

Zero-Waste-Based Design and Operational System Planning of 3R Waste Facilities for Green Campus

Perencanaan Desain dan Sistem Operasional Fasilitas Pengolahan Sampah 3R Berbasis Zero
Waste untuk Green Campus

Dwi Vanesha Salsabilah, Praditya Sigit Ardisty Sitogasa

Program Studi Teknik Lingkungan
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur
Jl. Rungkut Madya, Gn. Anyar, Kec. Gn. Anyar, Surabaya, Jawa Timur 60294

Email: praditya.s.tl@upnjatim.ac.id

Abstract - Domestic and academic activities at UPN "Veteran" Jawa Timur generate significant amounts of solid waste, while the existing management system still applies a conventional linear approach (collect-transport-dispose). This study aims to identify existing conditions, analyze waste characteristics, and formulate a technical design for a Zero Waste-based TPS 3R facility. Sampling results showed that waste generation reached 943.641 kg/day (11.525 m³/day), dominated by food waste (26.52%) and garden waste (12.43%), followed by cardboard (8.57%), PP/Polypropylene plastic (7.63%), and LDPE/Low Density Polyethylene plastic (7.34%). The absence of source segregation causes mixed waste to enter the facility, resulting in low recovery rates and high dependence on landfill disposal. To improve management efficiency, a TPS (Tempat Penampungan Sementara) 3R (Reduce, Reuse, Recycle) operational scenario was developed by directing organic waste to Black Soldier Fly (BSF) bioconversion and In-Vessel Composting, recyclable inorganic materials to the recycling industry, non-recyclable plastics to Refuse Derived Fuel (RDF) and pyrolysis processes, and hazardous waste (B3) to licensed operators. This integrated management system reduces final landfill residue and achieves a waste reduction target of 72,81%. The facility is designed with a one-way operational flow consisting of receiving and sorting areas, processing units, product storage, leachate treatment, residue storage, offices, parking areas, and sanitation facilities.

Keywords: Zero Waste, TPS 3R, Waste Characteristics, Operational Flow, UPN "Veteran" Jawa Timur.

Abstrak – Kegiatan domestik dan akademik di UPN "Veteran" Jawa Timur menghasilkan timbunan sampah padat dalam jumlah yang signifikan, sementara sistem pengelolaan yang ada saat ini masih menerapkan pendekatan linier konvensional (kumpul-angkut-buang). Desain terapan ini bertujuan untuk mengidentifikasi kondisi eksisting, menganalisis karakteristik sampah, dan merumuskan desain teknis fasilitas TPS (Tempat Penampungan Sementara) 3R (Reduce, Reuse, Recycle) berbasis Zero Waste. Hasil sampling menunjukkan bahwa timbunan sampah mencapai 943,641 kg/hari (11,525 m³/hari), yang didominasi oleh sampah makanan (26,52%) dan sampah taman (12,43%), diikuti oleh kardus (8,57%), plastik PP/Polypropylene (7,63%), dan plastik LDPE/Low-Density Polyethylene (7,34%). Tidak adanya pemilahan di sumber menyebabkan sampah tercampur masuk ke fasilitas, yang mengakibatkan rendahnya tingkat pemulihan (*recovery rate*) dan tingginya ketergantungan pada pembuangan ke TPA (Tempat Pemrosesan Akhir). Untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan, dikembangkan skenario operasional TPS 3R dengan mengarahkan sampah organik ke biokonversi *Black Soldier Fly* (BSF) dan *In-Vessel Composting*, material anorganik yang layak daur ulang ke industri daur ulang, plastik yang tidak layak daur ulang ke proses *Refuse Derived Fuel* (RDF) dan pirolisis, serta limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) ke operator berizin. Sistem pengelolaan terpadu ini mengurangi residu akhir yang dibuang ke TPA dan mencapai target pengurangan sampah sebesar 72,81%. Fasilitas ini didesain dengan alur operasional satu arah yang terdiri dari area penerimaan dan pemilahan, unit pemrosesan, penyimpanan produk, pengolahan lindi (air sampah), penyimpanan residu, kantor, area parkir, dan fasilitas sanitasi.

Kata Kunci: Zero Waste, TPS 3R, Karakteristik Sampah, Alur Operasional, UPN "Veteran" Jawa Timur

1. PENDAHULUAN

Sampah adalah salah satu masalah global yang paling mendesak, terutama di daerah perkotaan dan lembaga pendidikan [1]. Kegiatan di kampus menghasilkan sampah yang terdiri dari 40–60% sampah organik, 25–40% sampah

yang bisa didaur ulang, dan 10–25% sampah yang tidak bisa didaur ulang. Fraksi organik terutama berasal dari sisa makanan dan sampah taman, sementara fraksi yang bisa didaur ulang mencakup kertas, botol plastik, dan kardus [2]. Beragam tipe sampah di kampus membutuhkan

pengelolaan yang efektif dan berkelanjutan. Namun, pengelolaan yang ada saat ini di terapkan masih konvensional, melibatkan pengumpulan, transportasi, dan pembuangan di tempat pembuangan akhir tanpa upaya pengurangan atau penggunaan kembali di sumbernya. Keberagaman jenis sampah di lingkungan kampus memerlukan pengelolaan yang efektif dan berkelanjutan [3].

Konsep *Green Campus* menempatkan pengelolaan sampah sebagai aspek penting dari keberlanjutan, di mana pengurangan sampah menjadi langkah pertama menuju kampus yang berkelanjutan [4]. Menurut Permen PU No. 03/PRT/M/2013, TPS (Tempat Penampungan Sementara) 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*) mendukung pengumpulan, pemilahan, dan daur ulang sampah skala kawasan sehingga cocok diterapkan di kawasan kampus. Sejalan dengan itu Menurut Peraturan Kementerian Pekerjaan Umum No. 03/PRT/M/2013, TPS 3R mendukung pengumpulan, pemilahan, dan daur ulang sampah secara skala kampus, sehingga cocok untuk diterapkan di lingkungan kampus. Sejalan dengan ini, Rifai et al. [5] menunjukkan bahwa penggunaan fasilitas berbasis 3R dapat mengurangi produksi sampah hingga 55,1% melalui pemilahan, daur ulang dan pengolahan organik. Konsep *Zero Waste* di perguruan tinggi terus berkembang, dan keberhasilannya sangat dipengaruhi oleh komitmen institusi [6].

Penelitian di berbagai universitas menunjukkan bahwa produksi sampah di kampus dan potensi daur ulangnya sangat bervariasi. Beberapa studi mencatat tingkat produksi sampah yang berbeda, yaitu 0,02 kg/orang/jam [7], 0,08 kg/orang/jam [8], dan 0,62 kg/orang/hari [9]. Apabila dilakukan pemilahan dari sumber, potensi daur ulang sampah juga menunjukan angka yang bervariasi, yaitu 45,44 % [10], 61,01% [8], dan 79,11% [9]. Ini menunjukkan bahwa pemilahan yang efektif memainkan peran penting dalam meningkatkan pemulihan sampah dan mengurangi residu sampah. Namun, penerapan kampus *Zero Waste* masih menghadapi tantangan berupa partisipasi komunitas akademik yang rendah, fasilitas pengelolaan yang terbatas, dan kebijakan internal kampus yang belum optimal. Oleh karena itu, dukungan yang memadai dalam hal perilaku, kebijakan, dan infrastruktur dibutuhkan untuk mengoptimalkan pengelolaan sampah di kampus.

Berdasarkan Undang-undang Republik Indonesia No. 18 Tahun 2008 [11], sampah adalah sisa padat yang berasal dari aktivitas manusia atau proses alam. Sedangkan menurut

SNI 19-2454-2002 [12], sampah adalah bahan padat organik dan anorganik yang masih memiliki potensi untuk digunakan kembali melalui pengelolaan yang tepat. Secara umum, Berdasarkan Permen PU No. 03/PRT/M/2013 [13], pengelolaan sampah mencakup pengurangan, pemilahan, pengumpulan, pengolahan, dan penanganan sampah residu. Salah satu fasilitas yang direkomendasikan adalah Tempat Pengolahan Sampah 3R (TPS 3R), yang berfungsi untuk mengurangi jumlah sampah yang dibuang ke tempat pembuangan akhir melalui kegiatan pemilahan, pengolahan, dan pemanfaatan kembali pada skala kawasan.

Melalui perencanaan pengelolaan sampah berbasis *Zero Waste* dengan memanfaatkan desain TPS 3R dan sistem operasional yang tepat, kajian mencoba mencapai tujuan untuk meningkatkan pemulihan sampah, mengurangi timbulan sampah dari sumbernya, dan menciptakan lingkungan kampus yang bersih serta berkelanjutan.

2. METODE PELAKSANAAN

Kajian desain terapan ini menggunakan pendekatan kuantitatif untuk merencanakan sistem pengelolaan sampah kampus berbasis *Zero Waste* melalui desain tempat penampungan sampah 3R dan pengembangan sistem operasional di UPN "Veteran" Jawa Timur. Data dikumpulkan melalui observasi langsung serta pengukuran timbulan sampah dan komposisinya sesuai dengan SNI 19-3964-2025 [14]. Data primer untuk 2026 dikumpulkan melalui kegiatan *sampling* yang dilakukan selama 8 hari berturut-turut di Gedung GKB 1, asrama mahasiswa, dan sapuan jalan. Selain itu, kajian ini memanfaatkan data primer dari pengukuran yang dilakukan pada 2025 di gedung rektorat dan kantin, serta data sekunder dari 2024 di gedung Fakultas Teknik.

Data tersebut digunakan untuk menghitung jumlah sampah yang dihasilkan, komposisinya dalam persentase, dan tingkat pemulihan sampah sebagai ukuran potensi daur ulang. Selanjutnya, dilakukan analisis kondisi yang ada, mencakup sistem pewadahan, pengumpulan, transportasi, dan pengolahan sampah. Hasil analisis digunakan sebagai dasar untuk membuat neraca massa guna menggambarkan aliran sampah dari sumber hingga sisa, serta mengidentifikasi potensi penggunaannya. Berdasarkan hasil ini, perencanaan fasilitas pengolahan sampah 3R dilakukan, mencakup kebutuhan luas lahan, kapasitas pengolahan, jenis fasilitas, dan pengembangan desain awal (*zoning*), yang

kemudian disempurnakan menjadi tata letak rinci dengan mempertimbangkan aspek teknis dan jalur aliran material. Selain itu, dikembangkan sistem operasional pengelolaan sampah berbasis 3R, mencakup pengumpulan, transportasi, pemilahan, dan pengolahan dalam bentuk bagan alir.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi Kegiatan

Lokasi titik perencanaan TPS 3R ditentukan berdasarkan *master plan*, dengan mempertimbangkan akses transportasi, ketersediaan lahan, dan kesesuaiannya dengan pengembangan kampus yang berkelanjutan. Lokasi kajian dan titik pengambilan sampel ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Lokasi Kegiatan dan Lokasi Sampling

Pengambilan sampel sampah dilakukan secara representatif di beberapa lokasi yang mewakili sumber-sumber timbulan sampah serupa di kampus UPN “Veteran” Jawa Timur. Data primer dari pengambilan sampel tahun 2026 diperoleh dari Gedung GKB 1, yang mewakili kegiatan akademik; asrama, yang mewakili kegiatan domestik; serta taman dan sapuan jalan, yang mewakili kegiatan kebersihan kampus. Selain itu, kajian ini menggunakan data primer dari pengambilan sampel tahun 2025 di gedung rektorat, yang mewakili kegiatan perkantoran, dan Kantin, yang mewakili kegiatan layanan makanan, serta data sekunder dari tahun 2024 di gedung Fakultas Teknik, yang mewakili kegiatan fakultas. Dengan pendekatan ini, data tentang timbulan sampah, kerapatan, dan komposisi yang diperoleh diharapkan bisa mewakili karakteristik keseluruhan timbulan sampah di kampus.

Kondisi Eksisting Pengelolaan Sampah Kampus

Pengelolaan sampah di Kampus UPN “Veteran” Jawa Timur masih menggunakan sistem konvensional dengan pola kumpul-angkut-buang. Meskipun tempat sampah

terpilah telah tersedia di beberapa gedung, kesadaran civitas akademika untuk membuang sampah sesuai jenisnya masih rendah. Akibatnya, sampah organik dan anorganik tercampur dan dikumpulkan di tempat sampah komunal tanpa pemisahan lebih lanjut. Selain itu, pengangkutan dari titik pengumpulan menuju TPS kampus belum memiliki rute dan jadwal terstruktur, sehingga berpotensi menyebabkan penumpukan sampah di beberapa lokasi.

Pada tahap akhir, TPS kampus masih berfungsi sebagai tempat transit sementara. Aktivitas yang dilakukan hanya pemilahan sederhana terhadap material anorganik bernilai ekonomis seperti botol plastik, kertas, kardus, logam, dan kaca untuk dijual kepada pengepul. Sampah organik dan residu tidak mengalami proses pengolahan sehingga sebagian besar sampah langsung diangkut ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem pengelolaan sampah yang diterapkan belum mengoptimalkan prinsip *reduce*, *reuse*, dan *recycle* (3R). Oleh karena itu, diperlukan pengembangan TPS 3R berbasis *Zero Waste* untuk meningkatkan pemanfaatan kembali material dan mengurangi jumlah residu yang dibuang ke TPA.

Timbulan Sampah

Hasil analisis timbulan sampah pada setiap fasilitas di lingkungan UPN “Veteran” Jawa Timur meliputi data timbulan harian, jumlah penduduk, serta timbulan per kapita. Data tersebut digunakan untuk menggambarkan besarnya kontribusi masing-masing fasilitas terhadap total timbulan sampah yang dihasilkan di kawasan kampus pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Timbulan Sampah Hasil Sampling pada Lokasi Representatif

Nama Fakultas / Gedung	Berat Timbulan (kg/hari)	Volume Timbulan (L/Hari)	Jumlah Penduduk (orang)	Jumlah Timbulan per Kapita (kg/orang/hari)	Jumlah Timbulan per Kapita (L/orang/hari)	Volume Timbulan (m3/hari)
***Fakultas Teknik & Sains	118,8	1425,567	4661	0,025	0,306	1,426
*Gedung Kuliah Bersama 1	9,881	249,56	4190	0,002	0,06	0,25
**Gedung Rektorat	9,921	191,542	83	0,12	2,308	0,192
*Asrama	30,828	624,048	206	0,15	3,029	0,624
**Kantin	214,66	1888,601	294	0,73	6,424	1,889
Jumlah		384,09	4379,319	9434	1,027	12,126

Keterangan :
(*) Data hasil sampling tahun 2026
(**) Data hasil sampling tahun 2025
(***) Data sampling tahun 2024 [7]

Berdasarkan **Tabel 1**, kantin merupakan penyumbang timbulan sampah terbesar mencapai 214,66 kg/hari (1,889 m³/hari) dengan timbulan per kapita sebesar 0,73 kg/orang/hari. Asrama menghasilkan 30,828 kg/hari (0,624 m³/hari) dengan timbulan per kapita 0,15 kg/orang/hari. Fakultas Teknik & Sains menghasilkan 118,8 kg/hari (1,426 m³/hari) dengan timbulan per kapita 0,025 kg/orang/hari. Gedung Rektorat menghasilkan 9,921 kg/hari (0,192 m³/hari) dengan timbulan per kapita 0,12 kg/orang/hari, sedangkan Gedung Kuliah Bersama 1 memiliki timbulan terendah yakni 9,881 kg/hari (0,25 m³/hari) dengan timbulan per kapita 0,002 kg/orang/hari. Secara keseluruhan, total timbulan sampah mencapai 384,09 kg/hari atau 4,379 m³/hari. Perbedaan timbulan tersebut menunjukkan bahwa jumlah pengguna dan karakteristik aktivitas pada setiap bangunan memengaruhi besarnya timbulan sampah yang dihasilkan. Oleh karena itu, nilai timbulan yang diperoleh digunakan sebagai dasar dalam penyusunan proyeksi timbulan dan penentuan kapasitas fasilitas pengelolaan sampah pada skala kampus. Estimasi timbulan sampah seluruh gedung dan fasilitas di lingkungan UPN “Veteran” Jawa Timur selanjutnya disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Proyeksi Timbulan Sampah Seluruh Bangunan Kampus

Nama Fakultas / Gedung	Berat Timbulan (kg/hari)	Volume Timbulan (m ³ /hari)
Fakultas Arsitektur dan Desain	40,577ss	0,487
Fakultas Kedokteran	6,423	0,077
Fakultas Ekonomi & Bisnis	135,418	1,625
Fakultas Pertanian	60,254	0,723
Fakultas Sosial dan Politik	139,828	1,678
Fakultas Hukum	37,315	0,448
Fakultas Ilmu Komputer	86,099	1,033
Gedung Kuliah Bersama 2	3,398	0,086
Gedung Wimaya	4,162	0,105
Gedung Giri Loka	1,195	0,023
Gedung Perpustakaan	11,356	0,219
Gedung BAKK	2,51	0,048
Gedung LPPM	6,574	0,127
Jumlah	535,109	6,679

Berdasarkan **Tabel 2**, timbulan sampah di setiap lokasi di UPN “Veteran” Jawa Timur menunjukkan variasi yang dipengaruhi oleh jumlah pengguna dan intensitas aktivitas. Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik menghasilkan timbulan tertinggi sebesar 139,828 kg/hari, diikuti Fakultas Ekonomi dan Bisnis dengan 135,418 kg/hari, serta Fakultas

Ilmu Komputer sebesar 86,099 kg/hari. Tingginya nilai ini disebabkan oleh padatnya kegiatan akademik dan besarnya jumlah sivitas akademika di ketiga fakultas tersebut.

Sementara itu, Fakultas Pertanian (60,254 kg/hari), Fakultas Arsitektur dan Desain (40,577 kg/hari), serta Fakultas Kedokteran (6,423 kg/hari) menghasilkan timbulan yang lebih rendah sesuai dengan perbedaan jumlah pengguna dan aktivitas yang berlangsung. Pada gedung penunjang dan administrasi, timbulan sampah cenderung lebih kecil, seperti Gedung Kuliah Bersama 2 (3,398 kg/hari), Gedung Wimaya (4,612 kg/hari), BAKPK (2,510 kg/hari), LPPM (6,574 kg/hari), dan Giri Loka (1,195 kg/hari).

Secara umum, besarnya timbulan sampah dipengaruhi oleh jumlah pengguna dan karakteristik aktivitas pada setiap bangunan. Hasil proyeksi ini memberikan gambaran distribusi timbulan sampah di seluruh kawasan kampus sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam penentuan kapasitas fasilitas dan penyusunan sistem operasional TPS 3R yang direncanakan. Selain timbulan sampah dari berbagai gedung dan fasilitas, sampah di lingkungan UPN “Veteran” Jawa Timur juga berasal dari kegiatan penyapuan jalan dan taman. Hasil perhitungan timbulan sampah penyapuan tersebut disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Timbulan Sampah Penyapuan Jalan dan Taman

Nama Jalan	Panjang Jalan (m)	Berat Timbulan (kg/m/hari)	Berat Timbulan (kg/hari)	Volume Timbulan (m ³ /hari)
Faperta - Asrama	116,452	0,023	2,725	
Tennis	51,408	0,028	1,429	
FK lama	46,92	0,02	0,938	
Parkir FEB	13,014	0,06	0,781	
Depan Giri Loka	16,774	0,02	0,335	
Pos Hukum	50,506	0,007	0,354	
Belakang FEB	10,89	0,008	0,083	
Rektorat	19,642	0,016	0,306	
Danau - Kedokteran	55,808	0,172	9,61	
Masjid - Wimaya (Vertikal)	41,558	0,02	0,831	
Masjid - Wimaya (horizontal)	28,356	0,056	1,582	
Pojok Faperta	90,498	0,044	4,018	
Faperta - TPS	33,534	0,043	1,449	0,466
Jumlah		0,517	24,442	0,466

Berdasarkan **Tabel 3**, timbulan sampah dari kegiatan penyapuan jalan dan pemeliharaan taman di UPN “Veteran” Jawa Timur dihitung menggunakan pendekatan panjang ruas jalan

dengan satuan kg/m/hari. Nilai faktor timbulan diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan menggunakan metode sampling pada segmen jalan sepanjang 5 meter, kemudian berat sampah dibagi dengan panjang segmen untuk mendapatkan nilai timbulan per meter. Selanjutnya, nilai tersebut dikalikan dengan panjang masing-masing ruas jalan untuk memperoleh total timbulan. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa total timbulan sampah dari kegiatan ini sebesar 24,442 kg/hari.

Perbedaan nilai timbulan antar ruas jalan dipengaruhi oleh karakteristik lingkungan, seperti intensitas aktivitas, kondisi kebersihan, dan keberadaan vegetasi. Secara umum, kontribusi sampah dari penyapuan jalan dan taman tergolong kecil dibandingkan timbulan dari aktivitas di dalam gedung, namun tetap perlu diperhitungkan dalam estimasi total timbulan sampah sebagai dasar penentuan kapasitas fasilitas pengelolaan sampah yang direncanakan. Dengan mempertimbangkan timbulan sampah dari fakultas, gedung penunjang, serta kegiatan penyapuan jalan, diperoleh total timbulan sampah di lingkungan UPN "Veteran" Jawa Timur.

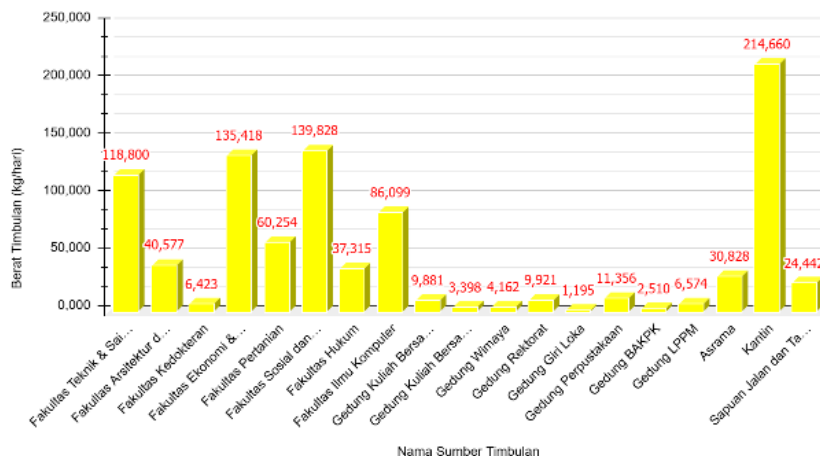
Rincian akumulasi timbulan sampah tersebut disajikan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Rekapitulasi Total Timbulan Sampah Kampus

Timbulan Sampah	kg/hari	m ³ /hari
Timbulan Sampah Fakultas dan Gedung Penunjang	384,090 + 535,109 = 919,199 kg/hari	4,379 + 6,679 = 11,059 m ³ /hari
Timbulan Sampah Sapuan Jalan	24,442 kg/hari	0,466 m ³ /hari
Total Timbulan	943,641 kg/hari	11,525 m ³ /hari

Berdasarkan Tabel 4, total timbulan sampah di lingkungan UPN "Veteran" Jawa Timur merupakan akumulasi dari sampah yang berasal dari aktivitas fakultas dan gedung serta kegiatan penyapuan jalan dan taman. Timbulan sampah dari fakultas dan gedung mencapai 919,199 kg/hari, sedangkan dari penyapuan jalan dan taman sebesar 24,442 kg/hari. Secara keseluruhan, total timbulan sampah yang dihasilkan adalah 943,641 kg/hari atau setara dengan 11,525 m³/hari. Nilai total timbulan tersebut menjadi dasar dalam menentukan kapasitas fasilitas, kebutuhan unit pengolahan, dan penyusunan sistem operasional TPS 3R berbasis *Zero Waste* yang direncanakan.

Berat Timbulan (kg/hari) Sampah Harian pada Setiap Sumber Timbulan



Gambar 2 Diagram timbulan sampah UPN "Veteran Jawa Timur

Berdasarkan **Gambar 2**, besarnya timbulan sampah di lingkungan UPN "Veteran" Jawa Timur dipengaruhi oleh karakteristik aktivitas dan jumlah pengguna pada setiap fasilitas. Kantin menjadi penyumbang timbulan sampah terbesar dengan nilai 214,660 kg/hari akibat tingginya aktivitas konsumsi yang menghasilkan sampah organik dan kemasan. Sebaliknya, gedung dengan fungsi administratif seperti Giri Loka menghasilkan timbulan yang relatif rendah, yaitu 1,195 kg/hari. Selain itu,

timbulan sampah dari kegiatan penyapuan jalan dan taman sebesar 24,442 kg/hari menunjukkan bahwa area luar kampus juga memberikan kontribusi terhadap total timbulan sampah. Secara umum, fasilitas dengan intensitas aktivitas yang tinggi cenderung menghasilkan timbulan sampah yang lebih besar. Distribusi timbulan tersebut menjadi dasar dalam menentukan prioritas pengelolaan sampah dan kapasitas fasilitas TPS 3R sesuai karakteristik masing-masing sumber timbulan.

Densitas Sampah

Pengukuran densitas sampah dilakukan secara sampling sesuai dengan SNI 19-3964-2025 dengan memilih sumber timbulan yang mewakili kelompok fungsi dan karakteristik aktivitas yang serupa. Berdasarkan hasil pengukuran, diperoleh nilai densitas rata-rata untuk masing-masing sumber timbulan sebagaimana disajikan pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Densitas Rata-Rata Sampah dari Berbagai Sumber Timbulan

Sumber Timbulan	Kg/m ³
Fakultas	83,335
Gedung Perkuliahan Bersama	39,595
Gedung Administrasi dan Penunjang	51,797
Asrama	49,399
Kantin	113,661
Sapuan Jalan	52,430

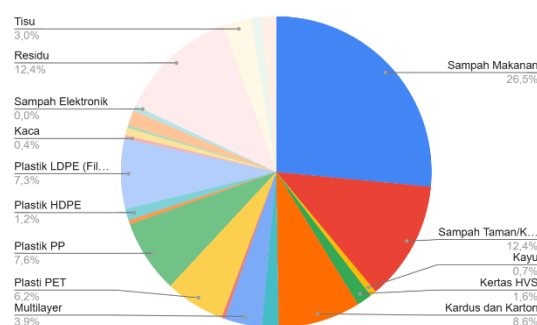
Berdasarkan **Tabel 5**, densitas sampah di setiap kelompok sumber bervariasi tergantung pada karakteristik dan komposisi sampah yang dihasilkan. Kantin menunjukkan densitas yang relatif tinggi, yaitu 113,661 kg/m³, yang terkait dengan dominannya sampah organik terutama sisa makanan yang umumnya memiliki kadar air lebih tinggi dibandingkan jenis sampah lainnya. Sebaliknya, kelompok ruang kuliah bersama memiliki densitas yang relatif rendah, yaitu 39,595 kg/m³, karena komposisi sampahnya didominasi oleh bahan yang ringan seperti kertas dan kemasan plastik. Sementara itu, kelompok fakultas, gedung administrasi dan penunjang, asrama, serta sapuan jalan memiliki densitas masing-masing sebesar 83,335; 51,797; 49,399; dan 52,430 kg/m³. Variasi nilai densitas ini menunjukkan bahwa perbedaan aktivitas pada setiap sumber menghasilkan karakteristik sampah yang berbeda sehingga memengaruhi densitas sampah. Informasi densitas tersebut digunakan sebagai dasar dalam perencanaan kebutuhan volume pewadahan, kapasitas pengangkutan, dan dimensi fasilitas pengolahan pada TPS 3R yang direncanakan.

Komposisi Sampah

Berdasarkan hasil pengambilan dan analisis sampel di lingkungan Kampus UPN "Veteran" Jawa Timur, diperoleh komposisi sampah yang menggambarkan persentase masing-masing komponen terhadap total timbulan sampah. Data komposisi tersebut disajikan pada **Gambar 3**.

Berdasarkan **Gambar 3**, sampah makanan menjadi komponen terbesar dengan jumlah 24,768 kg/hari (26,52%), diikuti oleh sampah taman/kebun sebesar 11,607 kg/hari (12,43%)

dan residu sebesar 11,582 kg/hari (12,40%). Dalam fraksi anorganik, kardus dan karton mendominasi sebesar 8,005 kg/hari (8,57%), diikuti plastik PP sebesar 7,102 kg/hari (7,60%), plastik LDPE sebesar 6,814 kg/hari (7,30%), dan plastik PET sebesar 5,804 kg/hari (6,21%). Komponen lain seperti sampah elektronik, kaca, dan kayu jumlahnya relatif kecil. Hal ini menunjukkan bahwa timbulan sampah di kampus didominasi oleh sampah organik dan kemasan yang berpotensi dimanfaatkan kembali melalui pengolahan biologis dan daur ulang. Komposisi tersebut menjadi dasar dalam pemilihan teknologi pengolahan serta penentuan kapasitas masing-masing unit pengolahan pada TPS 3R berbasis *Zero Waste* yang direncanakan.



Gambar 3. Diagram Komposisi UPN "Veteran" Jawa Timur

Neraca Massa (Mass Balance)

Penyusunan neraca massa merupakan tahapan penting dalam perencanaan teknis TPS 3R karena digunakan untuk menggambarkan aliran material pada setiap tahapan pengelolaan sampah, mulai dari proses pemilahan, pengolahan, hingga residu akhir yang memerlukan pembuangan ke tempat pemrosesan akhir (TPA). Melalui analisis neraca massa, dapat diketahui besarnya potensi pemanfaatan setiap fraksi sampah serta jumlah residu yang dihasilkan setelah seluruh proses pengelolaan dilakukan.

Dalam kajian ini, neraca massa disusun menggunakan faktor pemulihan (*recovery factor*) yang diperoleh dari berbagai literatur sebagai acuan untuk menggambarkan kondisi pengelolaan yang lebih optimal melalui penerapan pemilahan di sumber, peningkatan pemanfaatan sampah, serta optimalisasi proses pengolahan pada fasilitas TPS 3R. Hasil perhitungan neraca massa tersebut menjadi dasar dalam menentukan alur pengelolaan, kapasitas unit pengolahan, serta besarnya potensi pengurangan residu pada sistem TPS 3R yang direncanakan di UPN "Veteran" Jawa Timur. Hasil perhitungan neraca massa untuk

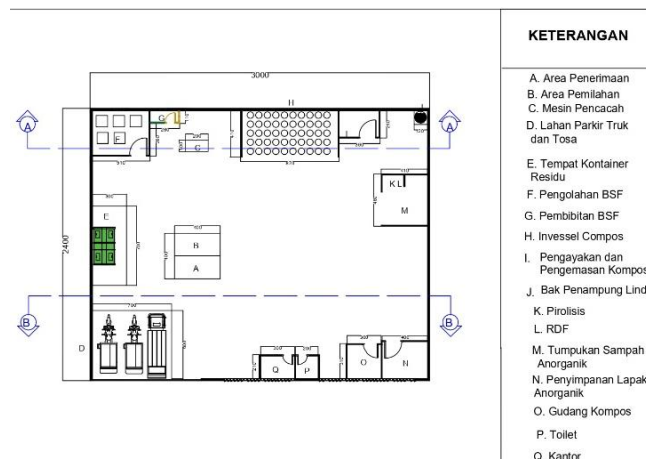
perencanaan TPS 3R di UPN “Veteran” Jawa Timur disajikan pada **Gambar 4**.

Berdasarkan **Gambar 4**, Dari total timbunan sampah sebesar 943,641 kg/hari, sebanyak 687,035 kg/hari atau 72,81% berpotensi dimanfaatkan melalui proses pemulihan material dan pengolahan di TPS 3R. Sampah organik diolah menggunakan teknologi *Black Soldier Fly* (BSF) dan *in-vessel composting*, sedangkan sampah anorganik dimanfaatkan melalui kegiatan guna ulang, daur ulang, serta pengolahan menjadi *Refuse Derived Fuel* (RDF) dan minyak pirolisis sesuai karakteristiknya. Sementara itu, limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) diserahkan kepada pengelola berizin. Berdasarkan hasil analisis neraca massa, residu yang memerlukan pembuangan ke tempat pemrosesan akhir (TPA) sebesar 256,606 kg/hari atau 27,19% dari total timbunan sampah. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem TPS 3R berbasis *Zero Waste* yang direncanakan memiliki potensi untuk mengoptimalkan pemanfaatan sampah dan meminimalkan jumlah residu yang dibuang ke TPA.

Perencanaan TPS 3R

Desain TPS 3R berbasis *Zero Waste* di Kampus UPN “Veteran” Jawa Timur dirancang dengan kapasitas *loading rate* sebesar 1,65 m³/jam dan sistem aliran satu arah. Fasilitas terdiri dari area *dropping* dan pemilahan masing-masing seluas 8 m², ruang pencacah 4 m², unit pengolahan organik menggunakan *Black Soldier Fly* (BSF) seluas 22 m² dan *in-vessel composting* seluas 34 m², area pengayakan dan pengemasan kompos 8,05 m², area pengolahan anorganik dan termal 26 m², penyimpanan lapak 13 m², bak penampung lindi 1,44 m², kontainer residu dan area manuver truk 21 m², gudang kompos 9 m², kantor 6 m², area parkir armada 42 m², serta fasilitas sanitasi 4 m².

Total luas fasilitas yang dibutuhkan adalah 206,49 m², sehingga lahan tersedia seluas 720 m² dinilai memadai untuk operasional maupun pengembangan fasilitas di masa mendatang. Kecukupan luas lahan tersebut memungkinkan seluruh unit pengolahan ditempatkan secara terintegrasi dengan alur operasional satu arah, sehingga mendukung efisiensi proses pengolahan dan meminimalkan potensi terjadinya persilangan aliran material. Secara keseluruhan, desain yang direncanakan mampu mendukung penerapan sistem pengelolaan sampah berbasis *Zero Waste* serta pencapaian target pengurangan sampah yang dibuang ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) sebesar 72,81%. Tata letak dan desain fasilitas ini ditampilkan pada **Gambar 5**.

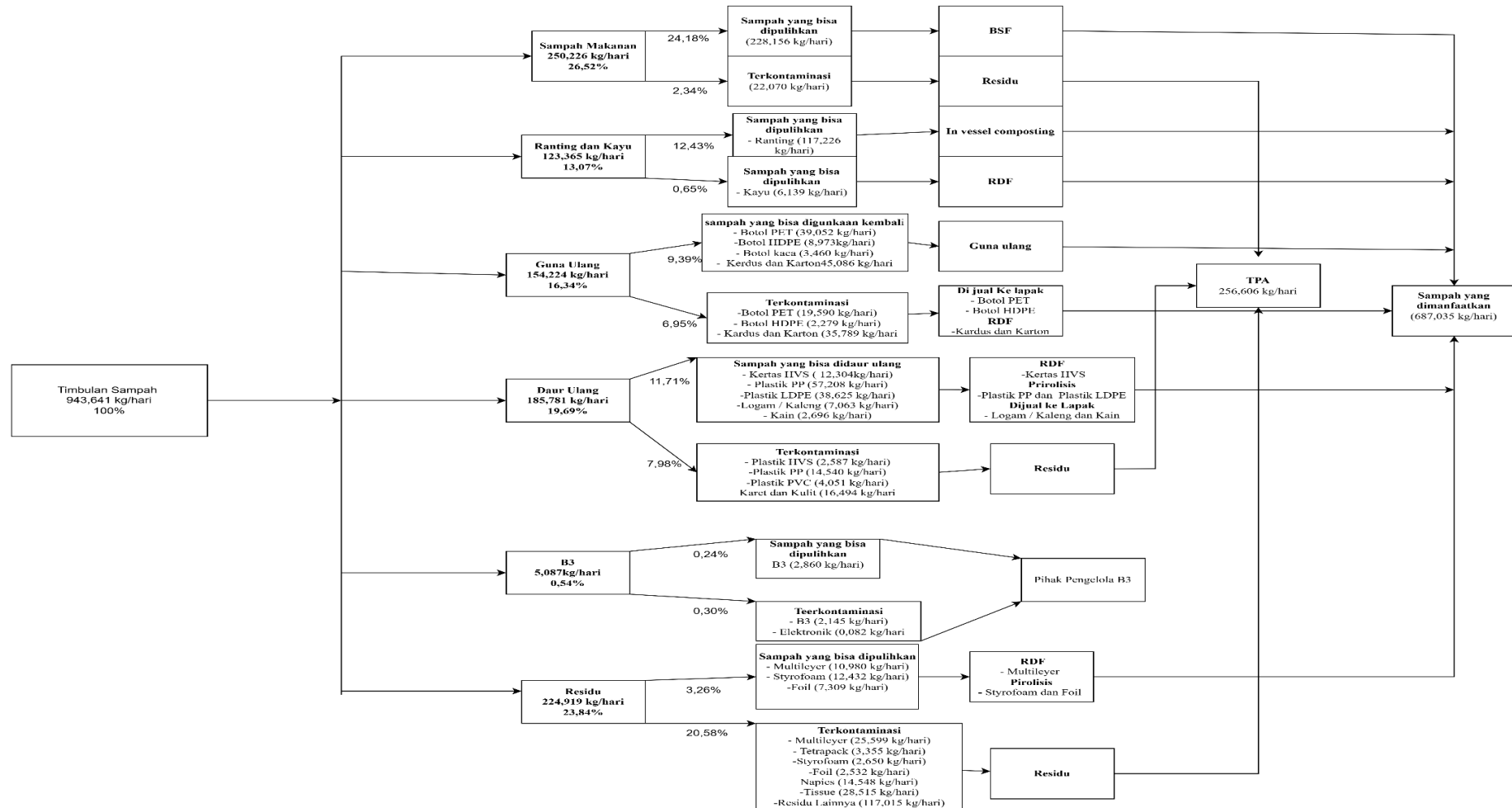


Gambar 5. Desain TPS 3R berbasis *Zero Waste*

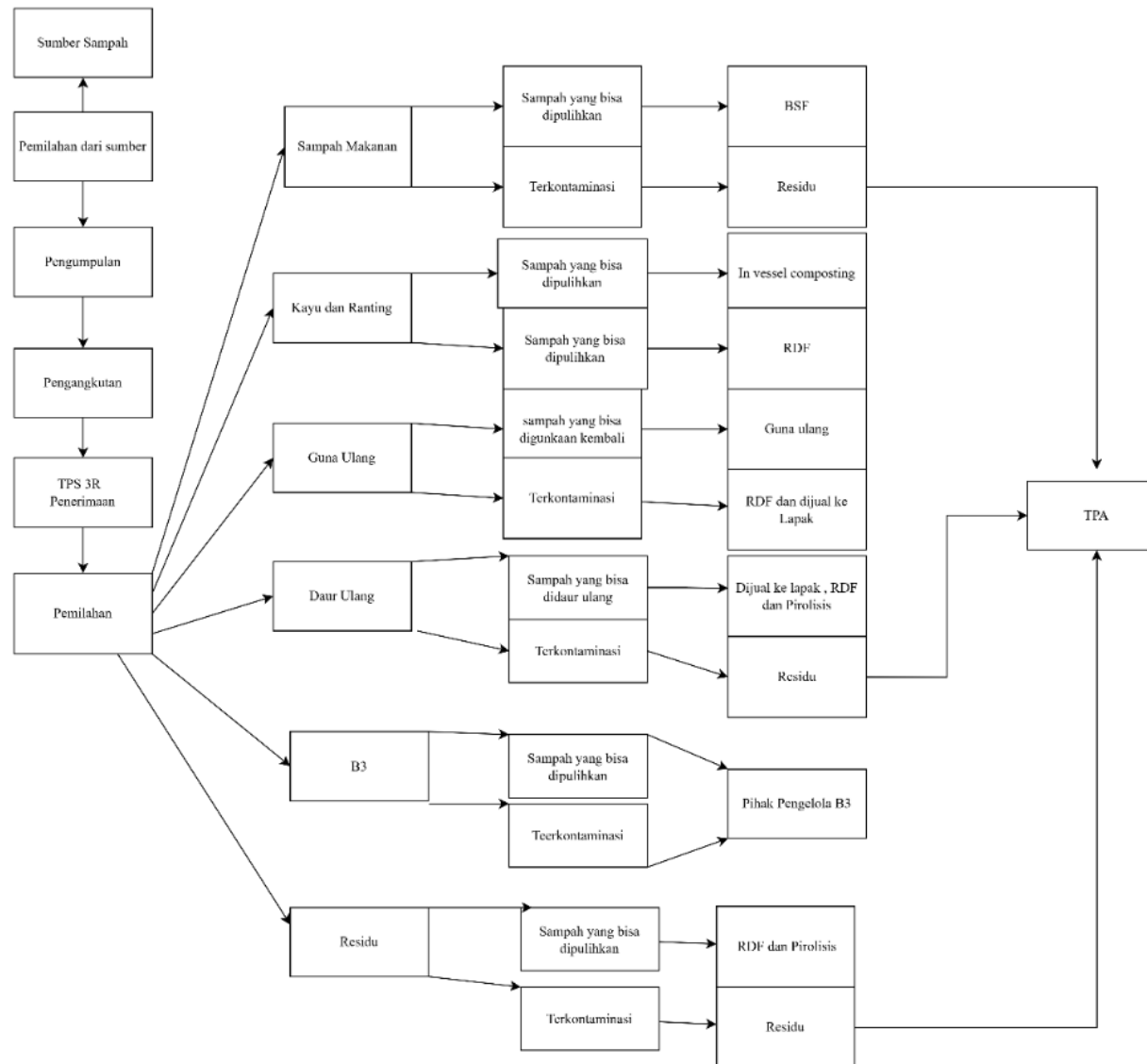
Alur Operasional TPS 3R Berbasis *Zero Waste*

Efisiensi pengelolaan lingkungan kampus bergantung pada pengaturan alur pemrosesan sampah dari sumber hingga unit pengolahan akhir. Oleh karena itu, sistem pengelolaan sampah di UPN “Veteran” Jawa Timur dirancang untuk mengubah pola linier (*collect-transport-dispose*) menjadi sistem TPS 3R berbasis skenario optimasi. Pada kondisi eksisting, belum diterapkannya pemilahan di sumber menyebabkan sampah masuk ke TPS dalam kondisi tercampur sehingga potensi pemulihan material masih rendah.

Pada sistem yang direncanakan, aliran sampah dibagi menjadi enam jalur, yaitu pengolahan sampah makanan menggunakan *Black Soldier Fly* (BSF), sampah ranting dan kayu melalui *in-vessel composting* dan *Refuse Derived Fuel* (RDF), sampah guna ulang melalui penggunaan kembali dan penjualan ke lapak, sampah daur ulang melalui proses daur ulang, RDF, pirolisis, dan penjualan material bernilai ekonomi, limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) melalui pengelola berizin, serta sampah residu melalui RDF, pirolisis, dan pembuangan akhir ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Hasil analisis neraca massa menunjukkan potensi pemanfaatan sampah sebesar 687,035 kg/hari (72,81%), sedangkan residu yang dibuang ke TPA sebesar 256,606 kg/hari (27,19%). Sistem operasional yang direncanakan mendukung penerapan konsep *Zero Waste* melalui peningkatan pemanfaatan sampah dan pengurangan residu yang dibuang ke TPA. Alur pengelolaan sampah yang direncanakan disajikan pada **Gambar 6**.



Gambar 4 Neraca Massa (Mass Balance)



Gambar 6. Alur Operasional TPS 3R

4. PENUTUP

Berdasarkan hasil analisis, total timbunan sampah di Kampus UPN "Veteran" Jawa Timur sebesar 943,641 kg/hari (11,525 m³/hari) dengan dominasi sampah makanan (26,52%) dan sampah taman (12,43%). Analisis komposisi dan potensi pemulihan sampah menunjukkan bahwa sebagian besar timbunan memiliki peluang untuk dimanfaatkan melalui penerapan sistem TPS 3R berbasis *Zero Waste*. Hasil analisis neraca massa pada sistem yang direncanakan menunjukkan potensi pemanfaatan sampah sebesar 687,035 kg/hari (72,81%), sedangkan residu yang memerlukan pembuangan ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) sebesar 256,606 kg/hari (27,19%).

Sistem pengelolaan yang direncanakan menerapkan enam jalur pengolahan, meliputi pengolahan sampah makanan menggunakan *Black Soldier Fly* (BSF), pengolahan sampah taman melalui *in-vessel composting*, pemanfaatan sampah guna ulang, pengolahan sampah daur ulang, pengolahan sampah bernilai rendah menjadi *Refuse Derived Fuel* (RDF) dan minyak pirolisis, serta penanganan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) oleh pengelola berizin. Berdasarkan hasil perencanaan, desain TPS 3R memerlukan luas fasilitas sebesar 206,49 m² dari total lahan tersedia sebesar 720 m², sehingga secara teknis memenuhi kebutuhan ruang untuk mendukung sistem pengelolaan sampah yang direncanakan.

Berdasarkan hasil kajian, seluruh tujuan desain terapan berhasil dicapai, yaitu kondisi eksisting pengelolaan sampah berhasil diidentifikasi, karakteristik timbunan, densitas, dan komposisi sampah berhasil dianalisis sebagai dasar penyusunan neraca massa, serta desain teknis TPS 3R beserta sistem operasional berbasis *Zero Waste* berhasil dirumuskan untuk mendukung pengelolaan sampah kampus yang lebih efektif dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. R. Amanda, R. Solihat, and Z. Habibaturrohmah, "Exploring Strategies to Promote Waste Management in Education for A Sustainable Future: A Systematic Literature Review," vol. 10, no. 3, pp. 571–580, 2025.
- [2] F. H. Puspitasari, S. Supriyadi, and M. Al-irsyad, "Analysis of Organic and Inorganic Waste Management Towards a *Green Campus* at Universitas Negeri Malang," vol. 44, no. Ismophs 2021, pp. 68–76, 2022.
- [3] F. Rosariawari and M. Mirwan, "Perencanaan Teknik Operasional Pengelolaan Sampah Kampus Upn ' Veteran ' Jawa Timur," vol. 3, pp. 1–8, 2023.
- [4] T. L. Simangunsong, "Pengelolaan Sampah Kampus untuk Mewujudkan Kampus Berkelanjutan," vol. 1, no. 1, pp. 59–63, 2017, doi: 10.21070/prozima.v1i1.707.
- [5] M. K. Rifai, H. Kartikaningsih, and A. Susilo, "Optimalisasi Reduksi Sampah dengan Keterlibatan Masyarakat Melalui Pengolahan Sampah Perkotaan di TPS-3R," *J. ILMU Lingkung.*, vol. 22, no. 6, pp. 1562–1572, 2025, doi: 10.14710/jil.22.6.1562-1572.
- [6] G. A. Moreira and E. W. Rutkoski, "Zero Waste Strategy for a *Green Campus*," pp. 367–373, 2021.
- [7] M. F. Fadhil and P. S. A. Sitosaga, "Analisis Timbunan dan Evaluasi Pewadahan Sampah di Fakultas Teknik Universitas Pembangunan Veteran Jawa Timur," *J. Ilm. Tek. Lingkung.*, vol. 16, no. 2, pp. 104–108, 2024.
- [8] A. I. Safitri, E. Try, J. Sembiring, and M. Prihandrijanti, "Sustainable Campus Through Solid Waste Minimization Strategies Case study: Universitas Agung Podomoro in Indonesia," vol. 04, no. 02, pp. 101–114, 2020.
- [9] Y. Dewilda and Julianto, "Kajian Timbunan , Komposisi, dan Potensi Daur Ulang Sampah Sebagai Dasar Perencanaan Pengelolaan Sampah Kawasan Kampus Universitas Putra Indonesia (UPI)," pp. 142–151, 2019.
- [10] T. M. Dana, W. Kartika, and H. Hasaya, "Analisis Optimalisasi Kinerja dalam Pengelolaan Sampah di Tempat Pengelolaan TPS 3R Prima Harapan Regency Bekasi Utara," vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2024.
- [11] Undang-Undang Republik Indonesia No. 18 Tahun, "Pengelolaan Sampah," 2008.
- [12] SNI 19-2454-2002, "Tata cara teknik operasional pengelolaan sampah perkotaan," 2002.
- [13] Permen PU No 03/PRT/M/2013, "Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 03/PRT/M/2013 tentang Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan," 2013.
- [14] SNI 19-3964-2025, "Metode pengambilan dan pengukuran contoh timbunan dan komposisi sampah rumah tangga dan sampah sejenis sampah rumah tangga," 2025.