampah melalui desain produk yang optimal dan pola konsumsi yang efisien.
- b. Pengurangan (*Reduction*), merupakan pengurangan jumlah sampah yang dihasilkan.
- c. Penggunaan kembali (*Reuse*), menggunakan kembali komponen yang masih layak pakai.
- d. Daur ulang (*Recycle*), merupakan proses pengolahan sampah menjadi produk baru.
- e. Pemulihan energi (*Energy recovery*), upaya mengurangi sampah dengan cara mengubah sampah menjadi energi melalui proses seperti pembakaran.
- f. Pembuangan akhir (*Disposal*), membuang sampah yang tidak dapat diolah lagi ke tempat pembuangan akhir

3. Prinsip *Circular Economy* (Ekonomi Sirkular)

Prinsip *Circular Economy* merupakan model ekonomi yang bertujuan untuk mempertahankan nilai produk, bahan, dan sumber daya sepanjang siklus ekonomi. Dalam pengelolaan sampah, prinsip ini melibatkan desain ulang proses produksi dan konsumsi untuk memaksimalkan penggunaan kembali dan daur ulang bahan serta mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan (Achi et al., 2024).

4. Prinsip *Polluter Pays* (Pencemar Membayar)

Prinsip *polluter pays* merupakan prinsip yang sering diucapkan dalam deklarasi internasional dan kemudian dimasukkan ke dalam konvensi dan hukum lingkungan internasional. Prinsip *polluter pays* menekankan bahwa pihak yang menyebabkan pencemaran atau kerusakan lingkungan yang harus menanggung biaya pemulihan atau kompensasi atas dampak negatif yang ditimbulkan, bukan tanggung jawab masyarakat atau pemerintah (Purwendah & Erowati, 2021).

5. Prinsip *Extended Producer Responsibility* (EPR)

Prinsip *Extended Producer Responsibility* merupakan konsep yang bertujuan memasukkan biaya lingkungan ke dalam proses produksi hingga produk tidak dapat digunakan lagi, sehingga biaya lingkungan menjadi bagian dari harga pasar produk. EPR mewajibkan para produsen untuk bertanggung jawab atas seluruh siklus hidup produk dan kemasan. Tujuan EPR adalah untuk mengurangi pencemaran dan penggunaan sumber daya alam serta energi pada setiap tahap siklus hidup produk melalui rekayasa desain produk dan teknologi proses (Wahyuni et al., 2014).

6. Prinsip *Environmentally Sound Management* (ESM)

Prinsip *Environmentally Sound Management* (ESM) adalah pendekatan pengelolaan limbah dan sumber daya yang bertujuan untuk meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia dengan menggunakan teknologi dan praktik pengelolaan limbah yang efisien dan berkelanjutan. Aspek penting

dalam ESM adalah pengembangan teknologi ramah lingkungan untuk pengolahan limbah padat (Rina Puji Astutik et al., 2024).

Berdasarkan prinsip-prinsip pengolahan sampah yang ada, *Waste-to-energy* (WtE) termasuk dalam prinsip *Waste Hierarchy* yaitu pada *recovery* atau pemanfaatan limbah menjadi energi, prinsip *Circular Economy* yaitu pemanfaatan limbah menjadi energi yang dapat digunakan kembali dalam siklus produksi dan konsumsi, serta dalam prinsip *Environmentally Sound Management* (ESM) yaitu pengolahan limbah dengan teknologi yang ramah lingkungan.

2.3.3 Metode Pengelolaan Sampah

Pengelolaan sampah mencakup berbagai metode yang dirancang untuk menangani limbah secara efektif dan ramah lingkungan. Berikut ini merupakan metode-metode yang digunakan dalam pengelolaan sampah, yaitu:

1. *Open Dumping* (pembuangan terbuka)

Open Dumping merupakan metode pembuangan sampah secara langsung di lahan terbuka tanpa pengelolaan yang memadai. Metode ini dapat mencemari tanah, air, dan udara, sekaligus menimbulkan risiko bagi kesehatan masyarakat. Meskipun dianggap tidak ramah lingkungan, metode ini masih banyak digunakan di negara berkembang karena keterbatasan infrastruktur dan sumber daya (Frazer, 2024).



Gambar 2. 3 Metode *Open Dumping*

Sumber: www.waste4change.com

2. *Sanitary Landfill*

Sanitary Landfill (tempat pembuangan akhir yang terjamin) merupakan metode pembuangan sampah dengan cara menempatkan sampah di lokasi tertentu yang dimaksudkan untuk mencegah kontaminasi lingkungan. Sampah ditimbun dalam lapisan-lapisan, dipadatkan, dan ditutup dengan tanah atau material penutup lainnya untuk mencegah pencemaran bau dan hama (Frazer, 2024).

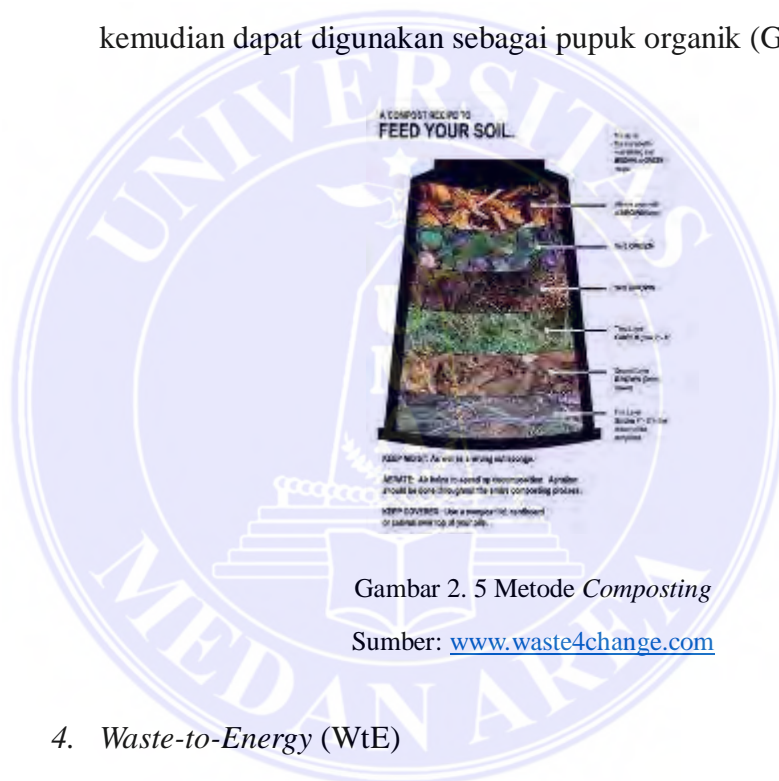


Gambar 2. 4 Metode *Sanitary Landfill*

Sumber: Teknik Lingkungan ITATS

3. *Composting*

Pengolahan biologis merupakan metode pengolahan sampah dengan memanfaatkan aktivitas mikroorganisme untuk menguraikan sampah organik menjadi produk yang lebih stabil dan bermanfaat. *Composting* merupakan metode daur ulang biologis khusus untuk sampah organik. *Composting* atau pengomposan merupakan proses dimana mikroorganisme memecah bahan organik dalam kondisi terkontrol, menghasilkan kompos yang kemudian dapat digunakan sebagai pupuk organik (Gawy, 2023).

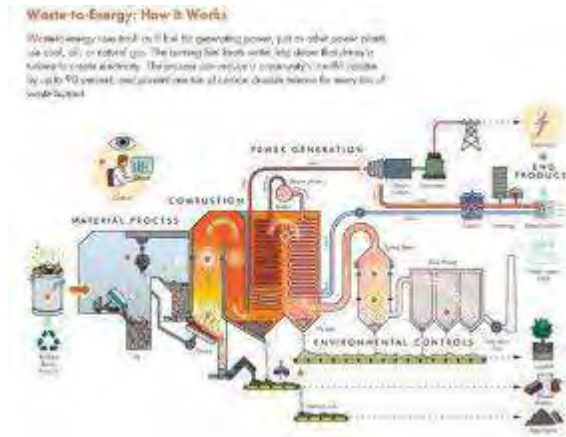


Gambar 2. 5 Metode *Composting*

Sumber: www.waste4change.com

4. *Waste-to-Energy* (WtE)

Metode *waste-to-energy* merupakan proses konversi sampah menjadi energi, seperti listrik dan panas. Proses WtE melalui berbagai metode, termasuk (*Incinerator, Gasification, Pyrolysis, dan Anaerobic Digestion*) untuk mngurangi volume sampah dan juga menyediakan sumber energi alternatif (Pembangunan et al., 2017).



Gambar 2. 6 Metode Waste-to-Energy

Sumber: www.waste4change.com

2.3.4 Sistem Pengelolaan Sampah di Kota Medan

Pengelolaan sampah di Kota Medan melibatkan berbagai aspek, mulai dari pengumpulan, pengangkutan, hingga pembuangan akhir. Pihak yang mengelola persampahan di Kota Medan adalah Dinas Lingkungan Hidup (DLH). Sistem pengangkutan sampah di Kota Medan menggunakan metode komunal, di mana sampah dikumpulkan di TPS (Tempat Penampungan Sementara) untuk kemudian dibuang ke TPA (Tempat Pembuangan Akhir). Proses pengangkutan sampah dilakukan dengan menggunakan berbagai jenis kendaraan pengangkut sampah yang tersedia pada setiap kecamatan. Berikut ini jumlah kendaraan pengelola sampah berdasarkan kecamatan di Kota Medan pada tahun 2023.

Tabel 2. 2 Jumlah Kendaraan Pengelola Sampah Menurut Kecamatan di Kota Medan Tahun 2023

Kecamatan	Becak Sampah (1m ³)	Truk Tipper (6m ³)	Truk Amrol (6m ³)	Truk Amrol (10m ³)	Truk Compactor Kecil (7m ³)	Truk Compactor Besar (10m ³)
Medan Tuntungan	17	2	1	-	2	1

Kecamatan	Becak Sampah (1m ³)	Truk Tipper (6m ³)	Truk Amrol (6m ³)	Truk Amrol (10m ³)	Truk Compactor Kecil (7m ³)	Truk Compactor Besar (10m ³)
Medan Johor	20	7	1	-	3	1
Medan Amplas	16	5	3	-	3	2
Medan Denai	36	4	1	-	4	2
Medan Area	79	11	1	-	2	2
Medan Kota	89	12	-	1	1	5
Medan Maimun	35	7	-	-	1	1
Medan Polonia	23	3	1	-	4	2
Medan Baru	36	7	2	2	-	1
Medan Selayang	18	7	-	-	-	3
Medan Sunggal	30	4	2	-	1	5
Medan Helvetia	28	4	1	2	4	2
Medan Petisah	56	4	1	-	-	3
Medan Barat	58	12	2	1	-	2
Medan Timur	66	12	-	1	1	5
Medan Perjuangan	58	11	-	-	1	2
Medan Tembung	38	8	-	1	2	3
Medan Deli	29	8	-	1	4	2
Medan Labuhan	18	1	1	1	1	1
Medan Marelan	26	4	1	-	1	2
Medan Belawan	24	2	1	-	4	-
MEDAN	800	135	19	10	39	47

Sumber: Dinas Lingkungan Hidup Kota Medan

Pengangkutan sampah dilakukan per kecamatan yang ada di Kota Medan. Berikut ini terdapat tabel jumlah rumah tangga terlayani pengelolaan sampah di Kota Medan dari tahun 2021 – 2023:

Tabel 2. 3 Jumlah Rumah Tangga Terlayani Pengelolaan Sampah Menurut Kecamatan di Kota Medan tahun 2021-2023

Kecamatan	2021	2022	2023
Medan Tuntungan	4.279	3.709	3.540
Medan Johor	3.817	3.073	5.940
Medan Amplas	2.152	1.755	6.300
Medan Denai	3.991	3.476	6.840
Medan Area	10.970	8.772	11.100
Medan Kota	8.071	5.282	13.680
Medan Maimun	2.694	1.978	5.640
Medan Polonia	1.714	1.447	5.700
Medan Baru	3.009	2.253	7.200
Medan Selayang	2.723	2.057	5.400
Medan Sunggal	3.467	2.522	7.380

Kecamatan	2021	2022	2023
Medan Helvetia	4.754	4.404	7.560
Medan Petisah	4.472	3.379	6.360
Medan Barat	5.298	4.044	7.560
Medan Timur	7.717	5.317	12.300
Medan Perjuangan	5.191	4.303	9.060
Medan Tembung	4.603	3.916	8.400
Medan Deli	2.429	2.121	8.100
Medan Labuhan	2.069	1.886	3.420
Medan Marelan	2.143	2.017	4.980
Medan Belawan	2.045	1.931	4.200

Sumber: Dinas Lingkungan Hidup Kota Medan

2.3.5 Pengelolaan Sampah di TPA Terjun

Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Terjun merupakan lokasi utama pembuangan sampah di Kota Medan yang mulai beroperasi pada tanggal 7 januari 1993 dengan luas lahan 14 Ha. Sampah-sampah dari seluruh kecamatan yang ada di Kota Medan diangkut dan dikumpulkan di TPA Terjun. Sampah yang masuk berasal dari berbagai sumber, termasuk sampah rumah tangga dan industri, dengan perbedaan antara sampah organik dan anorganik. Berikut ini terdapat tabel volume sampah menurut kecamatan yang masuk ke TPA Terjun:

Tabel 2. 4 Volume Sampah Menurut Kecamatan Pada TPA Terjun (Ton) Januari-Juli 2023

Kecamatan	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli
Medan Tuntungan	1.719,20	1.536,47	1.878,78	1.890,90	1.465,59	659,76	1.197,63
Medan Johor	1.378,86	1.503,75	1.829,14	1.487,72	1.098,93	1.459,06	1.489,98
Medan Amplas	1.755,38	1.791,05	1.828,86	1.358,73	1.467,118	1.494,57	1.629,65
Medan Denai	1.664,18	1.665,55	1.807,16	1.283,84	1.498,71	1.480,01	1.662,28
Medan Area	1.758,80	1.799,47	2.354,12	1.349,01	1.744,52	1.778,61	1.858,71
Medan Kota	2.672,66	2.269,82	2.171,98	1.784,00	2.580,23	2.415,69	2.618,31
Medan Maimun	1.179,25	837,23	1.395,60	1.592,10	931,25	935,57	975,95
Medan Polonia	1.180,64	1.019,17	2.664,40	1.592,51	1.036,81	1.009,97	1.067,92
Medan Baru	2.116,34	3.093,73	2.304,98	1.710,09	2.182,52	1.816,09	2.052,85
Medan Selayang	1.357,38	908,19	1.575,79	1.556,73	1.070,08	836,46	999,5

Kecamatan	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli
Medan Sunggal	2.842,22	2.137,37	1.972,25	1.835,14	2.438,37	2.528,83	2.807,12
Medan Helvetia	2.944,13	3.649,37	2.811,24	2.001,01	2.636,27	2.494,83	2.915,24
Medan Petisah	2.447,05	1.588,30	2.030,81	2.018,41	1.964,55	1.976,19	2.020,44
Medan Barat	1.964,94	2.208,62	2.319,01	1.560,08	2.196,20	1.890,59	2.175,78
Medan Timur	1.983,89	1.997,91	2.113,57	2.166,58	1.855,46	2.113,66	2.098,32
Medan Perjuangan	1.824,59	1.205,26	1.806,54	2.001,31	1.361,02	1.358,30	1.440,82
Medan Tembung	2.226,83	1.729,48	2.003,69	1.890,82	1.941,01	2.087,87	2.167,20
Medan Deli	2.087,76	2.019,74	2.141,57	1.730,27	2.129,23	2.268,35	2.479,93
Medan Labuhan	1.149,10	961,07	1.694,92	1.454,43	1.025,57	1.140,13	1.294,50
Medan Marelan	1.229,14	1.529,52	1.764,54	1.324,96	1.077,95	1.053,46	1.186,77
Medan Belawan	1.150,47	1.209,33	1.630,15	1.294,70	1.477,19	1.139,81	1.271,25
PD Pasar	549,37	309,44	467,87	427,96	457,19	372,91	484,1
Lain-Lain	578,92	208,18	490,62	446,59	458,29	302,51	363,19
MEDAN	39.760,92	37.241,02	43.060,59	35.757,89	36.094,12	34.613,23	38.257,24

Sumber: Dinas Lingkungan Hidup Kota Medan

Tabel 2. 5 Volume Sampah Menurut Kecamatan Pada TPA Terjun (Ton) Agustus-Desember 2023

Kecamatan	Agustus	September	Oktober	November	Desember	Jumlah
Medan Tuntungan	1.598,93	1.579,61	1.790,53	1.744,86	1.234,52	18.287,40
Medan Johor	1.645,60	1.75,78	1.788,16	1.764,75	1.495,52	18.667,25
Medan Amplas	1.755,04	1.914,72	1.986,59	1.752,07	1.421,06	20.154,90
Medan Denai	1.721,89	1.849,03	1.875,77	1.835,53	1.585,41	19.929,36
Medan Area	1.848,87	1.855,37	2.119,90	2.153,73	1.638,44	22.259,55
Medan Kota	2.850,93	2.888,63	3.115,40	2.652,23	2.612,20	30.632,08
Medan Maimun	998,53	1.063,06	1.056,96	1.036,99	922,62	12.925,11
Medan Polonia	1.263,96	1.303,47	1.324,62	1.264,31	1.164,24	15.892,02
Medan Baru	2.118,53	2.246,49	2.264,80	2.213,00	1.809,38	25.928,80
Medan Selayang	1.068,37	1.061,68	1.393,54	1.429,69	1.282,28	14.539,69
Medan Sunggal	3.021,94	2.893,84	3.026,01	2.947,49	2.550,56	31.004,13
Medan Helvetia	3.279,63	3.220,97	3.345,05	3.285,49	2.783,44	35.366,67
Medan Petisah	2.275,87	2.147,35	2.282,88	2.156,94	1.836,25	24.745,04
Medan Barat	2.413,41	2.499,08	2.775,76	2.597,14	2.316,75	26.917,36
Medan Timur	2.446,84	2.341,83	2.409,27	2.317,71	1.889,39	25.734,43
Medan Perjuangan	1.573,28	1.729,27	1.856,26	1.786,69	1.463,53	19.406,87
Medan Tembung	2.122,24	2.180,33	2.350,43	2.324,77	2.132,43	25.220,10
Medan Deli	2.695,94	2.386,96	2.545,50	2.469,28	2.076,01	27.030,54
Medan Labuhan	1.332,82	1.324,01	1.369,91	1.411,39	1.019,60	15.177,45
Medan Marelan	1.292,56	1.346,47	1.517,97	1.278,19	996,11	15.597,63
Medan Belawan	1.552,74	1.334,28	1.540,09	1.494,52	1.179,96	16.274,49
PD Pasar	268,45	239,17	200,75	198,17	125,08	4.100,46
Lain-Lain	363,15	179,03	273,69	171,29	147,57	3.983,03

Kecamatan	Agustus	September	Oktober	November	Desember	Jumlah
MEDAN	41.500,52	41.310,43	44.209,84	42.286,23	35.682,35	469.774,36

Sumber: Dinas Lingkungan Hidup Kota Medan

Sampah-sampah yang terdapat di TPA Terjun dikelola dengan metode *Open dumping*. Metode *open dumping* merupakan metode pengelolaan sampah, di mana sampah yang masuk hanya ditumpuk begitu saja dan diratakan dengan bantuan alat berat tanpa penimbunan. Metode ini dapat memberikan dampak negatif pada lingkungan, seperti pencemaran tanah karena tumpukan sampah yang tidak teratur dapat menyebabkan bahan kimia berbahaya dan zat-zat toksik yang terkandung dalam sampah meresap ke dalam tanah. Pencemaran air tanah juga merupakan dampak dari metode *open dumping* karena rembesan dari tumpukan sampah dapat mengakibatkan sumber air sekitar TPA menjadi tercemar sehingga menurunkan kualitas air tanah. Selain itu, metode ini juga dapat menghasilkan gas metana yang menyebabkan efek rumah kaca (Hafizah et al., 2023). Pada tahun 2023, Pemerintah Kota Medan mulai melakukan pembangunan TPA dengan menerapkan metode *sanitary landfill* untuk meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan sampah dan juga ramah lingkungan (Dinas Kominfo Kota Medan, 2023).

2.4 Waste-to-Energy (WtE) sebagai Solusi Pengolahan Sampah

2.4.1 Definisi Waste-to-Energy

Waste-to-energy adalah proses konversi sampah menjadi energi yang dapat dimanfaatkan, seperti listrik, panas, bahan bakar, atau material berguna lainnya (UN Environment, 2019). Teknologi WtE mencakup berbagai metode

yang dirancang untuk mengekstraksi energi dari limbah yang tidak dapat didaur ulang, sehingga dapat mengurangi volume limbah yang berakhir di tempat pembuangan serta menjadi sebagai sumber energi alternatif yang dapat digunakan kembali (World Energy Council, 2013).

Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan WtE telah menjadi perhatian utama di Indonesia. Dengan menghasilkan energi terbarukan sekaligus mengurangi volume sampah, WtE memiliki potensi besar untuk mendukung transisi energi global menuju sistem rendah karbon (Idris et al., 2024). Oleh karena itu, *Waste-to-energy* adalah pendekatan yang menggabungkan pengelolaan sampah dengan produksi energi, sebagai sistem pengelolaan sampah berkelanjutan yang lebih efisien dan pengurangan ketergantungan pada bahan bakar fosil.

2.4.2 Prinsip *Waste-to-Energy*

Prinsip dasar *Waste-to-energy* melibatkan konversi sampah menjadi energi dengan bantuan teknologi. Prinsip-prinsip utama dalam WtE (Jamilatun et al., 2023), meliputi:

1. Konversi sampah menjadi energi: yaitu proses transformasi sampah padat, terutama yang memiliki nilai kalor tinggi, menjadi energi menggunakan metode seperti insinerasi, gasifikasi, atau pirolisis untuk menghasilkan panas yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik atau kebutuhan energi lainnya.
2. Reduksi volume sampah: Proses konversi sampah menjadi energi mengakibatkan berkurangnya volume sampah yang berakhir di

tempat pembuangan sampah, sehingga dapat mengurangi kebutuhan lahan.

3. Pengendalian emisi dan polusi: fasilitas WtE dilengkapi dengan teknologi kontrol polusi seperti *scrubber* dan filter partikulat untuk mengurangi polutan udara dan menjamin bahwa pembakaran sampah tidak mencemari lingkungan.
4. Pemanfaatan energi terbarukan: dengan memanfaatkan sampah sebagai sumber energi terbarukan, WtE dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan membantu diversifikasi sumber energi.
5. Efisiensi energi dan keberlanjutan: WtE bertujuan untuk memaksimalkan konversi energi dengan efisiensi tinggi. Dengan demikian, sistem ini dapat berfungsi sebagai sumber energi yang berkelanjutan dan berkontribusi pada diversifikasi energi terbarukan.

2.4.3 Sistem Kerja *Waste-to-Energy*

Untuk memaksimalkan pemanfaatan sampah sebagai sumber energi dan meminimalkan dampak lingkungan, sistem kerja *waste-to-energy* terdiri dari beberapa tahapan, yaitu:

1. Pengumpulan dan pemilahan sampah

Sampah dari berbagai sumber, seperti rumah tangga, industri, dan komersial dikumpulkan untuk selanjutnya dilakukan pengolahan dengan WtE.

2. Pengolahan awal

Selanjutnya dilakukan pemilahan antar sampah organik, anorganik, dan residu. Sampah yang dapat diolah melalui WtE diproses lebih lanjut, seperti pencacahan atau pengeringan untuk meningkatkan efisiensi proses pembakaran. Sampah yang dapat digunakan dalam proses WtE adalah sampah yang memiliki nilai kalor tinggi, seperti:

- a. Sampah anorganik dengan nilai kalor tinggi, yaitu plastik jenis tertentu seperti polyethylene dan polypropylene, kertas dan karton yang tidak bisa didaur ulang, kain dan tekstil sintesis, serta karet dan kulit
- b. Sampah organik dengan kandungan energi tinggi, yaitu kayu, sisa biomassa, sisa tanaman kering, serta sisa makanan yang sudah dikeringkan.
- c. Residu yang tidak bisa didaur ulang, yaitu sampah campuran yang tidak bisa diproses dengan metode lain, seperti limbah industri non-beracun.

Adapun jenis sampah yang tidak dapat digunakan dalam proses WtE yaitu: limbah beracun dan berbahaya (B3), sampah medis atau farmasi tanpa perlakuan khusus, serta sampah organik yang memiliki kadar air tinggi.

3. Proses konversi energi

Tahap ini merupakan inti dari proses *waste-to-energy*, dimana sampah diubah menjadi energi melalui metode tertentu (Insinerasi, gasifikasi, pirolisis, atau *anaerobic digestion*).

4. Pemanfaatan energi

Energi yang dihasilkan dari tahap konversi energi dapat dimanfaatkan dalam berbagai bentuk:

- a. Panas: energi panas dapat langsung digunakan untuk pemanasan distrik atau keperluan pemanasan industri.
- b. Listrik: energi panas yang dihasilkan dari konversi energi digunakan untuk menghasilkan uap yang menggerakkan turbin dan generator listrik.
- c. Bahan bakar: *syngas* atau biogas dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif untuk berbagai kebutuhan.

5. Pengelolaan residual

Setelah proses *waste-to-energy* terdapat sisa material yang disebut *residual waste*. Pengolahan residu dalam proses WtE merupakan langkah penting untuk meminimalisir dampak lingkungan dan memaksimalkan pemanfaatan sisa material.

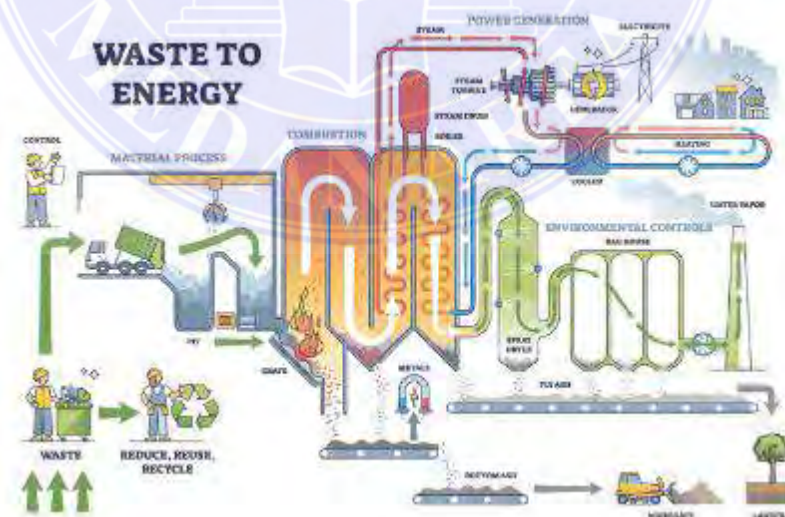
Terdapat jenis *residual waste* dalam WtE, yaitu:

- a. *Bottom Ash* (abu dasar): merupakan sisa padatan yang tersisa di dasar tungku setelah pembakaran, biasanya mengandung logam, kaca, agregat mineral yang dapat didaur ulang dan digunakan dalam konstruksi.

b. *Fly Ash* (abu terbang): merupakan partikel halus yang terbawa dalam gas buang dan ditangkap oleh sistem filtrasi, biasanya mengandung logam berat dan bahan beracun, sehingga diperlukan pengolahan sebelum dibuang, seperti dengan solidifikasi atau stabilisasi menggunakan semen atau polimer (Carneiro et al., 2025).

c. Gas Buang dan Emisi: residu yang mengandung zat berbahaya, sehingga harus melalui sistem penyaringan seperti *scrubber* basah, filter karbon aktif, atau *catalytic converter* untuk mengurangi dampak pencemaran udara.

Berikut ini merupakan Gambaran sistem kerja *waste-to-energy* mulai dari tahap awal hingga tahap akhir:



Gambar 2. 7 Sistem Kerja *Waste-to-Energy*

Sumber: www.blog.wika.com

2.4.4 Jenis-Jenis Teknologi *Waste-to-Energy*

Teknologi *waste-to-energy* (WtE) mengubah limbah menjadi energi yang dapat digunakan, seperti listrik, panas, atau bahan bakar. Berbagai teknologi WtE telah dikembangkan, dan masing-masing memiliki mekanisme dan Tingkat keefektifan yang berbeda. Teknologi yang ada terdiri dari konversi termokimia (*Incineration, Pyrolysis, Gasification*) dan konversi biokimia (*Anaerobic Digestion*) (Idris et al., 2024). Beberapa jenis teknologi WtE yang umum digunakan, yaitu:

1. *Incineration* (pembakaran langsung)

Insinerasi adalah metode pengolahan sampah yang melibatkan pembakaran senyawa yang terkandung pada 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 et al., 2023). Metode insinerasi dapat mengurangi volume sampah sebesar 80 – 90% dengan waktu pembakaran yang singkat dan mampu mendetoksifikasi bahan pathogen sampai 100% (Rudend & Hermana, 2020).

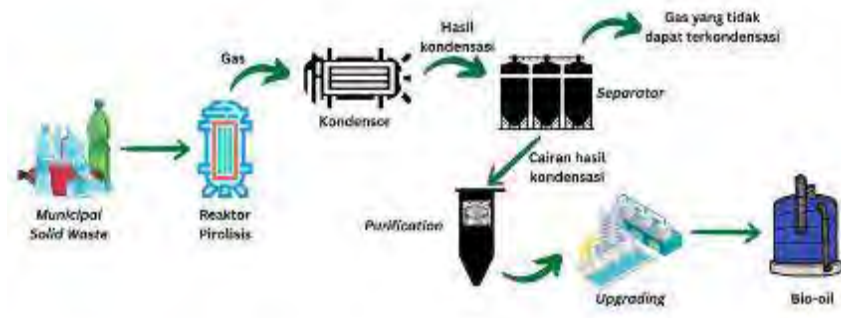


Gambar 2. 8 Teknologi *Incineration*

Sumber: (Idris et al., 2024)

2. *Pyrolysis*

Pyrolysis atau *Pyrolysis* adalah proses pemanasan limbah tanpa adanya oksigen (atau dalam jumlah yang sangat terbatas). Proses pemanasan dilakukan pada suhu 300°C – 800°C yang akan menghasilkan 3 (tiga) produk utama berupa: bio-oil, biochar dan *syngas* (Aini et al., 2022). Produk-produk yang dihasilkan tersebut memiliki kegunaan yang berbeda, seperti bio-oil digunakan untuk bahan bakar alternatif atau bahan baku industri kimia, biochar digunakan untuk aplikasi pertanian dan penyimpanan karbon, dan *syngas* dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik (Lisbona et al., 2023).

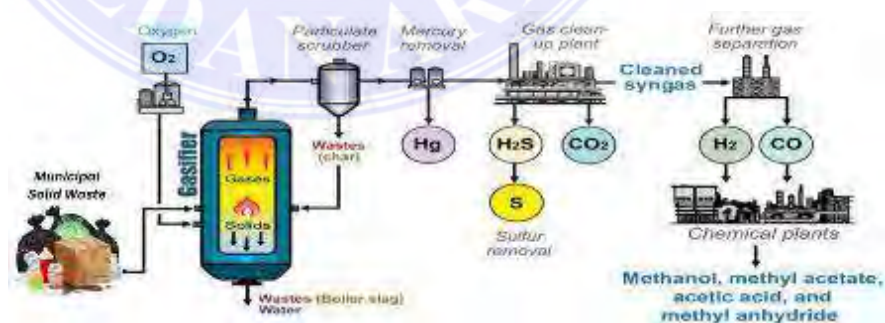


Gambar 2. 9 Teknologi *Pyrolysis*

Sumber: (Idris et al., 2024)

3. *Gasification* (Gasifikasi)

Gasifikasi adalah proses yang mengubah bahan organik atau bahan yang mengandung karbon menjadi gas sintetis atau *syngas*. Proses ini dilakukan pada suhu 800°C – 1200°C dan melibatkan reaksi dengan jumlah terbatas oksigen atau uap air. *Syngas* yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk menghasilkan listrik atau panas, serta dapat digunakan sebagai bahan baku dalam industri kimia (Kaur et al., 2021).

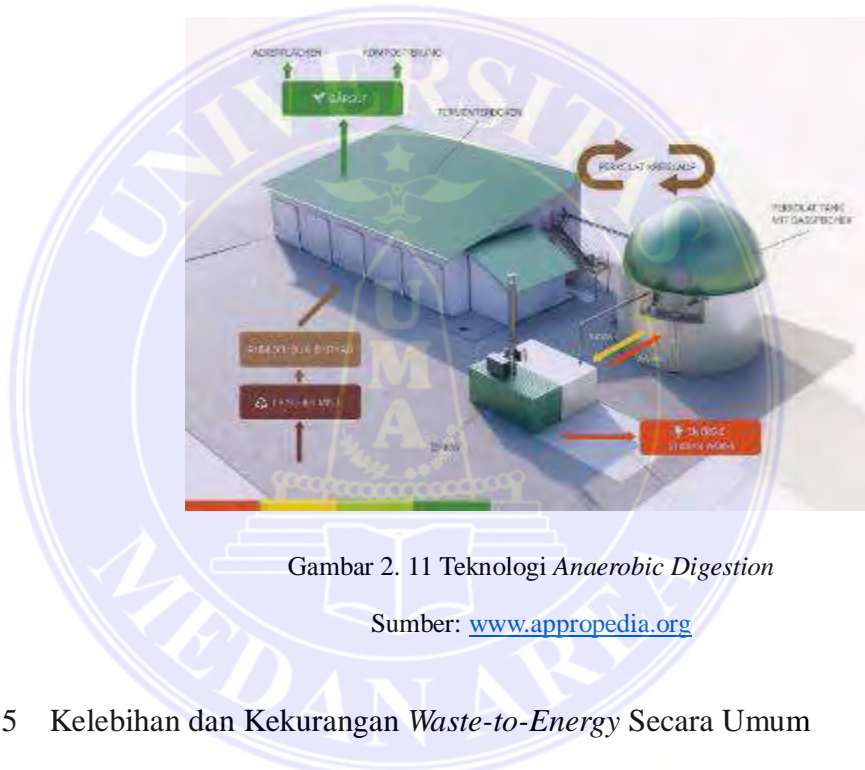


Gambar 2. 10 Teknologi *Gasification*

Sumber: (Idris et al., 2024)

4. *Anaerobic Digestion*

Anaerobic digestion adalah metode yang melibatkan mikroorganisme yang memecahkan bahan organik dalam lingkungan tanpa oksigen, yang kemudian menghasilkan biogas (campuran metana dan karbon dioksida) yang dapat digunakan sebagai sumber energi, dan residu padat yang dapat digunakan sebagai pupuk (Cuba & Faaij, n.d.).



Gambar 2. 11 Teknologi *Anaerobic Digestion*

Sumber: www.appropedia.org

2.4.5 Kelebihan dan Kekurangan *Waste-to-Energy* Secara Umum

Waste-to-energy sebagai teknologi yang dapat mengelola limbah sekaligus menghasilkan energi memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan (Pembangunan et al., 2017). Kelebihan pada *waste-to-energy*, yaitu:

1. Pengurangan volume sampah: teknologi WtE dapat mereduksi volume sampah secara signifikan, sehingga mengurangi kebutuhan lahan untuk Tempat Pembuangan Akhir (TPA)

2. Produksi energi: Selain mengelola limbah, WtE juga dapat menjadi sumber energi terbarukan.
3. Pengurangan emisi gas rumah kaca: WtE dapat mengurangi emisi gas rumah kaca, seperti metana yang dihasilkan dari dekomposisi sampah organik di TPA.

Adapun kekurangan dari teknologi *waste-to-energy* (WtE), yaitu:

1. Biaya investasi yang tinggi: pembangunan WtE membutuhkan investasi awal yang relatif besar.
2. Ketergantungan pada limbah: fasilitas WtE membutuhkan pasokan limbah yang konstan untuk beroperasi secara efisien.
3. Potensi penurunan daur ulang: dikarenakan WtE dapat mengubah limbah menjadi energi, dikhawatirkan dapat mengurangi insentif daur ulang dan mengurangi limbah.
4. Kekhawatiran masyarakat: kemungkinan terjadi penolakan dari masyarakat karena kekhawatiran terhadap polusi udara, bau, dan dampak negatif lainnya.

2.4.6 Kelebihan dan Kekurangan Jenis Teknologi *Waste-to-Energy*

Dalam pengaplikasiannya, *waste-to-energy* (WtE) memiliki berbagai metode yang dapat digunakan. Setiap metode konversi memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Berikut ini merupakan kelebihan dan kekurangan dari metode konversi WtE, yaitu:

Tabel 2. 6 Kelebihan dan Kekurangan Jenis-Jenis Teknologi WtE

Metode	Kelebihan	Kekurangan	Sumber
<i>Incineration</i> (Insinerasi)	<ul style="list-style-type: none"> • Mereduksi volume sampah hingga 80% 	<ul style="list-style-type: none"> • Menghasilkan <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i>, 	(Alao et al., 2022)

Metode	Kelebihan	Kekurangan	Sumber
	<ul style="list-style-type: none"> - 90% • Pembakaran sampah dapat menghasilkan panas yang dapat digunakan untuk memproduksi listrik • Pembakaran sampah dengan bahan bakar dari sampah (<i>Refuse Devrived Fuel</i>) memungkinkan pembakaran lebih efisien dan dalam jumlah besar • Sisa pembakaran dimanfaatkan sebagai bahan konstruksi 	<p>serta residue dari alat pengendali polusi udara, yang memerlukan penanganan khusus</p> <ul style="list-style-type: none"> • Biaya pembangunan relatif tinggi • Diperlukan penyortiran sampah terlebih dahulu • Efisiensi pembakaran bisa dipengaruhi oleh kondisi operasional. 	
<i>Pyrolysis</i> (Pirolisis)	<ul style="list-style-type: none"> • Dapat mengelola sampah dengan efisien sekitar 80% • Menghasilkan bio-oil, biochar, dan <i>syngas</i> • Energi dapat dimanfaatkan dan dampak lingkungan lebih rendah • Investasi awal dan perawatan yang lebih rendah 	<ul style="list-style-type: none"> • Menghasilkan gas beracun, seperti HCl₂, SO₂, dan NH₃ • Sebelum diproses, sampah harus dikeringkan terlebih dahulu • Terkadang produk akhir tercemar oleh logam berat 	(Kulas, 2022)
<i>Gasification</i> (Gasifikasi)	<ul style="list-style-type: none"> • Dapat menghasilkan hidrogen yang memiliki nilai kalor tinggi (141,7 MJ/kg) • Dapat memproses semua jenis residu biologis • Teknologi produksi energi bersih • Efisiensi gasifikasi sampah kota cukup tinggi • Teknologi sederhana dan investasi modal relatif rendah 	<ul style="list-style-type: none"> • Biaya pemasangan dan operasional tinggi • Menghasilkan tar sebagai produk sampingan • Terjadi korosi pada tabung reaktor selama reaksi kimia • Lebih cocok untuk pabrik skala besar 	(Ławińska et al., 2022)
<i>Anaerobic Digestion</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Menghasilkan gas metan yang digunakan sebagai sumber energi • Mereduksi volume 30 – 65% 	<ul style="list-style-type: none"> • Biaya pengadaan awal cukup tinggi • Mikroorganisme pada proses <i>anaerobic digestion</i> sangat sensitive terhadap perubahan lingkungan. 	(Chaerul & Mardiyah, 2019)

Sumber: Analisa Penulis

2.4.7 Potensi Energi pada *Waste-to-Energy* di TPA Terjun

TPA Terjun di Medan memiliki potensi besar untuk menghasilkan energi melalui teknologi *waste-to-energy* (WtE) dengan metode insinerasi. Berikut terdapat formula yang digunakan untuk menghitung energi yang dihasilkan dari proses insinerasi dengan mempertimbangkan nilai kalor sampah, efisiensi fasilitas, dan faktor lainnya.

1. Data awal

- Total sampah harian di Medan = 2.000 ton/hari
- Sampah yang digunakan (80%) = 1.600 ton
- Komposisi sampah dan nilai kalor rata-rata sampah:
 - Sisa makanan (27,82%): 1.500 kcal/kg
 - Kayu dan ranting (18,5%): 3.500 kcal/kg
 - Kertas/ karton (12,5%): 2.500 kcal/kg
 - Plastik (15,67%): 7.000 kcal/kg
 - Material lainnya (25,51%): 500 kcal/kg.

2. Menghitung massa sampah berdasarkan komposisi

- Sisa makanan: $1.600.000 \text{ kg} \times 27,82\% = 445.120 \text{ kg}$
- Kayu dan ranting: $1.600.000 \text{ kg} \times 18,5\% = 296.000 \text{ kg}$
- Kertas/ karton: $1.600.000 \text{ kg} \times 12,5\% = 200.000 \text{ kg}$
- Plastik: $1.600.000 \text{ kg} \times 15,67\% = 250.720 \text{ kg}$
- Material lainnya: $1.600.000 \text{ kg} \times 25,51\% = 408.160 \text{ kg}$.

3. Menghitung energi total untuk tiap jenis sampah

Energi dihitung dengan rumus:

$$E = \text{Massa sampah (kg)} \times \text{Nilai kalor (kcal/kg)}$$

- Sisa makanan:

$$E_{\text{sisa makanan}} = 445.120 \times 1.500 = 667.680.000 \text{ kcal}$$

- Kayu dan ranting:

$$E_{\text{kayu}} = 296.000 \times 3.500 = 1.036.000.000 \text{ kcal}$$

- Kertas/ karton:

$$E_{\text{kertas}} = 200.000 \times 2.500 = 500.000.000 \text{ kcal}$$

- Plastik:

$$E_{\text{plastik}} = 250.720 \times 7.000 = 1.755.040.000 \text{ kcal}$$

- Material lainnya:

$$E_{\text{lainnya}} = 408.160 \times 500 = 204.080.000 \text{ kcal}$$

- Total energi (kcal):

$$E_{\text{total}} = 667.680.000 + 1.036.000.000 + 500.000.000 + 1.755.040.000 + 204.080.000$$

$$E_{\text{total}} = 4.162.800.000 \text{ kcal}$$

4. Konversi ke Joule dan Megajoule

$$1 \text{ kcal} = 4.184 \text{ kJ} = 4.184 \times 10^3 \text{ J}$$

- Konversi ke joule (J)

$$E_{\text{total (J)}} = 4.162.800.000 \text{ kcal} \times 4.184 \text{ J/kcal}$$

$$E_{\text{total (J)}} = 17,41 \times 10^{12} \text{ J}$$

- Konversi ke Megajoule (MJ)

$$1 \text{ MJ} = 1.000.0000 \text{ J}$$

$$E_{\text{total (MJ)}} = \frac{17,41 \times 10^{12} \text{ J}}{10^6} = 17.410.000 \text{ MJ}$$

5. Memperhitungkan efisiensi fasilitas

Insinerasi memiliki efisiensi konversi sekitar 25% (efisiensi untuk mengubah energi panas menjadi listrik).

- Energi listrik yang dihasilkan:

$$E_{listrik} = E_{total} \times Efisiensi$$

$$E_{listrik} = 17.410.000 \times 0,25 = 4.352.500 \text{ MJ}$$

- Konversi ke kWh (1 kWh – 3,6 MJ):

$$E_{listrik} = \frac{4.352.500}{3,6} = 1.209.028 \text{ kWh}$$

6. Konversi ke MW

Energi listrik rata-rata per jam:

$$MW = \frac{1.209.028}{24} = 50,38 \text{ MW}$$

Berdasarkan perhitungan potensi energi yang dihasilkan melalui teknologi *waste-to-energy* dengan menggunakan metode insinerasi di TPA Terjun Medan dapat menghasilkan energi listrik rata-rata sekitar 50,38 MW. Hal ini sejalan dengan rencana pembangunan fasilitas WtE oleh Pemerintah Kota Medan yang bekerja sama dengan pihak swasta yang diproyeksikan mampu mengolah sampah dan menghasilkan energi sebesar 50 MW.

Solusi pengelolaan limbah dengan WtE di TPA Terjun Medan dapat memberikan kontribusi terhadap kebutuhan energi kota. WtE memiliki kapasitas untuk menghasilkan sekitar 50 MW listrik, dengan 10-20% dari total energi digunakan untuk operasional fasilitas dan sisanya dapat disuplai ke jaringan listrik untuk memenuhi kebutuhan listrik kota. Pada tahun 2023, kebutuhan listrik Kota Medan mencapai sekitar 4.218.606 MWh per tahun.

Energi yang dihasilkan dari fasilitas WtE dapat memenuhi sekitar 10,38% dari kebutuhan listrik kota. Sehingga fasilitas ini dapat menjadi langkah awal dalam menyediakan energi berkelanjutan sekaligus mengurangi dampak penumpukan limbah pada lingkungan.

2.5 Standar Arsitektur Fasilitas *Waste-to-Energy*

2.5.1 Standar Perencanaan

Berdasarkan buku *Municipal Waste Incineration*, terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk memenuhi standar perencanaan fasilitas *waste-to-energy* (Haukohl & Atarxen, 2000), yaitu:

1. Pemilihan lokasi

Pemilihan lokasi perlu ditentukan dengan pertimbangan isu ekonomi dan lingkungan. Lokasi yang ditentukan harus sesuai dengan kriteria dan penilaian kelayakan lokasi.

2. Pemilihan teknologi dan desain fasilitas

Pilihan teknologi harus disesuaikan dengan karakteristik sampah dan persyaratan lokal. Dalam desain fasilitas, teknologi yang dipilih harus dapat mengurangi volume sampah hingga 90% dan beratnya hingga 75%.

3. Pengendalian emisi dan dampak lingkungan

Untuk menghindari pencemaran udara, fasilitas *waste-to-energy* harus memiliki sistem pengendalian emisi yang efektif, yang mencakup teknologi yang mengurangi emisi gas berbahaya

dan partikel. Selain itu, residu yang dihasilkan harus dikelola dengan efektif untuk menghindari kontaminasi tanah dan air.

4. Pertimbangan ekonomi dan keberlanjutan

Pembangunan dan operasi WtE memerlukan investasi besar dan biaya operasional yang tinggi. Oleh karena itu, perlu untuk memastikan bahwa proyek tersebut ekonomis dan berkelanjutan dalam jangka panjang.

5. Keterlibatan publik dan transparansi

Keterlibatan publik dalam perencanaan diperlukan karena kekhawatiran masyarakat terhadap polusi. Transparansi dalam komunikasi dan pengelolaan fasilitas dapat mengurangi keraguan dan meningkatkan dukungan masyarakat.

2.5.2 Standar Perancangan

Untuk merancang fasilitas *waste-to-energy*, terdapat beberapa standar yang perlu diperhatikan dalam perancangan berdasarkan instrumen dan mesin yang dipergunakan dan ruang yang diperlukan:

1. *Furnance/Boiler* (Pembakaran)

Area pembakaran terdiri dari beberapa urutan proses pengolahan limbah sebagai berikut, yaitu:

a. *Tipping hall*

Tipping hall merupakan area penerimaan limbah dari truk pengangkut limbah. Terdapat beberapa kebutuhan ruang dalam perancangan *tipping hall*, yaitu:

- 1) Jembatan timbang: digunakan untuk menghitung jumlah limbah yang diangkut oleh truk selama proses pengumpulan limbah.



Gambar 2. 12 Jembatan Timbang

Sumber: www.intitek.co.id

- 2) Area manuver kendaraan: penyediaan area manuver untuk kendaraan pengangkut sampah dan diperlukan desain yang efektif berdasarkan ukuran truk.



Gambar 2. 13 Area Manuver Kendaraan

Sumber: www.epd.gov.hk

b. Waste bunker

Waste bunker merupakan ruang yang digunakan untuk menampung limbah. Kapasitas limbah yang diterima menentukan dimensi *waste bunker*. *Waste bunker* harus dirancang untuk dapat menampung limbah lebih dari satu

minggu sebagai antisipasi adanya perbaikan atau penghentian operasi. *Waste bunker* biasanya berbentuk bak di bawah level tanah dengan konstruksi beton bertulang kedap air untuk kekuatan struktur dari beban yang ditampung dan didesain tertutup untuk mengurangi bau. *Waste bunker* biasanya menggunakan pondasi *raft*.



Gambar 2. 14 *Waste Bunker*

Sumber: www.nea.gov.sg

c. *Waste feeding*

Proses *waste feeding* merupakan area untuk mengoperasikan *crane* melalui ruang operator yang dibuat berdekatan dan dapat melihat langsung ke area *waste bunker*.

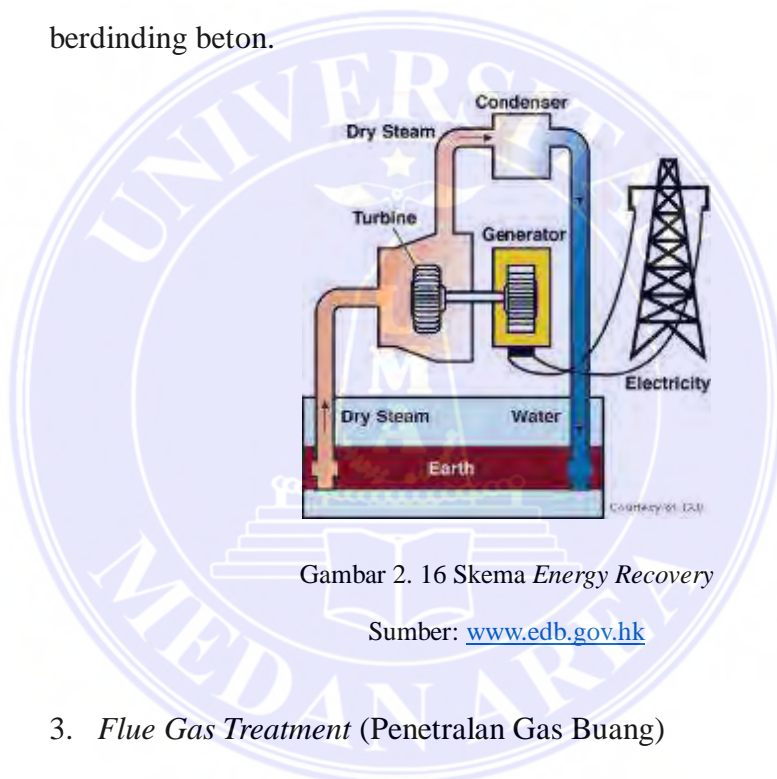


Gambar 2. 15 *Crane Operator Room*

Sumber: www.cranesdq.com

2. *Energy Recovery* (Pembangkitan Energi)

Uap yang keluar dari *boiler* setelah tahap pembakaran dialirkan ke *steam turbine* dan generator untuk menghasilkan energi. Energi yang dihasilkan oleh generator kemudian disalurkan ke grid listrik terdekat untuk didistribusikan sebagai sumber daya dengan menggunakan instalasi kabel bawah tanah. Untuk meredam kebisingan yang dikeluarkan oleh turbin dan generator, maka digunakan ruang ber dinding beton.

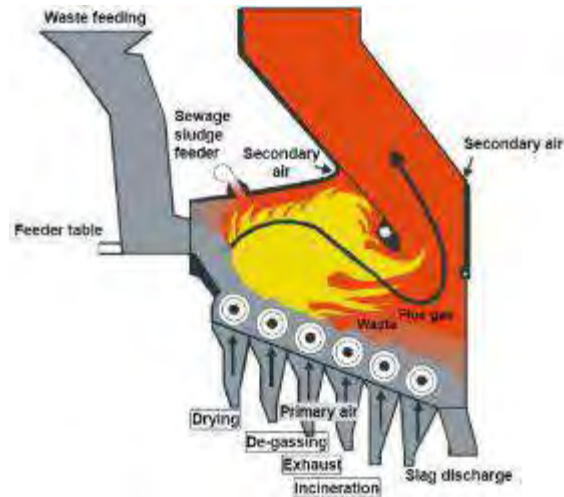


Gambar 2. 16 Skema *Energy Recovery*

Sumber: www.edb.gov.hk

3. *Flue Gas Treatment* (Penetralan Gas Buang)

Sebelum dilepaskan ke atmosfer, gas buang membutuhkan penetralan dari polutan yang terkandung didalamnya. Setelah *boiler* selesai, residu gas masuk ke instalasi filter *baghouse*, dimana residu gas masih mengandung abu. Residu abu ditampung pada *hopper and discharge consultation* untuk diangkut ke *residue storage*. Gas buang yang telah terkontrol dialirkan ke cerobong asap, cerobong asap



Gambar 2. 18 Pembakaran Limbah Menjadi Residu Padat

Sumber: (Villetta, 2017)

2.6 Eco-Tech Architecture

2.6.1 Pengertian *Eco-Tech Architecture*

Eco-Tech Architecture merupakan pendekatan arsitektur yang menggabungkan teknologi modern dengan prinsip-prinsip ekologis untuk menciptakan bangunan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. *Eco-Tech Architecture* berfokus pada efisiensi energi, pengolahan lahan yang bijaksana, dan desain arsitektur yang harmonis dengan alam (Jasmine Shafira & Novianthi, 2021). *Eco-Tech Architecture* berusaha menciptakan lingkungan binaan yang tidak hanya memenuhi kebutuhan manusia tetapi juga berkontribusi positif terhadap kelestarian lingkungan dengan mengintegrasikan teknologi canggih dan prinsip-prinsip ekologis.

2.6.2 Prinsip-Prinsip *Eco-Tech Architecture*

Menurut Catherine Slessor dalam bukunya *Eco-tech: Sustainable Architecture and High Technology* terdapat 6 (enam) prinsip utama dalam *Eco-Tech Architecture* (Slessor, 1997), yaitu:

1. *Structural Expression*

Prinsip ini menekankan pada ungkapan atau ekspresi struktur bangunan, di mana struktur bangunan tidak hanya berfungsi secara teknis tetapi juga memiliki nilai artistik. Konsep pada desain bangunan menampilkan struktur bangunan sebagai bagian dari estetika struktur.

2. *Sculpting with Light*

Penggunaan pencahayaan alami menjadi elemen utama dalam desain untuk mengurangi konsumsi energi sekaligus meningkatkan kualitas ruang dalam. Bangunan didesain untuk memanfaatkan cahaya matahari dengan penggunaan bukaan besar, *skylight*, dan fasad yang dapat menyalurkan cahaya matahari.

3. *Energy Matters*

Bangunan dirancang untuk meminimalisir penggunaan energi dengan menerapkan prinsip berkelanjutan. Penggunaan energi terbarukan seperti tenaga surya, angin, dan geothermal, serta sistem pasif yang responsif terhadap iklim lokal.

4. *Urban Responses*

Bangunan harus mampu beradaptasi dan berkontribusi terhadap lingkungan sekitar dan mempertimbangkan konteks sosial dan budaya. Integrasi bangunan dengan ruang publik, transportasi, dan infrastruktur kota untuk menciptakan lingkungan yang lebih baik.

5. *Making Connections*

Bangunan dapat menciptakan hubungan yang harmonis antara manusia, teknologi, dan lingkungan. Elemen seperti taman vertikal, ruang hijau, dan area terbuka memungkinkan integrasi antara interior dan eksterior. Juga penting untuk memiliki akses ke sistem transportasi umum dan infrastruktur kota yang ramah lingkungan.

6. *Civic Symbolism*

Bangunan *Eco-Tech* tidak hanya fungsional, tetapi juga memiliki nilai simbolis bagi masyarakat. Desain arsitektur mencerminkan identitas, inovasi, dan visi keberlanjutan suatu kota atau institusi.

2.6.3 Relevansi *Eco-Tech Architecture* dalam Perancangan *Waste-to-Energy* (WtE)

Pendekatan *Eco-Tech Architecture* berperan penting dalam perancangan fasilitas *Waste-to-Energy* dengan mengintegrasikan teknologi modern dan prinsip berkelanjutan untuk menciptakan bangunan yang efisien dan ramah lingkungan. Berikut ini terdapat beberapa aspek yang menunjukkan relevansi *Eco-Tech Architecture* dalam perancangan WtE, yaitu:

1. Efisiensi energi dan konsumsi sumber daya

Fokus *Eco-Tech Architecture* adalah mengurangi konsumsi energi melalui penggunaan teknologi terbaru dan desain yang efisien. Dalam konteks WtE, pendekatan ini memastikan bahwa fasilitas tidak hanya menghasilkan energi dari limbah tetapi juga meminimalkan konsumsi energi selama operasinya.

2. Penggunaan teknologi modular

Eco-Tech Architecture mendukung penggunaan sistem modular yang fleksibel dan skalabel. Dalam perancangan WtE, teknologi modular memungkinkan penyesuaian kapasitas berdasarkan ketersediaan limbah dan permintaan energi, sehingga mengoptimalkan operasional.

3. Pengurangan dampak lingkungan

Prinsip *Eco-Tech* dapat digunakan dalam desain WtE untuk mengurangi emisi dan limbah, sehingga mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

4. Integrasi dengan lingkungan eksternal

Prinsip ini menekankan hubungan antara bangunan dan lingkungan eksternal, memastikan bahwa fasilitas WtE berkontribusi positif terhadap ekosistem sekitarnya. Serta perencanaan desain yang mempertimbangkan aspek lingkungan untuk meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi dampak buruk terhadap lingkungan.

5. Peningkatan estetika dan fungsi sosial

Eco-Tech Architecture memungkinkan desain fasilitas WtE yang tidak hanya fungsional tetapi juga menarik, serta integrasinya dengan ruang publik sehingga dapat diterima oleh masyarakat.

2.7 Studi Banding

Studi banding adalah kegiatan yang dilakukan untuk menambah wawasan dan pengetahuan yang akan dijadikan acuan kedepannya untuk menjadi lebih baik (Purwanto, 2022). Studi banding yang dilakukan dalam perancangan ini terdiri dari studi banding fungsi sejenis dan studi banding pendekatan sejenis.

2.7.1 Studi Banding Fungsi Sejenis

Studi banding fungsi sejenis yang merupakan bangunan *waste-to-energy* dilakukan terhadap 3 (tiga) bangunan sejenis, yaitu:

1. CopenHill (Amager Bakke)

CopenHill juga disebut dengan nama Amager Bakke merupakan fasilitas *Waste-to-Energy* (WtE) yang terletak di area industrial di Copenhagen, Denmark dan dirancang oleh Bjarke Ingels Group (BIG) dengan luas 41.000 m². CopenHill mulai dibangun pada tahun 2013 dan mulai beroperasi pada tahun 2019. CopenHill memiliki kapasitas penerimaan limbah sebesar 400.000 ton/tahun dengan energi yang dihasilkan sebesar 63MW listrik dan 157 MW panas yang mampu memenuhi kebutuhan listrik 30.000 rumah serta sistem pemanas distrik untuk 72.000 rumah.



Gambar 2. 19 CopenHill

Sumber: www.stateofgreen.com

- Fasilitas

CopenHill tidak hanya berfungsi sebagai pembangkit energi dari limbah, tetapi juga sebagai pusat rekreasi dan edukasi lingkungan.

Fitur utama yang ada di CopenHill, yaitu:

- a. Produksi energi: CopenHill merupakan salah satu WtE terbersih di dunia dengan penggunaan teknologi terbaru untuk pengolahan limbah dan konversi energi. Dalam pengaplikasian WtE di CopenHill, Jenis teknologi yang digunakan adalah *Incineration, Combined Heat and Power (CHP), Flue Gas Cleaning System*, dan *Bottom Ash and Fly Ash Management*.



Gambar 2. 20 Produksi Energi di CopenHill

Sumber: www.archdaily.com

- b. Ski slope: atap bangunan dijadikan sebaagi lereng ski buatan dengan lintasan ski sepanjang 400 meter.



Gambar 2. 21 *Ski Slope* CopenHill

Sumber: www.archdaily.com

- c. *Hiking Trail* dan *Climbing Wall*: terdapat area rekreasi yang memanfaatkan bentuk dari bangunan berupa *Hiking Trail* dengan panjang 490 meter dan *Climbing Wall* setinggi 85 meter.



Gambar 2. 22 *Hiking Trail* CopenHill

Sumber: www.archdaily.com



Gambar 2. 23 Climbing Wall CopenHill

Sumber: www.archdaily.com

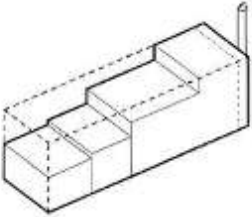
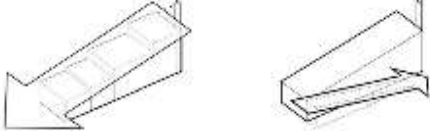
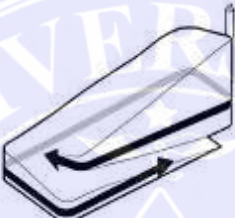



d. Pendidikan lingkungan: didalam CopenHill juga terdapat pusat pendidikan lingkungan yang memberikan wawasan tentang pengelolaan limbah dan keberlanjutan.




- Konsep dasar

Desain CopenHill dirancang berdasarkan beberapa konsep dasar, yaitu:

Tabel 2. 7 Konsep Dasar CopenHill

No	Konsep	Keterangan
1	<p>Program</p>	Mengatur organisai volumetric dari tinggi hingga ke rendah tanpa mengorbankan efisiensi.
2	<p><i>Fun factory</i></p>	Mengusung konsep baru <i>waste-to-energy</i> , yang menguntungkan secara ekonomi, lingkungan, dan sosial.

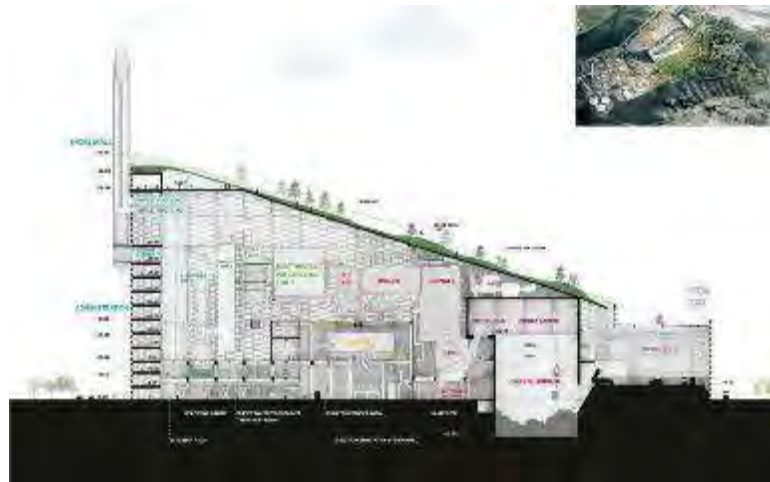
No	Konsep	Keterangan
		
3	<p><i>Public connexion (Don't waste it, use it)</i></p> 	<p>Bentuk bangunan mengikuti siluet mesin dari bagian tertinggi hingga terendah. Bagian atap pada bangunan dimanfaatkan untuk akses pengunjung dan digunakan sebagai luncuran ski.</p>
4	<p><i>Façade</i></p> 	<p>Bangunan ini dibungkus dengan material fasad yang terbuat dari aluminium yang ditumpuk.</p>
5	<p><i>Green walls</i></p> 	<p>Bagian fasad digunakan sebagai <i>planters</i> tanaman untuk menciptakan tampilan fasad hijau.</p>
6	<p><i>Ski slope</i></p> 	<p>Bentuk atap yang dibuat berdasarkan bentuk lereng gunung isaberg yang merupakan arena ski terkenal di Kopenhagen.</p>
7	<p><i>Slope access</i></p> 	<p>Penggunaan <i>lift</i> untuk membawa pengunjung langsung ke atap dan kemudian meluncur dengan ski sampai ke bawah.</p>
8	<p><i>Take a walk in the park</i></p>	<p>Atap tidak hany digunakan sebagai arena ski, tetapi juga terdapat ruang terbuka hijau berupa taman, <i>hiking trail</i>, dan <i>climbing walls</i>.</p>

No	Konsep	Keterangan
		
9	<p data-bbox="695 506 815 535"><i>Smoke rings</i></p> 	<p data-bbox="1026 506 1343 667">Modifikasi sederhana pada cerobong asap, yang memungkinkan untuk mengepulkan asap berbentuk lingkaran setiap 1 ton CO₂ dilepaskan.</p>
10	<p data-bbox="643 786 868 815"><i>Untraditional learning</i></p> 	<p data-bbox="1026 786 1343 864">Sebagai pusat edukasi sekaligus rekreasi yang ramah pengunjung.</p>

Sumber: (Bjarke Ingels Group, 2019)

- Tata letak

Tata letak ruang dalam CopenHill dibagi menjadi dua bagian, yaitu bagian atas dan bawah. Bagian bawah digunakan untuk proses pengolahan sampah menjadi energi, sedangkan bagian atas digunakan untuk kantor dan kafe. Berikut penjelasan teknis tata ruang dalam CopenHill.



Gambar 2. 24 Potongan CopenHill

Sumber: (Bjarke Ingels Group, 2019)

2. TuasOne *Waste-to-Energy Plant*

TuasOne *Waste-to-Energy Plant* merupakan fasilitas pengolahan limbah menjadi energi terbaru dan paling efisien dalam penggunaan lahan yang terletak di distrik Tuas, Singapura yang mulai beroperasi pada Desember 2021. Fasilitas WtE ini dirancang dan dibangun oleh Mitsubishi Heavy Industries (MHI) bekerja sama dengan Hyflux yang memiliki luas lahan sebesar 4,8 Ha. Fasilitas WtE ini dapat menampung limbah sebesar 3.600 ton/hari serta menghasilkan energi listrik sebesar 120 MW setiap hari, yang cukup untuk memenuhi kebutuhan listrik sekitar 240.000 unit flat HDB berukuran empat kamar.



Gambar 2. 25 TuasOne Waste-to-Energy Plant

Sumber: www.mycommunity.org.sg

- Komponen utama *Waste-to-Energy* di TuasOne WtE Plant

Terdapat beberapa komponen utama yang ada dalam proses *Waste-to-Energy* di TuasOne, yaitu:

- a. *Reception Hall & Waste Bunker*, merupakan area penerimaan dan penampungan limbah sebelum memasuki proses selanjutnya.



Gambar 2. 26 Reception Hall & Waste Bunker TuasOne WtE Plant

Sumber: www.mhi.com

- b. *Incinerator & Boiler*, merupakan area yang digunakan dalam proses pembakaran limbah untuk menghasilkan uap panas.



Gambar 2. 27 *Incinerator & Boiler* TuasOne WtE Plant

Sumber: www.mhi.com

- c. *Steam Turbine & Generator*, uap panas yang dihasilkan dari proses pembakaran digunakan untuk menggerakkan turbin untuk menghasilkan energi listrik.



Gambar 2. 28 *Steam Turbine & Generator* TuasOne WtE Plant

Sumber: www.mhi.com

- d. *Ash Handling System*, merupakan proses pengolahan residu dari proses pembakaran yang terdiri dari *bottom ash* dan *fly ash*.



Gambar 2. 29 *Ash Handling System* TuasOne WtE Plant

Sumber: www.mhi.com

- e. *Flue Gas Treatment*, proses untuk mengurangi jumlah polutan dan memastikan gas buang terbebas dari bahan-bahan yang berbahaya.



Gambar 2. 30 *Flue Gas Treatment* TuasOne WtE Plant

Sumber: www.mhi.com

- Fasilitas

Selain fungsinya untuk mengolah limbah menjadi energi, TuasOne juga menyediakan sarana edukasi berupa tur yang dapat diikuti oleh pengunjung untuk mengetahui cara kerja *Waste-to-Energy*.



Gambar 2. 31 Tur Edukasi TuasOne WtE Plant

Sumber: www.mycommunity.org.sg

- **Arsitektur**

TuasOne WtE *Plant* merupakan contoh desain arsitektural yang menggabungkan efisiensi lahan dengan teknologi modern untuk produksi energi dan pengelolaan limbah. Berikut ini beberapa konsep utama yang digunakan pada TuasOne, yaitu:

- a. Efisiensi penggunaan lahan

TuasOne yang terletak di barat daya Singapura, yaitu di distrik tuas dengan luas lahan 4,8 Ha, menjadikan fasilitas ini sebagai salah satu yang paling efisien dalam penggunaan lahan diketerbatasan lahan yang ada di Singapura. Walaupun penggunaan lahan yang efisien, tetapi tetap dapat memenuhi kebutuhan dari fasilitas WtE ini.



Gambar 2. 32 Lahan TuasOne WtE Plant

Sumber: www.mhi.com

b. Desain *compact* dan vertikal

Fasilitas ini memiliki desain yang *compact* dan vertikal yang memungkinkan produksi energi dan pengolahan limbah dalam ruang yang terbatas. Desain ini juga memaksimalkan efisiensi operasional dan mengurangi dampak ekologis.

c. Desain estetis dan fungsional

TuasOne dirancang untuk memenuhi kebutuhan operasional sebagai fasilitas WtE dengan menggabungkan estetika dan fungsionalitas.

3. Shenzhen *East Waste-to-Energy Plant*

Shenzhen *East Waste-to-Energy Plant* adalah salah satu fasilitas WtE terbesar didunia dengan luas 267.000 m² yang terletak di Shenzhen, Provinsi Guangdong, China. Fasilitas WtE ini dirancang oleh Schimdt hammer Lassen dan Gottlieb Paludan, dan mulai beroperasi pada tahun 2020. Shenzhen *East WtE* memiliki kapasitas

penerimaan limbah sebesar 5.600 ton/hari dan dapat menghasilkan energi listrik sebesar 550 juta kWh/tahun.



Gambar 2. 33 Shenzhen East Waste-to-Energy Plant

Sumber: www.archdaily.com

- Fasilitas

Shenzhen WtE tidak hanya berfungsi sebagai fasilitas pengolahan sampah menjadi energi, tetapi juga memiliki beberapa fasilitas lainnya. Fasilitas WtE ini menggunakan teknologi *incineration* (insinerasi). Pada Shenzhen WtE ini terdapat fasilitas edukasi dan *visitor center* berupa platform observasi.



Gambar 2. 34 Visitor Center pada Shenzhen WtE

Sumber: www.dezeen.com

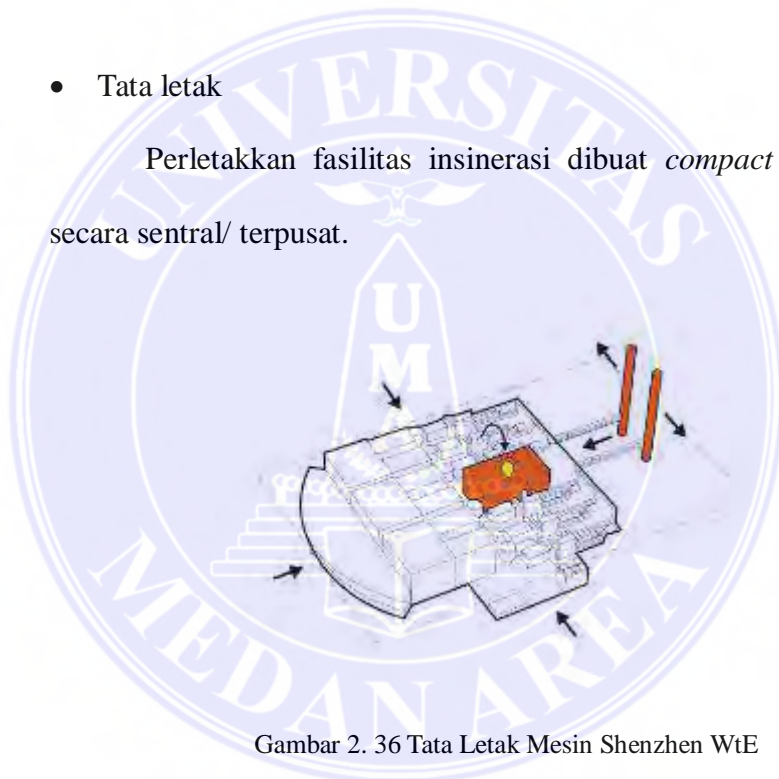


Gambar 2. 35 Observatory Deck pada Shenzhen WtE

Sumber: www.dezeen.com

- Tata letak

Perletakkan fasilitas insinerasi dibuat *compact* yang terpadu secara sentral/ terpusat.



Gambar 2. 36 Tata Letak Mesin Shenzhen WtE

Sumber: www.architizer.com

Tata letak lansekap tematik di sekitar bangunan utama meningkatkan akses ke pemandangan panorama dari dalam bangunan ke lansekap alami di sekitarnya.



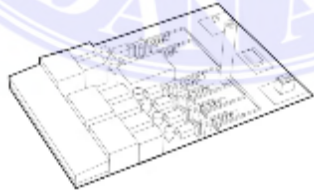

Gambar 2. 37 Tata Letak Lansekap Shenzhen WtE

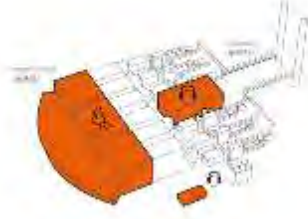



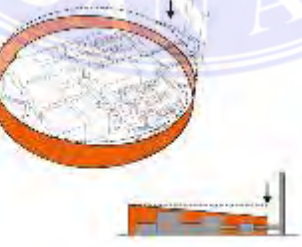
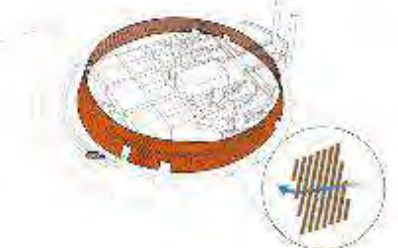
Sumber: www.architizer.com

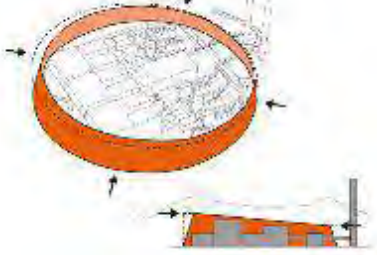
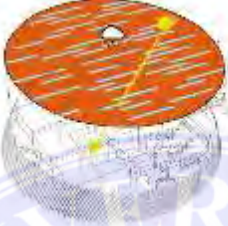
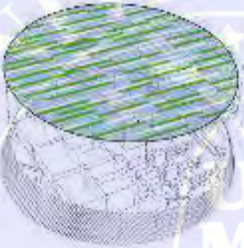
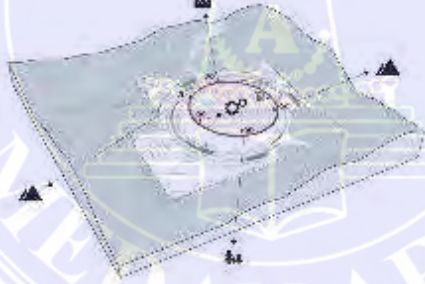
- Desain arsitektur

Bangunan ini memiliki desain melingkar yang ikonik dan atap seluas 66.000 m². Atap bangunan tersebut dilengkapi dengan panel fotovoltaik seluas 44.000 m² yang dapat menghasilkan energi terbarukan. Terdapat beberapa konsep desain yang digunakan pada bangunan Shenzhen WtE ini, yaitu:

Tabel 2. 8 Konsep Desain Shenzhen *East Waste-to-Energy Plant*

No	Konsep	Keterangan
1		Susunan liner yang digunakan untuk perletakan mesin.
2		Susunan linear ditransformasikan menjadi susunan <i>compact</i> secara sentral.

No	Konsep	Keterangan
3		<p>Zona utama dibagi berdasarkan pertimbangan kebisingan dan bau yang diletakkan secara berjauhan namun masih terjangkau dan dapat dikontrol.</p>
4		<p>Area pengunjung dibua mengelilingi fasilitas utama untuk memudahkan aksesibilitas.</p>
5		<p>Terdapat zona pengunjung yang berpusat pada salah satu sisi lingkaran dan memiliki akses mengelilingi fasilitas insinerasi.</p>
6		<p>Selubung fasad mengelilingi dan menutupi seluruh bagian bangunan.</p>
7		<p>Ketinggian selubung fasad disesuaikan untuk mengoptimalkan volume bangunan.</p>
8		<p>Fasad memiliki pola bukaan yang dapat mengalirkan penghawaan alami pada bagian dalam bangunan.</p>

No	Konsep	Keterangan
9		Selubung fasad dibuat mengecil pada bagian atas untuk mengecilkan luas atap dan profil yang lebih ramping.
10		Terdapat <i>skylight</i> pada bagian atap untuk memaksimalkan pencahayaan alami
11		Sistem pintar sambungan <i>green roof, water collection and recycling, photovoltaic system</i> , dan <i>daylight usage</i> untuk meminimalisir penggunaan energi.
12		Akses view panorama dari dalam bangunan ke lansekap alam sekitar.

Sumber: www.architizer.com

2.7.2 Kesimpulan Studi Banding Fungsi Sejenis

Berikut ini kesimpulan studi banding fungsi sejenis terhadap 3 bangunan *waste-to-energy*, yaitu:

Tabel 2. 9 Kesimpulan Studi Banding Fungsi Sejenis

	CopenHill	TuasOne WtE Plant	Shenzhen East WtE Plant
Lokasi	Kopenhagen, Denmark	Singapura	Shenzhen, China
Luas	41.000 m ²	4,8 Ha/ 48.000 m ²	267.000 m ²
Arsitek	Bjarke Ingels Group	Mitsubishi Heavy	Schmidt Hammer Lassen

	CopenHill	TuasOne WtE Plant	Shenzhen East WtE Plant
	(BIG)	Industries (MHI) dan Hyflux	Architects dan Gottlieb Paludan Architects
Tata letak situasi	Dekat pusat kota di kawasan industri	Terletak di distrik Tuas	Pinggiran kota Shenzhen dekat Sungai Longgang
Konsep	Penggabungan fungsi industri dengan rekreasi dan edukasi	Efisiensi lahan dan integrasi vertikal	Desain melingkar dengan integrasi lansekap
Fasilitas	Pengolahan limbah, pembangkit listrik, area ski, jalur hiking, dan panjat tebing	Pengolahan limbah, pembangkit listrik, dan menyediakan fasilitas tur edukasi	Pengolahan limbah, pembangkit listrik, fasilitas edukasi, dan platform observasi
Kapasitas penerimaan limbah	400.000 ton/ tahun	3.600 ton/ hari	5.600 ton/ hari
Energi yang dihasilkan	63 MW listrik dan 157 MW panas	120 MW	550 juta kWh/ tahun
Tata letak ruang	Area pengolahan limbah dibawah dan fasilitas rekreasi di atap	Fasilitas terintegrasi dengan area pengolahan limbah dan pembangkit listrik	Semua fungsi ditempatkan dalam satu struktur melingkar
Gubahan massa	Struktur miring dengan atap sebagai area rekreasi yang dapat diakses publik	Desain <i>compact</i> untuk efisiensi lahan	Bangunan melingkar dengan diameter 300 meter
Matrial fasad	Panel aluminium dan kaca	Material modern dengan pertimbangan efisiensi	<i>Truss girders</i> dengan panel fotovoltaik

Sumber: Analisa Penulis

Berdasarkan studi banding fungsi sejenis yang dilakukan terhadap bangunan *waste-to-energy* lainnya, dapat ditarik kesimpulan yang nantinya dapat diterapkan dalam rancangan, berupa:

1. Fungsi bangunan tidak hanya dijadikan sebagai fasilitas pengolahan limbah dan konservasi energi saja, tetapi juga dapat diintegrasikan dengan sarana edukasi dan rekreasi.
2. Penggunaan jenis teknologi pada WtE disesuaikan dengan kebutuhan dan jenis limbah yang ada.
3. Setiap bangunan dirancang dengan memikirkan aspek terhadap lingkungan.

4. Membutuhkan sistem yang dapat mengendalikan emisi untuk mengurangi dampak lingkungan.
5. Memiliki *tipping hall* atau area penerimaan dan *waste bunker* yang cukup untuk menampung limbah yang akan diolah pada WtE.

2.7.3 Studi Banding Pendekatan Sejenis

Studi banding dengan pendekatan sejenis (*Eco-Tech Architecture*) dilakukan terhadap 3 (tiga) bangunan, yaitu:

1. Nanjing *Eco-Tech Island Exhibition Center*

Nanjing *Eco-Tech Island Exhibition Center* adalah pusat pameran yang terletak di Nanjing, China dan dirancang oleh NBBJ dan Jiangsu *Provincial Architectural Design & Research Institute*. Bangunan ini memiliki luas 24.000 m² selesai dibangun pada tahun 2016. Nanjing *Eco-Tech Island* adalah kawasan yang dibuat untuk mempromosikan kreativitas, kolaborasi, dan inovasi dalam teknologi dan lingkungan.



Gambar 2. 38 Nanjing *Eco-Tech Island Exhibition Center*

Sumber: www.archdaily.com

Penerapan prinsip *Eco-Tech Architecture* pada bangunan Nanjing *Eco-Tech Island Exhibition Center* dapat dilihat dari:

- *Structural expression*

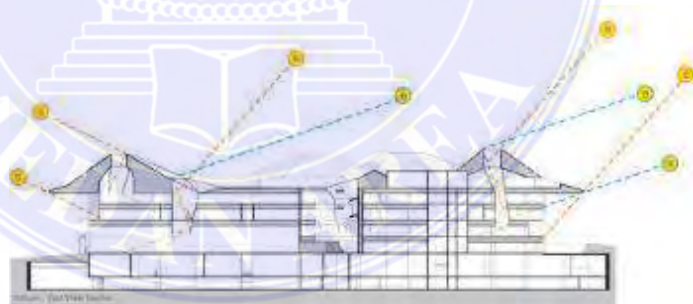
Dapat dilihat dari desain bangunan yang menampilkan struktur organik yang terinspirasi dari bentuk aliran air dan angin.



Gambar 2. 39 Bentuk Bangunan Nanjing *Eco-Tech*

Sumber: www.armandonazario.com

Menggunakan baja untuk rangka atap yang diekspos dan dinding kaca yang menunjukkan struktur kolom dan balok bangunan.



Gambar 2. 40 Potongan Nanjing *Eco-Tech*

Sumber: www.archdaily.com

- *Sculpting with light*

Adanya okulus (lubang melingkar) pada bagian puncak atap untuk memaksimalkan pencahayaan alami.



Gambar 2. 41 Okulus pada Nanjing *Eco-Tech*

Sumber: www.archdaily.com

- *Energy matters*

Fasad bangunan dengan dinding kaca yang lebar untuk memaksimalkan pencahayaan alami guna menghemat energi. Koridor bangunan juga dibuat tinggi untuk memaksimalkan penghawaan alami.



Gambar 2. 42 Fasad Dinding Kaca pada Nanjing *Eco-Tech*

Sumber: www.archdaily.com



Gambar 2. 43 Koridor pada Nanjing Eco-Tech

Sumber: www.archdaily.com

- *Urban responses*

Bangunan ini merespon lingkungan kota dengan adanya ruang terbuka hijau di sekitar bangunan.



Gambar 2. 44 Respon Nanjing *Eco-Tech* terhadap Lingkungan

Sumber: www.archdaily.com

- *Making connections*

Hubungan harmonis antara ruang dalam dan luar dimungkinkan melalui area terbuka yang memungkinkan orang berinteraksi satu sama lain.



Gambar 2. 45 Koneksi Lingkungan pada Nanjing *Eco-Tech*

Sumber: www.archdaily.com

- *Civic symbolism*

Bangunan ini memiliki atap yang tidak simetris dengan 8 (delapan) puncak, yang melambangkan tetangga Zhong dan Stone Montains pada kebudayaan lokal setempat.



Gambar 2. 46 Simbolis pada Nanjing *Eco-Tech*

Sumber: www.archdaily.com

2. Yongjia Gymnasium, Swimming Pool Competition

Yongjia Gymnasium, Swimming Pool Competition adalah fasilitas olahraga yang terletak di Yongjia, China dan dirancang oleh Idea Image Institute of Architect dengan luas 9.782,3 m². Fasilitas yang terdiri pada bangunan ini terdiri dari kolam renang kompetisi,

kolam renang latihan, lapangan basket, lapangan tenis *indoor* dan *outdoor*, dan ruang parkir bawah tanah.



Gambar 2. 47 Yongjia Gymnasium, Swimming Pool Competition

Sumber: www.archdaily.com

Penerapan prinsip *Eco-Tech Architecture* pada bangunan Yongjia Gymnasium dapat dilihat dari:

- *Structural expression*

Menggunakan aluminium ETFE (*Ethylene Tetrafluoroethylene*) sebagai *finishing* untuk kaca struktural dan mengekspos bagian struktur pengikat bangunan yang terbuat dari pipa dan kabel baja dengan *frame* aluminium.



Gambar 2. 48 Struktur Pipa dan Kabel Baja pada Yongjia Gymnasium

Sumber: www.archdaily.com

- *Sculpting with light*

Penggunaan *skylight* untuk memaksimalkan pencahayaan alami sekaligus menambah estetika dengan pembiasan cahaya lampu pada malam hari.



Gambar 2. 49 Skylight pada Yongjia Gymnasium

Sumber: www.archdaily.com

- *Energy matters*

Bentuk bangunan yang memaksimalkan kondisi iklim sehingga memudahkan cahaya dan udara alami masuk ke dalam bangunan.

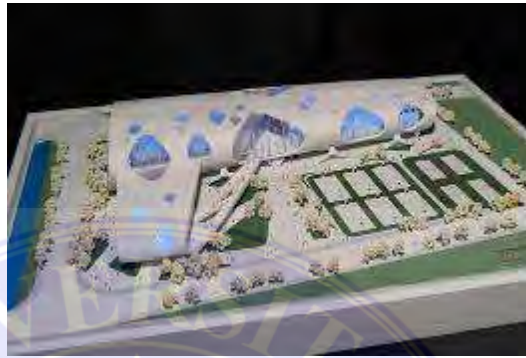


Gambar 2. 50 Bentuk Bangunan Yongjia Gymnasium

Sumber: www.archdaily.com

- *Urban responses*

Bagian depan bangunan digunakan sebagai area terbuka untuk mendukung fasilitas area lapangan olahraga *outdoor* dan tempat untuk berkumpul.

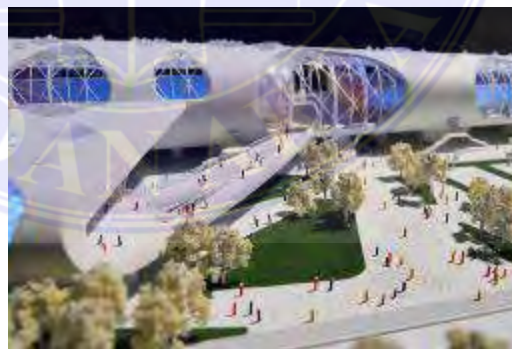


Gambar 2. 51 Bagian Depan Yongjia *Gymnasium*

Sumber: www.archdaily.com

- *Making connections*

Terdapat *skybridge* pada area depan bangunan sebagai penghubung antar bangunan.

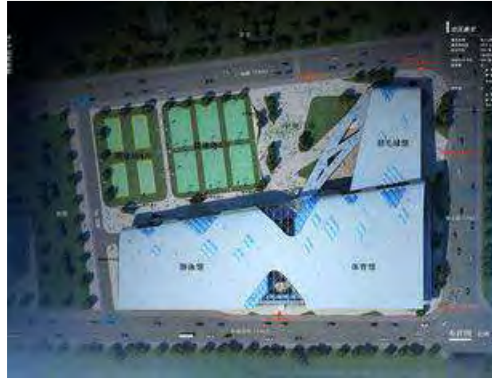


Gambar 2. 52 *Skybridge* pada Yongjia *Gymnasium*

Sumber: www.archdaily.com

- *Civic symbolism*

Desain bangunan yang memiliki konteks terhadap lingkungan sekitar.



Gambar 2. 53 Konteks Lingkungan Yongjia Gymnasium

Sumber: www.archdaily.com

3. Orokonui *Ecosantuary Visitor Center*, New Zealand

Orokonui *Ecosantuary Visitor Center* merupakan pusat pengunjung yang terletak di Dunedin, New Zealand yang dirancang oleh Architectural Ecology. Bangunan ini selesai dibangun pada 2010 dan dijadikan sebagai tempat untuk memamerkan informasi tentang ekosistem lokal, flora, dan fauna.



Gambar 2. 54 Orokonui *Ecosantuary Visitor Center*

Sumber: www.archdaily.com

Penerapan prinsip *Eco-Tech Architecture* pada bangunan Orokonui *Ecosantuary Visitor Center* dapat dilihat dari:

- *Structural expression*

Konstruksi bangunan menggunakan material kayu ekspos yang dikombinasikan dengan baja sebagai komponen struktur yang ramah lingkungan.



Gambar 2. 55 Elemen Ekspos Orokonui *Ecosanctuary Visitor Center*

Sumber: www.archdaily.com

- *Sculpting with light*

Penggunaan fasad yang didominasi kaca untuk memaksimalkan sinar matahari, dan penggunaan material kayu sebagai *sun shading* pada bagian timur dan barat bangunan untuk mengurangi radiasi matahari.



Gambar 2. 56 Fasad Kaca pada Orokonui *Ecosanctuary Visitor Center*

Sumber: www.archdaily.com



Gambar 2. 57 Sun Shading pada Orokonui *Ecosanctuary Visitor Center*

Sumber: www.archdaily.com

- *Energy matters*

Penggunaan solar panel pada bangunan untuk memaksimalkan sinar matahari sebagai energi alternatif.

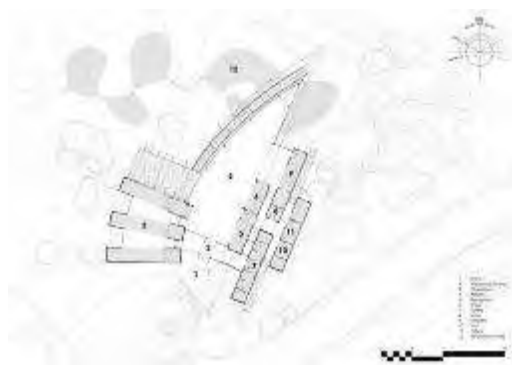


Gambar 2. 58 Solar Panel pada Orokonui *Ecosanctuary Visitor Center*

Sumber: www.archdaily.com

- *Urban responses*

Bentuk bangunan yang dirancang menyesuaikan iklim dan lingkungan sekitar.



Gambar 2. 59 Siteplan Orokonui *Ecosanctuary Visitor Center*

Sumber: www.archdaily.com

- *Making connections*

Teras bangunan yang luas yang dipergunakan sebagai aksesibilitas dan untuk kegiatan pengunjung.



Gambar 2. 60 Tampak Orokonui *Ecosanctuary Visitor Center*

Sumber: www.archdaily.com

- *Civic symbolism*

Desain bangunan terbuka untuk memberikan hubungan dengan lingkungan sekitar.



Gambar 2. 61 Simbolis Orokonui *Ecosanctuary Visitor Center*

Sumber: www.archdaily.com

2.7.4 Kesimpulan Studi Banding Pendekatan Sejenis

Berikut ini kesimpulan studi banding pendekatan sejenis terhadap 3 bangunan yang menggunakan pendekatan *eco-tech architecture*, yaitu:

Tabel 2. 10 Kesimpulan Studi Banding Pendekatan Sejenis

Penerapan Prinsip <i>Eco-Tech Architecture</i>	Nanjing <i>Eco-Tech Island Exhibition Center</i>	Yongjia <i>Gymnasium, Swimming Pool Competition</i>	Orokonui <i>Ecosanctuary Visitor Center</i>
<i>Structural Expression</i>	-Desain bangunan menampilkan struktur organik yang terinspirasi bentuk aliran air dan angin. -Rangka baja atap yang diekspos dan dinding kaca yang menunjukkan struktur kolom dan balok bangunan.	Menggunakan aluminium ETFE untuk <i>finishing</i> kaca dan mengekspos struktur pengikat dengan material pipa dan kabel baja dengan <i>frame</i> aluminium.	Konstruksi bangunan menggunakan material kayu ekspos dan baja.
<i>Sculpting with Light</i>	Terdapat okulus (lubang melingkar) di bagian puncak atap untuk memaksimalkan pencahayaan alami.	Penggunaan <i>skylight</i> pada bangunan.	Fasad didominasi kaca dan terdapat <i>sun shading</i> yang terbuat dari kayu.
<i>Energy Matters</i>	-Fasad kaca lebar untuk pencahayaan alami. -Koridor bangunan dibuat tinggi untuk memaksimalkan penghawaan alami.	Bentuk bangunan yang memaksimalkan kondisi iklim untuk memudahkan pencahayaan dan penghawaan alami.	Penggunaan solar panel untuk memaksimalkan sinar matahari.
<i>Urban Responses</i>	Terdapat ruang terbuka di sekitar bangunan.	Terdapat area terbuka pada bagian depan sebagai area lapangan olahraga <i>outdoor</i> dan tempat untuk berkumpul.	Bentuk bangunan menyesuaikan iklim dan lingkungan sekitar.

Penerapan Prinsip Eco-Tech Architecture	Nanjing Eco-Tech Island Exhibition Center	Yongjia Gymnasium, Swimming Pool Competition	Orokonui Ecosanctuary Visitor Center
Making Connections	Area terbuka yang menghubungkan ruang dalam dan ruang luar	Terdapat <i>skybridge</i> untuk penghubung antar bangunan.	Teras bangunan luas yang digunakan sebagai aksesibilitas dan penunjang kegiatan pengunjung.
Civil Symbolism	Atap tidak simetris dengan 8 puncak yang melambangkan tentangga Zhong dan Stone Montains.	Desain bangunan yang memiliki konteks dengan lingkungan sekitar.	Desain bangunan terbuka untuk memberikan hubungan dengan lingkungan sekitar.

Sumber: Analisa Penulis

Berdasarkan studi banding pendekatan sejenis yang dilakukan terhadap bangunan yang menggunakan pendekatan *Eco-Tech Architecture*, dapat ditarik kesimpulan yang nantinya dapat diterapkan dalam rancangan, berupa:

1. Ketiga bangunan menerapkan prinsip *Eco-Tech Architecture* dengan konteks yang berbeda disesuaikan dengan kondisi dan fungsionalnya.
2. Perancangan desain yang responsif dan terintegrasi dengan lingkungan sekitar.
3. Memanfaatkan energi terbarukan dengan maksimal untuk meminimalisir penggunaan energi.
4. Penggunaan material berkelanjutan dan terdapat struktur atau material yang diekspos.

BAB III

METODOLOGI PERANCANGAN

3.1 Deskripsi Proyek

Proyek ini merupakan perancangan fasilitas *Waste-to-Energy* di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Terjun, Medan, sebagai solusi untuk mengatasi permasalahan sampah sekaligus memanfaatkan energi terbarukan dari sampah. Perancangan ini mengintegrasikan fungsi pengolahan sampah dengan fasilitas edukasi dan rekreasi, dalam satu kesatuan dengan menggunakan pendekatan *Eco-tech Architecture*.

Ide yang diusung dalam perancangan proyek ini adalah “*Waste-to-Wonderland*”, dengan maksud mengubah stigma negatif terhadap sampah dan tempat pengolahan sampah yang dianggap buruk dan kotor menjadi sebuah ruang yang memiliki nilai edukatif, rekreatif, dan inspiratif untuk mempererat hubungan antara manusia, teknologi, dan lingkungan.

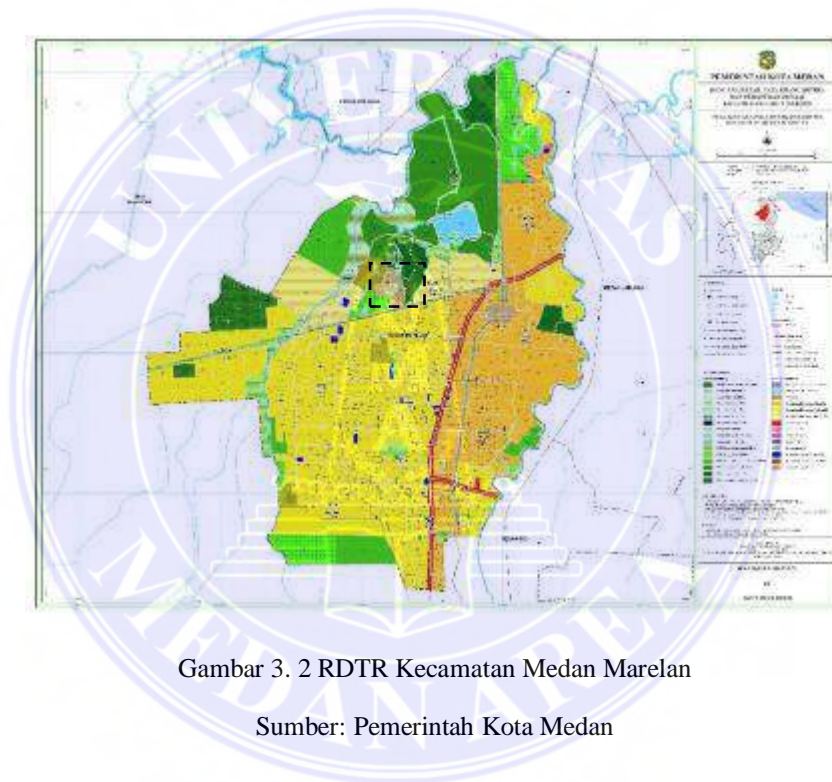
Dalam perancangan fasilitas WtE ini terbagi atas 3 (tiga) zona berdasarkan fungsinya, yaitu:

Tabel 3. 1 Pembagian Zona pada Perancangan *Waste-to-Energy*

Pembagian Zona	Penjelasan	Terdiri Dari
Zona Teknis	Zona teknis merupakan bagian inti dari WtE, berupa area yang berfungsi mendukung seluruh proses operasional pengolahan sampah menjadi energi. Zona ini bersifat terbatas aksesnya untuk umum.	<i>Zona pre-treatment</i>
		<i>Zona furnace/ boiler</i>
		<i>Zona energy recovery</i>
		<i>Zona flue gas treatment</i>
		Zona Pengelola
Zona Edukasi	Zona edukasi merupakan area yang dirancang untuk memberikan informasi, pengalaman, dan pemahaman kepada masyarakat tentang proses pengolahan sampah, pentingnya energi terbarukan, dan isu-isu lingkungan. Zona ini bersifat	<i>Observatorium deck</i>
		<i>Mini theatre</i>
		Galeri edukasi
		Ruang display interaktif
		Ruang <i>workshop</i>

Sumber: https://id.wikipedia.org/wiki/Medan_Marelan,_Medan

Lokasi ini dipilih berdasarkan rencana kerja sama antara Pemerintah Kota Medan di bawah kepemimpinan Bobby Nasution dengan pihak swasta PT Sinar Sejahtera terbaru dan SCG Indonesia untuk membangun fasilitas pengolahan sampah menjadi energi listrik di TPA Terjun (Dinas Kominfo Kota Medan, 2025). Berdasarkan peta Rencana Detail Tata Ruang (RDTR) Kecamatan Medan Marelan, lokasi ini termasuk dalam zona khusus lainnya (KH-2).



Gambar 3. 2 RDTR Kecamatan Medan Marelan

Sumber: Pemerintah Kota Medan



Gambar 3. 3 RDTR Lokasi Perancangan

Sumber: Pemerintah Kota Medan

Berdasarkan rencana pembangunan fasilitas pengolahan sampah menjadi listrik yang direncanakan Pemko Medan dan PT SST dan SGC, terdapat rencana untuk membuka lahan baru sebesar 5 – 10 Ha. Lokasi yang ada terletak pada bagian timur dari TPA Terjun dengan luas lahan $\pm 31.160 \text{ m}^2$.



Gambar 3. 4 Lokasi Perancangan

Sumber: <https://earth.google.com>

Lokasi perancangan ini berbatasan dengan lahan kosong pada bagian utara dan selatannya, arah barat berbatasan dengan TPA Terjun, dan arah timur berbatasan dengan lahan kosong yang terdapat pemukiman liar yang dibangun tanpa izin oleh penduduk, dimana kawasan tersebut masih merupakan bagian dari zona khusus lainnya (KH – 2). Berikut ini merupakan dokumentasi hasil survei lapangan pada lokasi perancangan di TPA Terjun Medan.



Gambar 3. 5 Eksisting Site

Sumber: Dokumentasi Pribadi



Gambar 3. 6 Batasan Site Sebelah Barat

Sumber: Dokumentasi Pribadi



Gambar 3. 7 Batasan Site Sebelah Timur

Sumber: Dokumentasi Pribadi



Gambar 3. 8 Batasan Site Sebelah Utara

Sumber: Dokumentasi Pribadi



Gambar 3. 9 Batasan Site Sebelah Selatan

Sumber: Dokumentasi Pribadi



Gambar 3. 10 Tumpukan Sampah di Sekitar TPA Terjun

Sumber: Dokumentasi Pribadi

3.3 Metodologi Perancangan

Metodologi perancangan adalah suatu pendekatan sistematis yang digunakan dalam proses perancangan arsitektur untuk mencapai solusi dengan efektif dan optimal. Teknik yang dilakukan untuk mengumpulkan informasi, data, regulasi, kebutuhan, serta ide dan gagasan dalam perancangan. Metode yang digunakan pada perancangan ini adalah metode kualitatif, yaitu metode yang digunakan untuk memperoleh data dan informasi berdasarkan fakta lapangan. Proses pengumpulan informasi pada perancangan ini berupa pengumpulan data melalui data primer dan data sekunder.

3.2.1 Metode Pengumpulan Data

Dalam perancangan fasilitas *Waste-to-Energy* (WtE), pengumpulan data dilakukan untuk mendapatkan informasi yang akurat dan relevan sebagai dasar dalam proses perancangan. Adapun metode pengumpulan data yang digunakan pada perancangan *waste-to-energy* ini, yaitu:

1. Data Primer

Data primer adalah data yang dikumpulkan secara langsung untuk keperluan penelitian sesuai dengan objek yang dibutuhkan.

Data yang diperlukan tersebut berupa informasi lokasi perancangan dan data tentang keperluan perencanaan fasilitas konversi energi dari sampah di Kota Medan. Data primer yang dikumpulkan pada perancangan ini diperoleh melalui:

a. Observasi langsung

Observasi langsung bertujuan untuk memahami kondisi nyata di lapangan guna mendukung proses perancangan. Pengamatan langsung ini berupa pengumpulan data dan informasi terhadap lokasi perancangan.

b. Dokumentasi

Dokumentasi merupakan proses pembuatan, pengumpulan, dan pengelolaan informasi dalam bentuk gambar, video, atau lainnya yang kemudian diolah menjadi data sebagai dasar perancangan.

2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang berasal dari sumber yang sudah ada sebelumnya, bukan secara langsung. Informasi yang diperlukan dari pengumpulan data sekunder ini adalah informasi tentang bangunan *waste-to-energy*, seperti fungsinya, studi tentang teknologi WtE, aktivitas didalamnya, penyusunan ruang dan massa bangunan, serta prinsip arsitektur terkait. Data sekunder yang ada pada perancangan ini diperoleh melalui:

a. Studi literatur

Studi literatur adalah kajian terhadap teori, konsep, dan hasil penelitian terdahulu yang relevan dengan perancangan fasilitas *waste-to-energy* ini. Studi literatur ini dilakukan berdasarkan referensi seperti buku, jurnal, artikel, dan dokumen lainnya. Studi literatur ini bertujuan untuk mengumpulkan data dan informasi tentang bangunan *waste-to-energy* serta mengenai prinsip *eco-tech architecture* sebagai dasar dalam proses perancangan ini.

b. Studi banding

Studi banding merupakan proses membandingkan objek untuk menemukan keunggulan, kekurangan, dan peluang peningkatan. Studi banding dilakukan terhadap bangunan yang memiliki fungsi dan pendekatan yang sama.

3.2.2 Metode Pengolahan dan Analisis Data

Metode pengolahan dan analisis data adalah tahapan yang bertujuan untuk mengolah data yang telah dikumpulkan, menganalisisnya, menarik kesimpulan, serta mengembangkannya untuk mendukung proses perancangan.

Pengolahan data tersebut meliputi:

1. Analisis Tapak

Analisis tapak adalah proses mengevaluasi dan menilai karakteristik lokasi perancangan. Proses ini mengumpulkan informasi tentang berbagai aspek tapak, seperti kondisi fisik, lingkungan, sosial, dan regulasi.

2. Analisis Bentuk dan Massa Bangunan

Analisis bentuk dan massa bangunan merupakan kajian terhadap konfigurasi fisik suatu bangunan, termasuk bentuk, ukuran, orientasi, dan hubungannya dengan lingkungan sekitar. Analisis bentuk dan massa bangunan terdiri dari identifikasi bentuk dasar, studi proporsi dan skala, evaluasi orientasi dan posisi, analisis tampak visual, pertimbangan efisiensi energi, dan dampak lingkungan.

3. Analisis Struktur

Analisis struktur merupakan proses evaluasi dan penilaian elemen-elemen struktur untuk memastikan kekuatan, stabilitas, dan keamanan desain.

4. Analisis Utilitas

Analisis utilitas adalah proses evaluasi kebutuhan dan pengelolaan infrastruktur pada bangunan untuk mencapai kenyamanan, kesehatan, serta kemudahan mobilitas di dalamnya.

3.2.3 Konsep Perancangan

Konsep perancangan adalah tahapan untuk mengembangkan ide-ide dasar dan prinsip-prinsip desain dengan mengacu pada hasil analisis yang telah dilakukan sebelumnya. Dalam proses ini, data dan hasil dari berbagai analisis, seperti analisis tapak, analisis bentuk dan massa bangunan, analisis struktur, dan analisis utilitas diintegrasikan untuk menjadikan solusi desain yang harmonis dan fungsional.

3.2.4 Dokumen Pra-Rancangan

Dokumen Pra-rancangan merupakan hasil akhir berupa desain bangunan yang diperoleh dari pengolahan analisis dan konsep yang dilakukan. Desain yang dihasilkan berupa gambar kerja 2D dan 3D *modelling* yang menampilkan visual bangunan.



BAB V

KONSEP PERANCANGAN

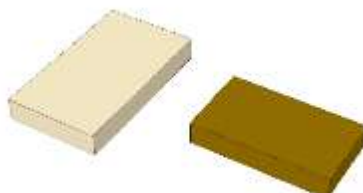
5.1 Konsep Utama

Konsep utama yang digunakan pada perancangan bangunan *waste-to-energy* ini adalah dengan menggunakan pendekatan *eco-tech architecture*. Proses penerapan prinsip desain *eco-tech architecture* didasari dengan melalui proses studi banding terhadap bangunan-bangunan dengan tema sejenis. Prinsip desain yang diterapkan pada perancangan disesuaikan dengan kondisi tapak dan lingkungan sekitarnya. Bangunan WtE dirancang tidak hanya sebagai fasilitas teknis pengolahan sampah, tetapi juga sebagai pusat edukasi lingkungan dan energi terbarukan yang terintegrasi dengan TPA.

5.2 Konsep Bentuk dan Massa Bangunan

Konsep bentuk dan massa bangunan didasarkan pada ide transformasi dan aliran energi. Berdasarkan proses analisa yang telah dilakukan, maka dihasilkan gubahan massa bangunan sebagai berikut.

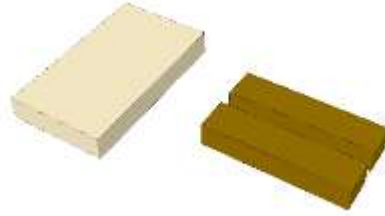
Terdapat dua massa bangunan dengan bentukan dasar persegi yang disusun linear dan berongga mengikuti bentukan lahan sebagai koridor angin alami.



Gambar 5. 1 Gubahan Massa

Sumber: Analisa Penulis

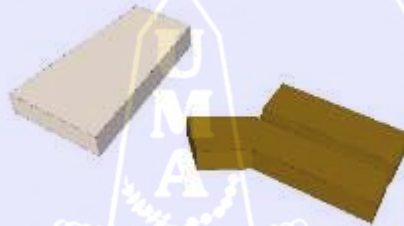
Kemudian, terjadi pengurangan pada bagian tengah dari massa A untuk memaksimalkan sirkulasi angin pada bangunan.



Gambar 5. 2 Gubahan Massa

Sumber: Analisa Penulis

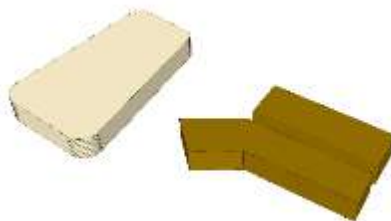
Pembelokan pada bagian bangunan untuk mengurangi banyaknya sisi yang menghadap ke arah timur dan barat.



Gambar 5. 3 Gubahan Massa

Sumber: Analisa Penulis

Pengurangan pada bagian sudut massa B sehingga membentuk lengkungan untuk mengurangi hambatan angin.



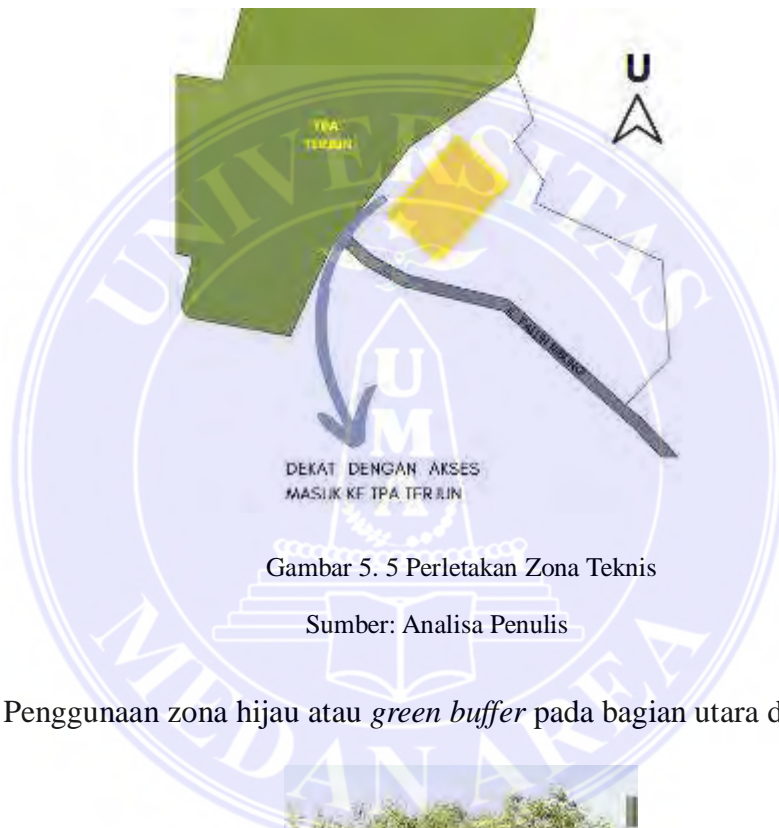
Gambar 5. 4 Gubahan Massa

Sumber: Analisa Penulis

5.3 Konsep Lokasi Perancangan, Peraturan, dan Lingkungan Sekitar

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan terhadap lokasi perancangan, peraturan, dan lingkungan sekitar yang ada pada tapak, Adapun konsep yang diterapkan pada rancangan sebagai berikut.

1. Pembagian zona dengan meletakkan zona teknis pada bagian utara yang berdekatan dengan TPA untuk efisiensi logistik.



Gambar 5. 5 Perletakan Zona Teknis

Sumber: Analisa Penulis

2. Penggunaan zona hijau atau *green buffer* pada bagian utara dan selatan.



Gambar 5. 6 Penggunaan *Green Buffer*

Sumber: Analisa Penulis

5.4 Konsep Klimatologi

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan terhadap orientasi matahari, angin, dan curah hujan pada tapak. Maka, konsep klimatologi yang diterapkan pada perancangan yaitu.

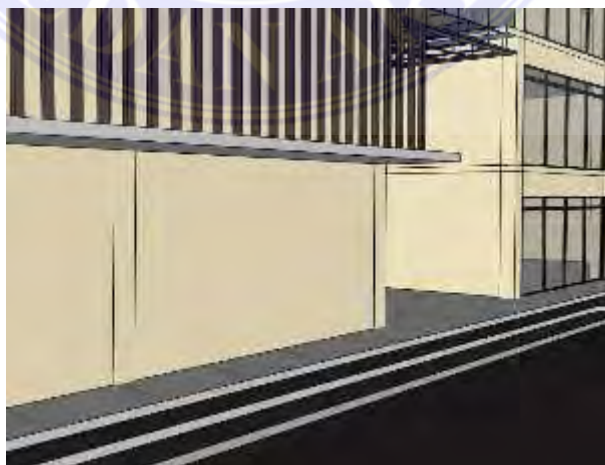
1. Pembagian zoning bangunan dan orientasi bangunan



Gambar 5. 7 Pembagian Zoning dan Orientasi Bangunan

Sumber: Analisa Penulis

2. Menaikkan elevasi bangunan untuk menghindari genangan air



Gambar 5. 8 Menaikkan Elevasi Bangunan

Sumber: Analisa Penulis

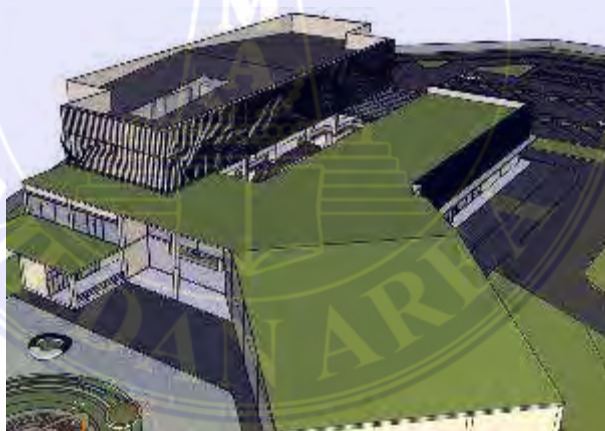
3. Terdapat bukaan pada bagian tengah bangunan untuk sirkulasi udara.



Gambar 5. 9 Bukaan pada Bagian Tengah Bangunan

Sumber: Analisa Penulis

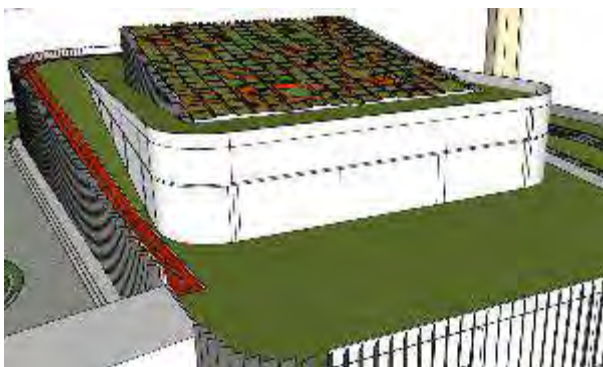
4. Penggunaan *green roof* sebagai area resapan air hujan dan pendingin alami juga sebagai alur sirkulasi rekreasi untuk pengunjung.



Gambar 5. 10 *Green Roof*

Sumber: Analisa Penulis

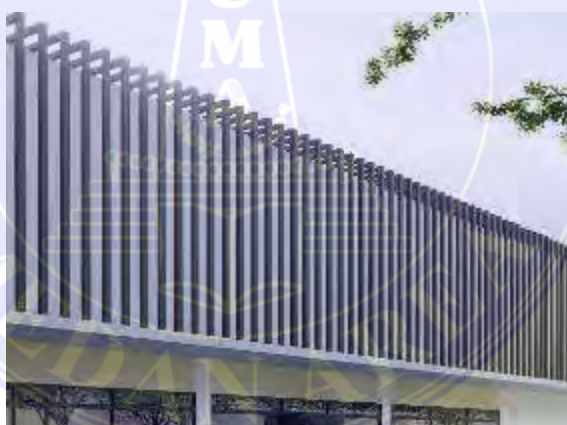
5. Menggunakan atap yang dilengkapi dengan panel surya untuk memanfaatkan sinar matahari menjadi energi listrik



Gambar 5. 11 Atap dengan Panel Surya

Sumber: Analisa Penulis

6. Penggunaan *sun shading metal perforated* untuk melindungi dari paparan sinar matahari berlebih sekaligus untuk menambah estetika.



Gambar 5. 12 *Sun Shading Metal Perforated*

Sumber: Analisa Penulis

5.5 Konsep Kebisingan dan Bau

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan terhadap kebisingan dan bau yang ada pada tapak. Berikut ini adalah konsep yang diterapkan pada perancangan berdasarkan analisis kebisingan dan bau.

Respon:

1. Pemisahan akses masuk jalur teknis dan publik , jalur teknis (truk sampah diletakkan pada bagian ujung tapak yang tidak dilalui oleh pengunjung umum).



Gambar 5. 13 Akses Terpisah

Sumber: Analisa Penulis

2. Menggunakan *buffering* vegetasi untuk mengurangi kebisingan dan bau.



Gambar 5. 14 *Buffer* Vegetasi

Sumber: Analisa Penulis

3. Ruang edukasi *indoor* menggunakan HVAC dengan filter karbon aktif untuk memastikan udara bersih dan bebas bau.

5.6 Konsep Pencapaian dan Sirkulasi

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan terhadap pencapaian dan sirkulasi pada tapak, maka konsep yang diterapkan pada tapak sebagai berikut. Konsep sirkulasi pada tapak dirancang dengan sirkulasi satu arah, yaitu pintu masuk dan pintu keluar dibuat terpisah. Hal ini dilakukan untuk menghindari terjadinya *cross* antar pengguna, baik pejalan kaki, maupun kendaraan.

Sirkulasi kendaraan, akses pejalan kaki, serta zoning parkir pada tapak:

- Sirkulasi truk sampah



Gambar 5. 15 Sirkulasi Truk Sampah

Sumber: Analisa Penulis

- Sirkulasi kendaraan pekerja teknis



Gambar 5. 16 Sirkulasi Kendaraan Pekerja Teknis

Sumber: Analisa Penulis

- Sirkulasi kendaraan roda 4



Gambar 5. 17 Sirkulasi Kendaraan Roda 4

Sumber: Analisa Penulis

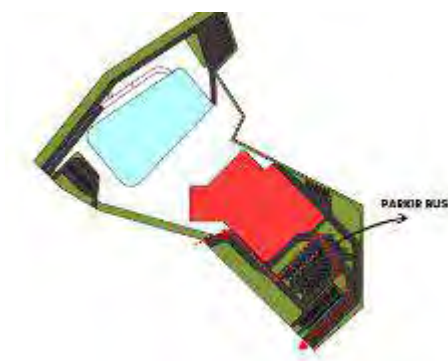
- Sirkulasi kendaraan roda 2



Gambar 5. 18 Sirkulasi Kendaraan Roda 2

Sumber: Analisa Penulis

- Sirkulasi bus



Gambar 5. 19 Sirkulasi Bus

Sumber: Analisa Penulis

- Sirkulasi pejalan kaki



Gambar 5. 20 Sirkulasi Pejalan Kaki

Sumber: Analisa Penulis

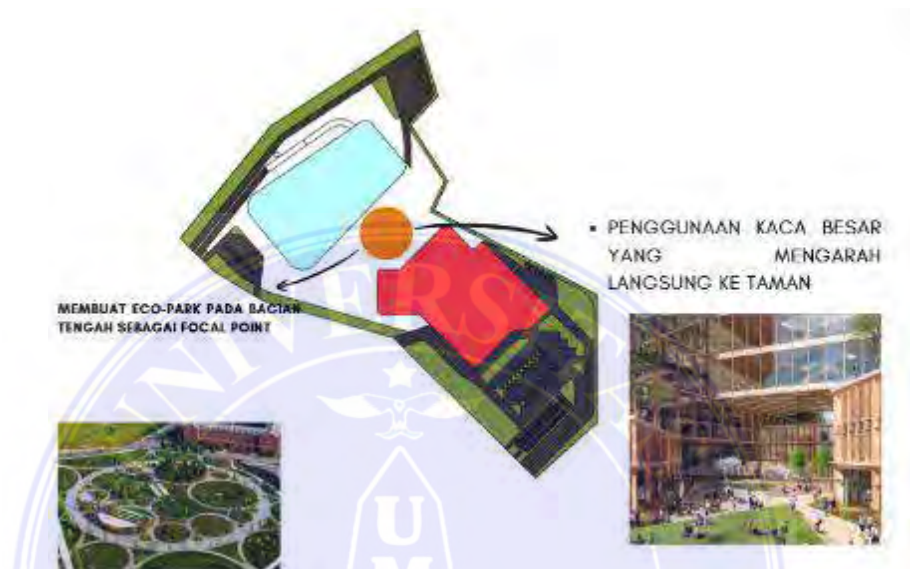
5.7 Konsep View

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan terhadap view dari dalam ke luar serta dari luar ke dalam, adapun konsep yang diterapkan pada perancangan yaitu.

Analisis view dari dalam ke luar

1. Meminimalkan bukaan ke arah utara dan selatan untuk menghindari view mengarah ke arah yang kurang bagus.

2. Menggunakan fasad dinding solid untuk bagian yang mengarah ke TPA
3. Penambahan taman pada bagian-bagian dengan view yang kurang menarik.



Gambar 5. 21 Penerapan Konsep View dari Dalam ke Luar

Sumber: Analisa Penulis

Analisis view dari luar ke dalam



Gambar 5. 22 Penerapan Konsep View dari Luar ke Dalam

Sumber: Analisa Penulis

5.8 Konsep Vegetasi

Berdasarkan hasil analisis terhadap vegetasi yang terdapat pada lokasi perancangan. Maka, konsep vegetasi yang diterapkan sebagai berikut.

Respon:

Penambahan vegetasi pada tapak yang berfungsi sebagai pelindung, barikade visual, filter udara, peneduh, penyerap CO₂, dan pewangi alami.



Gambar 5. 23 Jenis Tanaman yang Ditambahkan pada Tapak

Sumber: Analisa Penulis



Gambar 5. 24 Perletakan Vegetasi pada Site

Sumber: Analisa Penulis

Penggunaan *vertical garden* pada bagian fasad bangunan untuk menambahkan kesan ekologis dan sebagai penyejuk udara sekitar bangunan.



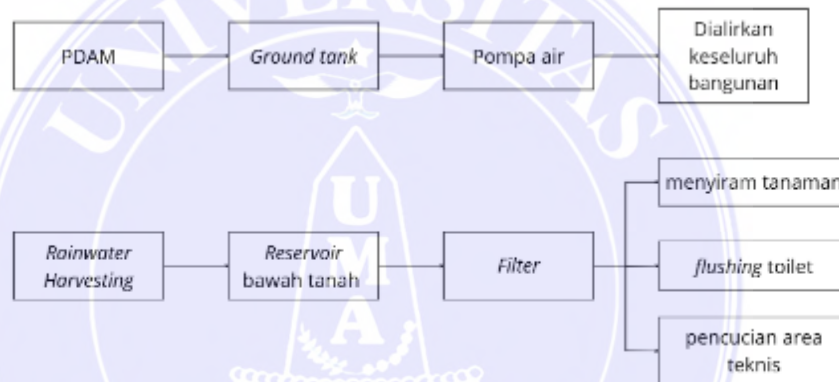
Gambar 5. 25 Vertical Garden

Sumber: Analisa Penulis

5.9 Konsep Utilitas

5.9.1 Sistem Air Bersih

Sistem air bersih memanfaatkan dua sumber utama, yaitu PDAM dan air hujan yang dikumpulkan melalui *rainwater harvesting*. Air hujan ditampung di *reservoir* bawah tanah, kemudian disaring dan digunakan kembali untuk kebutuhan menyiram tanaman, *flushing* toilet, dan pencucian area teknis. Distribusi air bersih diatur melalui sistem pompa untuk dialirkan keseluruh zona.

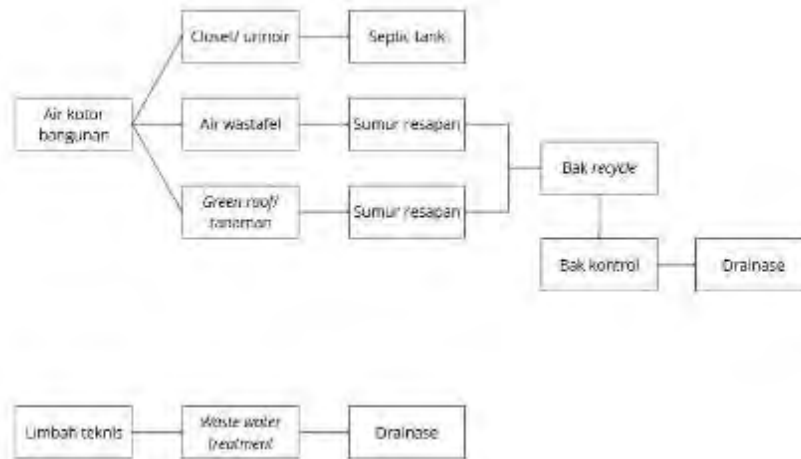


Gambar 5. 26 Sistem, Air Bersih

Sumber: Analisa Penulis

5.9.2 Sistem Air Kotor dan Limbah Cair

Air kotor dan limbah cair yang dihasilkan dari aktivitas bangunan diolah dengan sistem IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah) agar tidak mencemari lingkungan sekitar. Sistem limbah cair teknis dialirkan ke *wastewater treatment plant* (WWTP) khusus sebelum dilepas ke lingkungan.

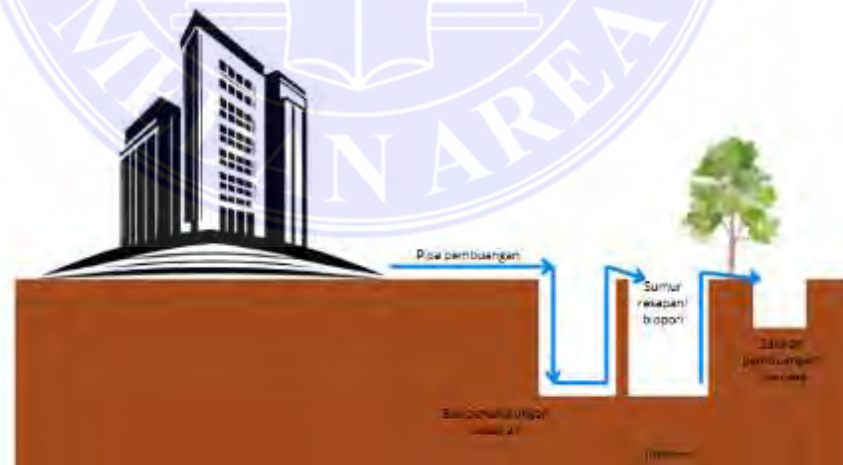


Gambar 5. 27 Sistem Air Kotor dan Limbah Cair

Sumber: Analisa Penulis

5.9.3 Sistem Drainase

Konsep drainase dirancang dengan sistem *eco-drainage* yang menggabungkan saluran tertutup, dan biopori. Air hujan dialirkan menuju taman resapan yang berfungsi sebagai area penampungan sementara.

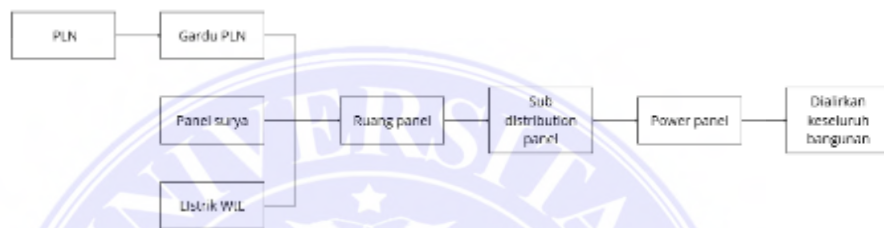


Gambar 5. 28 Sistem Drainase

Sumber: Analisa Penulis

5.9.4 Sistem Kelistrikan

Kebutuhann listrik bangunan menerapkan sistem *hybrid energy* yang memadukan sumber listrik dari PLN dengan energi terbarukan. Penggunaan panel surya untuk menghasilkan listrik tambahan, sementara sebagian energi juga diperoleh dari proses *waste-to-energy*.

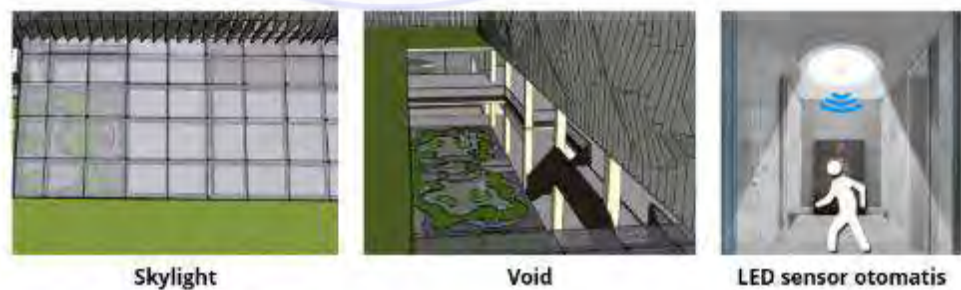


Gambar 5. 29 Sistem Kelistrikan

Sumber: Analisa Penulis

5.9.5 Sistem Pencahayaan

Sistem pencahayaan dirancang berdasarkan prinsip *energy matters* dari *eco-tech architecture* dengan penggunaan bukaan atap, *skylight*, dan void untuk menghadirkan pencahayaan alami. Pada malam hari digunakan lampu LED hemat energi dengan sistem sensor otomatis.



Gambar 5. 30 Sistem Pencahayaan

Sumber: Analisa Penulis

5.9.6 Sistem Penghawaan

Sistem penghawaan mengkombinasikan penghawaan alami dan mekanis. Zona teknis menggunakan *industrial exhaust fan* untuk mngeluarkan udara panas dan dilengkapi dengan cerobong tinggi untuk pembuangan gas. Zona publik memanfaatkan ventilasi silang, bukaan vertikal, dan vegetasi peneduh disekitar bangunan.



Gambar 5. 31 Sistem Penghawaan Zona Teknis

Sumber: Analisa Penulis

Gambar 5. 32 Sistem Penghawaan Zona Publik

Sumber: Analisa Penulis

5.9.7 Sistem Komunikasi dan Keamanan

Sistem keamanan dengan menggunakan CCTV di setiap area yang dikontrol serta dipantau dari ruang CCTV.



Gambar 5. 33 Sistem Komunikasi dan Keamanan

Sumber: Analisa Penulis

5.9.8 Sistem Proteksi Kebakaran

Sistem proteksi kebakaran dilengkapi dengan *hydrant box*, *sprinkler system*, dan APAR di berbagai titik strategis. Penggunaan *fire alarm*, *smoke detector* yang terhubung langsung ke zona pengelola sebagai deteksi dini terhadap potensi bahaya.



Gambar 5. 34 Sistem Proteksi Kebakaran

Sumber: Analisa Penulis

5.9.9 Sistem Transportasi Vertikal dan Horizontal

Sirkulasi horizontal memisahkan jalur teknis dan jalur pengunjung untuk menjaga keamanan dan kenyamanan. Sistem transportasi vertikal (tangga dan *ramp*) dirancang ramah difabel, juga terdapat lift untuk pengunjung dan lift servis.



Gambar 5. 35 Sistem Transportasi Vertikal dan Horizontal

Sumber: Analisa Penulis

5.9.10 Sistem Pengolahan Sampah Internal

Sampah yang dihasilkan dari aktivitas pengunjung dan kantor dipilah untuk kemudian diolah kembali. Sedangkan abu sisa pembakaran dari proses teknis (*bottom ash*) dimanfaatkan menjadi material *eco-block paving*.



Gambar 5. 36 Sistem Pengolahan Sampah Internal

Sumber: Analisa Penulis

5.10 Hasil Akhir

Berdasarkan proses analisis hingga terentuknya konsep perancangan, dihasilkan sebuah hasil akhir dari penggabungan konsep-konsep yang terbentuk berdasarkan analisis. Berikut ini merupakan visualisasi hasil akhir dari perancangan bangunan *waste-to-energy* dengan pendekatan *eco-tech architecture* di TPA Terjun Medan.



Gambar 5. 37 Bird View

Sumber: Analisa Penulis



Gambar 5. 38 View ke Massa Teknis

Sumber: Analisa Penulis



Gambar 5. 39 Area Parkir

Sumber: Analisa Penulis



Gambar 5. 40 Drop Off Area

Sumber: Analisa Penulis



Gambar 5. 41 Side Entrance

Sumber: Analisa Penulis



Gambar 5. 42 Lobby Kantor

Sumber: Analisa Penulis



Gambar 5. 43 Eco-Park

Sumber: Analisa Penulis



Gambar 5. 44 *Jogging Track*

Sumber: Analisa Penulis

BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Perancangan fasilitas *waste-to-energy* (WtE) di TPA Terjun dengan pendekatan *eco-tech architecture* merupakan upaya untuk mengintegrasikan teknologi pengelolaan sampah dengan strategi desain arsitektur berkelanjutan. Pendekatan tidak hanya bertujuan untuk menciptakan bangunan yang efisien secara teknis, tetapi juga mampu memberikan kontribusi ekologis, edukatif, dan simbolik bagi lingkungan dan masyarakat sekitar. Dengan mengacu pada enam prinsip *eco-tech architecture*, bangunan WtE dirancang agar selaras dengan konteks lokal, memperhatikan efisiensi energi, memperkuat hubungan antara pengguna dan lingkungan, serta menjadi ikon arsitektur yang mendorong kesadaran terhadap isu keberlanjutan. Melalui penerapan prinsip-prinsip tersebut, fasilitas WtE diharapkan dapat bertransformasi menjadi ruang yang fungsional sekaligus bermakna.

6.2 Saran

Sebagai proyek perancangan yang mengangkat isu lingkungan dan teknologi, studi ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam pengembangan desain fasilitas *waste-to-energy* yang tidak hanya mengutamakan efisiensi teknis, tetapi juga mempertimbangkan kualitas ruang, keberlanjutan lingkungan, dan nilai arsitektural.

DAFTAR PUSTAKA

- Achi, C. G., Snyman, J., Ndambuki, J. M., & Kupolati, W. K. (2024). Advanced Waste-to-Energy Technologies: A Review on Pathway to Sustainable Energy Recovery in a Circular Economy. *Nature Environment and Pollution Technology*, 23(3), 1239–1259. <https://doi.org/10.46488/nept.2024.v23i03.002>
- Aini, N. A., Jamilatun, S., & Pitoyo, J. (2022). Pirolisis Biomassa: Review. *Agroindustrial Technology Journal*, 6(1), 89. <https://doi.org/10.21111/atj.v6i1.7559>
- Alao, M. A., Popoola, O. M., & Ayodele, T. R. (2022). Waste-to-Energy Nexus: An Overview of Technologies and Implementation For Sustainable Development. In *Cleaner Energy Systems* (Vol. 3). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cles.2022.100034>
- Arif, C., Kridarso, E. R., Iskandar, J., Arsitektur, J., Sipil, T., Perencanaan, D., & Trisakti, U. (2022). *Konsep Eco-Tech Pada Desain Perancangan Kawasan Wisata Alam dan Budaya di Bakauheni, Lampung Eco-Tech Concept in Design Natural and Cultural Tourism Areas in Bakauheni, Lampung*.
- Arifin, H. (2018). *Pengelolaan Sampah Pasar Kuraijati Kecamatan Pariaman Selatan Kota Pariaman*.
- Aulia, U., Hadju, V. A., Masyarakat, J. K., Olahraga, F., Kesehatan, D., Kunci, K., Pekerjaan, P. ;, Pengetahuan, ;, & Sampah, T. (2024). Analisis Faktor yang Berpengaruh Terhadap Angka Timbulan Sampah Analysis of Factors Influencing Waste Generation Rates Artikel Penelitian. *Jurnal Kolaboratif Sains*, 7(6), 2239–2245. <https://doi.org/10.56338/jks.v7i6.5535>
- Bjarke Ingels Group. (2019, March 1). *Amager Resource Center / Copenhill, Copenhagen*.
- BPS Kota Medan. (2024). *Kota Medan dalam Angka Medan Municipality in figures 2024*.
- Carneiro, G., Bier, T., Waida, S., Dous, A., Heinemann, S., Herr, P., & Charitos, A. (2025). Treatment of Energy from Waste Plant fly-Ash for Blast Furnace Slag Substitution as A Supplementary Cementitious Material. *Journal of Cleaner Production*, 490. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.144693>

- Chaerul, M., & Mardiyah, Y. Q. (2019). Anaerobic Digestion untuk Pengolahan Sampah Organik: Analisis Multikriteria Menggunakan Metode Analytic Network Process. *Serambi Engineering, IV*(2).
- Cuba,), & Faaij, A. (n.d.). *Waste Management Coordinating Lead Authors: Lead Authors: Contributing Authors: Review Editors: This Chapter Should be Cited as*.
- Dinas Kominfo Kota Medan. (2023, February 2). *Tinggalkan Sistem Open Dumping, Pemko Medan Memiliki Sistem Pengelolaan Persampahan yang Semakin Baik*. Pemerintah Kota Medan.
- Dinas Kominfo Kota Medan. (2024, November 6). *Plt. Wali Kota Medan: Pengelolaan Sampah Bukan Hanya Tanggung Jawab Pemerintah*.
- Dinas Kominfo Kota Medan. (2025, January 24). *Bobby Nasution Sambut Baik Investasi Pengolahan Sampah Jadi Listrik*. Pemerintah Kota Medan.
- Frazer, A. M. (2024). *Introduction to Conservation Biology*. <https://LibreTexts.org>
- Gawy, B. N. (2023). *Teknologi Composting Skala Rumah Tangga untuk Meretas Problem Sampah Organik* (Vol. 3, Issue 1).
- Gulo, C. E., Dia, R., Kesuma, I., Kajian, H., Pelayanan, S., Di, P., Medan, K., Studi, (, Kecamatan, K., Kota, M., Dian, R., Indra, D., Hadi, K., Teknik, M. J., Wilayah, P., Jurusan, D., Fakultas, K., Sipil, T., & Perencanaan, D. (2022). 6758 Jurnal Ruang Luar dan Dalam FTSP | 110 Kajian Sistem Pelayanan Persampahan di Kota Medan (Studi Kasus Kecamatan Medan Kota). In *Jurnal Ruang Luar dan Dalam FTSP* (Vol. 04, Issue 8).
- Hafizah, A., Kesehatan Masyarakat, I., Kesehatan Masyarakat, F., Ayu Pratiwi Ilmu Kesehatan Masyarakat, D., Nada Rizky Nuzlan Ilmu Kesehatan Masyarakat, D., & Hasibuan, A. (2023). *Analisis Dampak Sistem Pengelolaan Sampah TPA Terjun di Kota Medan*.
- Haukoohl, R. J., & Atarxen, L. U. (2000). *Municipal Solid Waste Incineration A Decision.Maker's Guide*.
- Idris, M., Setyawan, M., Astuti, E., & Eka Suharto, T. (2024). *Teknologi Konversi Waste to Energy: Tinjauan Proses dan Perkembangan Terkini*.
- 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>
- Jasmine Shafira, A., & Novianthi, S. P. (2021). *Studi Implementasi Eco-Tech Pada Bangunan Digital Working Space Di Bsd City, Tangerang Eco-Tech*

Implementation Study On Digital Working Space Building In Bsd City, Tangerang.

- Kaur, A., Bharti, R., & Sharma, R. (2021). Municipal Solid Waste as A Source of Energy. *Materials Today: Proceedings*, 81(2), 904–915. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.286>
- KLHK RI. (2023). *Statistik Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan 2023*.
- Kulas, D. G. (2022). *Towards A Circular Economy: Liquid-Fed Fast Pyrolysis of Waste Polyolefin Plastics* [Michigan Technological University]. <https://doi.org/10.37099/mtu.dc.etr/1427>
- Lampiran X - Tabel Intensitas Pemanfaatan Ruang Peraturan Daerah Kota Medan Nomor 2 Tahun 2015*. (n.d.).
- Lampiran XI - Tabel Tata Bangunan Peraturan Daerah Kota Medan Nomor 2 Tahun 2015*. (n.d.).
- Ławińska, O., Korombel, A., & Zajemska, M. (2022). Pyrolysis-Based Municipal Solid Waste Management in Poland—SWOT Analysis. *Energies*, 15(2). <https://doi.org/10.3390/en15020510>
- 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>
- Pembangunan, M., Berkelanjutan, Y., Pengelola, U., Terpadu, S., Lingkungan, D., Dki, H. P., & Korespondensi, J. (2017). *Penerapan Teknologi Waste to Energy (WTE) Pada Rencana Pembangunan Intermediate Treatment Facility (ITF) Sunter Jakarta Utara (dalam Kaitannya Terhadap Penanganan Permasalahan Sampah di Provinsi DKI Jakarta)*.
- Purwanto, M. E. (2022). *Peran Studi Banding dalam Meningkatkan Kualitas Guru dan Kinerja Sekolah* (Vol. 04).
- Purwendah, E. K., & Erowati, E. M. (2021). Prinsip Pencemar Membayar (Polluter Pays Principle) dalam Sistem Hukum Indonesia. In *Jurnal Pendidikan Kewarganegaraan Undiksha* (Vol. 9, Issue 2). <https://ejournal.undiksha.ac.id/index.php/JJPP>
- Rahim, M. (n.d.). *Strategi Pengelolaan Sampah Berkelanjutan* (Vol. 10).
- Ranno Marlany Rachman, P., Rahman Rustan, F., Ermawati Rahayu, D., Artanto Ampangallo, B., Aryadi, A., Safar, A., Arifuddin Iskandar, A., Badrun, B., & Gusty Editor Muhammad Riadi Harimuswarah, S. (2024). *Optimalisasi Sistem Pengelolaan Sampah Perkotaan “Strategi dan Implementasi.”* <https://toharmedia.co.id>

- Rasyid, M., & Hasibuan, R. (n.d.). *Manfaat Daur Ulang Sampah Organik dan Anorganik untuk Kesehatan Lingkungan*.
- Rina Puji Astutik, Prabandaru Dwi Septian, Indah Nur Andini, Nur Ika Fitriya, & Denny Oktavina Radianto. (2024). Pengembangan Teknologi Ramah Lingkungan Untuk Pengolahan Limbah Padat Menuju Produksi Bebas Limbah. *Venus: Jurnal Publikasi Rumpun Ilmu Teknik*, 2(2), 83–96. <https://doi.org/10.61132/venus.v2i2.250>
- Rodríguez, M. E. D. B. (2011). *Cost-Benefit Analysis of A Waste to Energy Plant for Montevideo; and Waste to Energy in Small Islands*.
- Rudend, A. J., & Hermana, J. (2020). Kajian Pembakaran Sampah Plastik Jenis Polipropilena (PP) Menggunakan Insinerator. *Jurnal Teknik ITS*, 9.
- Slessor, C. (1997). *Eco-tech: sustainable architecture and high technology*. Thames and Hudson.
- The World Bank. (1999). *What A Waste: Solid Waste Management in Asia*.
- UN Environment. (2019). *Waste to Energy Considerations for Informed Decision-Making*.
- Utami, R., Khair, H., & Rachman, I. (2024). Waste-to-Energy Potential in Medan City, Indonesia: Challenges and Opportunities for Sustainable Urban Development. *International Journal Of Scientific Advances*, 5(6). <https://doi.org/10.51542/ijscia.v5i6.41>
- Villetta, M. La. (2017). *Biomass-to-Energy systems: techno-economic aspects and modelling approaches for characterization and improvement of performance*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23662.77120/1>
- Wahyuni, E. T., Sunarto, & Styono, P. (2014). *Optimalisasi-Pengelolaan-Sampah-Melalui-Partisipasi-Masyarakat-dan-Kajian-Extended-Producer-Responsibility-EPR-di-Kabupaten-Magetan*.
- Wardiha, M. W., Putri, P. S., Setyawati, L. M., Muhajirin, dan, Pengembangan Teknologi Perumahan Tradisional Denpasar, B., Penelitian dan Pengembangan Permukiman, P., & Korespondensi, P. (2013). *WISMA (Studi Kasus: Werdhapura Village Center, Kota Denpasar, Provinsi Bali)*.
- World Energy Council. (2013). *World Energy Council 2013 World Energy Resources: Waste to Energy 7b.1 7b Waste to Energy*.

LAMPIRAN

1. Banner Perancangan
2. Gambar Kerja
3. Rendering Eksterior dan Interior
4. Video Animasi (*Barcode*)



