



NUSANTARA

PEDOMAN TEKNIS

# Smart Waste Management

Pemanfaatan Teknologi Cerdas dalam  
Pengelolaan Limbah Padat (Sampah)  
untuk Ibu Kota Nusantara



Direktorat Transformasi Hijau  
Kedeputian Transformasi Hijau dan Digital  
Otorita Ibu Kota Nusantara



## **Penasihat Utama**

**Kepala Otorita Ibu Kota Nusantara**

Prof. (H.C.) Ir. Bambang Susantono, MCP., MSCE., Ph.D.

**Deputi Transformasi Hijau dan Digital**

Prof. Ir. Mohammed Ali Berawi, M.Eng.Sc., Ph.D.

## **Penanggung Jawab**

**Direktur Transformasi Hijau**

Agus Gunawan, ST., M.Eng.

## **Penulis & Kontributor**

**Direktorat Transformasi Hijau Otorita Ibu Kota Nusantara**

Toha Saleh, S.T., M.Sc.

Zafya Nadhira Affiandi, S.T., M.T.

Nur Allya Widiaputri, S.Ars.

Putri Amalia Sholichah, S.T.

Faris Pusponegoro, S.T., M.T.

Linggar Rengga Alridho, S.T.

Sekar Dwijayanti, S.T.

Dimas Raihan Alghifary S.T

Ignasius Mario Septianta Nugraha S.T., M.T.

**UP2M Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Indonesia**

Dr. Eng. Mochammad Adhiraga Pratama, S.T., M.T.

Dr. Eng. Baskoro Lokahita, S.T., M.Eng.

Dr. Eng. Radon Dhelika, B.Eng., M.Eng.

Farizan Radhiyya Yahya, S.T.

Maalim Fithoriq Aqwam, S.T.

Irwan Haryanto, S.T.

## **Tata Letak**

Teno Sulistyanto, S.Si.

Raden Elsa Nurmandhini, S.Kel.



## KATA PENGANTAR

Pedoman ini merupakan hasil kajian bersama antara Kedeputian Transformasi Hijau dan Digital dengan Tim UP2M Teknik Sipil dan Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Pada pelaksanaan penyusunan kajian juga melibatkan pembahasan dan review dari kementerian terkait yang juga melakukan pengelolaan limbah padat yaitu meliputi Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi, serta Pemerintah Provinsi Kalimantan Timur dan Pemerintah Kabupaten Penajam Paser Utara.



Penerapan teknologi cerdas dalam pengelolaan sampah yang dikaji dalam pedoman ini meliputi pemanfaatan smart bin, sistem pengangkutan sampah dengan smart fleet, serta pemilahan sampah pada fasilitas 3R MRF (reduce reuse recycle – material recovery facility). Dengan adanya penerapan teknologi cerdas ini, maka diharapkan akan berdampak pada efisiensi penggunaan energi dan menurunkan emisi gas rumah kaca, serta pencapaian Ibu Kota Nusantara sebagai Kota Cerdas. Lebih jauh, pengelolaan sampah dengan penerapan teknologi cerdas ini juga akan membangun ekonomi sirkular di Ibu Kota Nusantara yang memberikan manfaat yaitu dapat mengurangi dampak negatif kepada lingkungan, meningkatkan keamanan pasokan bahan baku, meningkatkan daya saing, merangsang inovasi, mendorong pertumbuhan ekonomi serta menciptakan lapangan kerja.

Diharapkan dengan adanya pedoman ini, dapat digunakan sebagai pegangan dalam pengelolaan secara cerdas terhadap limbah padat (sampah) di Ibu Kota Nusantara, utamanya dalam pencapaian KPI 4 (Rendah Emisi Karbon).

**Prof. Ir. Mohammed Ali Berawi, M. Eng. Sc., Ph.D.**

Deputi Transformasi Hijau dan Digital



# KATA PENGANTAR



Direktorat Transformasi Hijau telah mengawali pengumpulan teknologi cerdas terkini untuk pengelolaan limbah, yang akan mendukung target Net Zero Emission 2045. Untuk itu kegiatan penyusunan kajian bersama Tim UP2M Teknik Sipil dan Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Indonesia ini dilaksanakan. Adapun teknologi yang dipilih adalah yang bersifat implementatif bagi pembangunan IKN, serta mengedepankan transformasi menuju rendah emisi, IoT dan dapat dikembangkan dengan kemampuan produk lokal. Pengelolaan limbah padat dengan teknologi cerdas yang akan segera diterapkan, berpedoman pada Pedoman Teknis Smart Waste Management: Pemanfaatan Teknologi Cerdas dalam Pengelolaan Limbah Padat (Sampah) untuk Ibu Kota Nusantara. Direktorat Transformasi Hijau bersama pemangku kepentingan terkait akan mulai menerapkan penggunaan smart bin, yang data dan informasinya langsung terhubung dengan Command Center OIKN. Ini merupakan implementasi dari pedoman teknis dimaksud, serta akan berkorelasi langsung dengan pengembangan Nusantara sebagai kota cerdas.

Penerapan smart bin akan berkaitan langsung dengan smart fleet, yang merupakan aktivitas yang terintegrasi secara langsung. Dengan adanya smart fleet, maka akan ada efektivitas dalam pengelolaan limbah padat di IKN, yang hemat energi dan efektif efisien. Interkoneksi smart bin – smart fleet dengan pusat komando, juga akan memudahkan dalam pengelolaan limbah, terutama dalam pengambilan keputusan. Kegiatan pemilahan sampah dengan menggunakan IoT, melalui teknologi pemilahan 3R MRF juga akan menjadi lebih efisien. Dengan scanning terhadap sampah berdasarkan jenis materialnya, akan memaksimalkan kebijakan reuse-recycle-recovery (3R) dan economy circular, yang berarti juga mendukung penurunan emisi dari sektor limbah. Selanjutnya penyediaan informasi berkaitan dengan pedoman teknis ini, akan disediakan oleh Direktorat Transformasi Hijau.

**Agus Gunawan, ST., M.Eng**

Direktur Transformasi Hijau



# EXECUTIVE SUMMARY

## *Smart Waste Management:*

Pemanfaatan Teknologi Cerdas  
dalam Pengelolaan Limbah Padat (Sampah)  
untuk Ibu Kota Nusantara

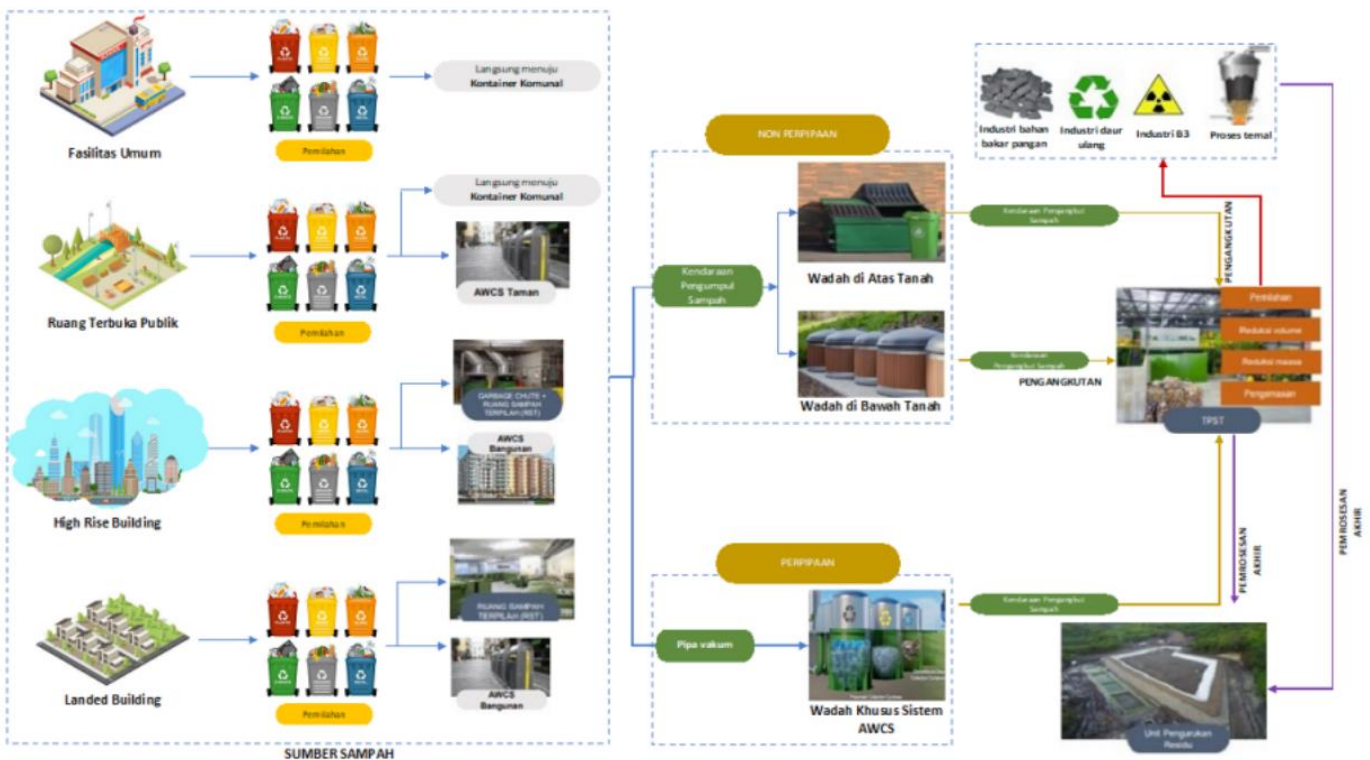
Direktorat Transformasi Hijau  
Kedeputian Transformasi Hijau dan Digital  
Otorita Ibu Kota Nusantara





Pemanfaatan teknologi cerdas dalam pengelolaan limbah padat untuk Ibu Kota Nusantara akan diterapkan pada lima proses pengelolaan sampah, yakni pada proses pemilahan, pengumpulan, pengangkutan, pengolahan, dan pemrosesan akhir sampah. Skema pengelolaan sampah ini dapat dilihat pada Gambar 1.

Sistem yang digunakan dalam pemanfaatan teknologi ini adalah *Smart Waste Management System* (SWMS). Tujuan utamanya adalah untuk mengoptimalkan proses pengelolaan limbah, mengurangi dampak lingkungan, dan meningkatkan kualitas hidup masyarakat. SWMS mengintegrasikan *smart bin*, *smart fleet*, dan *smart 3R/MRF* (*Reduce, Reuse, Recycle/Material Recovery Facility*) dengan menerapkan teknologi cerdas berupa Internet of Things (IoT).



Gambar 1. Skema Umum Sistem Pengelolaan Persampahan  
Sumber: Kementerian PUPR, 2023

Gambar 1 menunjukkan ilustrasi sistem pengelolaan sampah yang akan dibangun di Ibu Kota Nusantara. Untuk mendukung implementasi smart waste management pada skema dan proses diperlukan peran teknologi yang dibahas mendetail pada penjelasan berikut.

## Smart Bin (Proses Pewadahan)

Smart Bin merupakan proses memonitor keterisian pada kontainer sampah menggunakan sensor untuk mendukung sistem smart waste management, yang memungkinkan pengangkutan sampah yang lebih efisien. Peralatan tersebut meliputi kontainer sampah di pemukiman bangunan tapak, bangunan vertikal, fasilitas umum, serta jalan dan ruang terbuka publik. Ilustrasi pemasangan dapat dilihat pada **Gambar 2**.



**Gambar 2.** Ilustrasi Penempatan Sensor pada Smart Bin

Skenario	Sensor	Fungsi Sensor
<b>Minimum</b>	Ultrasonic Sensor	Mendeteksi keterisian sampah
	Humidity Sensor	Mendeteksi tingkat kelembaban smart bin
<b>Rekomendasi</b>	GPS Sensor	Memberikan data berupa lokasi real time dari smart bin
	Load Sensor	Menghitung mass balance yang didapat dari berat sampah yang ditampung
	Dashboard	Menampilkan data yang didapat dari masing – masing sensor yang terpasang pada smart bin pada control room pusat
<b>Optimum</b>	Panel Surya	Mengefisiensikan energi pada smart bin
	Fitur Kecerdasan Buatan (AI)	Memonitor, mengevaluasi dan memberikan informasi sekaligus rekomendasi kebutuhan smart bin.
	Compactor dan Pressure Sensor	Memadatkan sampah sehingga keterisian dan kapasitas smart bin dapat dioptimalkan

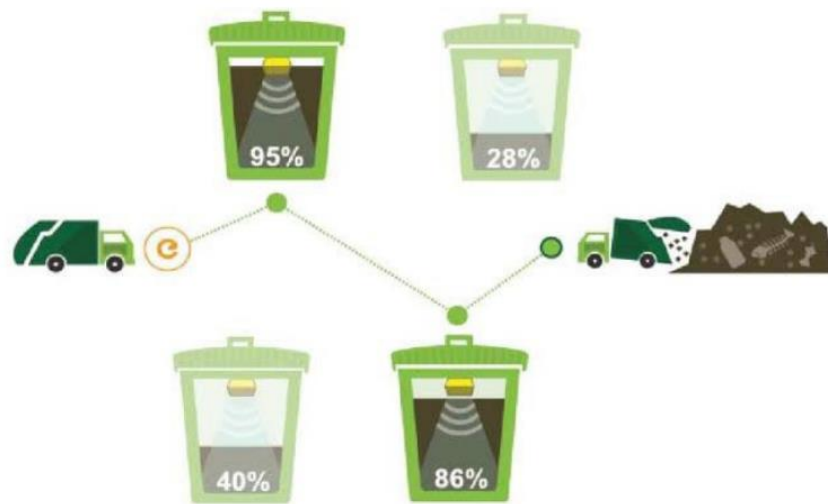
**Tabel 1.** Skenario Pemasangan Sensor pada Smart Bin di IKN



## Smart Fleet (Proses Pengangkutan)

Proses ini dilakukan untuk mengoptimalkan pengangkutan sampah sehingga lebih cepat dan hemat energi. Peralatan yang digunakan dalam proses ini yaitu armada truk dan sistem rute pengangkutan sampah. Armada truk yang digunakan yaitu berupa truk dengan nol emisi dan dilengkapi dengan compactor sampah.

Compactor sampah berfungsi sebagai alat pemadat sampah sehingga dapat memaksimalkan kapasitas dan meningkatkan efisiensi pengangkutan sampah. **Gambar 3** menunjukkan ilustrasi penempatan sensor pada smart fleet.



**Gambar 3.** Ilustrasi Penempatan Peralatan dan Sensor pada Smart Fleet

Skenario	Sensor	Fungsi Sensor
<b>Minimum</b>	GPS Sensor for Fleet	Live fleet tracker, driver behavior monitoring, fuel management, keamanan armada dari pencurian dan dapat ditampilkan pada dashboard yang informatif.
	Pressure Sensor for compactor	memastikan compactor dapat berfungsi dengan baik dalam memadatkan sampah di armada truk smart fleet.
<b>Rekomendasi</b>	Routing System (Sistem Penentuan Rute)	Mengefisiensikan rute pengangkutan sampah
<b>Optimum</b>	Penjadwalan dengan AI	Mengefisiensikan penjadwalan pengangkutan sampah

**Tabel 2.** Skenario Pemasangan Sensor pada Smart Fleet di IKN

## Smart Reduce Reuse Recycle MRF

Proses ini dilakukan untuk memastikan sampah telah terpisah sesuai dengan klasifikasinya dan untuk mengolah sampah sehingga massa dalam sampah tersebut dapat tereduksi dengan baik. Proses ini dilakukan pada TPST. Sensor yang digunakan pada masing – masing peralatan berfungsi untuk meningkatkan efisiensi dari proses pemisahan dan pengolahan sampah. Selain itu peralatan pemisahan yang terpasang di TPST tersebut juga perlu dibuat sistem preventive maintenance yang baik, terutama untuk peralatan Grab Crane, Hoist Crane dan Shredder.

Skenario	Sensor	Fungsi Sensor
Minimum	Ultrasonic Sensor	Mengetahui tingkat keterisian bunker dan hopper sehingga tidak ada kelebihan muatan dan overflow.
	Fire Sensor	Mendeteksi api di Shredder untuk mencegah adanya kebakaran dari gesekan kuat antara sampah dan shredder.
	Pressure Sensor	Memastikan compactor dapat memadatkan sampah Pressure Machine.
	Thermocouple	Menampilkan data temperatur pada peralatan rotary dryer sehingga proses pengeringan dapat berjalan secara optimal.
	Odour Sensor	Mengukur kadar bau di Odour Control dari aroma yang ditimbulkan dari timbunan sampah yang mempunyai kelembaban tinggi.
	Thermocouple dan Flame Sensor	Mengukur temperature dan flame sensor di Incinerator untuk memastikan burner dapat beroperasi dengan baik.
	Temperature dan pressure sensor	Mengukur temperature dan tekanan di dalam boiler.
	Gas dan Temperatur Sensor	Mengukur kadar gas buang dalam combustion gas facility sehingga kadar gas bisa terjaga dan sesuai dengan aturan yang berlaku.
	Gas Sensor di Air Supply dan Exhaust Facility	Mengukur kadar oksigen untuk menjaga efisiensi dari incinerator.
	Thermocouple dan Dust Control	Mengukur kadar debu yang berasal dari ash sisa proses pembakaran di incinerator.



## Smart Reduce Reuse Recycle MRF

Skenario	Sensor	Fungsi Sensor
Rekomendasi	Load sensor	Menghitung mass balance yang didapat di bunker
	SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) untuk Dashboard Control Room	Mengawasi mesin dan proses tingkat tinggi
	RDF Sorting Sensor	Mendeteksi kualitas dari RDF secara real time.
Optimum	Robotic Sorting	Efisiensi manpower pada pemilahan sampah
	Teknologi Kecerdasan Buatan (AI)	Sebagai teknologi dari AMP Robotics dalam robot

Tabel 3. Skenario Pemasangan Sensor pada Smart Reduce Reuse Recycle MRF di IKN

# DAFTAR ISI

<b>DAFTAR ISI</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	x
<b>1. Pendahuluan</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Maksud dan Tujuan.....	1
1.3 Lingkup Pekerjaan .....	1
1.4 Metode .....	3
<b>2. Gambaran Umum Rencana Pengelolaan Sampah Di Ibu Kota Nusantara (IKN)</b> .....	5
2.1 Wilayah Administrasi KIPP-IKN .....	6
2.2 Pembagian Sub-BWP di KIPP-IKN .....	6
2.3 Rencana Pengembangan Kawasan dalam Sub-BWP KIPP .....	8
2.3.1 <i>Government Precinct</i> .....	9
2.3.2 <i>North Precinct</i> .....	10
2.3.3 <i>Core Precinct</i> .....	10
2.3.4 <i>South Precinct</i> .....	11
2.3.5 <i>East Precinct</i> .....	11
2.3.6 <i>West Precinct</i> .....	12
2.3.7 <i>Hankam Precinct</i> .....	12
2.4 Proyeksi Penduduk .....	13
2.5 Timbulan Sampah .....	14
<b>3. Analisis Dokumen Rencana Eksisting Pengelolaan Sampah Di Ibu Kota Nusantara (IKN)</b> .....	17
3.1 Kriteria Perencanaan Pengelolaan Sampah (Dokumen Rencana Induk Terintegrasi) .....	18
3.1.1 Kriteria Desain Pewadahan dan Pengumpulan (Dokumen <i>Basic Engineering Design</i> ).....	22
3.1.2 Kriteria Desain Pengangkutan (Dokumen <i>Basic Engineering Design</i> ).....	23
3.1.3 Kriteria Desain TPST (Dokumen <i>Basic Engineering Design</i> ) .....	24
3.2 Perencanaan Pengelolaan Sampah.....	26
3.2.1 Perencanaan Sistem .....	26



3.3	Perbandingan Sistem Pengelolaan Sampah (RIT, RPK, dan UDD) .....	34
3.3.1	Pewadahan .....	35
3.3.2	Pengumpulan.....	35
3.3.3	Pengangkutan.....	36
3.3.4	Pengolahan.....	36
3.4	Sinkronisasi Sistem Pengelolaan Sampah .....	37
<b>4.</b>	<b>Best Practice Smart Waste Management.....</b>	<b>63</b>
4.1	Cakupan dan Tujuan <i>Smart Waste Management</i> .....	63
4.2	Aspek Penting Penerapan <i>Smart Waste Management</i> .....	64
4.3	Contoh <i>Best Practice</i> Penerapan <i>Smart Waste Management</i> .....	66
4.3.1	Denton City, Texas, Amerika Serikat.....	66
4.3.2	Brighton & Hove, Britania Raya .....	67
4.3.3	Virginia, Amerika Serikat .....	68
4.3.4	Australia.....	69
4.3.5	Copenhagen, Denmark.....	70
4.3.6	Swiss .....	72
4.3.7	Jerman.....	75
<b>5.</b>	<b>Kebutuhan Peralatan Penunjang <i>Smart Waste Management</i>.....</b>	<b>77</b>
5.1	Pengertian Sensor .....	77
5.2	Pengertian <i>Sensor Network</i> .....	77
5.3	Elemen <i>Sensor Network</i> .....	78
5.3.1	Node.....	78
5.3.2	<i>Data Gateway</i> .....	78
5.3.3	Elemen <i>Sensors Network</i> Lainnya .....	78
5.4	Komunikasi Data dan Pemantauan .....	78
5.4.1	MQTT: <i>Message Queuing Telemetry Transport</i> .....	79
5.4.2	Perbandingan dengan Protokol Komunikasi Lainnya.....	79
5.5	Jenis-jenis Sensor.....	84
5.5.1	<i>Load sensor</i> .....	84
5.5.2	<i>Ultrasonic Sensor</i> .....	84
5.5.3	<i>Humidity Sensor</i> .....	84
5.5.4	GPS Sensor .....	84
5.5.5	<i>Fire Sensor</i> .....	85
5.5.6	<i>Infrared Temperature Sensor</i> .....	85
5.5.7	<i>Pressure Sensor</i> .....	85
5.5.8	<i>Thermocouple Sensor</i> .....	86
5.5.9	<i>Odour Sensor</i> .....	86

5.5.10 Gas Sensor .....	87
5.5.11 <i>Dust Sensor</i> .....	87
5.6 <i>Smart Bin</i> (Proses Pewadahan).....	88
5.6.1 Spesifikasi <i>Smart Bin</i> Minimum .....	88
5.6.2 Spesifikasi <i>Smart Bin</i> Rekomendasi .....	90
5.6.3 Spesifikasi <i>Smart Bin</i> Optimum.....	91
5.7 ( <i>Smart Fleet</i> ) Proses Pengangkutan.....	92
5.7.1 Spesifikasi <i>Smart Fleet</i> Minimum .....	93
5.7.2 Spesifikasi <i>Smart Fleet</i> Rekomendasi.....	94
5.7.3 Spesifikasi <i>Smart Fleet</i> Optimum .....	95
5.8 3R ( <i>Reduce Reuse Recycle</i> ) dan MRF ( <i>Material Recovery Facility</i> ) .....	95
5.8.1 Spesifikasi 3R MRF Minimum .....	96
5.8.2 Spesifikasi 3R MRF Rekomendasi .....	100
5.8.3 Spesifikasi 3R MRF Optimum.....	101
<b>6. Rekomendasi Rencana Aksi Menuju <i>Smart Waste Management</i> .....</b>	<b>103</b>
<b>7. PENUTUP .....</b>	<b>111</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>113</b>



# DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b>	Alur Kegiatan .....	3
<b>Gambar 2.1</b>	Tiga Skala Wilayah Perencanaan IKN .....	5
<b>Gambar 2.2</b>	Kawasan Inti Pusat Pemerintahan IKN (KIPP-IKN) .....	6
<b>Gambar 2.3</b>	Pembagian Sub-BWP di KIPP .....	8
<b>Gambar 2.4</b>	Pembagian <i>Precinct</i> di Sub-BWP 1.....	9
<b>Gambar 2.5</b>	<i>Government Precinct</i> .....	9
<b>Gambar 2.6</b>	<i>North Precinct</i> .....	10
<b>Gambar 2.7</b>	<i>Core Precinct</i> .....	10
<b>Gambar 2.8</b>	<i>South Precinct</i> .....	11
<b>Gambar 2.9</b>	<i>East Precinct</i> .....	11
<b>Gambar 2.10</b>	<i>West Precinct</i> .....	12
<b>Gambar 2.11</b>	<i>Hankam Precinct</i> .....	12
<b>Gambar 3.1</b>	Hirarki Pengelolaan Persampahan.....	17
<b>Gambar 3.2</b>	Skema Sistem Pengelolaan Sampah.....	26
<b>Gambar 3.3</b>	Skema Umum Sistem Pengelolaan Persampahan .....	27
<b>Gambar 3.4</b>	Perencanaan Pengelolaan Sampah .....	33
<b>Gambar 3.5</b>	Diagram Alur Proses Pengolahan TPST 1 KIPP-IKN .....	33
<b>Gambar 3.6</b>	Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Sampah .....	38
<b>Gambar 4.1</b>	Visualisasi Smart Routing Rubicon di Texas, USA.....	67
<b>Gambar 4.2</b>	Smart Bin Bigbelly yang terpasang di Kota Brighton & Hove, Britania Raya.....	68
<b>Gambar 4.3</b>	Proses Pemilahan Sampah dengan Lengan Robot Otomatis.....	68
<b>Gambar 4.4</b>	Konsep Pilot Project Smart Waste Management di Perth Australia.....	69
<b>Gambar 4.5</b>	Penerapan AI Dalam Mengidentifikasi Komposisi Sampah .....	69
<b>Gambar 4.6</b>	Konsep prototipe project smart waste management di Kopenhagen .....	71
<b>Gambar 4.7</b>	Penerapan smart waste management berbasis digital twin di pilot project swiss .....	72
<b>Gambar 4.8</b>	Penurunan biaya pengumpulan sampah pada sistem pengelolaan sampah berbasis digital twin.....	73
<b>Gambar 4.9</b>	Efek dari penerapan teknologi digital terhadap value chain dalam setiap tahap pengelolaan sampah di Jerman .....	75
<b>Gambar 5.1</b>	Ilustrasi Spesifikasi Minimum <i>Smart Waste Management</i> .....	80
<b>Gambar 5.2</b>	Ilustrasi Spesifikasi Rekomendasi <i>Smart Waste Management</i> .....	81

<b>Gambar 5.3</b>	Ilustrasi Spesifikasi Optimum <i>Smart Waste Management</i> .....	83
<b>Gambar 5.4</b>	Ilustrasi Penempatan Sensor pada <i>Smart Bin</i> .....	88
<b>Gambar 5.5</b>	Ilustrasi Penempatan Peralatan dan Sensor pada <i>Smart Fleet</i> .....	93
<b>Gambar 6.1</b>	Rencana Pengembangan dan Indikator <i>Smart Waste Management</i> KIPP- IKN.....	103



# DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	<i>Precinct</i> di Sub-BWP 1A KIPP IKN .....	8
<b>Tabel 2.2</b>	Proyeksi Penduduk IKN pada Tahun 2025 - 2045 .....	13
<b>Tabel 2.3</b>	Poyeksi Jumlah Penduduk pada Sub-BWP 1A, 1B, dan 1C.....	14
<b>Tabel 2.4</b>	Timbulan Sampah Total Penduduk pada Tahun 2025 .....	15
<b>Tabel 2.5</b>	Timbulan Sampah Berdasarkan Jenis Sampah (Sub-BWP 1A, 1B, dan 1C) ...	15
<b>Tabel 3.1</b>	Konsep Pemilahan Sampah .....	19
<b>Tabel 3.2</b>	Konsep Pengumpulan Sampah .....	20
<b>Tabel 3.3</b>	Konsep Pengangkutan Sampah .....	20
<b>Tabel 3.4</b>	Konsep Pengolahan Sampah .....	21
<b>Tabel 3.5</b>	Konsep Pemrosesan Sampah.....	21
<b>Tabel 3.6</b>	Sistem Umum Pengelolaan Sampah, Buku 3 UDD .....	28
<b>Tabel 3.7</b>	Jenis Teknologi Pewadahan – Pengumpulan Sampah Berdasarkan Sumber Sampah .....	38
<b>Tabel 5.1</b>	Detail Sensor pada Masing-masing Spesifikasi di <i>Smart Bin</i> .....	80
<b>Tabel 5.2</b>	Detail Sensor pada Masing-masing Spesifikasi di <i>Smart Fleet</i> .....	81
<b>Tabel 5.3</b>	Detail Sensor pada Masing-masing Spesifikasi di 3R MRF .....	82
<b>Tabel 6.1</b>	Rencana Program untuk Transformasi Umum dari <i>Conventional Waste Management</i> menuju <i>Smart Waste Management</i> .....	104
<b>Tabel 6.2</b>	Rincian Kegiatan Rencana Pengembangan dan Penerapan <i>Smart Waste Management System</i> di KIPP-IKN.....	104



# PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Peningkatan pertumbuhan penduduk dalam beberapa tahun terakhir memberikan permasalahan di Indonesia, terutama dalam peningkatan timbulan limbah padat (sampah). Pemerintah Republik Indonesia memiliki komitmen sangat kuat untuk mencapai *Sustainable Development Goals* (SDG 12) terkait Konsumsi dan Produksi yang Bertanggung jawab pada Pembangunan Ibu Kota Nusantara (IKN). Saat ini, berdasarkan laporan Kemitraan Aksi Plastik Nasional Indonesia atau *National Plastic Action Partnership* (NPAP) yang dirilis pada April 2020, hanya 39% dari total sampah di Indonesia yang telah dikelola dengan baik termasuk langkah-langkah pengurangan dan penanganan. Sisanya, sekitar 69% masih belum dikelola dengan baik dan cenderung berakhir pada pembuangan liar, pembakaran terbuka, atau pembuangan ke badan air. Oleh karena itu, perlu adanya pengembangan sistem pengelolaan sampah yang lebih efisien dan berbasis data. Hal ini bertujuan untuk meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan serta berkontribusi pada sistem pengelolaan sampah yang berkelanjutan di Ibu Kota Nusantara.

## 1.2 Maksud dan Tujuan

Maksud dan Tujuan dari pekerjaan ini adalah untuk memperoleh keluaran pedoman Perencanaan Sistem *Smart Waste Management* untuk Ibu Kota Nusantara dan Pemanfaatan teknologi cerdas dalam Pengelolaan Limbah Padat (Sampah) untuk Ibu Kota Nusantara (IKN).

## 1.3 Lingkup Pekerjaan

Ruang Lingkup pekerjaan ini meliputi:

1. Lingkup wilayah pedoman meliputi wilayah Ibu Kota Nusantara
2. Melakukan identifikasi dan analisis sistem pengelolaan sampah saat ini yang difokuskan dalam kegiatan pengumpulan sampah dari sumber sampah dan pengolahan sampah

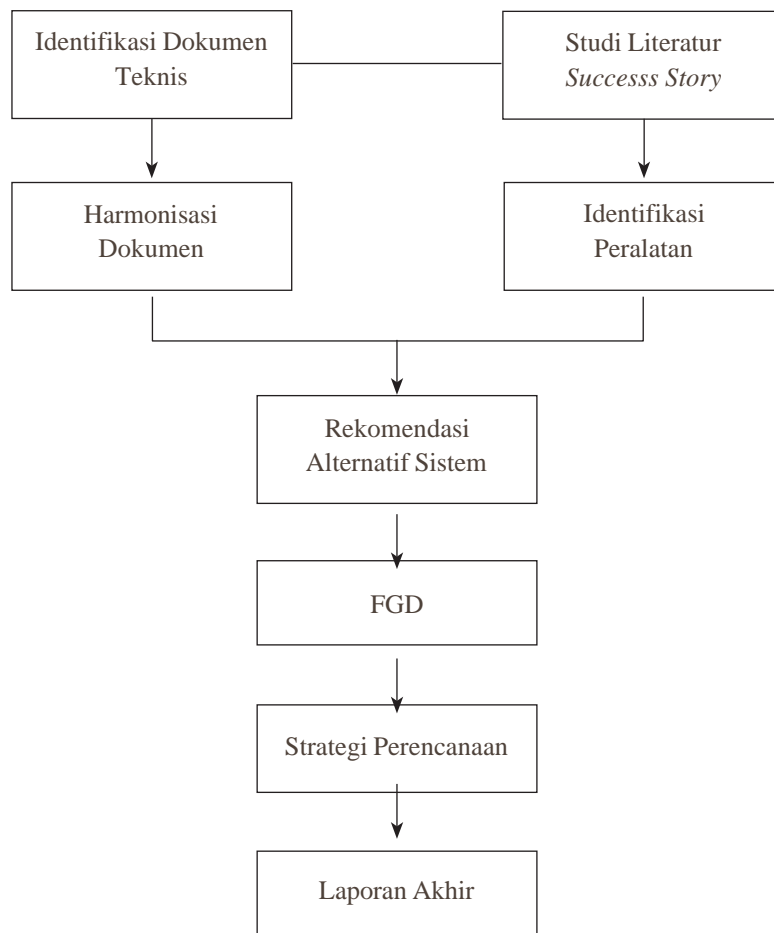
skala kawasan baik yang diselenggarakan lembaga pemerintah maupun lembaga diluar pemerintah pada masing-masing wilayah survey meliputi aspek teknis dan tata kelola:

- a. Teknis operasional penanganan sampah termasuk potensi integrasi teknologi pengelolaan sampah skala kawasan;
  - b. Kapasitas pendanaan eksisting penyelenggaraan pengelolaan sampah tingkat provinsi, tingkat pemerintah daerah provinsi, dan pemerintah kota/kabupaten;
  - c. Substansi pengaturan pada peraturan hukum eksisting terhadap penyelenggaraan penanganan sampah melalui skema kerja sama;
  - d. Kelembagaan mitra kerjasama dalam penyelenggaraan operasionalisasi pengelolaan sampah skala kawasan meliputi namun tidak terbatas kelembagaan badan usaha swasta, koperasi, UMKM, lembaga sosial, lembaga kemasyarakatan desa, lembaga kemasyarakatan kelurahan;
  - e. Pemetaan stakeholder dalam kerjasama diantaranya pemerintah, badan usaha, dan masyarakat penerima manfaat;
  - f. Jenis kerja sama, lingkup kerjasama, dan mekanisme kerja sama eksisting dalam penanganan sampah skala Kawasan;
  - g. Jenis, bentuk kewajiban/dukungan eksisting pemerintah/pemda untuk keberlangsungan penyelenggaraan kerja sama pengelolaan sampah skala kawasan;
  - h. Kinerja penanganan sampah dari mitra kerja sama;
  - i. Kunci sukses dan/atau hambatan penyelenggaraan pengelolaan sampah skala kawasan;
3. Melakukan identifikasi teknologi *Smart-WM* dan *success story* di daerah/ negara lain;
  4. Melakukan pedoman integrasi *Smart-WM technology* sesuai rencana induk pengelolaan sampah IKN;
  5. Melakukan pedoman terhadap teknologi untuk mendukung penerapan *Smart-WM* di IKN;
  6. Melakukan pedoman terhadap kebutuhan jenis/bentuk peraturan hukum dan substansi pengaturannya untuk mendukung penerapan *Smart-WM* di IKN; dan
  7. Melakukan pedoman terhadap pendanaan untuk mendukung penerapan *Smart-WM* di IKN.



## 1.4 Metode

Berdasarkan sasaran keluaran dari kegiatan, alur pelaksanaan pedoman yang diusulkan dapat dijelaskan pada **Gambar 1.1**. Sebagai langkah awal, diskusi pedoman akan difokuskan seputar pengumpulan dokumen teknis tentang perencanaan IKN. Setelah itu, hasil studi awal dianalisis sehingga memperoleh simpulan yang harmonis dan bisa dijadikan dasar pengembangan teknologi *Smart-WM*.



Gambar 1.1 Alur Kegiatan

Secara paralel, kami juga mengumpulkan data terkait *success story* penerapan *Smart-WM* di Indonesia/negara lain. Melalui studi tersebut, dapat diidentifikasi tipikal peralatan penunjang *Smart-WM* yang diperlukan dan tersedia di pasaran. Selanjutnya, akan disusun beberapa alternatif konsep *Smart-WM* sebagai materi untuk *Focus Group Discussion* (FGD). Pada saat FGD, akan disepakati alternatif konsep yang paling sesuai.

Setelah itu, akan disusun rekomendasi rencana transformasi dari pengelolaan sampah yang *business as usual* menjadi *Smart-WM* yang merupakan kesatuan dari manajemen

IKN *Smart City*. Rencana transformasi terdiri dari Konsep Umum, rencana jangka pendek, rencana jangka menengah, dan rencana jangka panjang.

1. Tahap Persiapan  
Koordinasi internal, penyusunan program kerja, penyusunan metode pelaksanaan kerja, pengumpulan data awal dan survey awal
2. Tahap Pengumpulan Data  
Pengumpulan data sekunder yang berupa dokumen teknis dan perencanaan terkait pengelolaan sampah di IKN. Studi literatur *success story Smart-WM* di Indonesia/negara lain. Identifikasi spesifikasi dan katalog terkait sarana prasarana pendukung sistem *Smart-WM*
3. Tahap Penyusunan Pedoman, meliputi
  - a. Pedoman awal yang berisi;
    - Analisis dokumen teknis dan perencanaan eksisting. Harmonisasi dokumen dan penetapan baseline rencana induk pengelolaan sampah.
    - Analisis *success story Smart-WM* di Indonesia/negara lain dengan mengidentifikasi sistem dan jenis peralatan yang dibutuhkan
    - Identifikasi spesifikasi dan katalog peralatan penunjang terlaksananya *Smart-WM* di IKN
  - b. Pedoman rekomendasi sistem alternatif
  - c. Penyusunan strategi perencanaan untuk penerapan *Smart-WM*
4. Tahap Diskusi/Presentasi Pelaporan
  - a. Presentasi laporan pendahuluan
  - b. Presentasi laporan antara
  - c. Presentasi draft laporan akhir
  - d. Presentasi laporan akhir

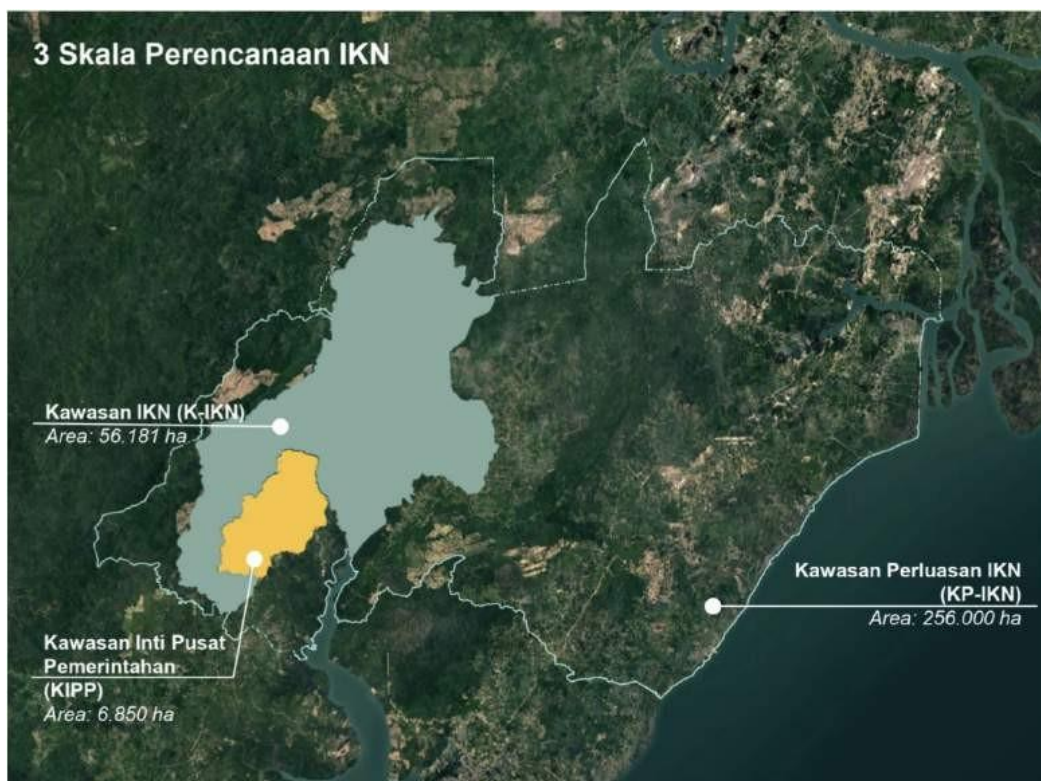
## 2

# GAMBARAN UMUM RENCANA PENGELOLAAN SAMPAH DI IBU KOTA NUSANTARA (IKN)

Pengembangan kawasan IKN terbagi menjadi tiga wilayah perencanaan berdasarkan fungsi dan peruntukannya, yaitu:

1. Kawasan Pengembangan IKN (KP-IKN) dengan luasan wilayah 256.142,72 Ha;
2. Kawasan IKN (K-IKN) dengan luasan wilayah 56.181 Ha;
3. Kawasan Inti Pusat Pemerintahan IKN (KIPP-IKN) dengan luasan wilayah 6.851 Ha.

Wilayah beserta luas pembagian tersebut dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Tiga Skala Wilayah Perencanaan IKN

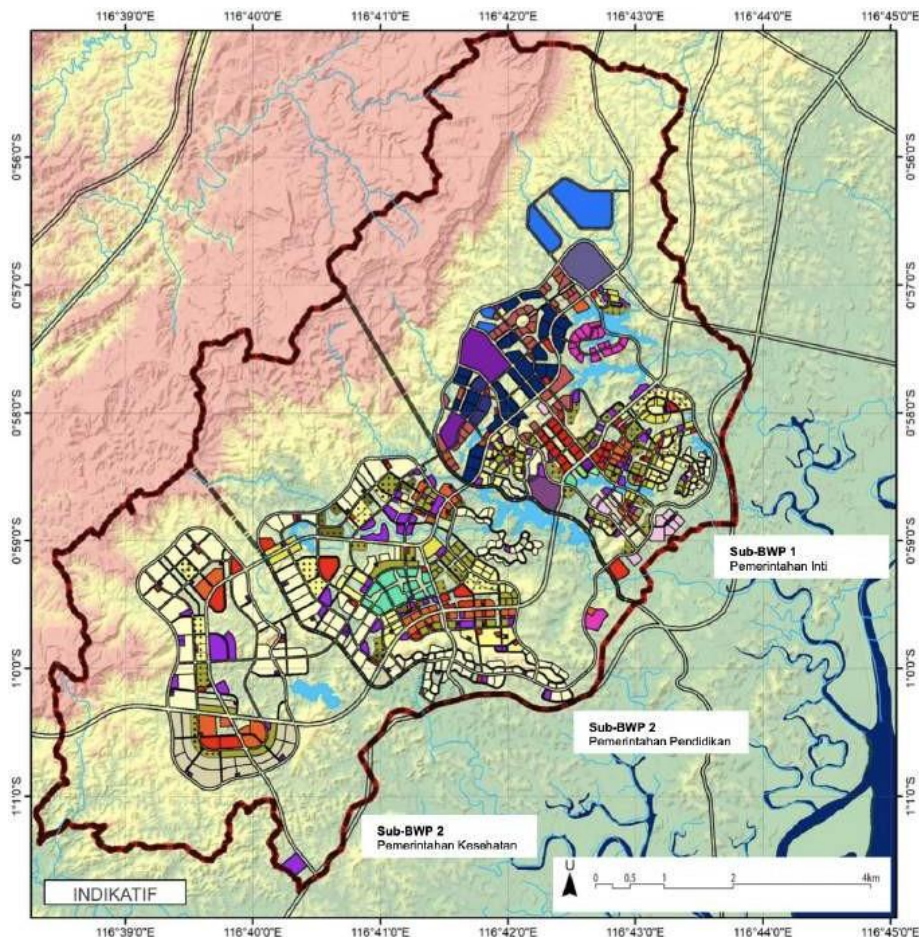
Sumber: (Kementerian PUPR 2021)

Rencana pengelolaan sampah pada pedoman ini dilaksanakan untuk Kawasan Inti Pusat Pemerintahan (KIPP-IKN).



## 2.1 Wilayah Administrasi KIPP-IKN

Kawasan Inti Pusat Pemerintahan IKN (KIPP-IKN) pada skala kota pusat pemerintahan dengan luas area perencanaan 6.851 ha terletak di Kecamatan Sepaku, Kabupaten Penajam Paser Utara, Provinsi Kalimantan Timur di mana wilayah tersebut merupakan sebelah sisi Selatan K-IKN. Peta kawasan KIPP-IKN dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2 Kawasan Inti Pusat Pemerintahan IKN (KIPP-IKN)

Sumber: (Kementerian PUPR 2021)

## 2.2 Pembagian Sub-BWP di KIPP-IKN

Kawasan Inti Pusat Pemerintahan (KIPP) IKN merupakan satu Bagian Wilayah Perencanaan (BWP) Pusat Pemerintahan dalam skala perencanaan Kawasan Ibu Kota Negara (KIKN). Sebagai sebuah BWP, perencanaan KIPP perlu mempertimbangan beberapa arahan dan tujuan diantaranya keseimbangan dan keserasian antar bagian pembentuknya sebagai bagian dari wilayah K-IKN, fungsi dan perannya dalam K-IKN,

potensi investasi, kondisi sosial dan lingkungan, peran dalam pembangunan, serta prinsip-prinsip perencanaan sebuah BWP yang menjadi penjabaran dari tujuan penataan BWP Pusat Pemerintahan.

Untuk mencapai arahan dan tujuan penataan BWP Pusat Pemerintahan, maka perencanaan KIPP dapat dirumuskan dalam perencanaan Sub-BWP. Sub-BWP ini dapat dijadikan acuan dalam arahan penyusunan pola ruang dan jaringan infrastruktur prasarana yang terdapat di dalamnya.

BWP Pusat pemerintahan yang direncanakan terbagi menjadi 3 Sub-BWP sesuai pembentukannya, yaitu:

a) Sub-BWP Pemerintahan Inti (Sub-BWP 1A)

Sub-BWP 1A memiliki luasan area sebesar 2.895 Ha. Merupakan sub-BWP sebagai pusat kegiatan dalam perencanaan IKN dengan fungsi utama Pusat Pemerintahan dan kegiatan skala nasional.

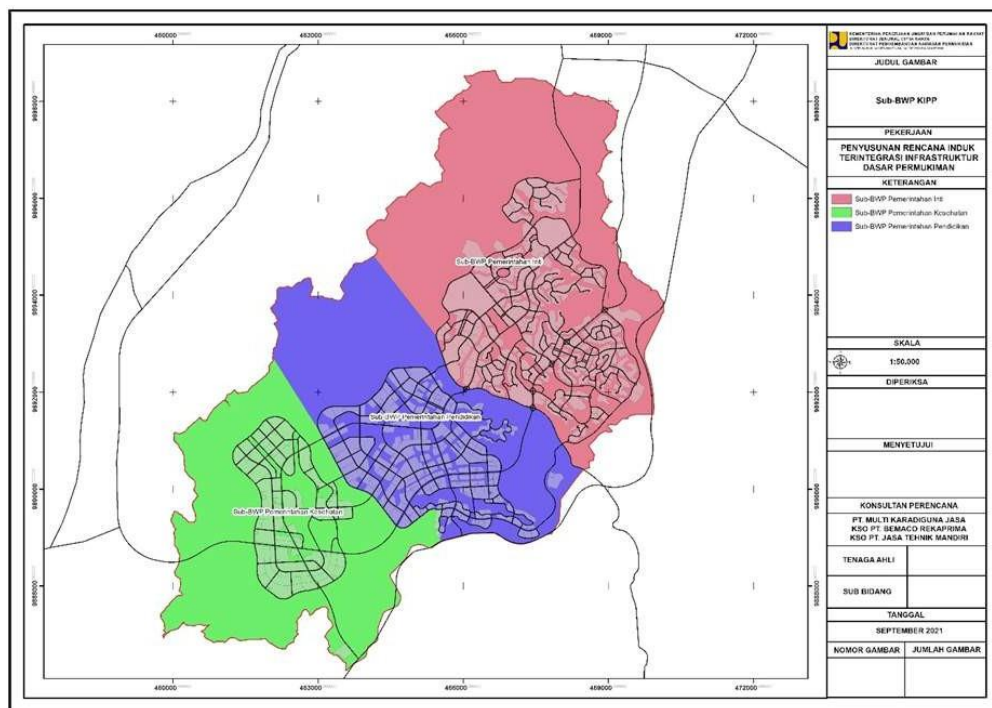
b) Sub-BWP Pemerintahan Pendidikan (Sub-BWP 1B)

Sub-BWP 1B memiliki luasan area sebesar 2.029 Ha Merupakan sub-BWP sebagai penunjang pusat kegiatan yang berfokus pada fungsi edukasi, pelatihan, dan pengembangan sumber daya.

c) Sub-BWP Pemerintahan Kesehatan (Sub-BWP 1C)

Sub-BWP 1C memiliki luasan area sebesar 1.926 Ha. Merupakan sub-BWP sebagai penunjang kegiatan pemerintahan yang berfokus pada fungsi kesehatan dan hunian.

Setiap Sub-BWP yang terdapat dalam KIPP dikembangkan secara detail dan lebih rinci dalam perencanaan *Precinct* dan Distrik yang pembentukannya memiliki fungsi khusus dan saling melengkapi dalam membentuk sistem kota yang dinamis dan berdaya dukung tinggi. Ilustrasi dari pembagian sub-BWP di KIPP ini seperti pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2.3 Pembagian Sub-BWP di KIPP

Sumber: (Kementerian PUPR 2021)

Area berwarna merah muda merupakan kawasan Sub-BWP 1A, Area berwarna biru merupakan kawasan Sub-BWP 1B, Area berwarna hijau merupakan kawasan Sub-BWP 1C

## 2.3 Rencana Pengembangan Kawasan dalam Sub-BWP KIPP

Dalam sub-BWP KIPP, terdapat 7 *precinct* yang memiliki karakter dan peran khusus masing-masing. Ilustrasi dari pembagian *precinct* di Sub-BWP 1A dapat dilihat pada **Gambar 2.4**. Dalam pembentukannya, pembagian *precinct* di Sub-BWP 1A adalah seperti pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Precinct di Sub-BWP 1A KIPP IKN

Nama Precinct	Total Distrik	Luas Area
<i>Government Precinct</i>	3 Distrik	454,2 Ha
<i>North Precinct</i>	3 Distrik	178,5 Ha
<i>Core Precinct</i>	3 Distrik	199,3 Ha
<i>South Precinct</i>	2 Distrik	130,6 Ha
<i>East Precinct</i>	5 Distrik	204,7 Ha
<i>West Precinct</i>	2 Distrik	90,4 Ha
<i>Hankam Precinct</i>	3 Distrik	252,9 Ha

Sumber: (Kementerian PUPR 2021)

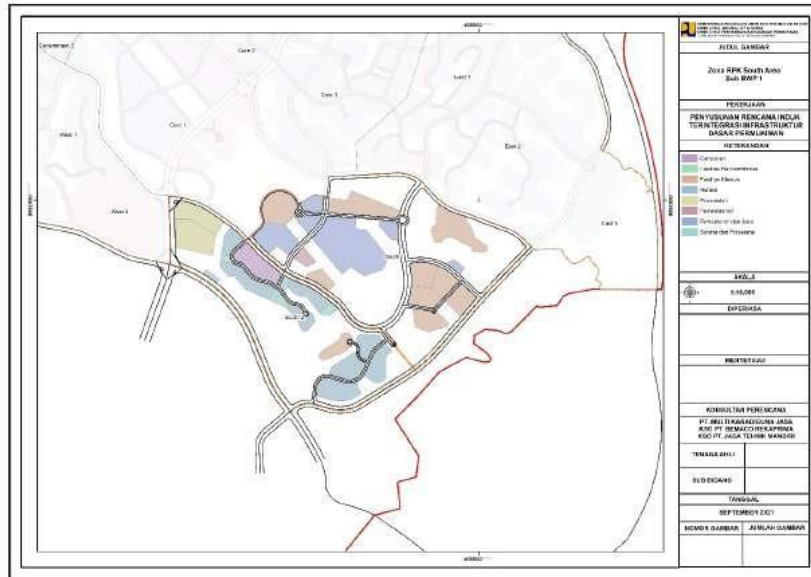






### 2.3.4 South Precinct

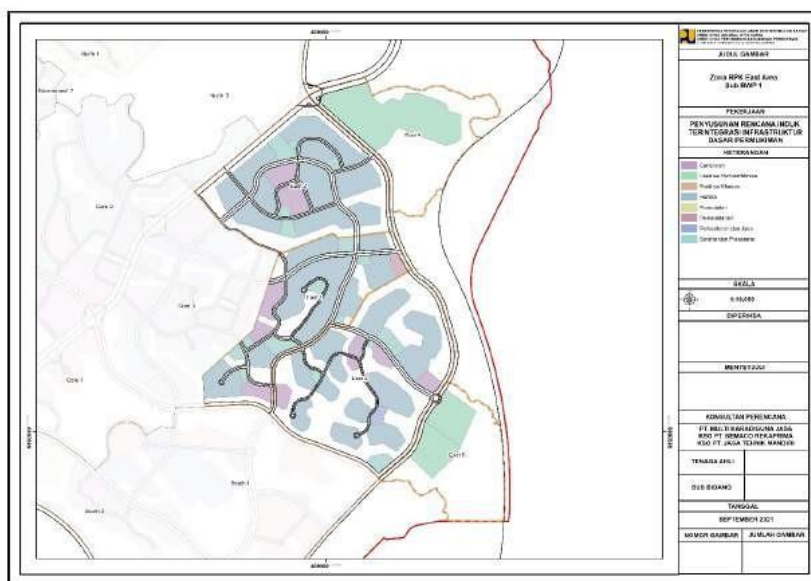
Pada *South Precinct*, perencanaan tata guna lahan cukup beragam dengan adanya aktivitas komersil, perkantoran, hunian, dan sarana prasarana umum skala perkotaan. Ilustrasi untuk *South Precinct* dapat dilihat pada **Gambar 2.8**.



Gambar 2.8 South Precinct  
Sumber: (Kementerian PUPR 2021)

### 2.3.5 East Precinct

Perencanaan tata guna lahan pada *East Precinct* didominasi oleh pusat aktivitas fungsi domestik berupa hunian rumah dan hunian vertikal. Gambaran untuk *East Precinct* dapat dilihat pada **Gambar 2.9**.



Gambar 2.9 East Precinct  
Sumber: (Kementerian PUPR 2021)





## 2.4 Proyeksi Penduduk

Berdasarkan data yang diperoleh dari Buku Panduan Implementasi IKN, proyeksi jumlah penduduk IKN dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Proyeksi Penduduk IKN pada Tahun 2025 - 2045

Tahun	Jumlah Penduduk	Pertumbuhan Penduduk	
		Jiwa	%
2025	154717	0	0
2026	155862	1145	0.735
2027	157016	1154	0.735
2028	158178	1162	0.735
2029	159349	1171	0.735
2030	160529	1180	0.735
2031	161445	916	0.567
2032	162366	921	0.567
2033	163292	926	0.567
2034	164223	931	0.567
2035	165160	937	0.567
2036	165854	694	0.418
2037	166551	697	0.419
2038	167251	700	0.419
2039	167954	703	0.419
2040	168660	706	0.419
2041	169133	473	0.28
2042	169607	474	0.279
2043	170082	475	0.279
2044	170559	477	0.28
2045	171037	478	0.279

Sumber: (Otorita Ibu Kota Nusantara 2022)

Selain proyeksi jumlah penduduk, pada **Tabel 2.2** juga terdapat hasil perhitungan pertumbuhan penduduk beserta dengan laju pertumbuhannya. Perhitungan tersebut digunakan dalam melakukan perhitungan proyeksi jumlah penduduk di tiga sub-BWP, yaitu sub-BWP 1A, 1B, dan 1C. Hasil perhitungan proyeksi jumlah penduduk pada tiga sub-BWP dapat dilihat seperti pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3 Proyeksi Jumlah Penduduk pada Sub-BWP 1A, 1B, dan 1C

Tahun	Proyeksi Jumlah Penduduk		
	BWP 1A	BWP 1B	BWP 1C
2025	59497	69432	25788
2026	59938	69946	25979
2027	60381	70463	26171
2028	60828	70985	26365
2029	61279	71510	26560
2030	61732	72040	26757
2031	62085	72451	26909
2032	62439	72864	27063
2033	62795	73280	27217
2034	63153	73698	27372
2035	63513	74118	27528
2036	63780	74430	27644
2037	64048	74742	27760
2038	64317	75057	27877
2039	64588	75372	27994
2040	64859	75689	28112
2041	65041	75901	28191
2042	65223	76114	28270
2043	65406	76327	28349
2044	65590	76541	28428
2045	65773	76756	28508

## 2.5 Timbulan Sampah

Data timbulan sampah per kapita digunakan sebagai perkiraan jumlah sampah yang akan dihasilkan. Data timbulan sampah terbagi menjadi tiga kategori, yaitu:

1. Permukiman Horizontal
2. Permukiman Vertikal
3. Jalan dan Taman Kota

Timbulan sampah diasumsikan sebesar 0,7 kg/orang/hari, sehingga perhitungan timbulan sampah pada tahun 2025 dari total penduduk yang diperoleh pada Error! Reference source not found. dapat dilihat seperti pada tabel **Tabel 2.4**.

Tabel 2.4 Timbulan Sampah Total Penduduk pada Tahun 2025

Sub	Jumlah Jiwa	Timbulan Sampah (ton/hari)	Timbulan Sampah Perkapita (kg/o/hari)
BWP 1A	59.497	41,648	1,4
BWP 1B	69.432	48,602	1,4
BWP 1C	25.788	18,051	1,4

Sumber: (Otorita Ibu Kota Nusantara 2022)

Menurut dokumen RIT, timbulan sampah dengan kategori jenis sampahnya yang dihasilkan pada kawasan KIPP-IKN dapat diketahui berdasarkan persentase komposisi sampah secara nasional. Sehingga timbulan sampah berdasarkan jenisnya yang terbagi menjadi tiga Sub-BWP dapat dilihat pada **Tabel 2.5**.

Tabel 2.5 Timbulan Sampah Berdasarkan Jenis Sampah (Sub-BWP 1A, 1B, dan 1C)

Jenis Sampah	Sub-BWP 1A		Sub-BWP 1B		Sub-BWP 1C	
	Timbulan Sampah (ton/hari)	Timbulan Sampah (m <sup>3</sup> /hari)	Timbulan Sampah (ton/hari)	Timbulan Sampah (m <sup>3</sup> /hari)	Timbulan Sampah (ton/hari)	Timbulan Sampah (m <sup>3</sup> /hari)
Sisa Makanan	30	148	35	173	13	64
Kayu/Ranting/Daun	10	51	12	60	4	22
Kertas/Karton	9	45	11	53	4	20
Platik	13	64	15	74	6	28
Lainnya	5	25	6	29	2	11
Logam	3	13	3	15	1	5
Kaca	2	9	2	10	1	4
Kain	2	10	2	12	1	4
Karet/Kulit	1	7	1	3	1	3

Sumber: (Kementerian PUPR 2021)



# 3

## ANALISIS DOKUMEN RENCANA EKSISTING PENGELOLAAN SAMPAH DI IBU KOTA NUSANTARA (IKN)

Hirarki pengelolaan persampahan yang modern dan menjadi tren di masa depan memprioritaskan pencegahan sampah untuk dibuang langsung ke tempat pembuangan akhir. Terdapat beberapa proses pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang ke tempat pembuangan akhir. Hirarki yang dimaksud dapat dilihat seperti pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 Hirarki Pengelolaan Persampahan

Sumber: (Bappenas 2022)

Empat tingkat pada hirarki merupakan langkah-langkah yang dimaksud sebagai upaya menghindari sampah langsung dibuang ke tempat pembuangan akhir. Selain itu, setiap tingkat pada hirarki tersebut menggambarkan pilihan pengelolaan persampahan yang dapat meminimasi biaya, dampak sosial, dan lingkungan. Secara singkat, hirarki pengelolaan persampahan dapat dijelaskan sebagai berikut.

a. Pencegahan (*Prevention*)

Mencegah timbulnya sampah di setiap aktivitas yang dilakukan. Upaya pencegahan ini dapat dilakukan dengan menghindari pemakaian barang-barang sekali pakai, membeli barang tanpa kemasan, atau membeli barang dengan kemasan yang paling minimal.

- b. Pengurangan (*Minimization*)  
Mengurangi timbulnya sampah di setiap aktivitas yang dilakukan. Upaya yang dapat dilakukan diantaranya mendesain ulang produk atau kemasan agar lebih ramah lingkungan, serta mengurangi penggunaan produk atau kemasan yang tidak perlu.
- c. Penggunaan (*Reuse*)  
Menggunakan kembali elemen dari sampah yang masih dapat digunakan. Upaya yang dapat dilakukan antara lain menggunakan kembali produk atau kemasan yang sudah ada, merekondisi *toner cartridge* pada mesin pencetak (printer), serta menggunakan kembali material kemasan.
- d. Daur Ulang (*Recycle*)  
Daur ulang adalah proses menjadikan sampah menjadi produk lain. Proses ini dibagi menjadi dua jenis, yaitu daur ulang naik dan daur ulang turun. Daur ulang naik (*upcycling*) mengubah sampah yang bernilai rendah menjadi produk yang bernilai tinggi, seperti membuat kerajinan tangan dari koran bekas. Sedangkan daur ulang turun (*downcycling*) mengubah sampah yang bernilai tinggi menjadi bahan baku yang bernilai rendah, seperti sampah elektronika dapat dijadikan bahan baku kabel.
- e. Pembuangan (*Disposal*)  
Sampah yang tidak dapat didaur ulang atau dikomposkan, dapat dibuang ke tempat yang ditentukan secara khusus. Tempat ini dapat berupa Tempat Pembuangan Akhir (TPA), *incinerator* (tungku pembakaran), gasifikasi, dan lain sebagainya.

### **3.1 Kriteria Perencanaan Pengelolaan Sampah (Dokumen Rencana Induk Terintegrasi)**

Secara umum, *Key Performance Indicator* (KPI) yang akan diterapkan di IKN terkait persampahan adalah tercapainya target daur ulang sebesar 60% pada 2045. Beberapa kriteria yang harus dipenuhi sebagai konsep pengelolaan persampahan di IKN adalah sebagai berikut:

1. Menjamin segala sumber sampah memperoleh pelayanan persampahan
2. Dirancang sehingga memiliki kemampuan untuk memunculkan budaya pengelolaan sampah yang baik
3. Mengusahakan pengurangan sampah dengan cara pembatasan timbulan dan mendorong penggunaan kembali untuk dampak sosial dan lingkungan yang baik
4. Penanganan sampah rumah tanggaterdiri dari pemilahan, pengumpulan, pengangkutan, pengolahan, dan pemrosesan akhir

5. Optimalisasi kegiatan 3R untuk mereduksi timbulan sampah
6. Konsep pemilahan sampah (**Tabel 3.1**)
7. Konsep pengumpulan sampah (**Tabel 3.2**)
8. Konsep pengangkutan sampah (**Tabel 3.3**)
9. Konsep pengolahan sampah (**Tabel 3.4**)
10. Konsep pemrosesan akhir sampah (**Tabel 3.5**)
11. Perhitungan timbulan sampah didasarkan pada asumsi produksi sampah 3 liter/orang/hari atau sama dengan 0,75 kg/orang/hari
12. Implementasi sistem pemantauan terpusat dengan IoT yang terkomputerisasi

Tabel 3.1 Konsep Pemilahan Sampah

Prinsip	Uraian Prinsip
Pemilahan sampah dari sumber	Sampah yang dipisahkan sejak dari sumbernya akan memudahkan proses pengumpulan dan pengolahan. Hal ini diharapkan dapat mengurangi jumlah sampah yang terkumpul di hilir hingga 12%. (Rogoff, 2014)
Pemilahan berbasis <i>Internet of Things</i> (IoT)	Sistem pemilahan dan pengumpulan sampah terhubung ke sistem komputerisasi yang dapat diakses oleh publik melalui <i>Internet of Things</i> (IoT). Hal ini memungkinkan masyarakat untuk memantau proses pemilahan sampah hingga TPST, sehingga residu yang dikirim ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) dapat diminimalkan.
Sarana fasilitas pemilahan	Sampah diharapkan dipilah sejak dari sumbernya. Hal ini dilakukan secara bertahap dengan target lima jenis sampah, yaitu sampah yang mudah terbakar, plastik, botol PET, logam, dan kertas. Sistem pemilahan ini akan terkoneksi dengan sistem pengangkutan dan pengolahan di Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST). Fasilitas pemilahan di kawasan akan mampu mengolah sampah yang telah dipilah. Produk pemilahan sampah di hilir atau TPST dapat diproses dan dimanfaatkan dengan baik. Fasilitas pemilahan sampah harus mengutamakan kemudahan, efisiensi, efektivitas, dan fleksibilitas.

Sumber: (Kementerian PUPR 2021)

Tabel 3.2 Konsep Pengumpulan Sampah

Prinsip	Uraian Prinsip
Sistem pemisahan	Pemisahan sampah dari sumbernya menjadi penting untuk mengoptimalkan aktivitas 3R ( <i>Reduce, Reuse, Recycle</i> ) dan efisiensi pengangkutan sampah. Sampah yang dipilah akan lebih mudah diolah dan dimanfaatkan kembali, sehingga dapat mengurangi jumlah sampah yang dibuang ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA).
<i>Smart Trash System</i> (STS)	<i>Smart Trash System</i> (STS) bertujuan untuk mencegah penumpukan sampah di TPST. STS diharapkan dapat membantu pengangkutan sampah secara lebih efisien. Sistem pemilahan dan pengumpulan sampah terhubung dengan sistem komputerisasi yang dapat diakses oleh publik melalui <i>Internet of Things</i> (IoT). Hal ini memungkinkan konsumen dan penyedia layanan untuk memantau kapasitas pengangkutan sampah secara <i>real time</i> .
Fasilitas pemilahan dengan sistem pencatatan <i>real time</i> dan pengangkutan dengan IoT	Sistem pemilahan dan pengumpulan sampah terhubung dengan sistem komputerisasi yang dapat diakses oleh publik melalui <i>Internet of Things</i> (IoT). Hal ini memungkinkan masyarakat untuk memantau kapasitas pengumpulan sampah komunal dan jadwal pengangkutan sampah secara <i>real time</i> . Dengan demikian, waktu tunggu sampah yang terlalu lama dapat dihindari.
Fasilitas pengumpulan	Struktur pengumpulan sampah yang dirancang untuk memberikan kenyamanan, efisiensi, efektivitas, fleksibilitas, dan modernitas

Sumber: (Kementerian PUPR 2021)

Tabel 3.3 Konsep Pengangkutan Sampah

Prinsip	Uraian Prinsip
Pengangkutan sampah terpilah	Pengangkutan sampah harus dilakukan berdasarkan sampah yang sudah dipilah, dan memastikan tidak ada sampah yang berserakan atau tidak terangkut
<i>Digital tracking</i>	Seluruh kendaraan angkut sampah akan dipasang alat pelacak digital yang terhubung dengan sistem pengelolaan sampah kota. Sistem tersebut juga terintegrasi dengan STS.
Sistem pengangkutan terhubung	Pengembangan sistem pengangkutan sampah yang menghubungkan sebaran kontainer sampah komunal dan pengangkutan truk menuju TPST
Konsep hijau	Pemilihan sarana pengangkutan yang sejalan dengan konsep kota hijau dan menggunakan bahan bakar yang ramah lingkungan, seperti listrik atau biofuel, didasarkan pada ketersediaan sumber daya energi

Sumber: (Kementerian PUPR 2021)



Tabel 3.4 Konsep Pengolahan Sampah

Prinsip	Uraian Prinsip
<i>Integrated sanitation</i> / Sanitasi terintegrasi	Pengolahan limbah dengan memanfaatkan teknologi sanitasi terintegrasi dapat menghasilkan energi, air baku, dan nutrisi untuk diolah kembali di setiap klaster pengolahan. Konsep ini dapat diimplementasikan dengan membangun infrastruktur IPALD dan TPST yang berkesinambungan dengan teknologi yang saling mendukung, sehingga dapat menghasilkan produk daur ulang.
Optimalisasi jarak	Pengolahan sampah yang dilakukan di dekat sumbernya dapat mendorong terciptanya ekonomi sirkular
Penerapan teknologi ramah lingkungan	Pengolahan sampah dengan teknologi yang ramah lingkungan dan rendah emisi karbon dapat bermanfaat bagi perekonomian sekitar. Unit proses yang digunakan dapat mengurangi emisi karbon dan gas buang. Unit proses yang otomatis dapat mengurangi tenaga manusia. Pengujian hasil dan limbah buangan dari pengolahan rutin dilakukan di laboratorium.
Sinergi dengan kota	Pengolahan sampah yang terintegrasi dengan pembangunan kota dapat dimanfaatkan untuk berbagai fasilitas kota
<i>Waste to Energy</i>	Pengolahan sampah dengan teknologi PLTSA/WtE dapat menghasilkan bahan bakar dan listrik yang dapat digunakan kembali untuk daur energi
Sinergi dengan industri	Pengolahan sampah disinergikan dengan industri pengguna produk daur ulang. Sampah diolah menjadi bahan baku sesuai jenisnya, kemudian dikirimkan ke industri yang sesuai untuk diproses lebih lanjut.

Sumber: (Kementerian PUPR 2021)

Tabel 3.5 Konsep Pemrosesan Sampah

Prinsip	Uraian Prinsip
TPST	Pengolahan sampah di TPST dengan sistem <i>Material Recovery Facility</i> (MRF) menghasilkan sisa residu yang sangat sedikit, sehingga sebagian besar sampah dapat diolah kembali menjadi bahan daur ulang, material biologis, dan energi.
Teknologi pengolahan	Penggunaan teknologi pengolahan sampah terpadu yang ramah lingkungan dan mengurangi emisi gas rumah kaca
<i>Smart Trash System</i> (STS)	Menghubungkan data sampah yang masuk ke TPST dengan sistem pengelolaan sampah perkotaan, termasuk sistem pencatatan yang dilakukan secara langsung.
Pemilihan lokasi TPST	Lokasi TPST harus dipilih sesuai dengan standar yang berlaku dan rencana tata ruang, baik rencana tata ruang daerah maupun rencana tata ruang IKN, serta kebijakan dari pihak terkait.

Sumber: (Kementerian PUPR 2021)

### 3.1.1 Kriteria Desain Pewadahan dan Pengumpulan (Dokumen *Basic Engineering Design*)

Wadah sampah merupakan tempat untuk menampung sampah sementara di sumbernya. Pewadahan sampah adalah proses menampung sampah sebelum sampah diangkut ke tempat pengolahan.

Pada kawasan KIPP IKN, pewadahan sampah individual akan digunakan di daerah pemukiman dengan kepadatan tinggi dan daerah komersial. Wadah sampah akan disediakan oleh pemerintah dan pertokoan, dan biaya pengelolaan sampah akan dibebankan kepada masyarakat. Wadah sampah yang diharapkan adalah wadah yang kedap air dan udara, mudah dibersihkan, terjangkau, ringan, dan estetik. Warna wadah sampah akan digunakan untuk menandai jenis sampah yang akan diangkut.

Damanhuri dan Padmi (2010) menyatakan bahwa sampah dikumpulkan dari sumbernya dan diangkut ke tempat penampungan sementara atau tempat pengolahan sampah. Pada kawasan IKN, sampah akan dikumpulkan dari berbagai sumber, termasuk bangunan horizontal, vertikal, dan fasilitas umum, dengan sistem terjadwal berdasarkan jenis sampahnya.

a. Bangunan Horizontal

Pada bangunan horizontal, sampah dikumpulkan dengan menempatkan kontainer berukuran 6 m<sup>2</sup>. Kontainer ini akan menampung sampah langsung dari sumbernya. Volume kontainer disesuaikan dengan jumlah sampah yang dihasilkan oleh penduduk di area tersebut.

b. Bangunan Vertikal

Pada bangunan vertikal, sampah dikumpulkan dengan menggunakan sistem *Pneumatic Waste Collection System* (PWCS). PWCS adalah sistem transfer sampah otomatis yang menggunakan jaringan pipa tertutup untuk memindahkan sampah dari titik-titik pengumpulan di dalam bangunan ke area pengumpulan sentral.

c. Jalan dan Taman Kota

Sampah dari jalan dan taman kota dikumpulkan dengan menggunakan sistem *Automated Waste Collection System* (AWCS). Sistem AWCS akan ditempatkan di taman kota dan beberapa titik jalan. Setiap kontainer AWCS membutuhkan ruang sekitar 330 cm di bawah permukaan tanah untuk ruang komponen pendukung kontainer AWCS. Unit ini dilengkapi dengan pendeteksi jenis sampah pada pintu akses pembuangan.

### 3.1.2 Kriteria Desain Pengangkutan (Dokumen *Basic Engineering Design*)

Pengangkutan sampah adalah kegiatan membawa sampah dari sumbernya atau dari tempat penampungan sementara menuju ke tempat pengolahan akhir. Pola pengangkutan sampah dapat dikelompokkan menjadi lima, yaitu:

- 1) Sampah dikumpulkan dengan sistem pengumpulan individual langsung (*door to door*).
  - a. Truk pengangkut sampah berangkat dari tempat penyimpanannya untuk mengambil sampah dari sumbernya.
  - b. Truk pengangkut sampah kemudian mengambil sampah dari sumber-sumber sampah berikutnya, hingga truk tersebut penuh sesuai dengan kapasitasnya.
  - c. Truk pengangkut sampah kemudian membawa sampah tersebut ke TPST.
  - d. Setelah sampah dikosongkan di TPST, truk pengangkut sampah kemudian menuju ke lokasi sumber sampah berikutnya hingga ritasi yang telah ditetapkan terpenuhi.
- 2) Pengumpulan sampah melalui sistem pemindahan di transfer depo.
  - a. Truk pengangkut sampah berangkat dari tempat penyimpanannya menuju ke transfer depo untuk mengangkut sampah ke tempat pembuangan akhir (TPA).
  - b. Setelah sampah dikosongkan di TPST, truk pengangkut sampah kembali ke transfer depo untuk mengambil sampah pada rit berikutnya.
- 3) Pola pengangkutan sampah dengan sistem pengosongan kontainer.
  - a. Truk pengangkut sampah berangkat dari tempat penyimpanannya dengan membawa kontainer kosong menuju ke lokasi kontainer sampah yang telah terisi, kemudian truk tersebut mengganti kontainer kosong dengan kontainer isi dan membawanya ke TPA.
  - b. Truk pengangkut sampah dengan membawa kontainer kosong dari TPST menuju ke kontainer isi di lokasi berikutnya.
  - c. Proses tersebut akan terus berulang hingga truk pengangkut sampah telah menyelesaikan jadwal pengangkutannya.
- 4) Sistem pengangkutan sampah dengan kontainer tetap biasanya digunakan untuk kontainer kecil dan truk pengangkut sampah berupa truk pemadat atau *dump truck*.
  - a. Truk pengangkut sampah berangkat dari tempat penyimpanannya menuju ke kontainer sampah pertama, sampah di dalam kontainer tersebut dituangkan ke dalam *compactor truck* dan meletakkan kembali kontainer yang kosong.

- b. Truk pengangkut sampah kemudian menuju ke kontainer berikutnya dan melanjutkan proses pengangkutan sampah hingga truk tersebut penuh, yang kemudian langsung dibawa menuju ke TPST.
  - c. Proses tersebut akan terus berulang sampai dengan rit terakhir.
- 5) Pengangkutan sampah hasil pemilahan. Sampah kering yang sudah dipilah dan bernilai ekonomi akan diangkut sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan.
- a. Persyaratan alat pengangkut:
    - Alat pengangkut sampah perlu dilengkapi dengan penutup sampah, minimal dengan jaring.
    - Tinggi bak maksimum 1,6 m.
    - Sebaiknya ada alat ungkit.
    - Kapasitas disesuaikan dengan kelas jalan yang akan dilalui
    - Bak truk atau dasar kontainer sebaiknya dilengkapi pengaman air sampah.
  - b. Jenis peralatan dapat berupa:
    - Truk (ukuran besar atau kecil).
    - *Dump truck*
    - *Armroll truck*
    - Truk pemadat
    - Truk dengan *crane*
    - Mobil penyapu jalan

### 3.1.3 Kriteria Desain TPST (Dokumen *Basic Engineering Design*)

Tempat Pengolahan Sampah Terpadu atau yang biasa disingkat TPST adalah tempat dilaksanakannya kegiatan pengumpulan, pemilahan, penggunaan ulang, daur ulang, pengolahan, dan pemrosesan akhir (Kementerian PUPR 2013). Tujuan adanya TPST ini adalah untuk mengurangi dampak lingkungan, memaksimalkan pemanfaatan sampah, dan mengelola limbah dengan efisien. TPST dapat menjadi tempat strategis untuk menerapkan prinsip 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*) dengan menyediakan fasilitas untuk memilah, mendaur ulang, dan mengelola limbah organik. TPST yang baik harus menerapkan strategi 3R untuk mengurangi volume sampah yang masuk ke tempat pembuangan akhir.

*Material Recovery Facility* (MRF) adalah fasilitas tempat sampah yang dikumpulkan dan diproses untuk dilakukan daur ulang. Di MRF, sampah dipilah dan bahan yang dapat didaur ulang dipisahkan untuk diolah lebih lanjut. MRF ini juga berkontribusi pada



pengurangan volume sampah yang masuk ke tempat pembuangan akhir dan mendukung ekonomi sirkular.

TPST yang mencakup MRF dapat berfungsi sebagai pusat pengolahan yang mendukung prinsip 3R. MRF yang terdapat di dalam TPST memiliki peranan penting dalam proses mendaur ulang dan membantu mencapai tujuan pengelolaan sampah yang berkelanjutan. Dengan mengintegrasikan TPST dan 3R MRF, dapat menciptakan suatu sistem pengelolaan sampah yang lebih efisien, berkelanjutan, dan ramah lingkungan. Hal itu dapat diimplementasikan dengan meminimalkan limbah yang dibuang ke tempat pembuangan akhir dan meningkatkan tingkat daur ulang material.

Untuk mencapai target perlindungan lingkungan yang ketat dan memenuhi kebutuhan pengembangan KIPP secara bertahap, sistem pengelolaan persampahan disusun dengan mempertimbangkan sinergi penyelenggaraan sanitasi.

Sistem pengelolaan sampah dan air limbah domestik dilaksanakan secara terintegrasi dengan konsep NEXUS. Konsep ini bertujuan untuk mengendalikan pencemaran dan mengoptimalkan kinerja sistem pengelolaan sanitasi. Keterpaduan ini dilakukan dengan mengolah dan memanfaatkan produk sampingan dari proses pengolahan.

Dalam mendesain TPST, perlu diperhatikan integrasinya dengan IPALD. Integrasi ini bertujuan agar TPST dapat menghasilkan energi yang dapat digunakan untuk pengoperasian IPALD. Target utama dari pengolahan sampah di IKN adalah sistem *Waste to Energy* (WtE) atau Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) dengan residu minimal dan hasil energi listrik maksimal. Lindi akan diolah di IPALD, sedangkan lumpur kering IPALD akan diproses di PLTSa.

Konsep yang digunakan pada pola pengelolaan sampah TPST adalah berbasis 3R:

a) *Reduce*

Upaya ini berfokus pada pengurangan pola hidup konsumtif dan penggunaan barang yang dapat digunakan berulang kali. Upaya ini juga bertujuan untuk mencegah timbulan sampah.

b) *Reuse*

Upaya ini memanfaatkan sampah yang masih dapat digunakan kembali untuk mencegah menjadi sampah. Sampah yang layak pakai dapat digunakan kembali untuk fungsi yang sama atau yang lain.

c) *Recycle*

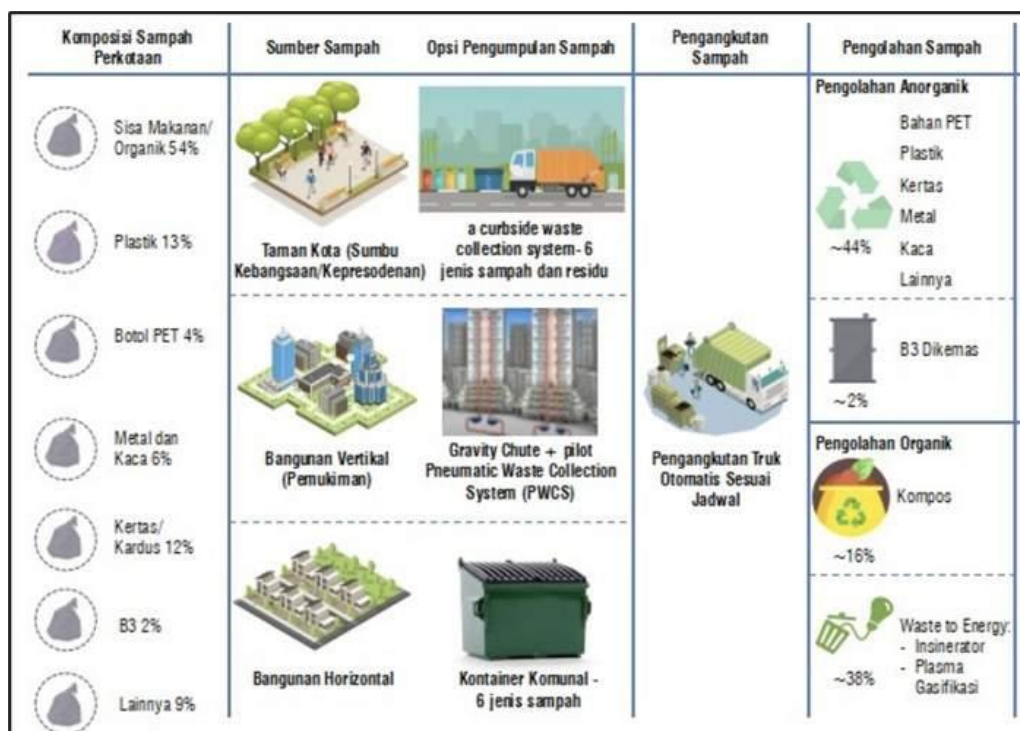
Sampah yang telah keluar dari rumah perlu dipilah dan diolah secara lokal untuk menjadi produk baru. Pengelolaan sampah dengan prinsip 3R bertujuan untuk mengurangi beban TPA.

Desain TPST harus mengacu pada standar dan acuan yang berlaku di Indonesia, yaitu Peraturan Menteri PUPR dan Standar Nasional Indonesia. Acuan yang tepat untuk perencanaan TPST adalah Permen PUPR Nomor 3 Tahun 2013 tentang Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga, serta SNI-SNI yang berlaku sesuai dengan kebutuhan desain.

### 3.2 Perencanaan Pengelolaan Sampah

#### 3.2.1 Perencanaan Sistem

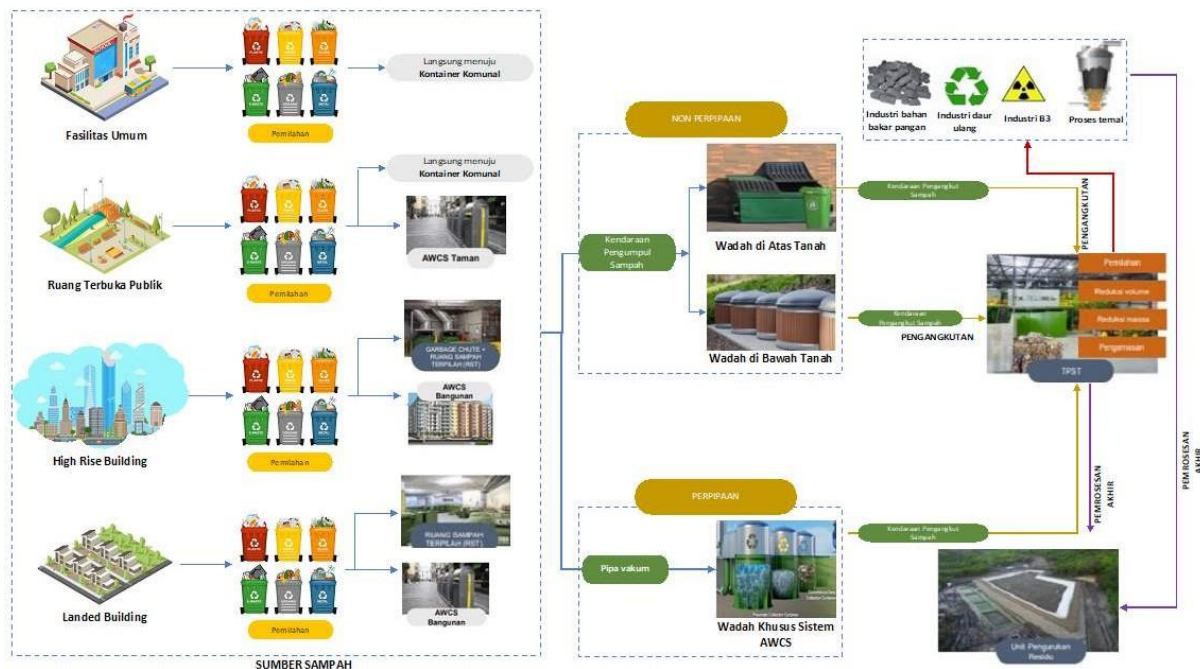
Berdasarkan UU No. 18 Tahun 2008, pengelolaan sampah berbasis 3R merupakan pengelolaan sampah secara menyeluruh yang dimulai dari sumbernya. 3R terdiri dari tiga kegiatan, yaitu mengurangi (*reduce*), menggunakan kembali (*reuse*), dan mendaur ulang sampah (*recycle*).



Gambar 3.2 Skema Sistem Pengelolaan Sampah

Sumber: (Kementerian PUPR 2021)

Skema sistem pengelolaan sampah berdasarkan Rencana Induk Terintegrasi (RIT) menjelaskan bagaimana alur pengelolaan sampah secara umum akan dijalankan. Proses tersebut dimulai dari pembagian komposisi sampah yang terbagi menjadi sampah sisa makanan/organik, plastik, botol PET, metal dan kaca, kertas/kardus, B3, dan lainnya. Setelah itu pembagian sampah tersebut dapat dikumpulkan berdasarkan sumber penghasil sampah yang ditempatkan pada jenis kontainer tertentu. Pengumpulan sampah kemudian dilanjutkan dengan pengangkutan sampah untuk dilakukan pengolahan sampah berdasarkan jenis sampahnya.



Gambar 3.3 Skema Umum Sistem Pengelolaan Persampahan  
Sumber: (Kementerian PUPR 2023)

Selain dokumen RIT, dokumen Buku 3 *Urban Design Development* (UDD) juga memiliki perencanaan pengelolaan sampah seperti pada **Gambar 3.3**. Sistem pengelolaan persampahan tersebut dapat diklasifikasikan dengan penjelasan seperti pada **Tabel 3.6**.

Tabel 3.6 Sistem Umum Pengelolaan Sampah, Buku 3 UDD

Pemilahan dan Pewadahan	Pengumpulan Sampah	Pengangkutan Sampah	Pengolahan Sampah	Pemrosesan Akhir
<ul style="list-style-type: none"> <li>Pemilahan sampah pada bangunan terdiri dari 6 jenis sampah, yaitu:               <ol style="list-style-type: none"> <li>Sampah Organik/Sisa Makanan / Hijau</li> <li>Sampah Daur Ulang / Kuning</li> <li>Sampah Bahan Berbahaya / Merah</li> <li>Sampah Lain-lain / Abu- abu</li> <li>Sampah Pepohonan / Putih</li> <li>Sampah Berukuran Besar</li> </ol> </li> <li>Sampah yang telah terpilah dimasukan ke dalam kantung plastik dengan warna yang berbeda.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sampah dari sumber akan dikumpulkan menuju ke titik pengumpulan komunal.</li> <li>Sistem pengumpulan sampah dapat dilakukan menggunakan jaringan perpipaan atau bukan jaringan perpipaan tergantung sumber sampah dan aksesibilitas jalan</li> <li>Wadah/ container komunal yang digunakan mengikuti sistem pengumpulan yang dipilih</li> <li>Pengumpulan dilakukan menggunakan pengumpulan terjadwal, di mana sampah dikumpulkan berdasarkan jenisnya dan waktu yang sudah dijadwalkan.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pengangkutan sampah dilakukan dengan sistem mekanis</li> <li>Truk pengangkut sampah disesuaikan dengan spesifikasi container.</li> <li>Truk dilengkapi dengan unit/ fasilitas pembersih jalan untuk membersihkan lingkungan disekitar tempat pengumpulan.</li> <li>Implementasi digital tracking terhadap seluruh kendaraan angkut sampah terhubung pada sistem sentral pengelolaan sampah kota yang terintegrasi dengan <i>Smart Trash System</i> (STS).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sampah yang masuk TPST merupakan sampah yang sudah terpilah menjadi 6 jenis sampah yaitu sampah organik, daur ulang, B3, lain-lain, pepohonan dan sampah berukuran besar.</li> <li>Implementasi pengolahan sampah berbasis PLTSa/<i>Waste to Energy</i> (WtE). Hasil pengolahan dapat menjadi sumber bahan bakar dan listrik untuk fasilitas kota.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hasil pengolahan sampah dari TPST merupakan residu yang tidak memiliki nilai jual dan energi.</li> <li>Residu ini dapat berupa abu hasil proses termal baik berupa <i>bottom</i> dan atau <i>fly ash</i></li> <li>Sistem <i>Material Recovery Facility</i> di TPST hanya menghasilkan sisa residu sesedikit mungkin menuju landfill.</li> <li>Residu yang diurug tidak mengandung bahan B3.</li> <li>Proses ini dikelola dalam lahan urug residu.</li> </ul>



Pemilahan dan Pewardahan	Pengumpulan Sampah	Pengangkutan Sampah	Pengolahan Sampah	Pemrosesan Akhir
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pembersihan dan pemeliharaan pada area kontainer komunal dilakukan secara rutin dan terjadwal</li> <li>• Kendaraan pengumpul sampah memiliki ukuran yang kecil sehingga memungkinkan pengumpulan sampah hingga masuk ke jalan-jalan persil yang selanjutnya di kumpulkan ke kontainer komunal terdekat.</li> <li>• Pemilihan sarana/alat pengangkutan sampah harus berjalan sinergis dengan konsep <i>green city</i> dan berbahan bakar ramah lingkungan seperti bertenaga listrik atau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pemilihan sarana/alat pengangkutan sampah harus berjalan sinergis dengan konsep <i>green city</i> dan berbahan bakar ramah lingkungan seperti bertenaga listrik atau biofuel didasarkan dengan ketersediaan sumber daya energi.</li> <li>• Jalur pengangkutan menggunakan rute pengangkutan yang sependek mungkin dan dengan hambatan yang sekecil mungkin.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Khusus untuk wilayah 1B dan 1C, sampah yang menjadi bahan untuk pengolahan dengan unit termal akan di olah di TPST di wilayah 1A. Dikarenakan proses <i>Waste to Energy</i> hanya akan ada pada TPST wilayah 1A. Sehingga pada TPST wilayah 1B dan 1C sampah yang diolah hanya merupakan sampah daur ulang, lainlain dan B3.</li> </ul>	

Pemilahan dan Pewardahan	Pengumpulan Sampah	Pengangkutan Sampah	Pengolahan Sampah	Pemrosesan Akhir
	<p>biofuel didasarkan dengan ketersediaan sumber daya energi.</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penerapan teknologi pengolahan sampah yang ramah lingkungan, rendah emisi karbon, dan hasil pengolahan dapat bermanfaat bagi peningkatan perekonomian sekitar.</li> <li>• Penerapan sistem otomatisasi pada unit pengolahan sehingga pekerjaan lebih efektif dan efisien.</li> </ul>	
	<p>Untuk sistem jaringan peripaan (Sistem AWCS)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jenis sampah B3, sampah medis, sampah mudah terbakar, sampah yang bersifat tajam, dan sampah berukuran besar, tidak boleh masuk ke jaringan perpipaan,</li> </ul>			

Pemilahan dan Pewardahan	Pengumpulan Sampah	Pengangkutan Sampah	Pengolahan Sampah	Pemrosesan Akhir
	<p>sehingga penerapan dari jaringan perpipaan selalu disertai dengan pengumpulan bukan jaringan perpipaan</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistem AWCS terdiri dari AWCS bangunan dan AWCS taman.</li> <li>• Pada wilayah 1B dan 1C, rekomendasi penerapan sistem AWCS bangunan dilakukan pada bangunan bertingkat untuk program hunian vertikal, campuran, kantor, komersial, dan fasilitas kesehatan. Bangunan tersebut memiliki lantai bangunan 8 hingga 14 lantai.</li> <li>• Penerapan <i>garbage chute</i> pada bangunan bertingkat</li> </ul>			

Pemilahan dan Pewadahan	Pengumpulan Sampah	Pengangkutan Sampah	Pengolahan Sampah	Pemrosesan Akhir
	diwajibkan apabila akan diterapkan sistem AWCS. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Penentuan lokasi titik inlet, diameter pipa, kekasaran pipa, elevasi pipa, lokasi titik outlet, dan kebutuhan energi harus tepat, karena akan mempengaruhi kinerja pengumpulan sampah</li> </ul>			

Sumber: (Kementerian PUPR 2023)

Pada perancangan KIPP, pengelolaan sampah dilakukan secara komunal yang mempertimbangkan jenis penggunaan lahan seperti bangunan horizontal, bangunan vertikal, serta jalanan dan taman kota. Sumber sampah dari bangunan horizontal mencakup pemukiman, industri, toko, dan lainnya, masing-masing berperan sebagai konsumen, distributor, dan produsen. Sampah dikumpulkan dengan menyediakan kontainer di antara bangunan untuk memudahkan proses pengumpulan. Sementara sampah dari bangunan vertikal, seperti apartemen atau rumah susun, menggunakan *Pneumatic Waste Collection System* (PWCS) yang secara otomatis mengalirkan sampah ke kontainer komunal melalui sistem vakum. Sampah dari jalanan dan taman kota dikumpulkan melalui *Automated Waste Collection System* (AWCS). Pemilihan sistem PWCS dan AWCS untuk bangunan vertikal dan taman kota disesuaikan dengan perencanaan kawasan, bisa juga menjadi contoh bagi lokasi lain. Pengangkutan sampah di kawasan KIPP IKN ini dilakukan berdasarkan zona pelayanan. Skema pengumpulan dan pengangkutan sampah dapat dilihat pada **Gambar 3.4**.

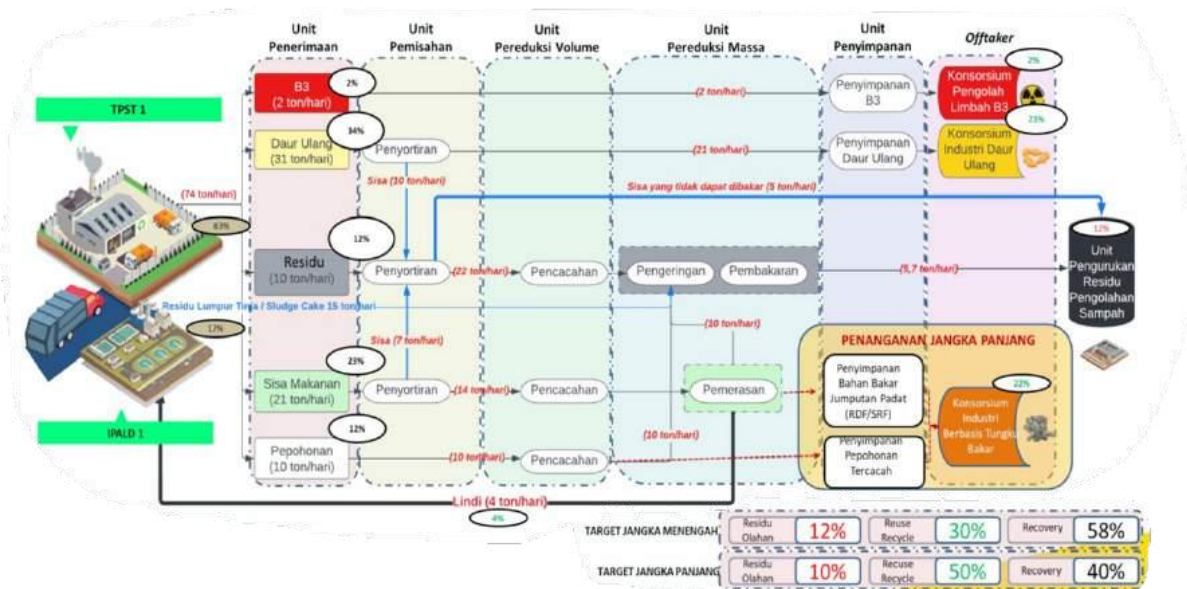




Gambar 3.4 Perencanaan Pengelolaan Sampah

Sumber: (Kementerian PUPR 2021)

Sampah yang diterima di fasilitas pengolahan fisika terbagi ke dalam lima jenis, yaitu sampah B3 (Bahan Berbahaya Beracun), material daur ulang, sampah lainnya, limbah dari pepohonan, serta sisa-sisa makanan seperti pada **Gambar 3.5**.



Gambar 3.5 Diagram Alur Proses Pengolahan TPST 1 KIPP-IKN

Sumber: (Sistem Pengelolaan Sampah KIPP-IKN PUPR, 2023)

Sampah B3 akan dipindahkan dan disimpan di Area Penyimpanan B3 untuk nantinya diangkut oleh pihak ketiga. Sampah yang bisa didaur ulang atau bahan anorganik yang tidak mudah membusuk, seperti plastik pembungkus makanan, mainan plastik, gelas minuman, dan sejenisnya, akan dipisahkan di atas *belt* konveyor. Sampah yang terpisah atau layak untuk didaur ulang akan dimasukkan ke dalam wadah sampah yang akan dipadatkan dengan mesin tekanan. Sementara itu, sampah yang tidak terpisah akan menuju incinerator melalui konveyor pengumpul. Sampah lainnya, seperti karet, kulit, dan campuran material organik dan anorganik, akan melewati *belt* konveyor untuk dipisahkan. Yang terpisah akan dibawa ke Area Penyimpanan dalam wadah sampah, sedangkan yang tidak akan dihancurkan terlebih dahulu menggunakan *shredder* untuk mengurangi volumenya sebelum masuk ke incinerator melalui konveyor pengumpul. Jenis sampah “*bulky waste*” atau sampah berukuran besar akan melewati area khusus, dimulai dari *shredder* dan masuk ke area pengolahan, kemudian dipilah dengan *belt* konveyor. Yang terpisah akan dibawa ke Area Penyimpanan dalam wadah sampah, sedangkan yang tidak akan dihancurkan terlebih dahulu menggunakan *shredder* untuk mengurangi volumenya sebelum masuk ke incinerator melalui konveyor pengumpul. Sampah yang tidak terpisah dari sampah daur ulang dan sampah lainnya akan melewati separator magnetik untuk memisahkan logam *non-ferrous*. Sampah dari pepohonan, termasuk kayu dan daun, akan dipilah melalui *belt* konveyor. Yang terpisah akan dibawa ke Area Penyimpanan dalam wadah sampah, sedangkan yang tidak akan dihancurkan terlebih dahulu menggunakan *shredder* untuk mengurangi volumenya sebelum masuk ke *incinerator* melalui konveyor pengumpul. Sampah sisa makanan, seperti sisa makanan, sayuran, daun kering, dan sejenisnya, akan dipilah melalui *belt* konveyor. Yang terpisah akan dibawa ke Area Penyimpanan dalam wadah sampah, sedangkan yang tidak akan dihancurkan terlebih dahulu menggunakan *rotary dryer* sebelum masuk ke *incinerator* melalui konveyor pengumpul. Sampah yang bisa didaur ulang akan diangkut oleh pihak lain. Selain kelima jenis sampah ini, Tempat Pemrosesan Sampah Terpadu (TPST) juga akan menerima lumpur dari Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) untuk dimasukkan ke dalam *incinerator*.

### 3.3 Perbandingan Sistem Pengelolaan Sampah (RIT, RPK, dan UDD)

Alur pengelolaan sampah secara umum yang dimulai dari pewadahan, pengumpulan, pengangkutan, dan pengolahan akan dibandingkan dari dokumen-dokumen yang berbeda yang terbagi berdasarkan cakupan area pelayanannya. Dokumen Rencana Pengembangan Kawasan (RPK) membahas area pelayanan Sub-BWP 1A dan Buku 3 *Urban Design Development* (UDD) KIPP-IKN mencakup area pelayanan Sub-BWP 1B dan 1C. Dengan

ini diharapkan dapat memberikan gambaran hubungan dari setiap perencanaan di setiap area pelayanan dan menghasilkan satu sinkronisasi sistem pengelolaan persampahan.

### 3.3.1 Pewadahan

Dokumen RIT	Sub-BWP 1A (Dokumen RPK)	Sub-BWP 1B dan 1C (Dokumen UDD)
<p>Kriteria wadah:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kedap air dan udara</li> <li>2. Mudah dibersihkan</li> <li>3. Harga terjangkau</li> <li>4. Ringan dan mudah diangkat</li> <li>5. Bentuk dan warna estetis</li> </ol> <p>Pemilihan warna wadah:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Merah: B3</li> <li>• Hitam: Residu</li> <li>• Biru: Kertas / kardus</li> <li>• Coklat: Metal dan kaca</li> <li>• Putih: Botol PET</li> <li>• Kuning: Plastik dan daur ulang</li> <li>• Hijau: Organik</li> </ul>	<p>Pembagian jenis wadah:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Taman: Troli sampah</li> <li>• Bangunan vertikal: Bin sampah <i>indoor</i> dan <i>outdoor</i></li> <li>• Baangunan horizontal: Wadah komunal</li> </ul> <p>Pemilihan warna wadah:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hijau: Organik</li> <li>• Kuning: Plastik</li> <li>• Merah: B3</li> <li>• Hitam: Lain-lain</li> </ul>	<p>Kriteria wadah:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kedap air dan udara</li> <li>2. Mudah dibersihkan</li> <li>3. Ringan dan mudah diangkat</li> <li>4. Bentuk dan warna estetis</li> <li>5. Tidak mudah berkarat</li> <li>6. Memiliki penutup agar higienis</li> <li>7. Mudah diperoleh</li> <li>8. Volume wadah sesuai dengan timbulan yang dihasilkan</li> </ol> <p>Pemilihan warna wadah:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Merah: B3</li> <li>• Abu-abu: Lain-lain</li> <li>• Putih: Pepohonan</li> <li>• Hijau: Organik</li> <li>• Kuning: Daur ulang</li> </ul>

### 3.3.2 Pengumpulan

Dokumen RIT	Sub-BWP 1A (Dokumen RPK)	Sub-BWP 1B dan 1C (Dokumen UDD)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bangunan horizontal: Kontainer komunal kapasitas 6m<sup>3</sup></li> <li>• Bangunan vertikal: <i>Gravity chute</i> dan PWCS</li> <li>• Jalan dan taman kota: Kontainer taman 200L dan AWCS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bangunan horizontal: Kontainer komunal kapasitas 6m<sup>3</sup></li> <li>• Bangunan vertikal: <i>Garbage chute</i> dan PWCS</li> <li>• Jalan dan taman kota: Troli sampah 1100L dan AWCS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pola pengumpulan: Sistem komunal tidak langsung</li> <li>• Kendaraan pengumpulan sampah: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Mini Dump Truck</i></li> <li>2. <i>Mini Tipper Truck</i></li> </ol> </li> <li>• Pengumpulan dengan AWCS</li> </ul>

### 3.3.3 Pengangkutan

Dokumen RIT	Sub-BWP 1A (Dokumen RPK)	Sub-BWP 1B dan 1C (Dokumen UDD)
<p>Kendaraan pengangkutan ke TPST: <i>Front Load Truck</i> dengan <i>Sidearm</i></p> <p>Penjadwalan pengangkutan:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Organik: Setiap hari</li> <li>• Kertas: 1 kali / minggu</li> <li>• Metal: 1 kali / minggu</li> <li>• Plastik: 1 kali / minggu</li> <li>• Residu: 1 kali / 2 minggu</li> <li>• PET: 1 kali / 2 minggu</li> <li>• B3: 1 kali / 2 minggu</li> </ul>	<p>Kendaraan pengangkutan ke TPST:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Front-load Automated Truck</i> (Kontainer komunal)</li> <li>2. <i>Sidearm Load Truck</i> (<i>Curbside collection</i>)</li> </ol> <p>Penjadwalan pengangkutan:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Organik: 3 kali / minggu</li> <li>• Daur ulang: 3 kali / minggu</li> <li>• Residu: 3 kali / minggu</li> <li>• Pepohonan: Setiap hari</li> <li>• B3: 1 kali / minggu</li> </ul>	<p>Pola pengangkutan: <i>Stationary Container System (SCS)</i></p> <p>Kendaraan pengangkutan:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Lengan depan</li> <li>2. Lengan samping</li> <li>3. Truk tertutup B3 non domestik</li> <li>4. Lengan kait</li> </ol> <p>Penjadwalan pengangkutan:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hari Minggu: Libur</li> <li>• Organik: Setiap hari</li> <li>• Daur ulang: 2 kali / minggu</li> <li>• B3: 1 kali / minggu</li> <li>• Lainnya: 1 kali / minggu</li> <li>• Pepohonan: 1 kali / minggu</li> </ul>

### 3.3.4 Pengolahan

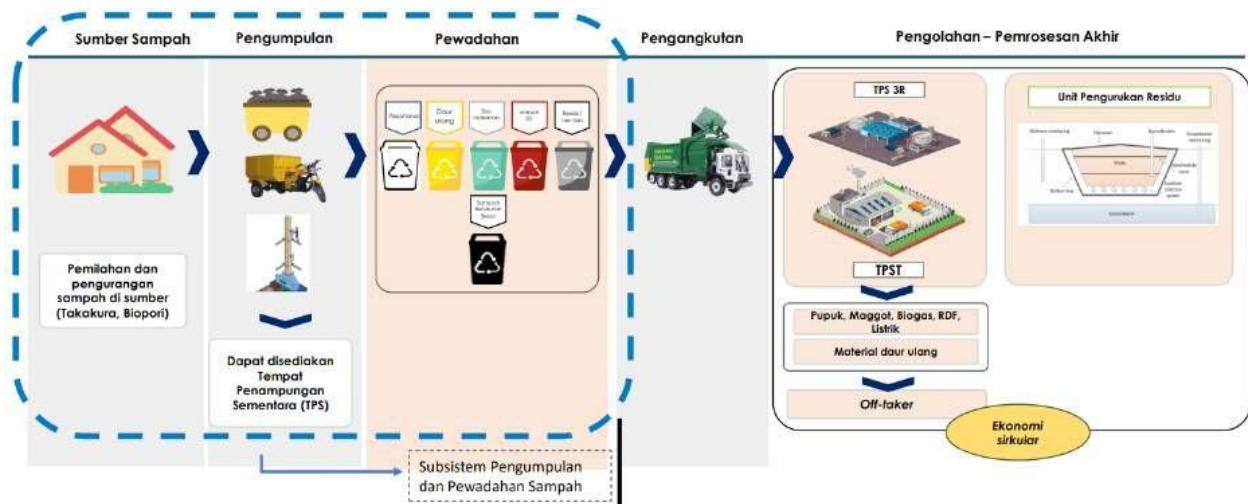
Dokumen RIT	Sub-BWP 1A (Dokumen RPK)	Sub-BWP 1B dan 1C (Dokumen UDD)
<p>Pengolahan di TPST:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pre-processing → Identifikasi jumlah sampah masuk dan penyimpanan</li> <li>2. Pemilahan → Secara manual dan mekanis</li> <li>3. Pengolahan fisik → Pemrosesan sampah berdasarkan hasil pilahan dan jenis</li> <li>4. Pengolahan mekanik biologis → Menghasilkan pupuk (komposting) dan energi (WtE)</li> </ol>	<p>Pengolahan di TPST:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pengomposan → Sampah organik</li> <li>2. Daur ulang → Sampah plastik, kertas, metal, kaca, dan lainnya</li> <li>3. Pengemasan B3 → Limbah jenis B3</li> <li>4. <i>Waste to Energy (WtE)</i> → Melalui proses gasifikasi dan <i>incenerator</i>.</li> </ol>	<p>Pengolahan di TPST:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pengangkutan menuju TPST</li> <li>2. Penyortiran sampah</li> <li>3. Pencacahan sampah</li> <li>4. Pengurangan kadar air dengan pemerasan</li> <li>5. Pengurangan kadar air dengan pengeringan</li> <li>6. Pemrosesan akhir jenis residu dengan <i>incenerator</i></li> <li>7. Sampah hasil olahan diambil oleh <i>off-taker</i></li> <li>8. Residu menuju lahan urug residu</li> </ol>



### 3.4 Sinkronisasi Sistem Pengelolaan Sampah

Penyelenggaraan sarana dan prasarana sistem pengelolaan sampah dijelaskan pada Peraturan Menteri PUPR No.3 Tahun 2013. Di dalam peraturan tersebut menjelaskan proses pengelolaan sampah dari pemilahan hingga pemrosesan akhir.

- Bagian pertama, yaitu pemilahan, menjelaskan pengelompokan sampah menjadi minimal lima jenis utama, yaitu: limbah berbahaya dan beracun, mudah terurai, dapat digunakan kembali, dapat didaur ulang, dan sampah lainnya. Selain itu, pada bagian pertama menjelaskan pemangku kepentingan untuk melakukan pemilahan, menyediakan fasilitas pemilahan, dan persyaratan teknis untuk sarana pemilahan dan pewadahan.
- Bagian kedua, yaitu pengumpulan sampah, memperinci cara pengumpulan sampah yang telah dipilah dari sumbernya menggunakan berbagai pola pengumpulan seperti langsung, tidak langsung, komunal, dan penyapuan jalan. Persyaratan dan sarana pengumpulan, seperti penggunaan alat pengumpul sampah terpilah, dijelaskan pula dalam bagian ini.
- Bagian ketiga menguraikan proses pengangkutan sampah dari tempat pemilahan ke tempat pemrosesan sampah. Bagian ini membahas pola, sarana pengangkutan, dan rute pengangkutan yang harus memperhatikan aspek keselamatan, teknis kendaraan angkut yang digunakan, dan kondisi lalu lintas.
- Bagian keempat, yaitu pengolahan sampah, merinci jenis-jenis pengolahan sampah seperti pemadatan, pengomposan, daur ulang materi, dan pengolahan menjadi sumber energi. Persyaratan teknis untuk fasilitas pengolahan sampah diberikan, termasuk kewajiban bagi pengelola kawasan untuk menyediakan fasilitas pengolahan sampah.
- Bagian kelima menjelaskan tentang pemrosesan akhir sampah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Ini mencakup persyaratan teknis untuk lokasi TPA, larangan jenis sampah tertentu di TPA, serta kriteria teknis untuk TPA seperti luas lahan, persyaratan hidrogeologi, dan lokasi yang aman dari permukiman. Pasal-pasal ini juga merinci prasarana dan sarana yang harus ada di TPA seperti fasilitas dasar, perlindungan lingkungan, fasilitas operasional, dan penunjang.



Gambar 3.6 Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Sampah  
 Sumber: (Kementerian PUPR 2023)

Potensi sumber sampah di KIPP IKN bisa dikelompokkan menjadi empat kategori utama. Pertama, ada sumber sampah dari Ruang Terbuka Publik (RTP), termasuk taman dan jalan. Kedua, terdapat fasilitas umum seperti pasar dan tempat wisata, yang dapat menjadi sumber sampah yang signifikan. Ketiga, terdapat Bangunan Tapak yang mencakup kompleks perumahan yang juga turut berkontribusi pada timbulan sampah. Keempat, terdapat Bangunan Vertikal yang terdiri dari gedung perkantoran, rumah susun, dan lainnya yang menjadi penyumbang sampah. Dalam konteks ini, penting untuk mempertimbangkan dan mengelola sumber sampah dari berbagai jenis sumber ini untuk menciptakan alur pengelolaan sampah yang baik di KIPP IKN.

Berdasarkan hasil analisis dokumen rencana eksisting pengelolaan sampah, maka klasifikasi pemilihan teknologi pewadahan-pengumpulan sampah dapat dilihat seperti pada tabel.

Tabel 3.7 Jenis Teknologi Pewadahan – Pengumpulan Sampah Berdasarkan Sumber Sampah

Sumber Sampah	Pilihan Teknologi	Spesifikasi Teknis	Metode Pengumpulan ke Wadah Komunal
Ruang Terbuka Publik (RTP)	Bukan Jaringan Perpipaan, Wadah di Atas Tanah	1) 1 set wadah sampah semi permanen dengan 4 jenis wadah sampah (sampah daur ulang/warna kuning, sisa makanan/warna hijau, lain-lain/warna abu-abu, dan pepohonan/warna putih), dengan volume tiap wadah sampah 100 - 660 liter	Menggunakan gerobak/motor roda tiga/pick up/truk

Sumber Sampah	Pilihan Teknologi	Spesifikasi Teknis	Metode Pengumpulan ke Wadah Komunal
		<p>2) Wadah sampah terbuat dari material yang kedap air dantidak mudah berkarat, mudah dibersihkan, mudah diangkut, tidak terikat/tertanam di tanah, memiliki penutup dan dilengkapi dengan atap/kanopi untuk mencegah terkena air hujan.</p> <p>3) Luas area yang dilayani oleh tiap set wadah sampah adalah 1.250 - 8.000 m<sup>2</sup></p>	
<p>Ruang Terbuka Publik (RTP)</p>	<p>Bukan Jaringan Perpipaan, Wadah di Bawah Tanah</p>	<p>1) 1 set wadah sampah permanen dengan 4 jenis wadah sampah (sampah daur ulang/warna kuning, sisa makanan/warna hijau, lainlain/warna abu-abu, dan pepohonan/warna putih), dengan volume tiap wadah sampah 800-3000 liter, sesuai ketersediaan penyedia</p> <p>2) Wadah sampah terdiri atas 2 lapisan, dengan lapisan dalam berupa lifting bag di bagian dalam dan lapisan pelindung di bagian luar. Lifting bag terbuat dari material plastik atau besi ringan dan lapisan pelindung terbuat dari material HDPE, besi atau baja sesuai spesifikasi dari penyedia</p> <p>3) Wadah sampah dilengkapi dengan penopang struktur wadah yang terbuat dari pasangan bata ataupun beton sesuai ketersediaan penyedia</p> <p>4) Wadah sampah terbuat dari material yang kedap air dantidak mudah berkarat, mudah dibersihkan, mudah diangkut, dan berpenutup</p>	<p>Menggunakan gerobak/motor roda tiga/pick up/truk</p>

Sumber Sampah	Pilihan Teknologi	Spesifikasi Teknis	Metode Pengumpulan ke Wadah Komunal
		<p>5) Bagian tutup/depan wadah sampah dilengkapi dengan warna dan simbol sesuai jenis sampah</p> <p>6) Tinggi keseluruhan wadah berkisar antara 1,1 - 3 m, dengan kondisi sebagian besar wadah sampah tertimbun di dalam tanah, dan ketinggian wadah di permukaan tanah berkisar 1,1 - 1,2 meter dari muka tanah.</p> <p>7) Bentuk dasar wadah sampah bisa berupa persegi atau lingkaran (sesuai ketersediaan dari penyedia) dengan ukuran panjang atau lebar sekitar 1,2 – 2 meter (untuk bentuk persegi) atau diameter antara 0,5 - 2 m (untuk bentuk lingkaran)</p> <p>8) Terdapat sensor yang dilengkapi dengan smart access untuk membuka wadah sampah</p> <p>9) Tingkat keterisian wadah sampah dapat dipantau/dikontrol dengan sistem automasi</p> <p>10) Luas area yang dilayani oleh tiap set wadah sampah adalah 1.250 - 8.000 m<sup>2</sup></p>	
<p>Ruang Terbuka Publik (RTP)</p>	<p>Jaringan Perpipaan, Di atas Tanah</p>	<p><b>Jaringan perpipaan:</b></p> <p>1) Jaringan perpipaan berpenyedot (sistem vakum) terdiri dari jaringan perpipaan sampah yang dilengkapi dengan outdoor disposal inlet sebagai tempat untuk memasukkan sampah sesuai dengan jenisnya dan pompa blower/vakum untuk menyedot sampah di dalam jaringan perpipaan.</p>	<p>Jaringan perpipaan menggunakan pipa penyalur dengan pompa vakum dan wadah di atas tanah menggunakan gerobak/ motor roda tiga/ pick up/ truk</p>



Sumber Sampah	Pilihan Teknologi	Spesifikasi Teknis	Metode Pengumpulan ke Wadah Komunal
		<p>2) 1 set jaringan perpipaan sampah permanen untuk 3 jenis sampah (sampah daur ulang/warna kuning, sisa makanan/warna hijau, dan lainlain/warna abu-abu), dengan penyedotan vakum secara terjadwal menuju transfer site atau tempat penampungan sampah sementara (TPS) berupa kontainer baja/wadah sampah komunal dengan volume bervariasi antara 4 - 6m<sup>3</sup>. Dimensi ukuran kontainer disesuaikan dengan dimensi truk pengangkut sampah yang akan digunakan.</p> <p>3) Jaringan perpipaan harus kedap air, kedap udara, mudah dibersihkan, berada di dalam tanah, dan terbuat dari material carbon steel dengan diameter pipa berkisar antara 400-500 mm.</p> <p>4) Ukuran maksimal sampah 50cm, disesuaikan dengan jenis/ lebar bukaan pada outdoor disposal outlet. Tidak disarankan untuk menerima sampah yang berasal dari bahan metal, kaca/ gelas maupun sampahlain yang dilarang</p> <p>5) Terdapat sensor yang dilengkapi dengan smart access untuk membuka outdoor disposal inlet</p> <p>6) Tingkat keterisian wadah sampah dapat dipantau/dikontrol dengan sistem automasi</p>	

Sumber Sampah	Pilihan Teknologi	Spesifikasi Teknis	Metode Pengumpulan ke Wadah Komunal
		<p>7) Luas area yang dilayani oleh tiap set wadah sampah adalah 1.250 - 8.000 m<sup>2</sup></p> <p><b>Wadah di atas tanah:</b></p> <p>1) 1 buah wadah sampah permanen dengan 1 jenis wadah sampah pepohonan/warna putih dengan volume wadah sampah 100 - 150 liter</p> <p>2) Terbuat dari bahan yang kedap air, mudah dibersihkan, mudah diangkat/tidak terikat ke tanah, berpenutup, dan dilengkapi dengan atap/kanopi untuk mencegah terkena air hujan</p>	
Pasar dan Tempat Wisata	Bukan Jaringan Perpipaan, Wadah Di Atas Tanah	<p>1) Kondisi 1 (Tersedia jalan akses yang dapat dilalui oleh kendaraan pengumpul sampah, dengan Jarak sumber sampah ke wadah komunal &lt;2,5 km dan ≥2,5 km): 1 set wadah sampah semi permanen dengan 6 jenis wadah sampah (sampah daur ulang/warna kuning, sisa makanan/warna hijau, lain-lain/warna abu-abu, pepohonan/warna putih, B3/warna merah dan sampah berukuran besar/warna hitam), dengan volume tiap wadah sampah 1-6 m<sup>3</sup></p> <p>2) Kondisi 2 (Tidak ada jalan akses yang dapat dilalui oleh kendaraan pengumpul sampah dengan Jarak sumber sampah ke wadah komunal ≥2,5 km): 1 set wadah sampah semi permanen dengan 6 jenis wadah sampah (sampah daur ulang/warna kuning, sisa makanan/warna hijau, lain-lain/warna abu-abu, pepohonan/warna putih, B3/warna merah dan sampah berukuran besar/warna hitam), dengan volume tiap wadah sampah 100 - 660 liter</p>	<p>Kondisi 1: Sampah dihantarkan secara manual atau menggunakan gerobak/ motor roda tiga/ pick up/ truk</p> <p>Kondisi 2: Sampah dari wadah sampah dihantarkan secara manual menuju TPS atau menuju akses jalan yang dapat dilalui kendaraan pengangkut sampah</p>

Sumber Sampah	Pilihan Teknologi	Spesifikasi Teknis	Metode Pengumpulan ke Wadah Komunal
		<p>3) Wadah sampah terbuat dari material yang kedap air dantidak mudah berkarat, mudah dibersihkan, mudah diangkut, tidak terikat/tertanam di tanah, memiliki penutup dan dilengkapi dengan atap/kanopi untuk mencegah terkena air hujan.</p>	
		<p><b>Wadah di bawah tanah:</b></p> <p>1) 1 set wadah sampah permanen dengan 5 jenis wadah sampah (sampah daur ulang/warna kuning, sisa makanan/warna hijau, lain-lain/warna abu-abu, pepohonan/warna putih, B3/warna merah) dengan volume tiap wadah sampah 1,3 - 5 m<sup>3</sup> sesuai ketersediaan penyedia</p> <p>2) Wadah sampah terdiri atas 2 lapisan, dengan lapisan dalam berupa lifting bag di bagian dalam dan lapisan pelindung di bagian luar. Lifting bag terbuat dari material plastik atau besi ringan dan lapisan pelindung terbuat dari material HDPE, besi atau baja sesuai spesifikasi dari penyedia</p> <p>3) Wadah sampah dilengkapi dengan penopang struktur wadah yang terbuat dari pasangan bata ataupun beton sesuai ketersediaan penyedia</p> <p>4) Wadah sampah terbuat dari material yang kedap air dantidak mudah berkarat, mudah dibersihkan, mudah diangkut, dan berpenutup</p> <p>5) Bagian tutup/depan wadah sampah dilengkapi dengan warna dan simbol sesuai jenis sampah</p>	

Sumber Sampah	Pilihan Teknologi	Spesifikasi Teknis	Metode Pengumpulan ke Wadah Komunal
Pasar dan Tempat Wisata	Bukan Jaringan Perpipaan, Wadah Di Atas Tanah dan Di Bawah Tanah	<p>6) Tinggi keseluruhan wadah berkisar antara 1,1 – 3 m, dengan kondisisebagian besar wadah sampah tertimbun di dalam tanah, dan ketinggian wadah di permukaan tanah berkisar 1,1 - 1,2 meter dari muka tanah.</p> <p>7) Bentuk dasar wadah sampah bisa berupa persegi atau lingkaran (sesuai ketersediaan dari penyedia) dengan ukuran panjang atau lebar sekitar 1,2 - 2 meter (untuk bentuk persegi) atau diameter antara 0,5 - 2 m (untuk bentuk lingkaran)</p> <p>8) Terdapat sensor yang dilengkapi dengan smart access untuk membuka wadah sampah</p> <p>9) Tingkat keterisian wadah sampah dapat dipantau/dikontrol dengan sistem automasi</p> <p><b>Wadah di atas tanah:</b></p> <p>1) 1 set wadah sampah semi permanen dengan 6 jenis wadah sampah (sampah daur ulang/ warna kuning, sisa makanan/ warna hijau, lain-lain/warna abu-abu, pepohonan/warna putih, B3/warna merah dan sampah berukuran besar/ warna hitam), dengan volume tiap wadah sampah 0,6-6 m<sup>3</sup></p> <p>2) Wadah sampah terbuat dari material yang kedap air dantidak mudah berkarat, mudah dibersihkan, mudah diangkut, tidak terikat/tertanam di tanah, memiliki penutup dan dilengkapi dengan atap/kanopi untuk mencegah terkena air hujan</p>	Menggunakan gerobak/ motor roda tiga/pick up/ truk

Sumber Sampah	Pilihan Teknologi	Spesifikasi Teknis	Metode Pengumpulan ke Wadah Komunal
Pasar dan Tempat Wisata	Jaringan Perpipaan, Wadah Di Atas Tanah	<p><b>Jaringan perpipaan:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Jaringan perpipaan berpenyedot (sistem vakum) terdiri dari jaringan perpipaan sampah yang dilengkapi dengan outdoor disposal inlet sebagai tempat untuk memasukkan sampah sesuai dengan jenisnya dan pompa blower/vakum untuk menyedot sampah di dalam jaringan perpipaan</li> <li>2) 1 set jaringan perpipaan sampah permanen untuk 3 jenis sampah (sampah daur ulang/warna kuning, sisa makanan/warna hijau, dan lain-lain/warna abu-abu), dengan penyedotan vakum secara terjadwal menuju transfer site atau tempat penampungan sampah sementara (TPS) berupa kontainer baja/wadah sampah komunal dengan volume bervariasi antara 4 - 6 m<sup>3</sup>. Dimensi ukuran kontainer disesuaikan dengan dimensi truk pengangkut sampah yang akan digunakan.</li> <li>3) Jaringan perpipaan harus kedap air, kedap udara, mudah dibersihkan, berada di dalam tanah, dan terbuat dari material carbon steel dengan diameter pipa berkisar antara 400-500 mm.</li> <li>4) Ukuran maksimal sampah 50cm, disesuaikan dengan jenis/ lebar bukaan pada outdoor disposal outlet. Tidak disarankan untuk menerima sampah yang berasal dari bahan metal, kaca/ gelas maupun sampah lain yang dilarang</li> </ol>	Jaringan perpipaan menggunakan pipa penyalur dengan pompa vakum dan wadah di atas tanah menggunakan gerobak/ motor roda tiga/ pick up/ truk



Sumber Sampah	Pilihan Teknologi	Spesifikasi Teknis	Metode Pengumpulan ke Wadah Komunal
		<p>5) Terdapat sensor yang dilengkapi dengan smart access untuk membuka outdoor disposal inlet</p> <p>6) Tingkat keterisian wadah sampah dapat dipantau/dikontrol dengan sistem automasi</p> <p><b>Wadah di atas tanah:</b></p> <p>1) 1 set wadah sampah permanen dengan dengan 3 jenis wadah sampah (sampah berukuran besar/warna hitam, B3/warna merah, dan pepohonan/warna putih) dengan volume wadah sampah 0,6-6 m<sup>3</sup></p> <p>2) Wadah sampah terbuat dari material yang kedap air dan tidak mudah berkarat, mudah dibersihkan, mudah diangkut, tidak terikat/tertanam di tanah, memiliki penutup dan dilengkapi dengan atap/kanopi untuk mencegah terkena air hujan.</p>	
Bangunan Tapak	Bukan Jaringan Perpipaan, Wadah Di Atas Tanah	<p>1) Kondisi 1 (Tersedia jalan akses yang dapat dilalui oleh kendaraan pengumpul sampah, dengan Jarak sumber sampah ke wadah komunal &lt; 2,5 km dan ≥ 2,5 km): 1 set wadah sampah semi permanen (sampah domestik dan sampah berukuran besar) dengan volume wadah sampah 660 - 6.000 liter.</p> <p>2) Kondisi 2 (Tidak ada jalan akses yang dapat dilalui oleh kendaraan pengumpul sampah dengan Jarak sumber sampah ke wadah komunal ≥ 2,5 km): 1 set wadah sampah semi permanen (sampah domestik dan sampah berukuran besar) dengan volume wadah sampah 660 – 1.000 liter</p>	<p>Kondisi 1: Menggunakan gerobak/motor roda tiga/pick up/truk</p> <p>Kondisi 2: Sampah dari wadah sampah dihantarkan secara manual menuju TPS atau menuju akses jalan yang dapat dilalui kendaraan pengangkut sampah</p> <p>1 wadah sampah untuk setiap 5-10 rumah</p>

Sumber Sampah	Pilihan Teknologi	Spesifikasi Teknis	Metode Pengumpulan ke Wadah Komunal
		3) Wadah sampah terbuat dari material yang kedap air dantidak mudah berkarat, mudah dibersihkan, mudah diangkut, tidak terikat/tertanam di tanah, memiliki penutup dan dilengkapi dengan atap/kanopi untuk mencegah terkena air hujan.	
Bangunan Tapak	Bukan Jaringan Perpipaan, Wadah Di Atas Tanah dan Di Bawah Tanah	<p><b>Wadah di bawah tanah:</b></p> <p>1) 1 set wadah sampah permanen dengan 5 jenis wadah sampah (sampah daur ulang/warna kuning, sisa makanan/warna hijau, lain-lain/warna abu-abu, pepohonan/warna putih, B3/warna merah) dengan volume tiap wadah sampah 1,3 - 5 m<sup>3</sup> sesuai ketersediaan penyedia</p> <p>2) Wadah sampah terdiri atas 2 lapisan, dengan lapisan dalam berupa lifting bag di bagian dalam dan lapisan pelindung di bagian luar. Lifting bag terbuat dari material plastik atau besi ringan dan lapisan pelindung terbuat dari material HDPE, besi atau baja sesuai spesifikasi dari penyedia</p> <p>3) Wadah sampah dilengkapi dengan penopang struktur wadah yang terbuat dari pasangan bata ataupun beton sesuai ketersediaan penyedia</p> <p>4) Wadah sampah terbuat dari material yang kedap air dantidak mudah berkarat, mudah dibersihkan, mudah diangkut, dan berpenutup</p> <p>5) Bagian tutup/depan wadah sampah dilengkapi dengan warna dan simbol sesuai jenis sampah</p>	Menggunakan gerobak/motor roda tiga/pick up/truk

Sumber Sampah	Pilihan Teknologi	Spesifikasi Teknis	Metode Pengumpulan ke Wadah Komunal
		<p>6) Tinggi keseluruhan wadah berkisar antara 1,1 - 3 m, dengan kondisisebagian besar wadah sampah tertimbun di dalamtanah, dan ketinggian wadah di permukaan tanah berkisar 1,1 - 1,2 meter dari muka tanah.</p> <p>7) Bentuk dasar wadah sampah bisa berupa persegi atau lingkaran (sesuai ketersediaan dari penyedia) dengan ukuran panjang atau lebar sekitar 1,2 - 2 meter (untuk bentuk persegi) atau diameter antara 0,5 - 2 m (untuk bentuk lingkaran)</p> <p>8) Terdapat sensor yang dilengkapi dengan smart access untuk membuka wadah sampah</p> <p>9) Tingkat keterisian wadah sampah dapat dipantau/dikontrol dengan sistem automasi</p> <p><b>Wadah di atas tanah:</b></p> <p>1) 1 buah wadah sampah semi permanen dengan 1 jenis wadah untuk sampah berukuran besar/ warna hitam dengan volume wadah sampah 660 - 6.000 liter</p> <p>2) Wadah sampah terbuat dari material yang kedap air dantidak mudah berkarat, mudah dibersihkan, mudah diangkut, tidak terikat/tertanam di tanah, memiliki penutup dan dilengkapi dengan atap/kanopi untuk mencegah terkena air hujan</p>	

Sumber Sampah	Pilihan Teknologi	Spesifikasi Teknis	Metode Pengumpulan ke Wadah Komunal
Bangunan Tapak	Jaringan Perpipaan, Wadah Di Atas Tanah	<p><b>Jaringan perpipaan:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Jaringan perpipaan berpenyedot (sistem vakum) terdiri dari jaringan perpipaan sampah yang dilengkapi dengan outdoor disposal inlet sebagai tempat untuk memasukkan sampah sesuai dengan jenisnya dan pompa blower/vakum untuk menyedot sampah di dalam jaringan perpipaan</li> <li>2) 1 set jaringan perpipaan sampah permanen untuk 3 jenis sampah (sampah daur ulang/warna kuning, sisa makanan/warna hijau, dan lain-lain/warna abu-abu), dengan penyedotan vakum secara terjadwal menuju transfer site atau tempat penampungan sampah sementara (TPS) berupa kontainer baja/wadah sampah komunal dengan volume bervariasi antara 4 - 6 m<sup>3</sup>. Dimensi ukuran kontainer disesuaikan dengan dimensi truk pengangkut sampah yang akan digunakan.</li> <li>3) Jaringan perpipaan harus kedap air, kedap udara, mudah dibersihkan, berada di dalam tanah, dan terbuat dari material carbon steel dengan diameter pipa berkisar antara 400-500 mm.</li> <li>4) Ukuran maksimal sampah 50cm, disesuaikan dengan jenis/ lebar bukaan pada outdoor disposal inlet. Tidak disarankan untuk menerima sampah yang berasal dari bahan metal, kaca/ gelas maupun sampah lain yang dilarang.</li> </ol>	Jaringan perpipaan menggunakan pipa penyalur dengan pompa vakum, dilengkapi dengan bukan jaringan perpipaan menggunakan gerobak/ motor roda tiga/ pick up/ truk

Sumber Sampah	Pilihan Teknologi	Spesifikasi Teknis	Metode Pengumpulan ke Wadah Komunal
		<p>5) Terdapat sensor yang dilengkapi dengan smart access untuk membuka outdoor disposal inlet</p> <p>6) Tingkat keterisian wadah sampah dapat dipantau/dikontrol dengan sistem automasi</p> <p>7) Jumlah rumah yang dilayani adalah 5 - 10 rumah tapak</p> <p><b>Wadah di atas tanah:</b></p> <p>1) 1 set wadah sampah semi permanen dengan 1 jenis wadah untuk sampah berukuran besar/ warna hitam dengan volume wadah sampah 660 - 6.000 liter</p> <p>2) Wadah sampah terbuat dari material yang kedap air dan tidak mudah berkarat, mudah dibersihkan, mudah diangkut, tidak terikat/tertanam di tanah, memiliki penutup dan dilengkapi dengan atap/kanopi untuk mencegah terkena air hujan</p>	



Sumber Sampah	Pilihan Teknologi	Spesifikasi Teknis	Metode Pengumpulan ke Wadah Komunal
Bangunan Vertikal	Bukan Jaringan Perpipaan, Wadah Di Atas Tanah	<p><b>Pada Bangunan dengan jumlah lantai <math>\leq 4</math> dengan pengumpulan secara manual</b></p> <p>1) Kondisi 1 (Tersedia jalan akses yang dapat dilalui oleh kendaraan pengumpul sampah, dengan Jarak sumber sampah ke wadah komunal <math>&lt; 2,5</math> km dan <math>\geq 2,5</math> km): 1 buah atau 1 set wadah sampah semi permanen dengan volume wadah sampah 660 - 6.000 liter</p> <p>2) Kondisi 2 (Tidak ada jalan akses yang dapat dilalui oleh kendaraan pengumpul sampah dengan Jarak sumber sampah ke wadah komunal <math>\geq 2,5</math> km): 1 buah atau 1 set wadah sampah semi permanen dengan volume wadah sampah 660 - 1.000 liter</p> <p>3) Wadah sampah terbuat dari material yang kedap air dan tidak mudah berkarat, mudah dibersihkan, mudah diangkut, tidak terikat/tertanam di tanah, memiliki penutup dan dilengkapi dengan atap/kanopi untuk mencegah terkena air hujan</p>	<p>Kondisi 1: Sampah dari setiap lantai dapat dibawa secara langsung oleh penghasil sampah atau petugas pengelola gedung menuju wadah sampah komunal. Penghantaran sampah dapat dibantu dengan menggunakan kendaraan pengumpul gerobak/motor roda tiga/pick up/truk</p> <p>Kondisi 2: Sampah dari setiap lantai dapat dibawa secara langsung oleh penghasil sampah atau petugas pengelola gedung menuju wadah sampah komunal. Penghantaran sampah dapat dibawa manual menuju akses jalan yang dapat dilalui kendaraan pengumpul sampah</p>

Sumber Sampah	Pilihan Teknologi	Spesifikasi Teknis	Metode Pengumpulan ke Wadah Komunal
Bangunan Vertikal	Bukan Jaringan Perpipaan, Wadah Di Atas Tanah	<p><b>Pada Bangunan dengan jumlah lantai &gt;4 dengan pengumpulan menggunakan lif servis</b></p> <p>1) Kondisi 1 (Tersedia jalan akses yang dapat dilalui oleh kendaraan pengumpul sampah, dengan Jarak sumber sampah ke wadah komunal &lt;2,5 km dan <math>\geq</math>2,5 km): 1 buah atau 1 set wadah sampah semi permanen dengan volume wadah sampah 660 - 6.000 liter</p> <p>2) Kondisi 2 (Tidak ada jalan akses yang dapat dilalui oleh kendaraan pengumpul sampah dengan Jarak sumber sampah ke wadah komunal <math>\geq</math>2,5 km): 1 buah atau 1 set wadah sampah semi permanen dengan volume wadah sampah 660 - 1.000 liter</p> <p>3) Wadah sampah terbuat dari material yang kedap air dan tidak mudah berkarat, mudah dibersihkan, mudah diangkut, tidak terikat/tertanam di tanah, memiliki penutup dan dilengkapi dengan atap/kanopi untuk mencegah terkena air hujan.</p>	<p>Kondisi 1: Sampah dari setiap lantai dapat dibawa melalui lif servis ke lantai dasar, setelah itu penghantaran sampah menuju wadah sampah komunal dapat dibantu dengan gerobak/ motor roda tiga/pick up/ truk</p> <p>Kondisi 2: Sampah dari setiap lantai dapat dibawa melalui lif servis ke lantai dasar, setelah itu penghantaran sampah menuju wadah sampah komunal dapat dibawa manual menuju akses jalan yang dapat dilalui kendaraan pengumpul sampah</p>
Bangunan Vertikal	Bukan Jaringan Perpipaan, Wadah Di Atas Tanah	<p><b>Pada Bangunan dengan jumlah lantai &gt;4 dengan pengumpulan menggunakan saf sampah</b></p> <p>1) Kondisi 1 (Tersedia jalan akses yang dapat dilalui oleh kendaraan pengumpul sampah, dengan Jarak sumber sampah ke wadah komunal &lt;2,5 km dan <math>\geq</math>2,5 km): 1 buah atau 1 set wadah sampah semi permanen dengan volume wadah sampah 660 - 6.000 liter</p>	<p>Kondisi 1: sampah dari setiap lantai dapat dibawa melalui saf sampah ke lantai dasar, setelah itu penghantaran sampah menuju wadah sampah komunal dapat dibantu dengan gerobak/ motor roda tiga/pick up/ truk</p>

Sumber Sampah	Pilihan Teknologi	Spesifikasi Teknis	Metode Pengumpulan ke Wadah Komunal
		<p>2) Kondisi 2 (Tidak ada jalan akses yang dapat dilalui oleh kendaraan pengumpul sampah dengan Jarak sumber sampah ke wadah komunal <math>\geq 2,5</math> km): 1 buah atau 1 set wadah sampah semi permanen dengan volume wadah sampah 660 - 1.000 liter</p> <p>3) Wadah sampah terbuat dari material yang kedap air dan tidak mudah berkarat, mudah dibersihkan, mudah diangkut, tidak terikat/tertanam di tanah, memiliki penutup dan dilengkapi dengan atap/kanopi untuk mencegah terkena air hujan.</p> <p><b>Kriteria untuk Saf Sampah:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Saf sampah berupa pipa penghubung yang terbuat dari beton/PVC dengan diameter 60 cm dengan lebar bersih saf kurang lebih 72 cm</li> <li>• Tempat pembuangan sampah organik sementara berada dalam ruangan yang dikondisikan dengan suhu maksimum 15°C untuk memperlambat proses pembusukan</li> <li>• Dilengkapi pintu/lubang tempat pembuangan dengan tipikal ukuran setidaknya 38 cm x 46 cm setiap lantai</li> <li>• Dilengkapi wadah pengumpul sampah pada ujung bawah saf/lantai terdasar</li> <li>• Dilengkapi lampu dan semprotan pembersih saf sampah</li> <li>• Terdapat ventilasi yang dipasang pada bagian ujung atas saf sampah/atap bangunan</li> </ul>	<p>Kondisi 2: Sampah dari setiap lantai dapat dibawa melalui saf sampah ke lantai dasar, setelah itu penghantaran sampah menuju wadah sampah komunal dapat dibawa manual menuju akses jalan yang dapat dilalui kendaraan pengumpul sampah</p>

Sumber Sampah	Pilihan Teknologi	Spesifikasi Teknis	Metode Pengumpulan ke Wadah Komunal
Bangunan Vertikal	Bukan Jaringan Perpipaan, Wadah Di Atas dan Di Bawah Tanah	<p><b>Pada Bangunan dengan jumlah lantai <math>\leq 4</math> dengan pengumpulan manual</b></p> <p><b>Wadah di bawah tanah:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 1 buah atau 1 set wadah sampah permanen dengan volume wadah sampah 800 - 1.300 liter atau sesuai ketersediaan penyedia</li> <li>2) Wadah sampah terdiri atas 2 lapisan, dengan lapisan dalam berupa lifting bag di bagian dalam dan lapisan pelindung di bagian luar. Lifting bag terbuat dari material plastik atau besi ringan dan lapisan pelindung terbuat dari material HDPE, besi atau baja sesuai spesifikasi dari penyedia</li> <li>3) Wadah sampah dilengkapi dengan penopang struktur wadah yang terbuat dari pasangan bata ataupun beton sesuai ketersediaan penyedia</li> <li>4) Wadah sampah terbuat dari material yang kedap air dan tidak mudah berkarat, mudah dibersihkan, mudah diangkut, dan berpenutup</li> <li>5) Bagian tutup/depan wadah sampah dilengkapi dengan warna dan simbol sesuai jenis sampah</li> <li>6) Tinggi keseluruhan wadah berkisar antara 1,1 - 3 m, dengan kondisi sebagian besar wadah sampah tertimbun di dalam tanah, dan ketinggian wadah di permukaan tanah berkisar 1,1 - 1,2 meter dari muka tanah.</li> </ol>	<p>Sampah dari setiap lantai dapat dibawa secara langsung oleh penghasil sampah atau petugas pengelola gedung menuju wadah sampah komunal. Penghantaran sampah dapat dibantu dengan menggunakan kendaraan pengumpul gerobak/motor roda tiga/pick up/truk</p>

Sumber Sampah	Pilihan Teknologi	Spesifikasi Teknis	Metode Pengumpulan ke Wadah Komunal
		<p>7) Bentuk dasar wadah sampah bisa berupa persegi atau lingkaran (sesuai ketersediaan dari penyedia) dengan ukuran panjang atau lebar sekitar 1,2 - 2 meter (untuk bentuk persegi) atau diameter antara 0,5 - 2 m (untuk bentuk lingkaran)</p> <p>8) Terdapat sensor yang dilengkapi dengan smart access untuk membuka wadah sampah</p> <p>9) Tingkat keterisian wadah sampah dapat dipantau/dikontrol dengan sistem automasi</p> <p><b>Wadah di atas tanah:</b></p> <p>1) 1 set wadah sampah permanen dengan 1 jenis wadah sampah berukuran besar/warna hitam dengan volume wadah sampah 660 - 6.000 liter</p> <p>2) Wadah sampah terbuat dari material yang kedap air dan tidak mudah berkarat, mudah dibersihkan, mudah diangkut, tidak terikat/tertanam di tanah, memiliki penutup dan dilengkapi dengan atap/kanopi untuk mencegah terkena air hujan</p>	



Sumber Sampah	Pilihan Teknologi	Spesifikasi Teknis	Metode Pengumpulan ke Wadah Komunal
Bangunan Vertikal	Bukan Jaringan Perpipaan, Wadah Di Atas dan Di Bawah Tanah	<p><b>Pada Bangunan dengan jumlah lantai &gt;4 pengumpulan dengan lif servis</b></p> <p><b>Wadah di bawah tanah:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 1 buah atau 1 set wadah sampah permanen dengan volume wadah sampah 800 - 1.300 liter atau sesuai ketersediaan penyedia</li> <li>2) Wadah sampah terdiri atas 2 lapisan, dengan lapisan dalam berupa lifting bag di bagian dalam dan lapisan pelindung di bagian luar. Lifting bag terbuat dari material plastik atau besi ringan dan lapisan pelindung terbuat dari material HDPE, besi atau baja sesuai spesifikasi dari penyedia</li> <li>3) Wadah sampah dilengkapi dengan penopang struktur wadah yang terbuat dari pasangan bata ataupun beton sesuai ketersediaan penyedia</li> <li>4) Wadah sampah terbuat dari material yang kedap air dan tidak mudah berkarat, mudah dibersihkan, mudah diangkut, dan berpenutup</li> <li>5) Bagian tutup/depan wadah sampah dilengkapi dengan warna dan simbol sesuai jenis sampah</li> </ol>	<p>Sampah dari setiap lantai dapat dibawa melalui lif servis ke lantai dasar, setelah itu penghantaran sampah menuju wadah sampah komunal dapat dibantu dengan dengan gerobak/motor roda tiga/pick up/truk</p>

Sumber Sampah	Pilihan Teknologi	Spesifikasi Teknis	Metode Pengumpulan ke Wadah Komunal
		<p>6) Tinggi keseluruhan wadah berkisar antara 1,1 - 3 m, dengan kondisi sebagian besar wadah sampah tertimbun di dalam tanah, dan ketinggian wadah di permukaan tanah berkisar 1,1 - 1,2 meter dari muka tanah.</p> <p>7) Bentuk dasar wadah sampah bisa berupa persegi atau lingkaran (sesuai ketersediaan dari penyedia) dengan ukuran panjang atau lebar sekitar 1,2 - 2 meter (untuk bentuk persegi) atau diameter antara 0,5 - 2 m (untuk bentuk lingkaran)</p> <p>8) Terdapat sensor yang dilengkapi dengan smart access untuk membuka wadah sampah</p> <p>9) Tingkat keterisian wadah sampah dapat dipantau/dikontrol dengan sistem automasi</p> <p><b>Wadah di atas tanah:</b></p> <p>1) 1 set wadah sampah permanen dengan 1 jenis wadah sampah berukuran besar/warna hitam dengan volume wadah sampah 660 - 6.000 liter</p> <p>2) Wadah sampah terbuat dari material yang kedap air dan tidak mudah berkarat, mudah dibersihkan, mudah diangkut, tidak terikat/tertanam di tanah, memiliki penutup dan dilengkapi dengan atap/kanopi untuk mencegah terkena air hujan</p>	

Sumber Sampah	Pilihan Teknologi	Spesifikasi Teknis	Metode Pengumpulan ke Wadah Komunal
Bangunan Vertikal	Bukan Jaringan Perpipaan, Wadah Di Atas dan Di Bawah Tanah	<p><b>Pada Bangunan dengan jumlah lantai &gt;4 pengumpulan dengan saf sampah</b></p> <p><b>Wadah di bawah tanah:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 1 buah atau 1 set wadah sampah permanen dengan volume wadah sampah 800 - 1.300 liter atau sesuai ketersediaan penyedia</li> <li>2) Wadah sampah terdiri atas 2 lapisan, dengan lapisan dalam berupa lifting bag di bagian dalam dan lapisan pelindung di bagian luar. Lifting bag terbuat dari material plastik atau besi ringan dan lapisan pelindung terbuat dari material HDPE, besi atau baja sesuai spesifikasi dari penyedia</li> <li>3) Wadah sampah dilengkapi dengan penopang struktur wadah yang terbuat dari pasangan bata ataupun beton sesuai ketersediaan penyedia</li> <li>4) Wadah sampah terbuat dari material yang kedap air dan tidak mudah berkarat, mudah dibersihkan, mudah diangkut, dan berpenutup</li> <li>5) Bagian tutup/depan wadah sampah dilengkapi dengan warna dan simbol sesuai jenis sampah</li> <li>6) Tinggi keseluruhan wadah berkisar antara 1,1 - 3 m, dengan kondisi sebagian besar wadah sampah tertimbun di dalam tanah, dan ketinggian wadah di permukaan tanah berkisar 1,1 - 1,2 meter dari muka tanah.</li> </ol>	Sampah dari setiap lantai dapat dibawa melalui saf sampah ke lantai dasar, setelah itu penghantaran sampah menuju wadah sampah komunal dapat dibantu dengan gerobak/motor roda tiga/pick up/truk

Sumber Sampah	Pilihan Teknologi	Spesifikasi Teknis	Metode Pengumpulan ke Wadah Komunal
		<p>7) Bentuk dasar wadah sampah bisa berupa persegi atau lingkaran (sesuai ketersediaan dari penyedia) dengan ukuran panjang atau lebar sekitar 1,2 - 2 meter (untuk bentuk persegi) atau diameter antara 0,5 - 2 m (untuk bentuk lingkaran)</p> <p>8) Terdapat sensor yang dilengkapi dengan smart access untuk membuka wadah sampah</p> <p>9) Tingkat keterisian wadah sampah dapat dipantau/dikontrol dengan sistem automasi</p> <p><b>Wadah di atas tanah:</b></p> <p>1) 1 set wadah sampah permanen dengan 1 jenis wadah sampah berukuran besar/warna hitam dengan volume wadah sampah 660 - 6.000 liter</p> <p>2) Wadah sampah terbuat dari material yang kedap air dan tidak mudah berkarat, mudah dibersihkan, mudah diangkut, tidak terikat/tertanam di tanah, memiliki penutup dan dilengkapi dengan atap/kanopi untuk mencegah terkena air hujan</p>	
		<p><b>Kriteria untuk Saf Sampah:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Saf sampah berupa pipa penghubung yang terbuat dari beton/PVC/bahan lainnya dengan diameter <math>\pm 60</math> cm dengan lebar bersih saf <math>\pm 72</math> cm atau menyesuaikan desain yang direncanakan</li> </ul>	

Sumber Sampah	Pilihan Teknologi	Spesifikasi Teknis	Metode Pengumpulan ke Wadah Komunal
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Tempat pembuangan sampah organik sementara berada dalam ruangan yang dikondisikan dengan suhu maksimum 15°C untuk memperlambat proses pembusukan</li> <li>Dilengkapi pintu/lubang tempat pembuangan dengan tipikal ukuran setidaknya 38 cm x 46 cm setiap lantai - dilengkapi wadah pengumpul sampah pada ujung bawah saf/lantai terdasar</li> <li>Dilengkapi lampu dan semprotan pembersih saf sampah - terdapat ventilasi yang dipasang pada bagian ujung atas saf sampah/ atap bangunan</li> </ul>	
Bangunan Vertikal	Jaringan Perpipaan, Wadah Di Atas Tanah	<p><b>Jaringan perpipaan:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Jaringan perpipaan berpenyedot (sistem vakum) terdiri dari jaringan perpipaan sampah yang dilengkapi dengan outdoor disposal inlet sebagai tempat untuk memasukkan sampah sesuai dengan jenisnya dan pompa blower/vakum untuk menyedot sampah di dalam jaringan perpipaan</li> <li>1 set jaringan perpipaan sampah permanen untuk 3 jenis sampah (sampah daur ulang/warna kuning, sisa makanan/warna hijau, dan lain-lain/warna abu-abu), dengan penyedotan vakum secara terjadwal menuju transfer site atau tempat penampungan sampah sementara (TPS) berupa kontainer baja/wadah sampah komunal dengan volume bervariasi antara 4 - 6 m<sup>3</sup>. Dimensi ukuran kontainer disesuaikan dengan dimensi truk pengangkut sampah yang akan digunakan.</li> </ol>	Jaringan perpipaan menggunakan pipa penyalur sampah dengan pompa vakum dari lantai tertinggi bangunan hingga TPS, dilengkapi dengan bukan jaringan perpipaan menggunakan gerobak/ motor roda tiga/ pick up/ truk



Sumber Sampah	Pilihan Teknologi	Spesifikasi Teknis	Metode Pengumpulan ke Wadah Komunal
		<p>3) Jaringan perpipaan harus kedap air, kedap udara, mudah dibersihkan, berada di dalam tanah, dan terbuat dari material carbon steel dengan diameter pipa berkisar antara 400-500 mm.</p> <p>4) Ukuran maksimal sampah 50cm, disesuaikan dengan jenis/ lebar bukaan pada outdoor disposal inlet. Tidak disarankan untuk menerima sampah yang berasal dari bahan metal, kaca/ gelas maupun sampah lain yang dilarang.</p> <p>5) Terdapat sensor yang dilengkapi dengan smart access untuk membuka outdoor disposal inlet</p> <p>6) Tingkat keterisian wadah sampah dapat dipantau/dikontrol dengan sistem automasi</p> <p><b>Wadah di atas tanah:</b></p> <p>1) 1 set wadah sampah permanen dengan 3 jenis wadah sampah (sampah berukuran besar/warna hitam, B3/warna merah, dan pepohonan/warna putih) dengan volume wadah sampah 660 - 6.000 liter</p> <p>2) Wadah sampah terbuat dari material yang kedap air dan tidak mudah berkarat, mudah dibersihkan, mudah diangkut, tidak terikat/tertanam di tanah, memiliki penutup dan dilengkapi dengan atap/kanopi untuk mencegah terkena air hujan</p>	

Sumber Sampah	Pilihan Teknologi	Spesifikasi Teknis	Metode Pengumpulan ke Wadah Komunal
		<p><b>Ketentuan Saf Sampah:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Saf sampah berupa pipa penghubung yang terbuat dari beton/PVC/bahan lainnya dengan diameter <math>\pm 60</math> cm dengan lebar bersih saf <math>\pm 72</math> cm atau menyesuaikan desain yang direncanakan</li> <li>• Tempat pembuangan sampah organik sementara berada dalam ruangan yang dikondisikan dengan suhu maksimum <math>15^{\circ}\text{C}</math> untuk memperlambat proses pembusukan</li> <li>• Dilengkapi pembuangan yang diletakkan di area servis setiap lantai - dilengkapi lampu dan semprotan pembersih saf sampah</li> <li>• Dilengkapi pintu pembuangan sampah (tipikal tiap lantai dengan ukuran setidaknya 38 cm x 46 cm)</li> <li>• Terdapat ventilasi yang dipasang pada bagian ujung atas saf sampah/ atap bangunan</li> <li>• Ujung bawah saf tersambung langsung dengan pipa penyalur sampah hingga menuju TPS, yang disedot menggunakan pompa vakum</li> </ul>	



## BEST PRACTICE SMART WASTE MANAGEMENT

*Smart Waste Management System* (SWMS) adalah suatu platform atau sistem yang memanfaatkan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) untuk meningkatkan efisiensi dalam pengumpulan, pemantauan, dan pengelolaan limbah. Tujuan utamanya adalah untuk mengoptimalkan proses pengelolaan limbah, mengurangi dampak lingkungan, dan meningkatkan kualitas hidup masyarakat. SWMS mengintegrasikan *smart bin*, *smart fleet*, dan *smart 3R/MRF* (*Reduce, Reuse, Recycle/Material Recovery Facility*) dengan menerapkan teknologi cerdas berupa *Internet of Things* (IoT). IoT berperan dalam mengumpulkan dan mengelola data yang dikumpulkan dari perangkat berupa sensor yang dapat berkomunikasi satu sama lain dan diolah untuk dilakukan optimalisasi.

### 4.1 Cakupan dan Tujuan *Smart Waste Management*

*Smart waste management* mempunyai cakupan yang luas dan mencakup berbagai aspek dalam pengelolaan sampah. Berikut adalah cakupan dari *smart waste management*

- IoT (perangkat keras dan sistem)  
IoT merupakan jaringan perangkat fisik yang terhubung dan saling berkomunikasi melalui internet, memungkinkan pertukaran data dan kontrol yang cerdas. Konsep dari IoT adalah menghubungkan berbagai perangkat, dari peralatan rumah tangga hingga sensor industri, kendaraan, dan banyak lagi, untuk saling berinteraksi dan bertukar informasi. IoT
- Analisis Data  
Analisis data merupakan pengumpulan dan pengolahan data untuk mendapatkan data yang dapat digunakan sebagai proses optimalisasi dan efisiensi pengelolaan sampah. Hasil dari analisis data tersebut dapat digunakan dalam optimalisasi rute pengangkutan sampah, monitoring perangkat, dan prediksi volume sampah di masa depan.
- Teknologi Penyortiran  
Teknologi penyortiran merupakan teknologi yang berperan penting dalam *smart waste management*, teknologi penyortiran dapat memisahkan dan mengidentifikasi

jenis sampah secara otomatis. Teknologi ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dalam proses pengelolaan sampah.

Tujuan dari penerapan *smart waste management* dalam sebuah kota yaitu:

- Efisiensi dan pengurangan biaya operasional  
*Smart waste management* menggunakan *real-time* data untuk mengoptimalkan jadwal pengumpulan sampah, yang pada gilirannya dapat mengurangi biaya yang diperlukan untuk layanan pengelolaan sampah
- Meningkatkan kemampuan pengambilan keputusan  
Dengan peran *smart waste management* yang baik, kemampuan pengambilan keputusan dalam pengelolaan sampah dapat meningkat, sehingga proses pengelolaan sampah menjadi lebih efisien dan mengurangi biaya operasional.
- Meningkatkan produktivitas  
*Smart waste management* dapat mengukur, mengumpulkan dan menganalisis data secara real time jumlah sampah yang terkumpul, sampah yang tersortir, dan sampah yang diolah menjadi produk lain. Mass balance pada pengolahan sampah juga akan terdata secara baik dan akurat, dan bisa menjadi bahan acuan peningkatan produktivitas kedepannya.
- *Compliance and reporting*  
Dalam *smart waste management*, kepatuhan (*compliance*) dan pelaporan (*reporting*) memegang peranan penting. Pengelola sampah menyediakan laporan kepatuhan dan dokumentasi sesuai dengan regulasi yang berlaku, dan dapat menunjukkan bagaimana data dikelola sesuai dengan persyaratan hukum yang berlaku. *Sistem smart waste management* memastikan kepatuhan terhadap regulasi lingkungan dengan proses otomasi pelacakan limbah, pelaporan, dan proses pembuangan.

## 4.2 Aspek Penting Penerapan Smart Waste Management

Dalam penerapan sistem *smart waste management* yang akan diterapkan pada sebuah kota perlu diperhatikan aspek – aspek penting yang harus diperhatikan oleh pengelola. Aspek penting tersebut yaitu:

- *Interoperability and standard*  
Interoperabilitas dan standar merupakan dua aspek kunci dalam pengembangan sistem *smart waste management*. Kedua hal ini membantu memastikan bahwa berbagai komponen sistem dapat berkomunikasi dan bekerja bersama dengan baik,

serta memungkinkan adopsi teknologi yang lebih luas. Dengan interoperability dan standar yang baik *smart waste management* dapat menjadi lebih efektif, terjangkau, dan dapat diadopsi dengan lebih luas di berbagai konteks dan lokasi.

- **Keamanan dan privasi data**

Keamanan (*security*) dan privasi adalah dua aspek kritis yang harus diperhatikan dalam pengembangan dan implementasi sistem *smart waste management*. Mengintegrasikan teknologi canggih untuk mengelola limbah memerlukan perlindungan data yang baik dan keamanan sistem untuk mencegah potensi ancaman keamanan dan pelanggaran privasi. Dengan keamanan dan privasi yang baik, data yang dikumpulkan dari sensor, perangkat IoT, dan sistem lainnya aman dari akses yang tidak sah dan terhindar dari ancaman serangan *cyber*.

- ***Scalability and flexibility***

*Scalability* (skalabilitas) dan *flexibility* (fleksibilitas) adalah dua aspek penting dalam pengembangan sistem *smart waste management*. Kedua aspek ini memastikan bahwa solusi yang diimplementasikan dapat tumbuh seiring waktu, mengakomodasi perubahan kebutuhan, dan bersifat adaptif terhadap dinamika lingkungan manajemen limbah. Aspek tersebut memiliki arsitektur sistem yang dapat diukur, sehingga dapat dengan mudah menambahkan atau mengurangi perangkat dan fungsionalitas tanpa mengganggu operasional keseluruhan.

- ***User interface and accessibility***

*User interface* (antarmuka pengguna) dan aksesibilitas adalah dua aspek penting dalam *smart waste management* yang berfokus pada cara pengguna berinteraksi dengan sistem dan sejauh mana sistem dapat diakses oleh berbagai pemangku kepentingan. Dengan memperhatikan antarmuka pengguna dan aksesibilitas, *smart waste management* dapat dirancang untuk menjadi lebih *user-friendly*, mudah diakses, dan efisien dalam berbagai situasi penggunaan

- ***Regulatory compliance***

Kepatuhan regulasi (*regulatory compliance*) dalam *smart waste management* menjadi hal yang sangat penting untuk memastikan bahwa implementasi dan operasional sistem sesuai dengan hukum dan peraturan yang berlaku. Kepatuhan regulasi merupakan landasan yang penting untuk mendukung keberlanjutan dan penerimaan sistem *smart waste management* di masyarakat dan lingkungan bisnis. Memastikan kepatuhan ini juga membantu mengelola risiko hukum dan reputasi yang dapat timbul akibat pelanggaran aturan.

## 4.3 Contoh *Best Practice* Penerapan *Smart Waste Management*

*Smart waste management* telah diterapkan di berbagai kota di dunia. Kota – kota tersebut telah berhasil meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan sampah dan menciptakan kota yang bersih dan teratur. Berikut adalah contoh *best practice* penerapan *smart waste management* yang ada di berbagai kota lain di luar negeri.

### 4.3.1 Denton City, Texas, Amerika Serikat

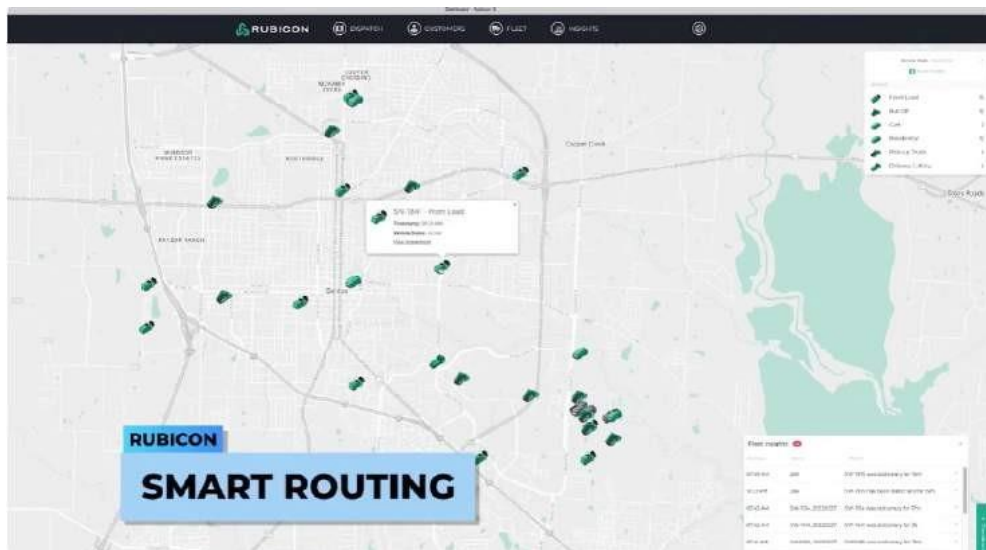
Pemerintah Denton City, Texas, Amerika Serikat menggunakan Rubicon *Smart Routing System* untuk meningkatkan efisiensi rute pengangkutan sampah. Sistem ini sudah diterapkan sejak bulan Desember tahun 2020. Penggunaan *smart routing* tersebut efektif menurunkan jarak tempuh perjalanan pengangkutan sampah di pemukiman sejauh 62 km, menurunkan waktu tempuh sebanyak 1,5 jam per rute dan menghemat pengeluaran total sekitar 286.000 USD. Tidak hanya itu, sistem ini juga telah menurunkan penggunaan kertas yang biasanya digunakan untuk keperluan pengangkutan sampah hingga 75 ribu lembar kertas kerja.

Dengan sistem ini para pengemudi pengangkut sampah mengambil foto dan mencatat catatan jika ada masalah yang mencegah pengambilan di alamat tertentu. Ini memungkinkan pengemudi untuk menghindari perjalanan kembali yang tidak perlu. System ini juga memungkinkan Pemerintah Kota Denton untuk beradaptasi dan menanggapi masalah sehari-hari yang muncul tanpa mengganggu layanan. Sebagai contoh, jika terjadi kerusakan truk, para pengemudi pengangkut sampah menggunakan alat *Route Assist* dari RUBICON SmartCity untuk masuk ke dalam rute yang belum selesai, langsung mengakses semua titik pengambilan yang masih perlu dilayani dan memastikan cakupan yang lengkap dan tanpa gangguan di seluruh kota.

Selain itu, sistem dari Rubicon ini juga dapat memisahkan tempat sampah yang terkontaminasi bahan berbahaya, dengan cara penandaan pada system RUBICON SmartCity, para pemeriksa sampah mencatat dan mengambil foto keranjang daur ulang yang terkontaminasi, dan yang lebih penting, memberi tahu pengemudi tentang keranjang mana yang perlu dilayani dan mana yang harus ditinggalkan. Pemerintah kota juga menggunakan peringatan lokasi pada antarmuka di kabin mereka untuk memberi tahu pengemudi jika ada pelanggan di rumah-rumah multifamili atau distrik sekolah yang biasanya memiliki



daur ulang yang terkontaminasi. Pengemudi kemudian dapat dengan hati-hati memeriksa keranjang ini agar tidak mengkontaminasi seluruh truk limbah. Dengan RUBICON SmartCity, kontaminasi bulanan rata-rata Kota Denton berkurang sebesar 21% selama tahun 2021, dan daur ulang yang diterima bulanan rata-rata meningkat sebesar 150 ton.



Gambar 4.1 Visualisasi Smart Routing Rubicon di Texas, USA

#### 4.3.2 Brighton & Hove, Britania Raya

Pemerintah Kota Brighton & Hove menerapkan *Fill Level Technology* untuk container sampah untuk memonitor keterisian sampah secara *real time*. Teknologi tersebut efektif menurunkan sebanyak 18 % jumlah perjalanan pengangkutan sampah dibandingkan dengan penggunaan tempat sampah konvensional. Pemerintah Kota Brighton & Hove menggunakan teknologi dari Bigbelly, yang dapat menampung hingga delapan kali lipat lebih banyak sampah daripada tong sampah biasa. Tong sampah ‘Bigbelly’ menggunakan sumber daya dari tenaga surya untuk mampu memadatkan sampah yang diletakkan di dalamnya, sehingga dapat menampung lebih banyak sampah.

Tong sampah ini juga dapat dimonitor secara *real time* sehingga dapat memberikan notifikasi kepada data center bahwa tong sampah tersebut telah penuh dan perlu diangkut oleh armada truk pengangkut sampah. Penggunaan teknologi ini sudah diterapkan di Kota Brighton & Hove sejak bulan September 2016.



Gambar 4.2 Smart Bin Bigbelly yang terpasang di Kota Brighton & Hove, Britania Raya

### 4.3.3 Virginia, Amerika Serikat

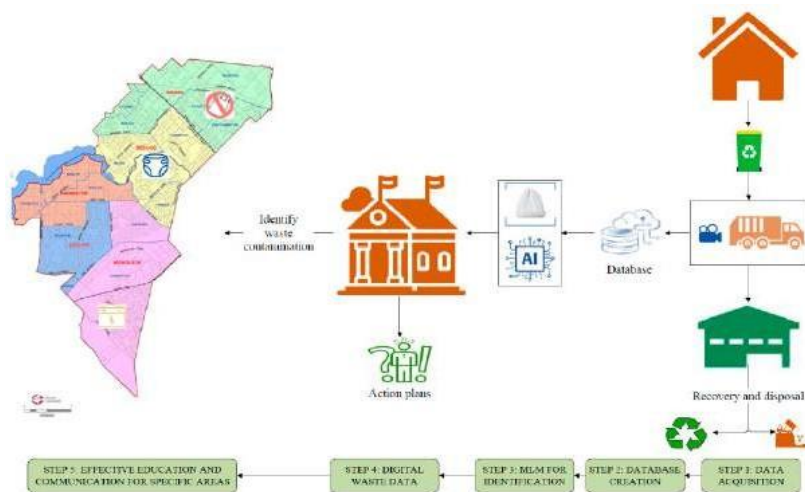
Sebuah fasilitas 3R (Reduce, Reuse, Recycle) MRF (Material Recovery Facilities) di Virginia Amerika Serikat menggunakan lengan robot dari AMP Robotics yang telah dilengkapi oleh kecerdasan buatan (*Artificial Intellegence*) dalam proses penyortiran sampah plastik, metal, kertas dan lain lain, selain itu juga sebagai quality control dari proses tersebut. Dengan adanya peran AI tersebut, efisiensi dapat dimaksimalkan karena dapat menekan manpower dan juga dapat beroperasi sepanjang waktu. Peran AI di bagian quality control juga dapat memastikan hasil pemilahan sampah dapat sesuai dengan yang di harapkan. AMP Robotics merupakan salah satu penyedia robot yang mempunyai produk *high-speed robotic sorting* yang mempunyai akurasi sampai dengan 99% dengan kecepatan pengambilan sampah hingga 80 pengambilan per menit.



Gambar 4.3 Proses Pemilahan Sampah dengan Lengan Robot Otomatis

#### 4.3.4 Australia

Penerapan *smart waste management* di Perth, Australia dilaporkan melalui artikel ilmiah berjudul *Waste Management 4.0: An Application of a Machine Learning Model to Identify and Measure Household Waste Contamination—A Case Study in Australia*, yang ditulis oleh Atiq Zaman pada tahun 2022.



Gambar 4.4 Konsep Pilot Project Smart Waste Management di Perth Australia  
Sumber: (Zaman 2022)

Studi Bukti Konsep: MLM menunjukkan potensi untuk mengidentifikasi komposisi sampah menggunakan teknik deteksi objektif, meskipun diakui memiliki keterbatasan yang perlu diatasi. Model ini perlu mengatasi beberapa keterbatasan terkait data yang berlabel dan terlatih untuk mengidentifikasi dengan akurat objek limbah. Aplikasi dalam Pengelolaan Limbah: MLM dikembangkan dan diterapkan sebagai bagian dari pendekatan Pengelolaan Limbah 4.0 (WM4.0) untuk mengidentifikasi dan mengukur timbulan sampah rumah tangga dan diintegrasikan ke dalam sistem pengumpulan sampah untuk merekam data digital tentang timbulan sampah di tingkat rumah tangga.



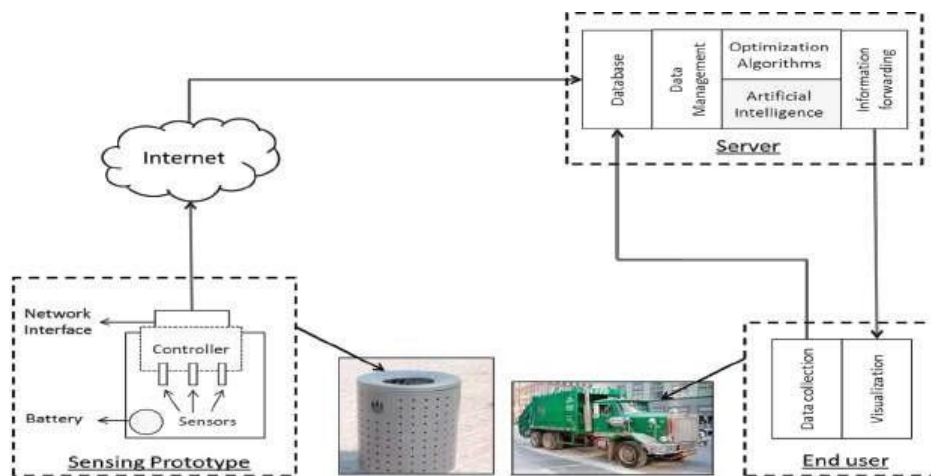
Gambar 4.5 Penerapan AI Dalam Mengidentifikasi Komposisi Sampah  
Sumber: (Zaman 2022)

Peluang dan Kendala: Studi ini mengidentifikasi berbagai manfaat penerapan WM4.0 di daerah pemerintah lokal, seperti mendeteksi item yang tidak diinginkan dalam bak daur ulang, mengidentifikasi pola timbulan sampah, dan menyediakan data real-time yang akurat. Namun, investasi awal yang diperlukan untuk pengembangan dan pemeliharaan WM4.0, serta untuk akuisisi data, diidentifikasi sebagai tantangan utama. Pertimbangan utama untuk mengaplikasikan MLM: Studi ini menyoroti perlunya input data yang lebih sesuai, gambar beresolusi tinggi, gambar di bawah kondisi yang berbeda, dan pilihan model yang berbeda untuk meningkatkan akurasi MLM dalam mengidentifikasi timbulansampah.

Peluang untuk Pengembangan Selanjutnya: Meskipun ada keterbatasan saat ini, ada peluang signifikan untuk lebih mengembangkan MLM untuk aplikasi WM4.0 di tingkat dewan lokal. MLM yang ditingkatkan akan memberikan data yang akurat dan dapat diandalkan untuk setiap rumah tangga, memungkinkan pemerintah lokal menyesuaikan program edukasi limbah mereka berdasarkan data yang akurat. Secara ringkas, temuan utama dan pertimbangan dalam pengembangan MLM untuk identifikasi timbulan sampah mencakup potensinya untuk digunakan dalam pengelolaan limbah, perlunya mengatasi keterbatasan, dan peluang untuk pengembangan dan aplikasi lebih lanjut di daerah pemerintah lokal.

#### 4.3.5 Copenhagen, Denmark

Dokumen *Smart Waste Collection System Based on Location Intelligence* ditulis oleh Jose M. Gutierrez, Michael Jensen, Morten Henius dan Tahir Riaza pada tahun 2015 membahas sistem pengumpulan sampah cerdas berdasarkan kecerdasan lokasi. Fokusnya adalah pada integrasi *Internet of Things* (IoT) dengan jaringan akses data, Sistem Informasi Geografis (GIS), optimasi kombinatorial, dan rekayasa elektronik untuk meningkatkan sistem manajemen kota. Sistem ini menggunakan prototipe IoT yang dilengkapi sensor untuk mengukur volume sampah dan mengirimkan data melalui Internet, yang kemudian diproses untuk mengelola strategi pengumpulan sampah secara efisien. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan data GIS nyata dari kota Kopenhagen, dan faktor ekonomi juga dipertimbangkan.



Gambar 4.6 Konsep prototipe project smart waste management di Kopenhagen  
 Sumber: (Gutierrez, et al. 2015)

Makalah ini menyajikan gambaran umum sistem secara rinci, termasuk fungsionalitas, algoritma yang digunakan. Studi kasus ini melibatkan pemodelan skenario dan melakukan eksperimen untuk membandingkan strategi pengumpulan sampah dan mengevaluasi kelayakan ekonominya selama periode 2 tahun. Hasilnya menunjukkan bahwa strategi pengumpulan sampah yang dinamis, berdasarkan status pengisian tong sampah secara real-time, meningkatkan efisiensi dengan memastikan pengumpulan tong sampah penuh tepat waktu dan mengurangi luapan sampah. Namun, strategi dinamis ini menimbulkan biaya pengumpulan yang lebih tinggi. Selain itu, analisis ekonomi menunjukkan bahwa peningkatan efisiensi strategi dinamis berpotensi mengimbangi biaya tambahan yang timbul dalam penerapan dan pemeliharaan sistem.

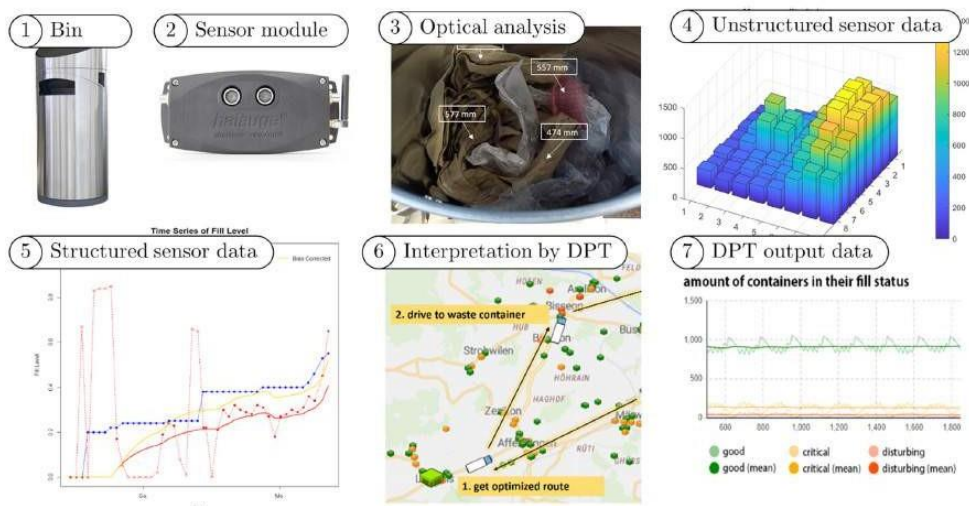
Studi ini juga menyoroti potensi pekerjaan di masa depan, seperti analisis sensitivitas, analisis data historis, dan uji coba lapangan untuk lebih meningkatkan kinerja sistem. Sebagai kesimpulan, makalah ini memberikan gambaran komprehensif tentang sistem pengumpulan sampah cerdas, merinci fungsionalitas, algoritma, dan studi kasus di dunia nyata. Hal ini menekankan potensi sistem pengumpulan sampah cerdas untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi limbah sampah, meskipun pertimbangan ekonomi sangat penting dalam penerapannya. Temuan ini menunjukkan bahwa peningkatan efisiensi strategi dinamis dapat membenarkan biaya tambahan yang terkait dengan penerapan dan pemeliharaan sistem tersebut.



### 4.3.6 Swiss

Berdasarkan artikel ilmiah berjudul *From Data to Value in Smart Waste Management: Optimizing Solid Waste Collection With a Digital Twin-based Decision Support System*, ditulis oleh Linard Barth, Lukas Schweiger, Rodolfo Benedech, dan Matthias Ehrat, pada tahun 2023, sistem pendukung keputusan berbasis digital twin berkontribusi terhadap penghematan biaya dan peningkatan kualitas layanan dalam pengelolaan sampah melalui beberapa cara:

1. **Mengoptimalkan Pengumpulan Sampah:** Sistem pendukung keputusan berbasis digital twin memungkinkan optimalisasi proses pengumpulan sampah dengan memanfaatkan data real-time dari sensor dan sumber lainnya. Optimalisasi ini dapat menghasilkan rute yang lebih efisien, mengurangi konsumsi bahan bakar, dan menurunkan biaya operasional.



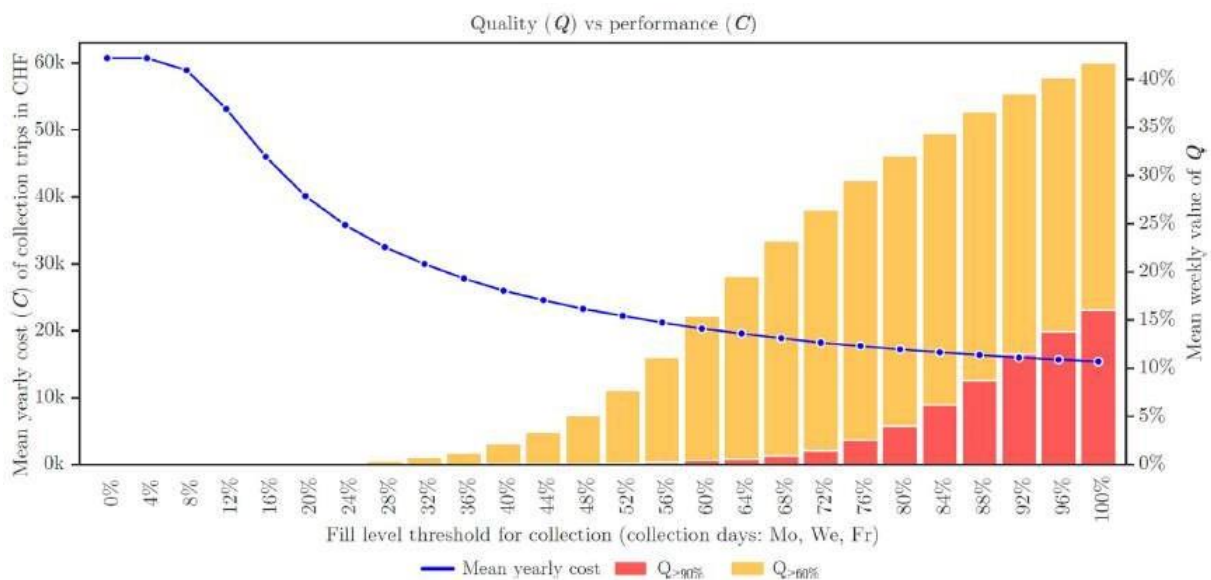
Gambar 4.7 Penerapan smart waste management berbasis digital twin di pilot project swiss

Sumber: (Barth, et al. 2023)

2. **Pemeliharaan Prediktif:** Dengan membuat representasi digital dari aset pengelolaan limbah fisik, sistem pendukung keputusan dapat memfasilitasi pemeliharaan prediktif. Pendekatan pemeliharaan yang proaktif ini dapat membantu mencegah kegagalan peralatan, mengurangi waktu henti, dan memperpanjang umur infrastruktur pengelolaan limbah, yang pada akhirnya menghasilkan penghematan biaya.
3. **Alokasi Sumber Daya:** Digital twin memungkinkan simulasi dan analisis berbagai skenario alokasi sumber daya, memungkinkan organisasi pengelolaan limbah mengalokasikan sumber daya secara lebih efektif. Hal ini dapat menghasilkan penghematan biaya dengan mengoptimalkan pemanfaatan kendaraan, personel, dan peralatan.



4. Peningkatan Kualitas Layanan: Melalui pemantauan dan analisis real-time, sistem pendukung keputusan digital berbasis kembar dapat meningkatkan kualitas layanan dengan memastikan pengumpulan sampah tepat waktu, mengidentifikasi area dengan timbulan sampah tinggi, dan merespons perubahan dinamis dalam timbulan sampah pola. Hal ini dapat meningkatkan kepuasan pelanggan dan kualitas layanan secara keseluruhan.
5. Pengambilan Keputusan Berdasarkan Data: *Digital twins* menyediakan platform untuk pengambilan keputusan berdasarkan data dengan mengintegrasikan beragam sumber informasi. Hal ini memungkinkan organisasi pengelolaan limbah untuk membuat keputusan yang tepat mengenai optimalisasi rute, alokasi sumber daya, dan peningkatan layanan, sehingga menghasilkan penghematan biaya dan peningkatan efisiensi operasional.



Gambar 4.8 Penurunan biaya pengumpulan sampah pada sistem pengelolaan sampah berbasis digital twin  
Sumber: (Barth, et al. 2023)

Secara keseluruhan, sistem pendukung keputusan berbasis digital twin menawarkan pendekatan holistik terhadap pengelolaan limbah, memanfaatkan teknologi canggih untuk mengoptimalkan proses, mengurangi biaya, dan meningkatkan kualitas layanan. Dalam konteks pengelolaan sampah yang cerdas, terdapat potensi trade-off antara penghematan biaya dan keberlanjutan yang perlu dipertimbangkan secara cermat:

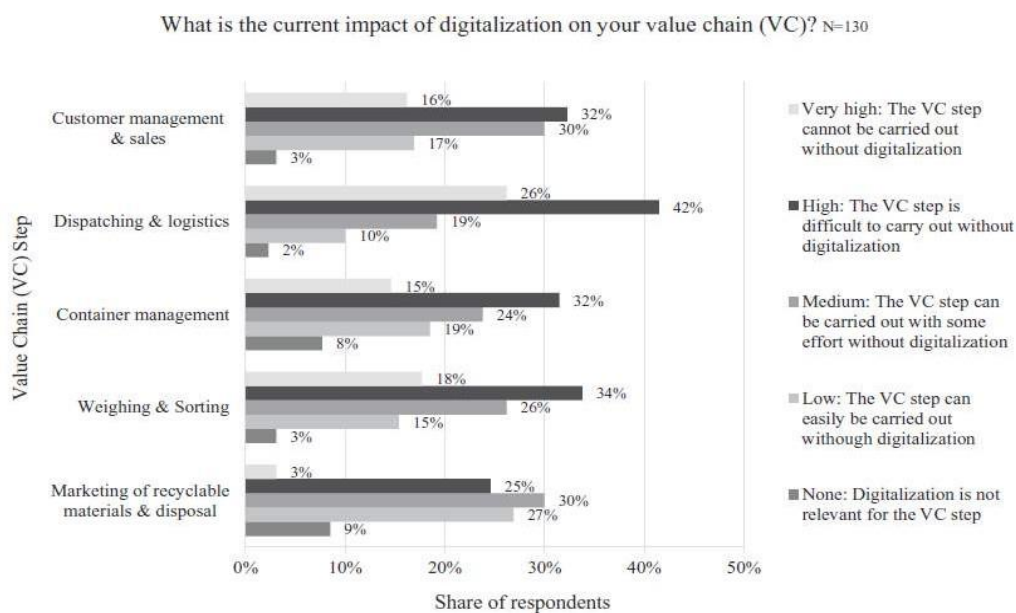
1. Investasi dalam Teknologi: Penerapan sistem pengelolaan sampah cerdas, termasuk sistem pendukung keputusan berbasis digital twin, seringkali memerlukan investasi awal yang signifikan dalam bidang teknologi, infrastruktur, dan pelatihan. Meskipun investasi ini dapat menghasilkan penghematan biaya jangka panjang dan efisiensi operasional, hal ini dapat menimbulkan tantangan finansial dalam jangka pendek.

2. Dampak Lingkungan: Meskipun langkah-langkah penghematan biaya seperti mengoptimalkan rute pengumpulan sampah dan mengurangi jumlah perjalanan pengumpulan dapat menghasilkan penghematan finansial, terdapat potensi *trade-off* dengan dampak lingkungan. Misalnya, mengoptimalkan rute untuk meminimalkan konsumsi bahan bakar dan emisi kendaraan mungkin bertentangan dengan tujuan mengurangi dampak lingkungan secara keseluruhan melalui praktik pengelolaan limbah berkelanjutan.
3. Kualitas Layanan vs. Pengurangan Biaya: Menyeimbangkan kualitas layanan dengan pengurangan biaya merupakan *trade-off* yang penting. Meskipun langkah-langkah penghematan biaya seperti mengurangi frekuensi pengumpulan dan mengoptimalkan alokasi sumber daya dapat menghasilkan keuntungan finansial, hal ini berpotensi membahayakan kualitas layanan, kepuasan pelanggan, dan kesejahteraan masyarakat secara keseluruhan.
4. Akses dan Keterjangkauan yang Merata: Inisiatif pengelolaan limbah yang cerdas harus memastikan akses yang adil terhadap layanan sambil mengupayakan penghematan biaya. Mungkin terdapat *trade-off* antara penerapan teknologi maju dan memastikan bahwa layanan pengelolaan sampah tetap terjangkau dan dapat diakses oleh seluruh anggota masyarakat.
5. Pengalihan dan Daur Ulang Sampah: Dalam beberapa kasus, tindakan penghematan biaya mungkin bertentangan dengan tujuan keberlanjutan terkait pengalihan dan daur ulang sampah. Misalnya, mengurangi frekuensi pengumpulan sampah untuk menghemat biaya dapat menghambat upaya untuk mendorong daur ulang dan pengalihan sampah yang tepat, sehingga berdampak pada upaya keberlanjutan secara keseluruhan.
6. Privasi dan Keamanan Data: Penerapan sistem pengelolaan limbah cerdas melibatkan pengumpulan dan analisis data dalam jumlah besar. Menyeimbangkan potensi penghematan biaya dari pengambilan keputusan berdasarkan data dengan kebutuhan untuk melindungi privasi dan memastikan keamanan data menghadirkan *trade-off* yang harus dikelola dengan hati-hati.
7. Untuk mengatasi *trade-off* ini memerlukan pendekatan komprehensif yang mempertimbangkan tujuan finansial dan keberlanjutan, serta mempertimbangkan dampak sosial dan lingkungan dari inisiatif pengelolaan limbah yang cerdas. Penting untuk secara hati-hati mengevaluasi potensi *trade-off* dan mengupayakan solusi yang mengoptimalkan penghematan biaya dan hasil keberlanjutan.

### 4.3.7 Jerman

Dalam artikel ilmiah *Digitalization of Waste Management: Insights from German Private and Public Waste Management Firms* ditulis oleh Rebecca Borchard, Roman Zeiss dan Jan Recker pada tahun 2022, implementasi teknologi digital ke dalam praktik pengelolaan sampah menawarkan beberapa manfaat potensial, seperti:

1. Peningkatan transparansi proses: Digitalisasi dapat menghasilkan transparansi yang lebih besar dalam proses pengelolaan sampah, sehingga memungkinkan pelacakan dan pemantauan yang lebih baik terhadap aktivitas terkait sampah.
2. Peningkatan efisiensi: Teknologi digital dapat mengoptimalkan proses internal, sehingga meningkatkan efisiensi operasional dalam perusahaan pengelolaan limbah.
3. Peningkatan kualitas: Penggunaan teknologi digital dapat berkontribusi pada peningkatan kualitas dalam operasi pengelolaan limbah, yang berpotensi menghasilkan penyampaian layanan yang lebih baik secara keseluruhan.
4. Pengurangan biaya: Digitalisasi dapat membantu mengurangi biaya operasional dan menyederhanakan proses, sehingga berkontribusi terhadap potensi penghematan biaya bagi perusahaan pengelolaan limbah.
5. Inovasi dan daya saing: Memanfaatkan teknologi digital dapat membantu perusahaan pengelolaan limbah tetap kompetitif dalam menghadapi perubahan lanskap industri dan ekspektasi pelanggan yang terus berubah.
6. Optimalisasi lingkungan: Meskipun saat ini diabaikan, teknologi digital mempunyai potensi untuk berkontribusi terhadap optimalisasi lingkungan dalam praktik pengelolaan limbah.



Gambar 4.9 Efek dari penerapan teknologi digital terhadap value chain dalam setiap tahap pengelolaan sampah di Jerman

Sumber: (Borchard, Zeiss and Recker 2022)

Potensi manfaat ini menggarisbawahi nilai teknologi digital dalam mentransformasi praktik pengelolaan limbah, mulai dari efisiensi operasional dan pengurangan biaya hingga peningkatan kualitas dan pertimbangan lingkungan.



## KEBUTUHAN PERALATAN PENUNJANG *SMART WASTE* *MANAGEMENT*

Mengacu kepada dokumen masterplan KIPP IKN, tahapan proses *smart waste management* terdiri dari proses pewadahan, proses pengangkutan, proses pemisahan (Hanggar 1) dan pengolahan (Hanggar 2), maka kami mengajukan peralatan - peralatan berupa perangkat sensor yang dipasang pada masing – masing proses. Sensor merupakan sebuah perangkat atau alat yang dapat mendeteksi atau mengukur suatu parameter atau perubahan di lingkungan sekitarnya, dan mengubah informasi tersebut menjadi sinyal yang dapat dibaca atau diinterpretasi oleh manusia atau perangkat elektronik. Keberadaansensor memainkan peran penting dalam menghasilkan data yang diperlukan untuk analisis, pengambilan keputusan, dan meningkatkan efisiensi pada sistem *smart waste management*. Identifikasi sensor disesuaikan dengan 3 jenis spesifikasi dari masing – masing proses yang direncanakan, yaitu spesifikasi minimum, spesifikasi rekomendasi dan spesifikasi optimum. Masing – masing spesifikasi mempunyai daftar penempatan sensor yang berbeda. Ilustrasi dan rangkuman kriteria dari masing – masing spesifikasi dapat dilihat pada gambar dan tabel di bawah ini.

### 5.1 Pengertian Sensor

Sensor adalah perangkat yang mendeteksi dan mengukur parameter fisik, kemudian mengubah informasi tersebut menjadi sinyal yang dapat diinterpretasikan atau diproses. Dalam konteks *smart waste management* berbasis IoT, sensor memainkan peran penting dalam mengumpulkan data dari hulu ke hilir, mulai dari pewadahan hingga pengolahan. Sensor dapat digunakan untuk memantau berbagai parameter seperti tingkat keterisian sampah, suhu, lokasi, dan lain-lain.

### 5.2 Pengertian Sensor Network

*Sensor network* adalah kumpulan sensor yang saling terhubung untuk mengumpulkan dan mengirimkan data melalui jaringan. *Sensor network* digunakan untuk membuat sistem pemantauan yang komprehensif dan *real-time*. Jaringan ini memungkinkan komunikasi

dan koordinasi yang antara sensor untuk memberikan informasi akurat mengenai berbagai hal, seperti tingkat keterisian tempat sampah.

## 5.3 Elemen *Sensor Network*

### 5.3.1 Node

Node adalah perangkat sensor tunggal dalam jaringan. Setiap node dilengkapi dengan kemampuan deteksi khusus untuk memantau dan mengukur parameter yang berbeda. Node-node ini dapat ditempatkan secara strategis di dalam tempat sampah atau area untuk menangkap data yang dibutuhkan.

### 5.3.2 *Data Gateway*

*Data gateway* berfungsi sebagai jembatan antara node sensor dan unit pemrosesan data pusat. Perangkat ini mengumpulkan data dari beberapa node dan memfasilitasi komunikasi antara sensor dan jaringan secara keseluruhan. *Data gateway* memainkan peran penting dalam memastikan aliran informasi yang lancar dan menyampaikan data yang terkumpul ke server terpusat atau platform cloud.

### 5.3.3 Elemen *Sensors Network* Lainnya

Tergantung pada kompleksitas *sensors network*, beberapa elemen tambahan bisa jadi dibutuhkan, seperti *repeater*, *actuator*, dan sumber daya listrik. *Repeater* memperkuat dan memperluas jangkauan komunikasi dalam jaringan, sementara *actuator* dapat digunakan untuk memicu tindakan tertentu berdasarkan data sensor. Sumber daya listrik, seperti baterai atau panel surya, memastikan operasi berkelanjutan dari node sensor.

## 5.4 Komunikasi Data dan Pemantauan

Dalam sistem *smart waste management* berbasis IoT, komunikasi data melibatkan transmisi informasi dari node sensor ke unit pemrosesan pusat. Pemantauan mencakup pengamatan terus-menerus terhadap berbagai parameter terkait sampah secara *real-time*. Data ini penting untuk pengambilan keputusan yang terinformasi, optimalisasi rute pengumpulan sampah, dan penerapan praktik manajemen sampah yang efisien.



### 5.4.1 MQTT: *Message Queuing Telemetry Transport*

MQTT, singkatan dari *Message Queuing Telemetry Transport*, merupakan salah satu protokol komunikasi sistem IoT yang efisien. MQTT memiliki desain yang ringan dan beroperasi dengan model *publish/subscribe*, di mana pesan dikirim melalui central broker agar pengirimannya efektif. Beberapa fitur unggulan protocol MQTT, di antaranya adalah topik, *Quality of Service* (QoS), dan broker, menjadikan MQTT sangat cocok untuk aplikasi IoT.

Dalam sistem smart waste management yang kompleks, MQTT dapat menyediakan kerangka kerja yang dapat diandalkan dan dapat diperluas (*scalable*). Model *publish/subscribe* memungkinkan komunikasi fleksibel antara sensor, node, dan *data gateway*. Dengan MQTT, sistem *waste management* dapat mentransmisikan dan menerima data secara *real-time* secara dinamis, cepat dan efektif. MQTT dapat menambah fitur sistem *waste management* untuk memantau dan merespons perubahan kondisi dengan cepat. Aplikasi MQTT dalam konteks ini sangat beragam, mulai dari memantau tingkat keterisian dalam tempat sampah hingga melacak suhu di proses pengolahan. Selain itu, sifat ringan dari protokol ini menjadikannya dapat diimplementasikan pada perangkat dengan konsumsi energi rendah, sehingga ideal untuk berbagai sensor dan node yang tersebar di seluruh jaringan persampahan dari hulu ke hilir.

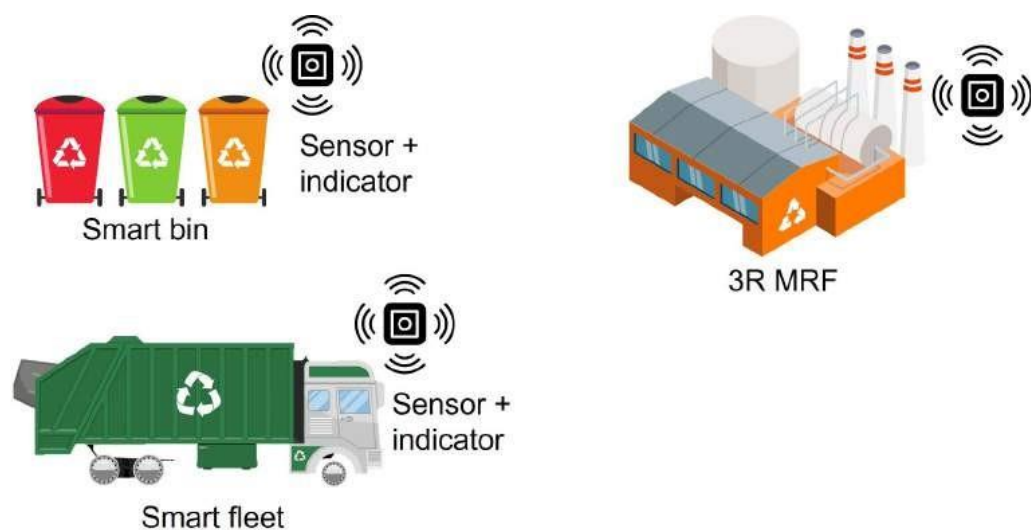
### 5.4.2 Perbandingan dengan Protokol Komunikasi Lainnya

Jika dibandingkan dengan protokol lain, seperti CoAP atau AMQP, MQTT menonjol karena arsitektur yang sederhana, biaya yang rendah, dan penggunaan bandwidth yang efisien. Karakteristik ini membuat MQTT sangat cocok untuk kebutuhan *smart waste management*, di mana komunikasi terus-menerus dengan konsumsi energi yang rendah menjadi faktor yang sangat penting.

Pemilihan MQTT didasarkan pada kemampuannya untuk mengirimkan pesan dengan handal, bahkan dalam skenario dimana kondisi jaringan kurang optimal. Keandalan ini sangat penting untuk memastikan bahwa sistem manajemen sampah dapat beroperasi secara lancar, menyediakan data akurat untuk pengambilan keputusan dan optimalisasi.

Tabel 5.1 Detail Sensor pada Masing-masing Spesifikasi di Smart Bin

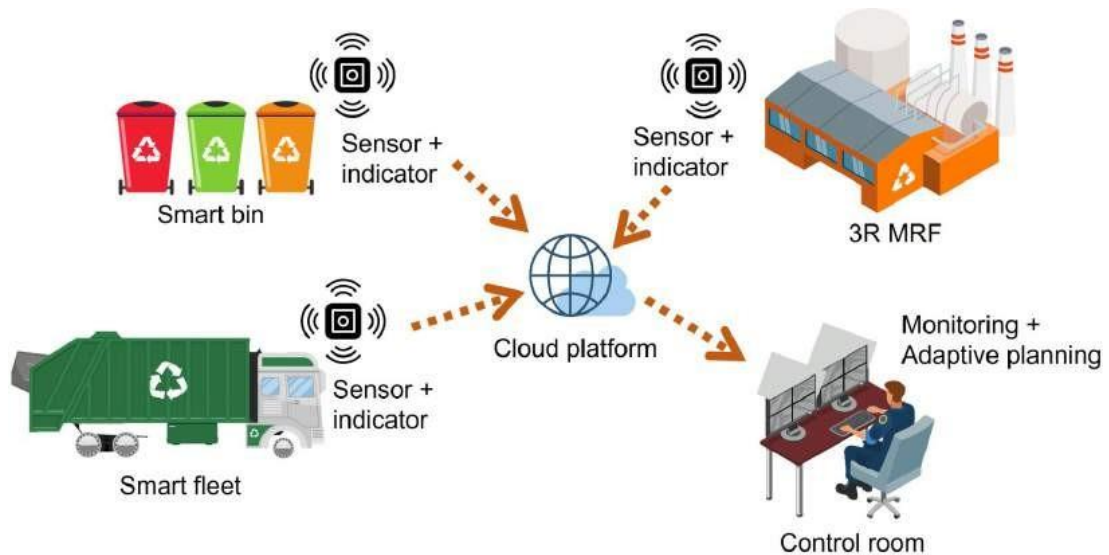
No	Smart Bin					
	Minimum		Rekomendasi		Optimum	
	Type sensor	Merk sensor	Type Sensor	Merk Sensor	Type Sensor	Merk Sensor
1	<i>Ultrasonic Sensor &amp; indikator keterisian</i>	Sensoneo	Sama dengan minimum			
2		Smarter Technologies				
		WasteHero				
2	<i>Humidity Sensor</i>	Sensirion				
		SensorPush				
		Banner Engineering				
3			GPS Sensor	SmartEnds Track & Trace	Sama dengan rekomendasi	
4			<i>Load sensor untuk mass balance</i>	Bin Trac		
5			<i>Dashboard</i>	Sensoneo Smart Waste Management Software System		
				Things Board Cloud		
6						
7					<i>AI feature</i>	Sensoneo
8					<i>Compactor</i>	Ecubelabs



Gambar 5.1 Ilustrasi Spesifikasi Minimum Smart Waste Management

Tabel 5.2 Detail Sensor pada Masing-masing Spesifikasi di Smart Fleet

No	Smart Fleet					
	Minimum		Rekomendasi		Optimum	
	Tipe sensor	Merk sensor	Tipe Sensor	Merk Sensor	Tipe Sensor	Merk Sensor
1	GPS Sensor	NPSafety System Jakarta	Sama dengan minimum		Sama dengan rekomendasi	
		Lacak.io				
2	<i>Pressure Sensor for Compactor</i>	Gems Sensor				
3			<i>Routing system</i>	<i>Routeware</i> Evreka		
4					AI Route	Sensoneo NextBillion.ai

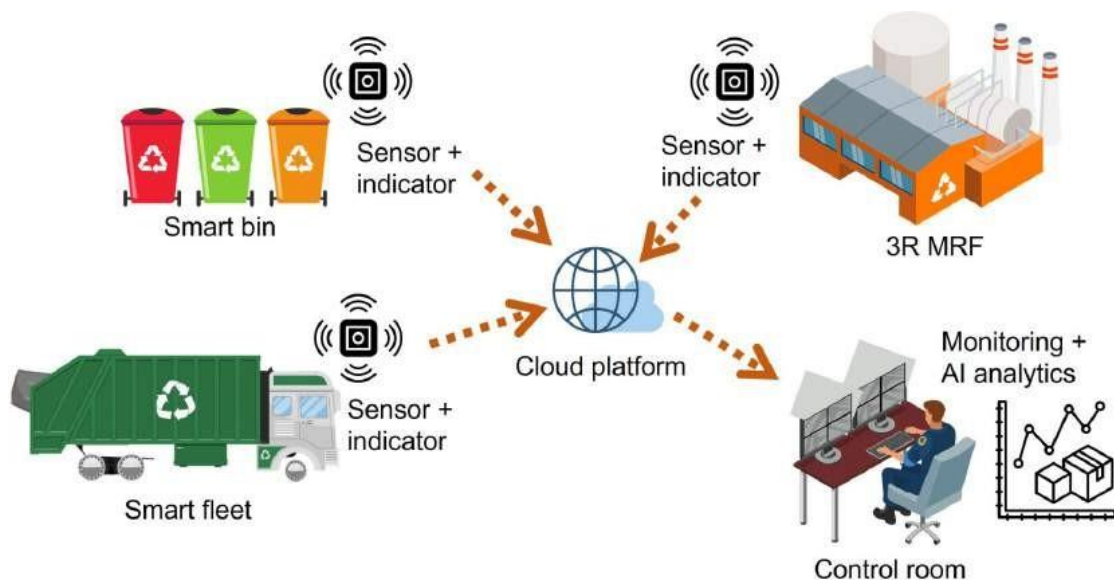


Gambar 5.2 Ilustrasi Spesifikasi Rekomendasi Smart Waste Management

Tabel 5.3 Detail Sensor pada Masing-masing Spesifikasi di 3R MRF

No	Peralatan	3R MRF					
		Minimum		Rekomendasi		Optimum	
		Tipe sensor	Merk sensor	Tipe Sensor	Merk Sensor	Tipe Sensor	Merk Sensor
1	<i>Bunker</i>	<i>Ultrasonic sensor</i>	Bin Master	Sama dengan Minimum		sama dengan rekomendasi	
2	<i>Hopper</i>	<i>Ultrasonic sensor</i>	Baumer				
		<i>IR Hopper Sensor</i>	Cumberland				
3	<i>Shredder</i>	<i>Fire Sensor</i>	Ortho Engineering				
4	<i>Pressure machine</i>	<i>Pressure Sensor</i>	Gems Sensor				
5	<i>Rotary Dryer</i>	<i>Thermocouple</i>	Tempsens Asia Jaya				
6	<i>Odour Control</i>	<i>Odour Sensor</i>	Oizom				
7	<i>Incinerator</i>	<i>Thermocouple</i>	HT-Guide				
		<i>Fire/flame sensor</i>	Fireeye				
8	<i>Boiler</i>	<i>Temperature Sensor</i>	Temco Control				
		<i>High-Temperature High-Pressure Conductivity Sensor</i>	Tarifa Indonesia				
9	<i>Combustion gas facility</i>	<i>Gas Sensor</i>	Horiba Yokogawa				
		<i>Temperature Sensor</i>	Temco Control				
10	<i>Air supply &amp; exhaust facility</i>	<i>Gas Sensor</i>	Yokogawa				
11	<i>Incinerator ash</i>	<i>Thermocouple</i>	HT-Guide				
		<i>Dust Control</i>	Imperial Systems				
12	<i>Stack / Chimney</i>	<i>Dust Sensor</i>	Imperial Systems				
13				<i>Load sensor untuk mass balance</i>	Bin Trac		

No	Peralatan	3R MRF					
		Minimum		Rekomendasi		Optimum	
		Tipe sensor	Merk sensor	Tipe Sensor	Merk Sensor	Tipe Sensor	Merk Sensor
14				SCADA	Ferrazza SINACON Waste SCADA		
15				RDF <i>sorting</i> <i>sensor</i>	Tomra		
16						AI	AMP Robotics
17						<i>Robotic</i> <i>sorting</i>	AMP Robotics Recycleye



Gambar 5.3 Ilustrasi Spesifikasi Optimum Smart Waste Management

## 5.5 Jenis-jenis Sensor

### 5.5.1 Load sensor

*Load sensor* adalah jenis sensor yang digunakan untuk mengubah ukuran beban menjadi sebuah *Load sensor* melibatkan beberapa komponen, seperti *strain gauge* dan jembatan *Wheatstone*. *Strain gauge* adalah komponen elektronika yang berfungsi untuk mengukur tekanan. *Strain gauge* terdiri dari kawat logam atau foil logam yang mempunyai sifat insulatif yang diletakan didalam sensor *load cell*. Jembatan *Wheatstone* adalah rangkaian kombinasi resistor yang digunakan untuk mengukur tekanan. Jembatan ini terdiri dari empat resistor yang dikoneksikan dengan satu sama lain, yaitu  $R1 = R3$  dan  $R2 = R4$ .

### 5.5.2 Ultrasonic Sensor

*Ultrasonic Sensor* bekerja berdasarkan prinsip pantulan gelombang suara untuk menafsirkan jarak suatu benda dengan frekuensi tertentu. Cara kerja *ultrasonic sensor* secara umum yaitu gelombang ultrasonik dibangkitkan melalui sebuah alat yang disebut piezoelektrik dengan frekuensi tertentu, umumnya 40 kHz, gelombang ultrasonik dikirimkan ke suatu area atau target, kemudian target akan memantulkan kembali gelombang tersebut. Selanjutnya gelombang pantulan dari target kemudian ditangkap oleh sensor. Sensor menghitung selisih antara waktu pengiriman gelombang dan waktu gelombang pantul diterima untuk menentukan jarak benda

### 5.5.3 Humidity Sensor

*Humidity Sensor* bekerja dengan mengukur tingkat kelembaban udara dengan menggunakan berbagai prinsip dan jenis sensor. Sensor kapasitif berfungsi dengan menganalisa perubahan kapasitif antara dua keping elektroda yang terdiri dari material dielektrik. Perubahan kelembaban relatif udara akan mempengaruhi kapasitif sensor, yang pada akhirnya akan mengubah frekuensi *oscillator* dan mengirimkan data ke mikrokontroler.

### 5.5.4 GPS Sensor

GPS (*Global Positioning System*) adalah sistem navigasi satelit yang digunakan untuk menentukan posisi suatu objek di permukaan bumi dengan akurasi yang tinggi. Satelit GPS yang dipasang di luar angkasa pada orbit tertentu dengan posisi yang stabil



akan mengirimkan sinyal ke bumi. Satelit GPS ini dilengkapi dengan pengatur waktu yang membuat satelit mampu memberi sinyal yang akurat. Sinyal dari satelit GPS kemudian diterima oleh pengguna GPS melalui GPS *receiver*. GPS *receiver* terdiri dari beberapa *Integrated Circuit* (IC) yang murah dan mudah dioperasikan oleh semua orang. GPS *receiver* dapat terpasang di kendaraan, telepon genggam, dan perangkat computer.

#### 5.5.5 Fire Sensor

*Fire sensor*, atau *flame detector*, adalah alat pendeteksi kebakaran yang dapat mendeteksi dan merespons keberadaan nyala api. Terdapat beberapa jenis sensor api yang berbeda, seperti *UV Flame Detector*, *UV/IR Flame Detector*, dan *Multi-Spectrum IR Flame Detector* (MSIR). Cara kerja sensor api umumnya melibatkan deteksi penyerapan cahaya pada panjang gelombang tertentu, yang memungkinkan alat ini untuk membedakan antara spektrum cahaya pada api dan sumber alarm palsu. Sensor ini dapat merespons keberadaan nyala api dengan sangat cepat, bahkan dalam hitungan detik, dan dapat memberikan respon yang lebih akurat daripada detektor asap atau panas.

Cara kerja *flame detector* dirancang untuk mendeteksi penyerapan cahaya pada panjang gelombang tertentu, yang memungkinkan alat ini untuk membedakan antara spectrum cahaya pada api dan sumber alarm palsu. Sensor ini dapat mendeteksi nilai intensitas dan frekuensi api dengan panjang gelombang antara 760 nm ~ 1100 nm. Sensor ini mampu bekerja dengan baik untuk menangkap nyala api untuk mencegah kebakaran.

#### 5.5.6 Infrared Temperature Sensor

*Infrared temperature sensor* bekerja dengan mendeteksi dan mengukur jumlah radiasi inframerah yang dipancarkan oleh suatu objek. Sensor ini mendeteksi radiasi tersebut dan mengonversinya menjadi sinyal listrik, yang kemudian diproses untuk menentukan suhu objek. Jumlah radiasi yang dipancarkan oleh suatu objek berbanding lurus dengan suhunya, sehingga dengan mengukur jumlah radiasi, sensor dapat menentukan suhu objek tanpa melakukan kontak fisik dengan objek tersebut. Sensor suhu inframerah memiliki berbagai aplikasi, seperti dalam proses industri, pengolahan makanan, aplikasi medis, dan otomotif.

#### 5.5.7 Pressure Sensor

Sensor tekanan, atau *pressure sensor*, adalah alat yang digunakan untuk mendeteksi sinyal tekanan dan mengonversinya menjadi sinyal listrik yang dapat digunakan. Sensor

tekanan biasanya terdiri dari komponen sensitif tekanan dan unit pemrosesan sinyal. Berdasarkan jenis tekanan yang diuji, sensor tekanan dapat dibagi menjadi sensor tekanan *gauge*, sensor tekanan diferensial, dan sensor tekanan absolut. Sensor tekanan adalah sensor yang paling umum digunakan untuk pengukuran tekanan udara/minyak/air/hidrolik. Sensor ini banyak digunakan dalam berbagai lingkungan kontrol otomatis industri, seperti yang terkait dengan konservasi air dan tenaga hidro, transportasi kereta api, bangunan pintar, otomatisasi produksi, kedirgantaraan, militer, petrokimia, sumur minyak, pembangkit listrik, industri kapal, mesin perkakas, pipa, dan banyak industri lainnya.

#### 5.5.8 *Thermocouple Sensor*

*Thermocouple* adalah alat sensor suhu yang bekerja berdasarkan prinsip efek Seebeck, di mana terdapat dua logam yang berbeda jenis yang dihubungkan pada satu ujung dan membentuk *junction*. Ketika *junction* tersebut terkena suhu, akan terjadi perbedaan potensial yang sebanding dengan suhu yang diterima oleh *thermocouple*. Perbedaan potensial ini dapat diukur di ujung logam yang tidak bertemu dan digunakan untuk menentukan suhu yang diterima oleh *junction*. *Thermocouple* memiliki rentang suhu operasional yang luas, mulai dari  $-200^{\circ}\text{C}$  hingga  $1450^{\circ}\text{C}$ , tergantung pada jenis logam konduktor yang digunakan.

Cara kerja *thermocouple* cukup sederhana, di mana dua logam konduktor yang berbeda jenis digabung pada ujungnya. Satu jenis logam konduktor berfungsi sebagai referensi dengan suhu konstan, sedangkan jenis logam lainnya berfungsi sebagai logam konduktor yang mendeteksi suhu panas. Ketika *thermocouple* dipanaskan, akan terjadi beda potensial yang sebanding dengan suhu panas yang diterima oleh *thermocouple*. Beda potensial ini kemudian diukur dan dihubungkan dengan *thermocontroller* sebagai *display* suhu yang dapat dibaca.

#### 5.5.9 *Odour Sensor*

Sensor bau, atau odour sensor, adalah alat yang digunakan untuk mendeteksi dan mengukur keberadaan bau atau aroma dalam suatu lingkungan. Sensor ini dapat mendeteksi bau yang dihasilkan oleh berbagai jenis zat, seperti gas, bahan kimia, makanan, dan lainnya. Cara kerja sensor bau didasarkan pada prinsip pengukuran konsentrasi gas berbau dalam udara ambien dengan mengambil sampel udara di sekitar lokasi pengolahan. Sensor ini dapat mengukur konsentrasi bau dengan berbagai metode, seperti pengukuran konsentrasi gas berbau, olfaktometer, skala hedonik, dan pengukuran tidak langsung menggunakan

perubahan frekuensi sensor kimia. Sensor bau dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti pada industri makanan, pengolahan limbah, dan lainnya.

#### 5.5.10 Gas Sensor

Gas sensor bekerja dengan mendeteksi keberadaan atau perubahan konsentrasi gas di lingkungan. Sensor ini menghasilkan perbedaan potensial yang sesuai dengan konsentrasi gas dengan mengubah resistansi material di dalam sensor, yang kemudian dapat diukur sebagai tegangan output. Jenis gas yang dapat dideteksi oleh sensor tergantung pada material pendeteksi yang ada di dalam sensor. Sensor gas umumnya tersedia dalam bentuk modul dengan komparator yang dapat diatur untuk nilai ambang tertentu dari konsentrasi gas. Ketika konsentrasi gas melebihi ambang ini, pin digital sensor akan menjadi tinggi. Pin analog dapat digunakan untuk mengukur konsentrasi gas. Sensor gas umumnya terdiri dari beberapa elemen, termasuk lapisan pendeteksi gas, kumparan pemanas, jalur elektroda, keramik tabung, dan elektroda. Lapisan pendeteksi gas adalah komponen utama dalam sensor yang digunakan untuk mendeteksi variasi konsentrasi gas dan menghasilkan perubahan resistansi listrik. Nilai resistansi beban (RL) dapat dipilih sesuai dengan konsentrasi gas yang diketahui. Nilai resistansi beban yang rendah menghasilkan sensitivitas yang rendah, sedangkan nilai resistansi beban yang tinggi menghasilkan sensitivitas yang tinggi. Sensor gas memiliki berbagai aplikasi, termasuk pemantauan kualitas udara, deteksi kebocoran gas, dan pengendalian proses industri.

#### 5.5.11 Dust Sensor

Sensor debu, atau *dust sensor*, adalah alat yang digunakan untuk mendeteksi dan mengukur konsentrasi partikel debu atau partikel padat di udara. Sensor ini bekerja dengan berbagai prinsip, tergantung pada jenisnya. Salah satu jenis sensor debu yang umum digunakan adalah sensor debu optik berbasis inframerah. Sensor debu optik berbasis inframerah umumnya digunakan dalam sistem pembersih udara dan aplikasi lain yang memerlukan pemantauan kualitas udara terkait dengan partikel debu. Sensor ini dapat membantu dalam mendeteksi dan mengukur konsentrasi partikel debu di udara, sehingga memungkinkan untuk mengambil tindakan yang diperlukan untuk menjaga kualitas udara yang baik.

## 5.6 Smart Bin (Proses Pewadahan)

Proses ini dilakukan untuk memonitoring keterisian pada kontainer sampah sehingga pengangkutan sampah dapat dilakukan dengan efisien. Peralatan yang digunakan yaitu kontainer sampah di pemukiman bangunan tapak, kontainer sampah di bangunan vertikal & fasilitas umum dan container sampah di jalan & ruang terbuka publik. Sensor yang dipasang pada smart bin mempunyai fungsinya masing – masing untuk menunjang sistem smart waste management. Ilustrasi pemasangan dapat dilihat pada **Gambar 5.4**. Secara umum ketersediaan sensor pada *smart bin* hanya terdapat pada pasar global, sehingga perlu adanya impor sensor tersebut untuk diimplementasikan di IKN.



Gambar 5.4 Ilustrasi Penempatan Sensor pada Smart Bin

### 5.6.1 Spesifikasi *Smart Bin* Minimum

Spesifikasi minimum pada smart bin mempunyai kriteria terdapatnya sensor-sensor yang dapat monitoring tingkat keterisian sampah (*fill level monitoring*), dan mempunyai indikator dan alarm tingkat keterisian sampah (*fill level monitoring*). Untuk memenuhi kriteria tersebut, sensor yang terpasang pada *smart bin*, yaitu:

#### 5.6.1.1 *Ultrasonic Sensor* dan indikator keterisian

Ultrasonic Sensor berfungsi sebagai alat untuk mendeteksi keterisian sampah, sehingga tingkat keterisian sampah dapat dilihat pada indikator pada masing – masing *smart bin*. Terdapat beberapa merk *ultrasonic* yang tersedia di pasar global, yaitu :

- a. **Sensoneo**  
Sensoneo menawarkan sensor ultrasonik yang dapat mendeteksi berbagai macam sampah (kertas, plastik, kaca, pakaian, makanan elektronik) di berbagai jenis tipe sampah. Sensor ini mempunyai range pengukuran 3 cm sampai dengan 12 meter, dapat mengukur hingga 2 menit sekali, menggunakan baterai dan bersertifikasi IP69. (Sensirion 2023)
- b. **Smarter Technologies**  
Sensor yang dimiliki oleh Smarter Technologies menggunakan daya baterai yang dapat bertahan selama 3 tahun, mengukur berbagai macam sampah, dan mudah dipasang pada tempat sampah. (Smarter 2023)
- c. **WasteHero**  
Sensor ultrasonik buatan WasteHero mempunyai fitur baterai yang dapat bertahan selama 5 tahun, mudah dipasang pada tempat sampah, mempunyai hasil pengukuran dengan akurasi yang baik dan *3D waste topology mapping*, berdimensi 112x51x41 mm dan IP rating IP67. (WasteHero 2023)

#### 5.6.1.2 Humidity Sensor

Berfungsi untuk mendeteksi tingkat kelembaban *smart bin*, sehingga dapat diketahui isi sampah dari smart bin mempunyai kelembaban yang tinggi atau rendah. Kelembaban yang tinggi dapat memicu bau yang tidak sedap pada sebuah *smart bin*. Berikut adalah *humidity sensor* yang terdapat pada pasar global.

- a. **Sensirion**  
*Humidity sensor* dengan merk Sensirion mempunyai fitur dapat mengukur kelembaban sekaligus temperatur, mempunyai tingkat akurasi  $\Delta RH = \pm 1.5\% RH$  dan  $\Delta T = \pm 0.1^\circ C$ , mempunyai IP rating IP67 dan waktu respon 4 detik. (Sensirion 2023)
- b. **SensorPush**  
Merk ini mempunyai produk *humidity sensor* dengan ketahanan baterai hingga 2 tahun, dapat mengukur kelembaban dan temperatur sekaligus, mempunyai akurasi pengukuran  $\pm 2\% RH / \pm 0.2^\circ C$ , dapat menyimpan data secara internal hingga setiap 1 menit dan selama 1 bulan, mempunyai dimensi 40 x 40 x 16,5 mm dan berat 23 g. (Sensorpush 2023)
- c. **Banner Engineering**  
Banner Engineering mempunyai produk yang dapat mengukur kelembaban dan temperatur, mempunyai konstruksi yang kuat dengan bahan alumunium, mempunyai akurasi  $\pm 2\% RH$  dan  $\pm 0.3^\circ C$ . (Banner 2023)

## 5.6.2 Spesifikasi *Smart Bin* Rekomendasi

Spesifikasi rekomendasi pada *smart bin* mempunyai kriteria sama dengan spesifikasi minimum, ditambah dengan adanya sensor untuk menandai lokasi *smart bin*, sensor untuk mengukur berat sampah di setiap smart bin, agar dapat menampilkan data *mass balance*, dan adanya dashboard dan control room untuk menampilkan data dan memberikan notifikasi. Untuk memenuhi kriteria tersebut, sensor dan peralatan yang terpasang pada smart bin yaitu:

### 5.6.2.1 GPS Sensor

Sensor ini berfungsi untuk memberikan data berupa lokasi *real time* dari *smart bin*, sehingga pengangkutan sampah dapat dilakukan secara efisien berdasarkan tingkat keterisian sampah. Sensor ini juga berfungsi sebagai penanda *smart bin* mana saja yang harus ditambah / dikurangi kapasitasnya. Produk GPS sensor yang tersedia di pasar global ada yang sudah terintegrasi dengan sensor lainnya seperti pada merk Sensoneo dan Smarter Technologies. Berikut adalah sensor GPS yang dapat dipasang pada smart bin.

#### a. SmartEnds Track & Trace

Produk ini dapat melacak keberadaan lokasi dari *smart bin* secara *real time*, melakukan *tracking*, mempunyai fitur anti pencurian, data yang disimpan berbasis Cloud, mempunyai dimensi 8 8x62x33 mm, IP rating IP67, menggunakan baterai yang dapat tahan selama 3 tahun dan dapat berkomunikasi dengan jaringan LoRaWan, LTE, BLE dan menggunakan sinyal GPS, GLONASS. (Smartends 2023)

### 5.6.2.2 Load Sensor

Sensor ini digunakan untuk menghitung *mass balance* yang didapat dari berat sampah yang ditampung pada smart bin, sehingga dapat dilihat berapa pengurangan massa yang diraih dengan sistem *smart waste management*. Berikut adalah produk load sensor yang terdapat pada pasar global.

#### a. Bin Trac

Sensor keluaran Bin Trac ini mempunyai fitur mudah dipasang, tidak butuh kalibrasi diawal pemasangan, tahan dari risiko tersambar petir, *frame* bentuk “A” yang kokoh, dapat mengukur berat hingga 1 ton. (Bintrac 2023)



### 5.6.2.3 Dashboard

Peralatan ini digunakan untuk menampilkan data yang didapat dari masing – masing sensor yang terpasang pada *smart bin* pada *control room* pusat, sehingga seluruh data tersebut dapat dikirim secara cepat dan *real time* setiap waktu. Berikut adalah produk dashboard yang dapat dipasang pada *smart bin* di pasar global.

a. Sensoneo Smart Waste Management Software System

Produk ini dapat menampilkan data secara *real time* berupa *digital map*, *street view*, keterisian, keberadaan *smart bin*, *database* laporan masyarakat, jadwal pengangkutan sampah dengan tampilan yang menarik. (Sensoneo 2023)

b. ThingsBoard Cloud

Produk ini dapat menampilkan data *real time* berupa peta penempatan *smart bin*, keterisian *smart bin*, statistik data *smart bin*, dan status baterai pada sensor yang terpasang. (Thingsboard 2023)

### 5.6.3 Spesifikasi *Smart Bin* Optimum

Spesifikasi optimum pada *smart bin* mempunyai kriteria sama dengan spesifikasi rekomendasi, ditambah dengan adanya analisis data dengan kecerdasan buatan (AI) untuk memberikan rekomendasi kebutuhan *smart bin*, adanya panel surya sebagai catu daya untuk efisiensi energi, dan adanya *compactor* untuk memadatkan sampah sehingga keterisian *smart bin* dapat dioptimalkan. Untuk memenuhi kriteria tersebut, peralatan yang terpasang pada *smart bin* yaitu:

#### 5.6.3.1 Panel Surya

Panel surya berfungsi sebagai catu daya dari sistem elektrikal *smart bin*, dengan digunakannya panel surya maka efisiensi energi yang digunakan semakin tinggi sesuai dengan konsep IKN yang mengedepankan kota hijau. Spesifikasi panel surya disesuaikan dengan kebutuhan daya yang diperlukan pada masing – masing *smart bin*. Berikut adalah produk panel surya untuk *smart bin* yang terdapat pada pasar dalam negeri.

a. Wedosolar Indonesia

Mempunyai berbagai produk panel surya yang dapat diaplikasikan pada berbagai macam penggunaan, mempunyai fitur mikroprosesor dan *Specialized Control Algorithms* untuk mencapai control cerdas, proteksi pengisian dan pemakaian power yang canggih, perlindungan dari kelebihan pengisian, kekurangan pengisian, dan kelebihan beban. (Wedosolar 2023)

b. Sun Energy

Merupakan penyedia panel surya yang telah berpengalaman pada berbagai sektor yaitu berbagai industri, institusi pendidikan, perkantoran, tempat tinggal baik di Indonesia ataupun di internasional. Mempunyai alat *monitoring* yang sudah dilengkapi dengan kecerdasan buatan sehingga sistem dapat mendeteksi, menginformasikan dan mendiagnosa masalah secara pintar secara *real time* setiap waktu. (Sun 2023)

### 5.6.3.2 Fitur Kecerdasan Buatan (AI)

Fitur ini digunakan untuk memonitor, mengevaluasi dan memberikan informasi sekaligus rekomendasi kebutuhan *smart bin* pada setiap lokasi. Dengan adanya kecerdasan buatan ini, efisiensi penggunaan *smart bin* akan semakin tinggi setiap waktunya. Berikut adalah penyedia fitur AI untuk *smart bin* pada pasar global.

a. Sensoneo

Produk yang dimiliki oleh Sensoneo dapat memprediksi kapan *smart bin* akan penuh sesuai dengan data yang didapat sebelumnya dan dapat mengatur kembali distribusi *smart bin* pada suatu wilayah. (Sensoneo 2023)

### 5.6.3.3 Compactor dan Pressure Sensor

Peralatan ini berfungsi untuk memadatkan sampah sehingga keterisian dan kapasitas *smart bin* dapat dioptimalkan. Dengan begitu jumlah *smart bin* yang dipasang pada suatu tempat akan lebih optimal sesuai dengan jenis sampah yang ada. Berikut adalah penyedia *smart bin* yang sudah melengkapi tempat sampahnya dengan *compactor*.

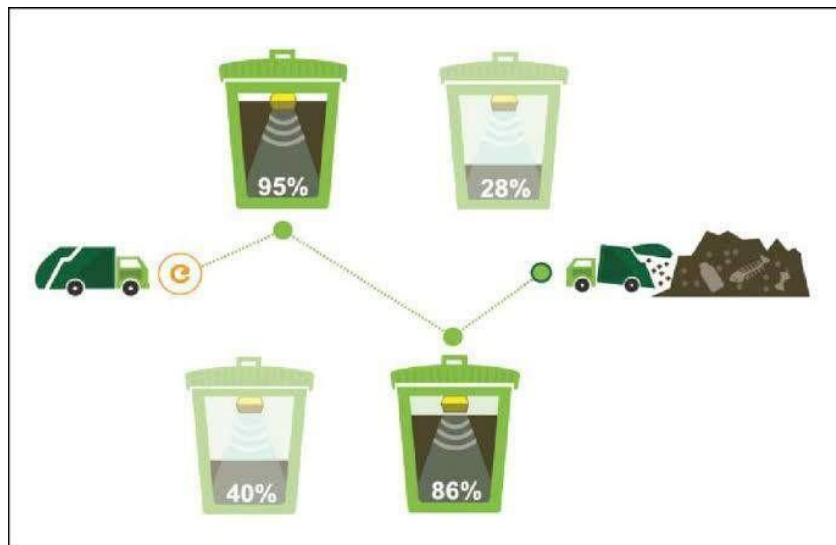
a. Ecubelabs

Produk dari Ecubelabs dapat menampung sampah hingga 5 kali lipat dari tempat sampah konvensional, dan dapat mengurangi intensitas pengangkutan sampah hingga 80 %. (Ecubelabs 2023)

## 5.7 (Smart Fleet) Proses Pengangkutan

Proses ini dilakukan untuk mengoptimalkan pengangkutan sampah sehingga lebih cepat dan hemat energi. Peralatan yang digunakan dalam proses ini yaitu armada truk dan sistem rute pengangkutan sampah. Armada truk yang digunakan yaitu berupa truk dengan nol emisi dan dilengkapi dengan *compactor* sampah. *Compactor* sampah berfungsi sebagai peralatan pemadat sampah sehingga pengangkutan sampah dapat dimaksimalkan kapasitas

nya dan meningkatkan efisiensi pengangkutan sampah. Pada **Gambar 5.5** merupakan ilustrasi penempatan peralatan dan sensor pada *smart fleet*.



Gambar 5.5 Ilustrasi Penempatan Peralatan dan Sensor pada Smart Fleet

### 5.7.1 Spesifikasi *Smart Fleet* Minimum

Smart fleet dengan spesifikasi minimum mempunyai kriteria adanya sensor yang dapat melacak lokasi keberadaan dari tiap armada truk pengangkut sampah, mempunyai penjadwalan pengangkutan sampah yang sudah ditetapkan pada di awal perencanaan dan mempunyai peralatan *compactor* sampah. Berikut adalah peralatan dan sensor yang digunakan untuk memenuhi kriteria tersebut

#### 5.7.1.1 GPS Sensor for Fleet

Merupakan sensor GPS yang didesain untuk digunakan pada armada fleet , yang dapat dipantau oleh penyedia pengangkutan. Berikut adalah beberapa penyedia produk GPS sensor yang ada di pasar dalam negeri.

a. NPSafety System Jakarta

Mempunyai produk gps sensor untuk armada truk pengangkutan dengan fitur *software fleet management, driver behavior monitoring, fuel management*, keamanan armada dari pencurian dan dapat ditampilkan pada dashboard yang informatif. (NPSafety 2023)

b. Lacak.io

Produk dari penyedia GPS sensor ini mempunyai fitur *live fleet tracker*, pemantauan konsumsi bahan bakar, monitor beban muatan pada armada, *manpower management app* dan dilengkapi dengan satu dashboard yang ringkas. (Lacak.io 2023)

### 5.7.1.2 Pressure Sensor for compactor

Sensor ini berfungsi untuk memastikan *compactor* dapat berfungsi dengan baik dalam memadatkan sampah di armada truk *smart fleet*. Berikut adalah uraian produk *pressure sensor for compactor* yang ada di pasar global.

#### a. Gems Sensor

Produk ini mempunyai spesifikasi dapat digunakan pada tekanan hingga 7000 psi, bersertifikasi MIL-STD 202G, IPX7, IPX9K, dan IP6KX, juga dapat digunakan pada jangka waktu yang lama karena sudah di tes selama 2 juta kali pemakaian. (Gems 2023)

### 5.7.2 Spesifikasi *Smart Fleet* Rekomendasi

Spesifikasi ini mempunyai kriteria yang sama dengan spesifikasi *smart fleet* minimum ditambah dengan adanya sistem penentuan rute yang dilakukan oleh perangkat lunak supaya pengangkutan sampah dapat berjalan dengan efisien sesuai dengan keadaan dan kebiasaan masyarakat dalam membuang sampah. Untuk mencapai kriteria tersebut, berikut adalah peralatan yang digunakan pada *smart fleet*.

#### 5.7.2.1 *Routing System* (Sistem Penentuan Rute)

Perangkat lunak yang tersedia di pasar global ini merupakan peralatan yang dirancang khusus untuk pengangkutan sampah. Ada beberapa penyedia perangkat lunak tersebut, yaitu

#### a. Routeware

Produk ini mempunyai fitur yang dapat meningkatkan efisiensi pengangkutan sampah, mengurangi biaya bahan bakar hingga 25 % dengan meminimalkan perjalanan yang tidak perlu, *route planning and design* dan *cost modeling*. (Routeware 2023)

#### b. Evreka

Penyedia produk ini menawarkan produk dengan fitur berupa perangkat lunak perencanaan rute berdasarkan tingkat keterisian sampah pada *smart bin* dan *fleet management* yang dapat menampilkan bagaimana pengemudi armada truk di jalan raya. (Evreka 2023)

### 5.7.3 Spesifikasi *Smart Fleet* Optimum

Spesifikasi *smart fleet* optimum mempunyai kriteria spesifikasi yang sama dengan rekomendasi ditambah dengan adanya fitur penjadwalan berbasis kecerdasan buatan, sehingga dalam analisa dan penjadwalan armada pengangkutan sampah dapat dilakukan secara otomatis dan dapat menyesuaikan dari waktu ke waktu. Untuk mencapai kriteria tersebut, maka berikut adalah peralatan yang digunakan pada *smart fleet*.

#### 5.7.3.1 Penjadwalan berbasis Kecerdasan Buatan (*AI Scheduling*)

Berikut adalah beberapa penyedia perangkat lunak yang dapat melakukan penjadwalan berbasis kecerdasan buatan yang tersedia di pasar global untuk penggunaan *smart fleet*.

a. Sensoneo

Perangkat lunak yang dimiliki oleh Sensoneo dapat melakukan evaluasi rute pengangkutan dan dapat memberikan masukan atas rute mana yang lebih efisien sesuai dengan keadaan di lapangan dengan algoritma yang canggih, sehingga dapat mengurangi biaya pengangkutan sampah hingga 63 %. (Sensoneo 2023)

b. NextBillion.ai

Perangkat lunak dari NextBillion.ai dapat melakukan optimasi rute pengangkutan sampah dengan cara membagi wilayah sesuai dengan data yang telah dikumpulkan di lapangan sehingga rute pengangkutan bisa lebih pendek dan efisien. (Nextbillion.ai 2023)

## 5.8 3R (*Reduce Reuse Recycle*) dan MRF (*Material Recovery Facility*)

Proses ini dilakukan untuk memastikan sampah telah terpisah sesuai dengan klasifikasinya dan untuk mengolah sampah sehingga massa dalam sampah tersebut dapat tereduksi dengan baik. Proses ini dilakukan pada Hanggar 1 dan 2. Sensor yang digunakan pada masing – masing peralatan berfungsi untuk meningkatkan efisiensi dari proses pemisahan dan pengolahan sampah. Selain itu peralatan pemisahan yang terpasang di Hanggar 1 dan 2 tersebut juga perlu dibuat sistem *preventive maintenance* yang baik, terutama untuk peralatan Grab Crane, Hoist Crane dan Shredder.

### 5.8.1 Spesifikasi 3R MRF Minimum

Kriteria dalam spesifikasi ini adalah adanya peralatann berupa sensor yang dapat memonitoring tingkat keterisian sampah (*fill level monitoring*) di setiap bunker, dan hopper, juga dengan adanya indikator dan alarm tingkat keterisian sampah (*fill level monitoring*) sehingga proses dapat dilakukan secara aman dan efisien. Selain itu, adanya Sensor untuk monitoring performa operasi di beberapa alat, seperti *insinerator*, *rotary dryer*, *boiler*, dan lainnya juga adanya sensor untuk monitoring *environmental compliance*, terutama di sistem gas buang. Untuk memenuhi kriteria tersebut, maka berikut adalah sensor yang perlu digunakan pada masing - masing peralatan proses.

#### 5.8.1.1 Ultrasonic Sensor di Bunker

Sensor ini digunakan untuk mengetahui tingkat keterisian bunker sehingga tidak ada bunker yang kelebihan muatan. Sensor yang tersedia di pasar global yaitu

a. Bin Master

Produk ini dapat mengetahui tingkat keterisian bunker lalu dapat divisualisasikan dalam bentuk 3D yang informatif, mempunyai range hingga 61 meter dan mempunyai IP rating IP67. (Master 2023)

#### 5.8.1.2 Ultrasonic sensor dan IR sensor di Hopper

Sensor ini digunakan untuk mendeteksi keterisian dari umpan sampah yang akan masuk ke dalam *hopper* sehingga dapat mencegah terjadinya *overflow* pada peralatan *hopper*. Berikut adaah sensor yang terdapat pada pasar global

a. Baumer

Sensor ini dibuat khusus untuk peralatan hopper sehingga mudah dipasang pada hopper, dan dapat mendeteksi sampah yang akan masuk ke dalam *hopper*. (Baumer 2023)

b. Cumberland

Sensor ini mudah untuk dipasang di *hopper*, mudah dalam perawatan, dapat diatur intensitasnya, tahan dari risiko terkena air dan debu. (Cumberland 2023)



### 5.8.1.3 Fire Sensor di Shredder

Merupakan sensor pendeteksi api untuk mencegah adanya kebakaran dari gesekan kuat yang terjadi antara sampah dan *shredder*. Berikut adalah produk yang tersedia di pasar global.

a. Ortho Engineering

Produk ini dapat mendeteksi percikan api pada shredder, dapat bekerja pada temperatur dari 250<sup>0</sup>C hingga 400<sup>0</sup>C dan mempunyai *field of view* sebesar 360° x 180°. (Ortho 2023)

### 5.8.1.4 Pressure Sensor di Pressure Machine

Cara kerja sensor ini sama dengan sensor yang terpasang pada *smart fleet*, dan sensor yang tersedia di pasar global juga sama dengan yang terpasang pada *smart fleet* yaitu dari merk Gems Sensor.

### 5.8.1.5 Thermocouple di Rotary Dryer

Merupakan sensor yang dapat menampilkan data temperature pada peralatan *rotary dryer* sehingga proses pengeringan sampah dapat berjalan secara optimal dan dapat dipantau secara terus menerus. Berikut adalah sensor *thermocouple* untuk *rotary dryer* yang tersedia pada pasar dalam negeri.

a. Tempsens Asia Jaya

Produk *thermocouple* yang ditawarkan mempunyai variasi spesifikasi material yang bermacam – macam sesuai dengan temperatur yang diinginkan pada saat proses pengeringan sampah. (Tempsens 2023)

### 5.8.1.6 Odour Sensor di Odour Control

Sensor ini berfungsi sebagai pengukur kadar bau dari aroma yang ditimbulkan dari timbunan sampah yang mempunyai kelembaban tinggi. Dengan adanya sensor ini, kadar bau dapat dikendalikan sehingga *safety* dalam bekerja dapat dijamin. Berikut adalah odour sensor yang tersedia pada pasar global.

a. Oizom

Produk ini merupakan produk dengan teknologi yang sudah dipatenkan, dapat terhubung dengan jaringan, mempunyai panel surya sendiri dan dapat mendeteksi

kandungan *Sulfur Dioxide* (SO<sub>2</sub>), *Hydrogen sulfide* (H<sub>2</sub>S), *Ammonia* (NH<sub>3</sub>) dan lainnya. (Oizom 2023)

#### 5.8.1.7 *Thermocouple dan Flame Sensor untuk Incinerator*

Sensor *thermocouple* berperan untuk mengukur temperature dalam sebuah *incinerator* dan *flame sensor* berpesan untuk memastikan burner dapat beroperasi dengan baik. Berikut adalah produk dari sensor tersebut di pasar global.

a. HT-Guide

Merupakan salah satu merk *thermocouple* yang mendesain produknya untuk digunakan pada waste incinerator, produk tersebut menggunakan material spesial *nichrome alloy armored couple core* sehingga tahan karat, panas dan tahan erosi. Dapat digunakan hingga temperature 1300<sup>0</sup>C. (HT-Guide 2023)

b. Fireeye

Produk dari Fireeye didesain untuk digunakan pada *burner waste incinerator*, menggunakan *ultraviolet flame scanners* (UV), *infra-red flame scanners* (IR) dan *dual sensor flame scanners* (UV & IR). Dapat digunakan untuk *burner* dengan bahan bakar gas ataupun bahan bakar minyak. (Fireeye 2023)

#### 5.8.1.8 *Temperature sensor dan pressure sensor di Boiler*

Sensor tersebut berfungsi sebagai pengukur temperature dan tekanan di dalam boiler, sehingga proses akan berjalan dengan optimal. Berikut adalah produk dari sensor tersebut yang tersedia di pasar global dan dalam negeri.

a. Temco Control

Mempunyai produk *Boiler stack temperature sensor and thermowell* yang didesain untuk mengukur temperature dalam *boiler* hingga 300<sup>0</sup>C, menggunakan material *stainless steel probe, spun metal with no weld*. (Temco 2023)

b. Tarifa Indonesia

Didesain untuk dipergunakan pada *industrial boiler*, dapat mengukur tekanan uap *boiler* hingga 600 psig (41.4 bar), terbuat dari 316 *stainless steel* dan anti karat. (Tarifa 2023)

#### 5.8.1.9 *Gas Sensor dan Temperatur Sensor di Combustion gas facility*

Temperatur sensor di *Combustion gas facility* dapat menggunakan sensor yang sama dengan yang digunakan pada *boiler* yaitu Temco Control. Gas sensor berperan dalam

mengukur kadar gas buang yang terkandung dalam *combustion gas facility* sehingga kadar gas tersebut bisa terjaga dan sesuai dengan aturan yang berlaku. Berikut adalah produk gas sensor yang ada di pasar global dan dalam negeri.

a. Horiba

Horiba mempunyai produk gas sensor yang dapat mengukur kadar NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>. Kandungan gas tersebut merupakan kandungan gas yang penting untuk dijaga kadar nya dalam *combustion gas facility*. (Horiba 2023)

b. Yokogawa Indoensia

Mempunyai produk yang dapat mengukur kadar gas O<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, secara kontinyu pada temperature hingga 1500°C. (Yokogawa 2023)

#### 5.8.1.10 Gas Sensor di *Air Supply* dan *Exhaust Facility*

Gas sensor yang digunakan pada *air supply* dan *exhaust facility* dapat menggunakan gas sensor yang sama pada produk Horiba dan Yokogawa Indonesia, sensor tersebut juga dapat mengukur kadar oksigen untuk menjaga efisiensi dari *incinerator*.

#### 5.8.1.11 *Thermocouple* dan *Dust Control* di *Incinerator Ash*

*Thermocouple* pada *incinerator ash* dapat menggunakan *thermocouple* pada *incinerator* karena mempunyai material yang tahan karat, panas dan tahan erosi. *Dust control* merupakan sensor yang dapat mengukur kadar debu yang berasal dari *ash* sisa proses pembakaran di *incinerator*. Berikut adalah produk *dust control* yang ada pada pasar global.

a. Imperial Systems

Produk tersebut dapat mengukur keterisian dust collector, mudah diinstal, menggunakan daya rendah dan mempunyai harga yang terjangkau disbanding kompetitor sejenis. (Imperial 2023)

#### 5.8.1.12 *Dust collector* di *Stack / Chimney*

Menggunakan sensor yang sama dengan *incinerator ash* yaitu *dust collector* untuk memastikan tidak ada debu yang tertinggal di *Stack / Chimney*.

## 5.8.2 Spesifikasi 3R MRF Rekomendasi

Spesifikasi 3R MRF rekomendasi mempunyai kriteria yang sama dengan spesifikasi minimum ditambah dengan adanya pengukuran berat sampah di bunker untuk kalkulasi mass balance, adanya dashboard control room untuk menampilkan data dari masing – masing sensor yang juga dapat memberikan notifikasi kepada operator, dan juga adanya sensor pengukur kualitas RDF (*Refuse Derived Fuel*). Untuk mencapai kriteria tersebut, maka diperlukan pemasangan sensor dan peralatan di bawah ini.

### 5.8.2.1 Load sensor untuk Mass Balance

Menggunakan load sensor yang sama dengan smart bin, disesuaikan dengan berapa estimasi maksimum berat pada bunker di hangar 1 dan 2.

### 5.8.2.2 SCADA untuk Dashboard Control Room

SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) adalah arsitektur sistem pengontrol yang terdiri dari komputer, komunikasi data jaringan dan antarmuka pengguna grafis untuk pengawasan mesin dan proses tingkat tinggi. Dengan adanya SCADA, maka seluruh sensor yang dipasang dapat ditampilkan dan di analisa oleh operator di dalam *control room*. Berikut adalah produk SCADA yang dibuat untuk pengolahan sampah.

a. Ferrazza SINACON Waste SCADA

Produk ini dapat memonitor parameter proses yang terjadi di 3R MRF seperti temperatur, kadar gas dan lain lain. Data parameter juga dapat di rekam sehingga bisa digunakan untuk evaluasi proses ke depannya. (Ferazza 2023)

### 5.8.2.3 RDF Sorting Sensor

Merupakan sensor yang dapat mendeteksi kualitas dari RDF secara *real time*. Dengan adanya sensor tersebut, kualitas produk RDF mempunyai karakteristik yang seragam sehingga mempunyai nilai yang baik. Berikut adalah produk sensor untuk RDF yang ada di pasa global.

a. Tomra

Mempunyai sensor yang mempunyai tingkat presisi yang tinggi, dilengkapi dengan perangkat lunak yang dapat menganalisa kualitas RDF (Calorific, water & chlorine). (Tomra 2023)

### 5.8.3 Spesifikasi 3R MRF Optimum

Spesifikasi 3R MRF optimum mempunyai kriteria yang sama dengan spesifikasi rekomendasi ditambah dengan menggunakan lengan robot pemisah sampah untuk efisiensi proses, dan adanya analisa menggunakan kecerdasan buatan (AI). Untuk mencapai kriteria tersebut, berikut adalah peralatan yang digunakan pada spesifikasi optimum.

#### 5.8.3.1 *Robotic Sorting*

Dengan adanya *robotic sorting* dalam pemilahan sampah, maka efisiensi dapat ditingkatkan karena penggunaan manpower semakin efisien, dan proses pemilahan dapat dilakukan sepanjang hari tanpa henti. Berikut adalah produk robotic sorting untuk pemilahan sampah yang terdapat di pasar global.

a. AMP Robotics

AMP Robotics mempunyai produk *high-speed robotic sorting* yang mempunyai akurasi sampai dengan 99% dengan kecepatan pengambilan sampah hingga 80 pengambilan per menit. Teknologi tersebut juga ditunjang dengan adanya teknologi kecerdasan buatan yang tertanam dalam robot tersebut. Robot tersebut juga sudah terpasang pada fasilitas pemilahan sampah di kota – kota dunia seperti Virginia, Michigan. (AMP 2023)

b. Recycleye

Recycleye mempunyai teknologi robot pemilah sampah dengan kecepatan 33.000 pengambilan sampah dalam durasi waktu 10 jam, robot tersebut juga dapat digunakan hingga 24 jam selama 7 hari nonstop untuk meningkatkan efisiensi. (Recycleye 2023)

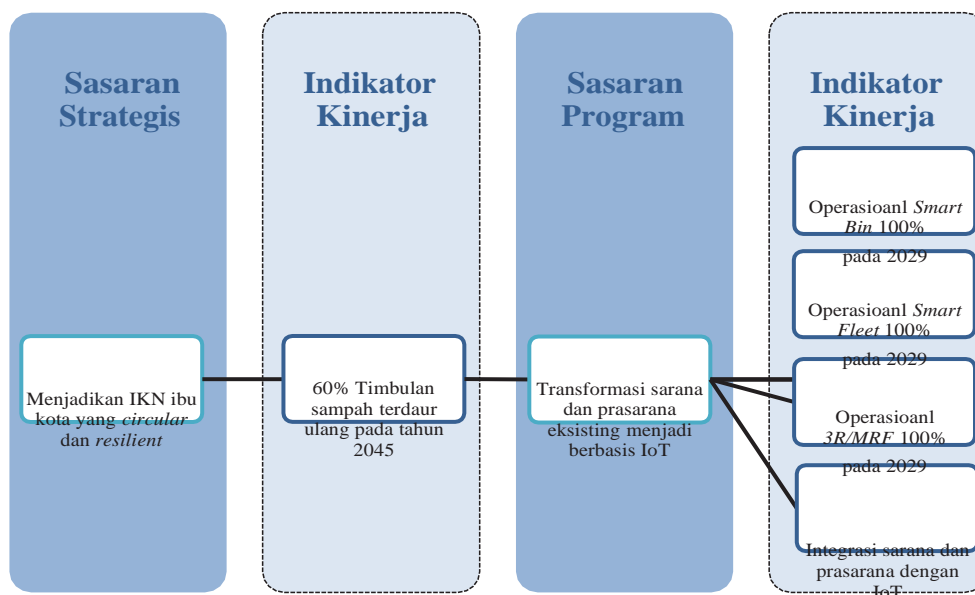
#### 5.8.3.2 Teknologi Kecerdasan Buatan (AI)

Teknologi AI yang digunakan dapat menggunakan teknologi dari AMP Robotics yang mempunyai teknologi kecerdasan buatan yang tertanam dalam robot tersebut.

# 6

## REKOMENDASI RENCANA AKSI MENUJU *SMART WASTE MANAGEMENT*

Dalam proses transformasi dari pengelolaan sampah konvensional ke menjadi *Smart Waste Management*, diperlukan langkah-langkah yang efektif dan komprehensif. Indikator kinerja berupa target keterbangunan dan waktu *delivery*. Sasaran strategis dan sasaran program sudah terdefiniskan dalam rencana pengembangan KIPP-IKN yang disusun OIKN. Berlandaskan hal tersebut, sasaran program dapat diturunkan menjadi indikator kinerja. *Smart Bin*, *Smart Fleet*, dan 3R MRF pada kondisi optimum di targetkan akan tersedia di seluruh Sub BWP 1A, 1B, dan 1C pada akhir tahun 2029. Secara paralel, sistem terbangun dan diintegrasikan dengan infrastruktur IoT yang dimonitor dan dikendalikan melalui sistem kontrol terpusat.



Gambar 6.1 Rencana Pengembangan dan Indikator Smart Waste Management KIPP-IKN

Disamping infrastruktur fisik, perlu di perhatikan aspek-aspek lain sebagai bagian dari *Integerated Smart Waste Management System for Samrt City*. Tanpa aspek peraturan, kelembagaan, pembiayaan, dan partisipasi masyarakat, sarana prasaran smart waste management tidak akan bisa berjalan sempurna. Tabel 6.1 menunjukkan indikator pemutakhiran dari setiap aspek untuk menunjang tercapainya transformasi smart waste management system.



Tabel 6.1 Rencana Program untuk Transformasi Umum dari Conventional Waste Management menuju Smart Waste Management

Aspek	Pemutakhiran
Peraturan	1. Penyusunan Perkada terkait integrasi infrastruktur sanitasi dengan infrastruktur teknologi informasi 2. Penyusunan Perkada terkait keamanan data pengguna
Kelembagaan	1. Lembaga Pengawas kegiatan 2. Lembaga Pengelola kegiatan (KPBU, BLUD, BUMD)
Pembiayaan	1. Penyusunan system smart retribution dan smart budgeting
Teknis Operasional	1. Rencana yang di susun pada table 5.1 akan perlu disesuaikan dengan rencana induk pengelolaa sampah yang sedang disusun
Partisipasi Masyarakat	1. Edukasi dan Sosialisasi system Smart Waste Management 2. Penegakan hukum terhadap pelanggaran terkait Perkada Pengelolaan Sampah yang akan dibuat

Untuk mencapai target 100% operasional pada tahun 2029, diperlukan penahapan Pembangunan yang terarah. Arahkan terkait Pembangunan sarana prasana smart waste management dari tahap pra-perencanaan, perencanaan, dan Pembangunan dapat dilihat pada tabel 6.2

Tabel 6.2 Rincian Kegiatan Rencana Pengembangan dan Penerapan Smart Waste Management System di KIPP-IKN

Jenis Kegiatan	Uraian Kegiatan	Jangka Waktu	Target yang Akan Dicapai	Batas Waktu Pelaksanaan
Perencanaan	Identifikasi jumlah sarana prasana yang terbangun (wadah sampah, armada pengangkutan sampah, dan TPST)	Jangka Pendek 1 – 2 Tahun	Tersedianya data inventaris data sarana prasaranan pengelolaan sampah yang terbangun.	Tahun 2025
	Optimalisasi Rencana Induk Pengelolaan Sampah eksisting	Jangka Pendek 1 – 2 Tahun	Tersusun evaluasi Rencana Induk Eksisting dan Strategi Optimalisasinya	Tahun 2025

Jenis Kegiatan	Uraian Kegiatan	Jangka Waktu	Target yang Akan Dicapai	Batas Waktu Pelaksanaan
	Penerapan <i>Smart System</i> pada 5 aspek pengelolaan sampah	Jangka Pendek 1 – 2 Tahun	Tersusun evaluasi Rencana Induk Eksisting dan Strategi Optimalisasinya	Tahun 2025
Penyusunan <i>Basic Design</i> (BD)	Identifikasi DED dari sarana prasarana pengelolaan sampah yang sudah terbangun	Jangka Pendek 1 – 2 Tahun	Terdapat kompilasi data DED dari sarana prasarana pengelolaan sampah yang sudah terbangun	Tahun 2025
	Penyusunan BD terkait sarana prasarana pengelolaan sampah yang terintegrasi oleh IOT	Jangka Pendek 1 – 2 Tahun	Tersusunnya dokumen BD terkait sarana prasarana pengelolaan sampah yang terintegrasi oleh IOT	Tahun 2026
Pengadaan	Mengadakan <i>market sounding</i> untuk sarana dan prasarana pengelolaan sampah berbasis IOT	Jangka Pendek 1 – 2 Tahun	Tersusunnya katalog vendor sarana dan prasarana pengelolaan sampah berbasis IOT	Tahun 2025
	Pelelangan pengadaan <i>Smart bin, smart fleet, dan 3R MRF</i>	Jangka Pendek 1 – 2 Tahun	Terpilihnya vendor pengadaan <i>Smart bin, smart fleet, dan 3R MRF</i>	Tahun 2025
Implementasi	Pembangunan sarana prasarana pengelolaan sampah berbasis IOT	Jangka Menengah 2 – 5 Tahun	Terbangunnya sarana prasarana pengelolaan sampah berbasis IOT	Tahun 2029
Monitoring dan Evaluasi	Monitoring dan evaluasi hasil penerapan <i>Smart Waste Management System</i> setiap tahunnya.	Jangka Panjang 10 Tahun	Dokumen <i>Plan, Do, Check, Action</i> di setiap tahunnya	Tahun 2040

SOP (Standar Operasional Prosedur) yang baik adalah langkah awal untuk memahami dan menjalankan suatu proses dengan efisien dan efektif. Dalam konteks smart waste managemnt, SOP menjadi instrumen penting untuk memastikan bahwa setiap tahapan di dalamnya dilaksanakan dengan konsisten dan sesuai oleh operator dan pusat kontrol.

Dalam tabel 6.3, dapat dilihat langkah-langkah rinci yang harus diikuti oleh operator dan pusat kontrol dalam pengelolaan sensor di dalam proses pengolahan sampah. Dengan menjalankan SOP ini, diharapkan dapat tercipta suatu sistem yang terorganisir, aman, efisien, dan ramah lingkungan dalam mengelola sampah.

No.	Kegiatan	Aktivitas Sensor	Pelaksana	
			Operator	Pusat Kontrol
<b>SMART BIN</b>				
1	User memasukkan sampah ke dalam smart bin.	Ultrasonic Sensor aktif merekam data keterisian kedalam data logger.		Menerima data dari lapangan dan memasukkan kedalam database
		Load sensor merekam berat sampah harian.		Menerima data dari lapangan dan memasukkan kedalam database
		GPS sensor sebagai penanda lokasi sampah		Melacak lokasi smart bin dari sinyal GPS
2	Smart Bin sudah terisi penuh	Indikator sensor berubah warna menjadi merah.  Perubahan warna dari Hijau → Kuning → Merah yang menandakan level keterisian	Menerima informasi dan perintah dari dashboard.  Mengeluarkan sampah dari smart bin dan mengunduh data logger	Memberi perintah armada untuk mengangkut sampah dari bin yang sudah mencapai level merah.  Menerima data pengangkutan harian.

No.	Kegiatan	Aktivitas Sensor	Pelaksana	
			Operator	Pusat Kontrol
<b>SMART FLEET</b>				
1	Pengumpulan dan Pengangkutan Sampah	Rute pengangkutan terekam dalam sensor GPS	Memindahkan sampah dari smart bin ke dalam truk	Merekam data posisi secara live
		Saat kapasitas penuh, pressure sensor pada kompaktor akan memberi sinyal.	Pengumpulan sampah di hentikan, truk membawa sampah ke TPST	Menugaska armada cadangan untuk melanjutkan kegiatan pengangkutan.
		Routing system dan AI Route		Evaluasi data keterisian, ritasi, dan jalur truk untuk optimasi pengangkutan
<b>3R MRF</b>				
1	Sampah masuk ke Area Penerima	Ultrasonic sensor memberi sinyal saat area penuh dan/atau hopper penuh.	Operator menerima perintah dari pusat control dan mengatur laju sampah yang masuk, atau melihat apakah ada oversized material yang masuk.	Pusat control menerima sinyal dan memberi perintah ke operator
2	Pemilahan Sampah	Robot Sorting	Mengawasi kegiatan pemilahan secara periodik	Monitoring dan control dari robot sorting
3	Pencacahan Sampah	Sensor mendeteksi akumulasi panas dan asap jika timbul	Operator memeriksa kondisi pencacah. Dilakukan pembersihan jika jamming. Dilakukan pemadaman jika ada asap.	Pusat control menerima sinyal dan memberi perintah ke operator
4	Pengeringan Sampah	Thermocouple memonitor data temperature burner dan dryer		Memastikan kestabilan temperature. Meningkatkan atau menurunkan temperature dryer jika diperlukan.

No.	Kegiatan	Aktivitas Sensor	Pelaksana	
			Operator	Pusat Kontrol
5	RDF Production	RDF sensor mengukur kualitas RDF yang diproduksi	Menyisihkan RDF yang kualitas nya tidak sesuai standar	Melakukan monitoring terhadap kualitas produk. Memberi perintah ke operator jika ada anomaly.
6	Pembakaran Sampah	Thermocouple memonitor data temperature insinerator		Memastikan kestabilan temperature. Menaikkan atau menurunkan temperature insinerator
		Fire flame sensor mendekteksi jika ada kebakaran	Menghentikan aktifitas produksi, mengevakuasi fasilitas, melakukan pemadaman	Menerima sinyal, memberi perintah ke operator, dan menghubungi pemadam kebakaran
		Temperature and Pressure sensor pada boiler untuk monitoring system		Memastikan kestabilan temperature. Menaikkan atau menurunkan flowrate jika diperlukan
		Flue gas composition sensor dan temperature sensor pada air pollution control unit untuk monitoring system		Memastikan karakteristik flue gas sesuai desain rencana. Melakukan pengaturan dosing reagent pada air pollution control jika diperlukan.
		Sensor debu pada bunker ash memberi sinyal jika level debu terbang melebihi ambang batas	Memantau kegiatan sprinkling hingga level debu turun	Menerima sinyal dan menyalakan sprinkler untuk menurunkan level debu. Memerintahkan operator untuk memantau kegiatan sprinkling

No.	Kegiatan	Aktivitas Sensor	Pelaksana	
			Operator	Pusat Kontrol
		Sensor gas, temperature, dan debu pada stack untuk monitoring kualitas flue gas. Memberi sinyal saat ada anomali	Melakukan pengecekan menyeluruh sesuai arahan pusat kontrol	Menerima sinyal dan melakukan <i>preemptive measure</i> saat kualitas flue gas turun dengan menaikkan flow rate dari IDF. Memberi perintah kepada oprator.

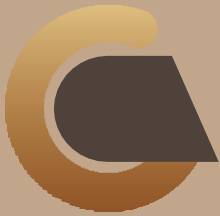


# 7

## PENUTUP

Pedoman ini perlu disempurnakan dengan melakukan penyusunan *Basic Design* (BD) dengan cakupan infrastruktur pengelolaan dan pemrosesan sampah yang terintegrasi jaringan *Internet of Things* (IoT) untuk menciptakan sistem yang terhubung secara digital dalam manajemen sampah. Selain itu, arsitektur *big data* diperlukan sebagai fondasi untuk kecerdasan buatan yang bertujuan untuk meningkatkan proses pengambilan keputusan dalam manajemen *smart city* secara keseluruhan dan secara khusus pada *smart waste management*. Hal ini dilakukan untuk memperkaya pengelolaan kota yang cerdas dengan pemanfaatan data dalam skala besar sehingga dapat mendukung keputusan strategis dalam optimalisasi pengelolaan sampah yang cerdas dan efisien.

Berdasarkan pedoman ini, maka selanjutnya dapat dikembangkan pembahasannya untuk integrasi aspek-aspek pengelolaan sampah yang lain seperti *Smart Financing* (Pembiayaan Cerdas) dan *Smart Governance* (Pemerintahan Cerdas). *Smart Financing* mengacu pada pemanfaatan teknologi untuk mengelola dan mendukung aspek keuangan dalam pengelolaan sampah secara cerdas melalui pemantauan pengeluaran dan pendapatan, dan pemodelan keuangan. *Smart Governance* melibatkan pemanfaatan teknologi untuk meningkatkan transparansi, akuntabilitas, dan partisipasi dalam pengelolaan sampah melalui pemantuan kinerja, partisipasi masyarakat, dan transparansi dan akuntabilitas. Dengan adanya dua transformasi di atas, *smart waste management* dapat diterapkan secara holistik.



## DAFTAR PUSTAKA

- Al Hashami, A. M, and R Victor. "Evaluation of treated wastewater produced by five different Sewage Treatment Plants using three different technologies-Oman experience." *International Journal of Environmental Studies*, 1-21, 2021.
- AMP. 2023. <https://www.amrobotics.com/robotic-system>.
- Andreottola, G, P Foladori, and G Gatti. "Upgrading of a small overloaded activated sludge plant using a MBBR system." *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 38(10), 2317-2328, 2016.
- Antaranews. *PDAM Kudus bakal bangun dua embung*. Desember 26, 2017. <https://jateng.antaranews.com/berita/187021/pdam-kudus-bakal-bangun-dua-embung>.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Kudus. *Buku Dalam Angka Kabupaten Kudus 2019*. Kudus: Badan Pusat Statistik Kabupaten Kudus, 2019.
- . *Buku Dalam Angka Kabupaten Kudus 2020*. Kudus: BPS, 2020.
- . *Buku Dalam Angka Kabupaten Kudus 2021*. Kudus: Badan Pusat Statistik Kabupaten Kudus, 2021.
- . *Profil Ketenagakerjaan Kabupaten Kudus*. Kudus: GEAgraphics, 2019.
- Badan Standardisasi Nasional. "SNI 03-7065-2005 tentang Tata Cara Perencanaan Sistem Plambing." Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2005.
- Badan Standardisasi Nasional. "SNI 6774: 2008 tentang Tata cara perencanaan unit paket instalasi pengolahan air." 2008.
- . "SNI 6774:2008 tentang Tata cara perencanaan unit paket instalasi pengolahan air." Jakarta: BSN, 2008.
- Banner. 2023. <https://www.bannerengineering.com/us/en/products/wireless-sensor-networks/wireless-sensors/m12f-temperature-and-humidity-sensors-wireless.html?sort=4#all>.
- BAPPEDAKUDUS. *Letak Geografis Kudus*. 2019. <https://bappeda.kuduskab.go.id>.
- Bappenas. "Buku Platform Sistem Pengelolaan Persampahan." 2022.
- Barth, Linard, Lukas Scheiger, Rodolfo Benedech, and Matthias Ehrat. "From Data to Value in Smart Waste Management: Optimizing Solid Waste Collection With a Digital Twin-based Decision Support System." 2023.

- Baumer. 2023. <https://www.baumer.com/us/en/solutions/feeder-technology/filling-level-monitoring-in-the-parts-hopper/a/Filling-level-monitoring>.
- Bintrac. 2023. <https://bintrac.com/products-bin-scale-system/bin-weighing-module/>.
- Borchard, Rebecca, Roman Zeiss, and Jan Recker. “Digitalization of Waste Management: Insights from German Private and Public Waste Management Firms.” 2022.
- Cumberland. 2023. [https://www.cumberlandpoultry.com/en\\_US/products/feed-delivery-and-storage/ir-hopper-sensor.html](https://www.cumberlandpoultry.com/en_US/products/feed-delivery-and-storage/ir-hopper-sensor.html).
- Dinas Cipta Karya dan Tata Ruang Kabupaten Kudus . *Review Rencana Induk Sistem Penyediaan Air Minum (RISPAM) Kabupaten Kudus*. Kudus, 2016.
- Dinas Cipta Karya dan Tata Ruang Kabupaten Kudus. “Timbulan Sampah di Kabupaten Kudus.” Kudus, 2020.
- Dinas Kesehatan Kabupaten Pringsewu. *Sosialisasi 5 Pilar STBM*. Oktober 18, 2019. <https://dinkes.pringsewukab.go.id/detailpost/sosialisasi-5-pilar-stbm#:~:text=STBM%20adalah%20pendekatan%20untuk%20mengubah,penyelenggaraan%20Sanitasi%20Total%20Berbasis%20Masyarakat>.
- Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Kudus. “Infrastruktur di Kabupaten Kudus.” Kudus, 2021. 45-75.
- Direktorat Jenderal Cipta Karya. “Penyusunan Rencana Induk Sistem Pelayanan Air Minum (RI-SPAM) Standar/Kriteria Perencanaan.” 2016.
- Direktorat Jendral Cipta Karya PUPR. *Pedoman Perencanaan Teknik Terinci Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018.
- Ditjen Cipta Karya. *Pedoman Perencanaan Teknik Terinci Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018.
- . *Pedoman Perencanaan Teknik Terinci Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018.
- Ditjen Cipta Karya PU. *Kriteria Perencanaan Air Bersih*. Jakarta: Kementerian PUPR, 1996.
- Ditjen Cipta Karya PU. *Modul Proyeksi Kebutuhan Air dan Identifikasi Pola Fluktuasi*. Jakarta: Kementrian PUPR, 2018.
- Ecubelabs. 2023. <https://www.ecubelabs.com/solar-powered-trash-compactor/>.
- Evreka. 2023. <https://evreka.co/blog/waste-routing-software-paving-the-way-for-smart-waste-management/>.
- Ferazza. 2023. <https://www.automazioneindustrialeferazza.it/scada-system-waste-disposal-plants/?lang=en>.

- Fireeye. 2023. <https://www.fireeye.com/applications/Municipal-Waste-Incinerator>.
- Gutierrez, Jose M., Michael Jenses, Morten Henius, and Tahir Riaz. “Smart Waste Collection System Based on Location Intelligence.” 2015.
- Hidayati, N, A. E Afiuddin, and E Yulianto. “Pengaruh Dosis Koagulan-Flokulan Dalam Menurunkan Kandungan Zinc Dan Fosfat Di Waste Water Treatment Plant (WWTP) PT POMI.” *In Conference Proceeding on Waste Treatment Technology Vol. 1, No. 1*, 2018: pp. 119-124.
- Horiba. 2023. <https://www.horiba.com/int/applications/energy-and-environment/electric-utilities/gas-monitoring-power-plant/>.
- HT-Guide. 2023. <https://www.ht-guide.com/thermocouple/Special-thermocouple-for-waste-incinerator.html>.
- Imperial. 2023. <https://www.isystemsweb.com/dust-collection-equipment/dust-level-sensor/>.
- ISKNews. *Embung Ngemplak Bakal Jadi Destinasi Wisata Mancing Mania Andalan di Kudus*. Desember 28, 2019. <https://isknews.com/embung-ngemplak-bakal-jadi-destinasi-wisata-mancing-mania-andalan-di-kudus/>.
- Jurnal Teknik Lingkungan UNDIP. “Penentuan Status Mutu Badan Air Berdasarkan Metode Indeks kualitas Air–National Sanitation Foundation sebagai Pengendalian Kualitas Lingkungan.” *Jurnal Teknik Lingkungan, Vol. 6, No. 1*, 2017: 1-30.
- Kantor Lingkungan Hidup. “Laporan Status Lingkungan Hidup Daerah Kabupaten Kudus.” Pemerintah Kabupaten Kudus, 2014.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. *Rencana Induk Sistem Penyediaan Air Minum*. Kudus: Pemerintah Kabupaten Kudus, 2016.
- . *Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik - Terpusat Skala Permukiman*. Jakarta: Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2016.
- Kementerian PUPR. “Dokumen Basic Engineering Design Persampahan BWP 1.” 2021.
- . *Dokumen Rencana Induk Terintegrasi (RIT)*. 2021.
- Kementerian PUPR. “Rencana Terpadu dan Program Investasi Infrastruktur Jangka Menengah (RPI2-JM) Kabupaten Kudus.” <https://sippa.ciptakarya.pu.go.id>, 2015.
- Kementerian PUPR. “Sinkronisasi dan Inventarisasi Sistem Pengelolaan Sanitasi (Air Limbah Domestik dan Persampahan) di KIPP IKN.” 2023.
- Kementerian PUPR. “Urban Design Development KIPP-IKN Sub WP 1B & 1C.” 2023.
- Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. “Rencana Induk Sistem Penyediaan Air Minum Kudus.” Pemerintah Kabupaten Kudus, 2016.

- Kementrian PUPR. “Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 03/PRT/2013 tentang Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga.” 2013.
- Lacak.io. 2023. <https://lacak.io/>.
- Master, Bin. 2023. <https://www.binmaster.com/applications/storage-bunker.html>.
- Menteri Kesehatan Republik Indonesia . “Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492/Menkes/Per/IV/2010.” Jakarta : Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2010.
- Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan. “PermenLHK Nomor 68 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.” Jakarta, 2016.
- Metcalf, and Eddy. *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery 5th Edition*. McGraw-Hill, 2014.
- Motley , E., S. Qasim , and G. Zhu. *Water Works Engineering*. New Jersey: Pentice Hall, 2000.
- Muzakky, A. “Evaluasi dan Desain Ulang Unit Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Industri Tekstil di Kota Surabaya Menggunakan Biofilter Tercelup Anaerobik-Aerobik.” *Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 2016.
- Nextbillion.ai. 2023. <https://nextbillion.ai/solutions/waste-collection>.
- NPSafety. 2023. <https://www.npsafety.co.id/>.
- Oizom. 2023. <https://oizom.com/product/odosense-odour-monitoring-system/>.
- Ortho. 2023. <https://www.orthos.co.uk/orthos-products/fire-protection-firefly-spark-detection-systems/shredder-guard/>.
- Otorita Ibu Kota Nusantara. *Buku Panduan Implementasi*. 2022.
- PDAM Kabupaten Kudus. “Rencana Penambahan RBAT PDAM Kabupaten Kudus.” In *RISPAM Kabupaten Kudus*. 2020.
- Pemerintah Kabupaten Kudus . “Peraturan Daerah Kabupaten Kudus Nomor 4 Tahun 2017 tentang Pengelolaan Sampah .” Kudus, 2017.
- Pemerintah Kabupaten Kudus. “Penyusunan Review RPIJM Bidang Cipta Karya Kabupaten Kudus Tahun Anggaran 2011.” In *Rencana Pembangunan Wilayah Kabupaten Kudus*, 46. Kudus, 2011.
- . “Peraturan Daerah Kabupaten Kudus No. 1 Tahun 2019 Tentang.” Kudus, 2019. 398.
- . “Peraturan Daerah Kabupaten Kudus No. 16 Tahun 2012 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Kudus Tahun 2012-2031.” Kudus, 2012. 138.

- . *Rencana Aksi Daerah Air Minum dan Penyehatan Lingkungan Kabupaten Kudus*. Kabupaten Kudus: Pemerintah Kabupaten Kudus, 2012.
- . *Strategi Sanitasi Kabupaten Kudus*. Kudus: Pemerintah Kabupaten Kudus, 2020.
- Pemerintah Republik Indonesia. “Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.” Jakarta: Kementerian Sekretariat Negara Republik Indonesia, 2021.
- PermenPUPR. “Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No. 04/PRT/M/2017 tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik.” Jakarta, 2017.
- Perusahaan Daerah Air Minum Kudus . *About PDAM Kudus*. 2021. <https://www.pdam-kudus.co.id/>.
- “Pokja Sanitasi Kabupaten Kudus.” 2015. [https://sippa.ciptakarya.pu.go.id/sippa\\_online/ws\\_file/dokumen\\_usulan/ssk/SSK\\_33-19-2015.pdf](https://sippa.ciptakarya.pu.go.id/sippa_online/ws_file/dokumen_usulan/ssk/SSK_33-19-2015.pdf).
- PT. PLN (Persero) UPJ Kudus. “Energi Listrik di Kabupaten Kudus.” Kudus, 2020.
- Recycleye. 2023. <https://recycleye.com/robotics-3/>.
- Risdianto, D. “Optimisasi proses koagulasi flokulasi untuk pengolahan air limbah industri jamu (studi kasus PT. Sido Muncul).” *Magister Teknik Kimia, Universitas Diponegoro, Semarang*, 2015.
- Routeware. 2023. <https://routeware.com/route-optimization-for-solid-waste/>.
- Rusli, M. M. R. I, N Narwati, and K Khambali. “Color, Bod5, and Cod Degradation Using Electrocoagulation Method on Batik Wastewater in Sidoarjo.” *In Prosiding Seminar Nasional Kesehatan Poltekkes Kemenkes Surabaya (Vol. 1, No. 1, pp. 78-84)*, 2019.
- Safitri, Kiki. *PUPR maksimalkan layanan air minum dengan program 100-0-100*. September 13, 2018. <https://nasional.kontan.co.id/news/pupr-maksimalkan-layanan-air-minum-dengan-program-100-0-100#:~:text=Program%20100%2D0%2D100%20ini,sanitasi%20layak%20pada%20tahun%202019.&text=Pemerintah%20menjamin%20penguasaan%20sumber%20daya%20air%20bagi%20kepentingan>.
- Samsuhadi. “Tata Cara Pemilihan Lokasi IPLT dan IPAL dengan Menggunakan Sistem Skor .” *Jurnal Teknik Lingkungan* , 2012: 157 - 168.
- Sensirion. 2023. <https://sensirion.com/products/catalog/SHT45/>.
- . 2023. <https://sensirion.com/products/catalog/SHT45/>.
- Sensoneo. 2023. <https://sensoneo.com/product/smart-waste-management-system/>.



- . 2023. <https://sensoneo.com/product/smart-waste-management-system/>.
- . 2023. <https://sensoneo.com/route-planning/>.
- Sensorpsh. 2023.
- Sidiq, Fatah Hidayat. *Perahu Wisata Bendungan Logung Kudus Dilarang Beroperasi*. Juni 18, 2019. <https://www.posjateng.id/gaya-hidup/perahu-wisata-bendungan-logung-kudus-dilarang-beroperasi-b1XhK9bFi>.
- Smartends. 2023. <https://www.smartends.com/smartends-track-trace-bin-theft-prevention-with-gps-sensor>.
- Smarter. 2023. <https://smartertechnologies.com/bin-levels/>.
- Sun. 2023. <https://sunenergy.id/technology>.
- Tarifa. 2023. [http://www.tarifaindonesia.com/index.php?Itemid=131&option=com\\_content&view=frontpage](http://www.tarifaindonesia.com/index.php?Itemid=131&option=com_content&view=frontpage).
- Temco. 2023. <https://temcocontrols.com/shop/boiler-stack-temperature-sensor-well/>.
- Tempsens. 2023. <http://www.tempsens-asia.com/product-subcategory/thermocouple>.
- Thingsboard. 2023. <https://thingsboard.io/docs/paas/solution-templates/waste-management/>.
- Tomra. 2023. <https://www.tomra.com/en/waste-metal-recycling/products/machines/autosort-rdf>.
- Trubetskaya, A, J Kling, O Ershag, T. M Attard, and E Schröder. “Removal of phenol and chlorine from wastewater using steam activated biomass soot and tire carbon black.” *Journal of hazardous materials*, 365, 846-856, 2019.
- WasteHero. 2023. <https://wastehero.io/hardware/smart-bin-sensor/>.
- Wedosolar. 2023. <https://www.wedosolarindonesia.com/produk/solar-power-system/>.
- Yokogawa. 2023. <https://www.yokogawa.com/id/library/resources/application-notes/real-time-o2-measurement-at-garbage-incinerators-improves-combustion-efficiency-and-reduction-in-nox-and-co/>.
- Yusuf, Fahrudin. “Objek Daya Tarik Wisata Religi Menara Kudus dan Makam Sunan Kudus Perspektif Sapta Pesona.” 2018.
- Zaman, Atiq. “An Application of a Machine Learning Model to Identify and Measure Household Waste Contamination - A Case Study in Australia.” *Waste Management 4.0*, 2022.