© 2026 Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP
JURNAL ILMU LINGKUNGAN
Volume 24 Issue 6 (2026) : 1327-1340 *ISSN 1829-8907*

Analisis Sistem Pengelolaan Sampah Terpadu di TPA Berahan Kulon, Demak, Jawa Tengah

Anfasu Arif Billah[1], Cahyo Wulandari[2], Zulfa Ainur Rohmah Widagdo[1], dan Zahwa Khoirun Nisa[3]

[1]Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia
[2]Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia; e-mail: wulan_soil@ugm.ac.id
[3]Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

ABSTRAK

Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Berahan Kulon merupakan satu-satunya fasilitas pengelolaan sampah aktif di Kabupaten Demak sejak tahun 2021 dan menghadapi berbagai tantangan dalam transisi menuju sistem pengelolaan sampah yang terpadu dan berkelanjutan. Meskipun telah memiliki beberapa inisiatif pengolahan sampah organik dan anorganik, operasional TPA masih didominasi oleh praktik penimbunan terbuka (*open dumping*) serta menghadapi kendala teknis dan manajerial. Penelitian ini bertujuan menganalisis kondisi strategis, operasional, dan lingkungan TPA serta merumuskan rekomendasi berbasis data untuk mendukung penguatan sistem pengelolaan sampah terpadu. Penelitian menggunakan pendekatan *mixed-methods* yang meliputi observasi dan wawancara untuk mengevaluasi kondisi eksisting, analisis SWOT dengan skoring kuantitatif untuk menentukan posisi strategis, serta studi kasus pada unit pengolahan sampah anorganik yang dilengkapi dengan simulasi sistem. Hasil analisis SWOT menempatkan TPA Berahan Kulon pada Kuadran I (*Strength-Opportunities*) dengan skor faktor internal sebesar 7,52 dan faktor eksternal sebesar 6,78, yang menunjukkan bahwa strategi pertumbuhan layak diterapkan. Evaluasi teknis menunjukkan bahwa budidaya maggot merupakan program unggulan dalam pengolahan sampah organik, tetapi masih memerlukan pengembangan pasar. Unit pengolahan anorganik tidak beroperasi akibat kendala rantai pasok dan inefisiensi produksi, sedangkan perancangan ulang sistem berpotensi meningkatkan output hingga 200%. Sistem pengolahan air lindi telah didukung instalasi yang memadai, tetapi efektivitasnya terkendala oleh penyumbatan drainase. Dengan demikian, TPA Berahan Kulon memiliki potensi inovasi yang kuat, tetapi memerlukan penguatan operasional, logistik, dan produksi untuk mewujudkan sistem pengelolaan sampah yang terpadu dan berkelanjutan.

***Kata kunci*:** SWOT, budidaya maggot, rantai pasok desentralisasi, Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), keberlanjutan

ABSTRACT

The Berahan Kulon Landfill has been the only active waste management facility in Demak Regency since 2021 and faces various challenges in transitioning toward an integrated and sustainable waste management system. Although several organic and inorganic waste processing initiatives have been implemented, landfill operations are still dominated by open dumping practices and constrained by significant technical and managerial issues. This study aims to analyze the strategic, operational, and environmental conditions of the landfill and formulate data-driven recommendations to strengthen its integrated waste management system. A mixed-methods approach was employed, consisting of observations and interviews to evaluate existing conditions, quantitative SWOT analysis to determine the landfill's strategic position, and a case study of the inorganic waste processing unit supported by system simulation. The SWOT analysis positioned Berahan Kulon Landfill in Quadrant I (Strength-Opportunities), with internal and external factor scores of 7.52 and 6.78, respectively, indicating that a growth strategy is appropriate. Technical evaluation showed that maggot cultivation is a leading organic waste management program, although further market development is required. The inorganic waste processing unit was found to be non-operational due to supply chain constraints and production inefficiencies, while system redesign indicated the potential to increase output by up to 200%. The leachate treatment system is supported by an adequate treatment facility; however, its effectiveness is constrained by drainage blockages. Overall, Berahan Kulon Landfill has strong innovation potential but requires improvements in operations, logistics, and production to establish an integrated and sustainable waste management system.

***Keywords*:** SWOT, maggot cultivation, decentralized supply chain, Waste Water Treatment Plant (WWTP), sustainability

Citation: Billah, A. A., Wulandari, C., Widagdo, Z. A. R., dan Nisa, Z. K. (2026). Analisis Sistem Pengelolaan Sampah Terpadu di TPA Berahan Kulon, Demak, Jawa Tengah. Jurnal Ilmu Lingkungan, 24(6), 1327-1340, doi:10.14710/jil.24.6.1327-1340

1. LATAR BELAKANG

Sampah merupakan sisa kegiatan manusia maupun proses alam yang tidak lagi dikehendaki, berbentuk padat atau setengah padat, dan dapat bersifat organik maupun anorganik (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2021). Menurut Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008, pengelolaan sampah mencakup kegiatan pengurangan dan penanganan secara sistematis, menyeluruh, dan berkesinambungan. Seiring dengan pertumbuhan penduduk dan aktivitas konsumsi yang meningkat, timbulan sampah di Indonesia terus bertambah setiap tahunnya. Data dari Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) menunjukkan bahwa pada tahun 2023, Indonesia menghasilkan lebih dari 19 juta ton sampah, dan hanya sekitar 10% yang berhasil didaur ulang (KLHK, 2024).

Permasalahan pengelolaan sampah di wilayah pedesaan, seperti Desa Berahan Kulon di Kecamatan Wedung, Kabupaten Demak, Jawa Tengah, menjadi semakin kompleks seiring dengan peningkatan jumlah penduduk, perubahan gaya hidup, dan konsumsi masyarakat. Hal ini berdampak langsung pada volume sampah yang dihasilkan setiap harinya (Putri et al., 2023). Peningkatan volume sampah di tingkat pedesaan tidak hanya menimbulkan tekanan pada sistem pengelolaan lokal, tetapi juga berimplikasi terhadap beban Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) di tingkat kabupaten sebagai tujuan akhir akumulasi sampah dari berbagai wilayah, termasuk desa (Marzan et al., 2024). Kondisi ini menyebabkan kapasitas Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) yang tersedia mulai menunjukkan tanda-tanda kelebihan muatan atau overload (Zulaikhah et al., 2024). Kondisi ini menuntut adanya kajian strategis yang menyeluruh dan terarah dalam menentukan langkah pengelolaan sampah berbasis potensi lokal dan pendekatan ilmiah (Herman & Subagja, 2023).

Studi sebelumnya melihat pengelolaan sampah di TPA Berahan Kulon dari berbagai sudut pandang. Zaenuri (2023) memeriksa dampak lingkungan, kondisi saat ini, sistem pengelolaan sampah, dan kapasitas TPA untuk mengevaluasi ketidakefektifan pengelolaan sampah di TPA Berahan Kulon. Penelitian tersebut juga menggunakan analisis SWOT untuk membuat arahan perencanaan kawasan TPA dan sekitarnya. Namun, analisis yang dilakukan lebih berfokus pada kondisi lingkungan, kapasitas TPA, dan arahan perencanaan kawasan, tetapi tidak menerjemahkan hasil analisis.

Penelitian tambahan tentang TPA Berahan Kulon dilakukan oleh Cahyati dan Hutagaol (2023). Penelitian tersebut membandingkan beberapa teknologi pengolahan sampah windrow, Black Soldier Fly (BSF) dan Refuse-Derived Fuel (RDF). Penelitian tersebut menunjukkan bahwa, berdasarkan indikator pengurangan sampah dan dampak lingkungan, BSF adalah alternatif yang lebih baik. Penelitian tersebut memberikan dasar untuk memilih teknologi pengolahan alternatif, tetapi tidak membahas peningkatan operasional sistem pengelolaan sampah dengan analisis strategis.

Berdasarkan penelitian terdahulu, kebaruan penelitian ini terletak pada pengintegrasian analisis strategis dan evaluasi operasional dalam pengelolaan TPA Berahan Kulon. Analisis SWOT digunakan untuk menentukan posisi dan arah strategi pengembangan TPA, kemudian dilanjutkan dengan evaluasi pengelolaan sampah organik, anorganik, dan air lindi. Secara khusus, permasalahan pada unit pengolahan sampah anorganik dianalisis mulai dari aspek rantai pasok hingga proses produksi sebagai dasar penyusunan intervensi teknis-operasional. Berdasarkan pendekatan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi pengelolaan sampah di TPA Berahan Kulon dari aspek strategis, operasional, dan lingkungan serta merumuskan rekomendasi perbaikan menuju sistem pengelolaan sampah yang terpadu dan berkelanjutan. Dengan mengintegrasikan analisis strategis dan intervensi teknis-operasional, rekomendasi yang dihasilkan diharapkan tidak hanya memberikan arah pengembangan secara strategis, tetapi juga bersifat terukur dan dapat diterapkan dalam pengelolaan TPA Berahan Kulon.

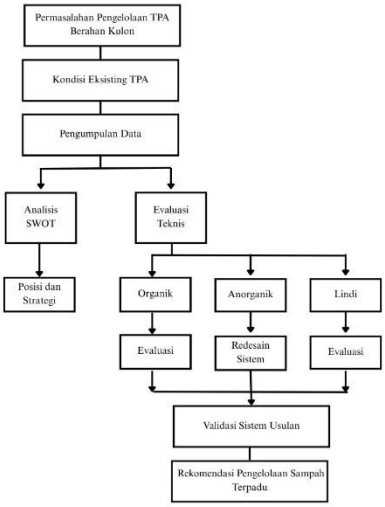
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kombinasi (mixed method). Metode kombinasi adalah metode penelitian yang menggabungkan metode kuantitatif dan kualitatif untuk digunakan bersama-sama dalam penelitian. Ini dilakukan untuk mendapatkan data yang lebih komprehensif, valid, realistis, dan objektif (Sugiyono, 2011). Metode kombinasi digunakan untuk mendapatkan hasil yang lebih lengkap tentang fenomena yang diteliti, menguji hasil dari satu metode dengan yang lain, atau menggabungkan hasil dari dua metode. Penelitian ini dilakukan di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Berahan Kulon, Kecamatan Wedung, Kabupaten Demak, Jawa Tengah, selama periode Juli hingga Agustus 2025. Penelitian ini dilakukan secara bertahap dengan pendekatan kualitatif yang dilanjutkan dengan pendekatan kuantitatif. Tahap kualitatif dilakukan melalui observasi dan wawancara untuk mengidentifikasi kondisi eksisting, alur proses, fasilitas, serta permasalahan pengelolaan sampah organik, anorganik, dan air lindi. Temuan kualitatif tersebut kemudian diintegrasikan pada tahap kuantitatif sebagai dasar penyusunan faktor SWOT dan identifikasi permasalahan operasional. Selanjutnya, faktor SWOT dikuantifikasi melalui teknik skoring untuk menentukan posisi strategis TPA, sedangkan permasalahan pada pengolahan sampah anorganik dianalisis dan dikembangkan menjadi usulan perbaikan yang dievaluasi melalui simulasi sistem. Integrasi kedua jenis data dilakukan secara berurutan, yaitu hasil analisis kualitatif menjadi dasar bagi analisis kuantitatif dan penyusunan rekomendasi akhir.

© 2026, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP

Pengumpulan data primer dilakukan melalui observasi langsung dan wawancara semi-terstruktur dengan informan yang dipilih secara purposive sampling, seperti pengelola TPA dan perwakilan Dinas Lingkungan Hidup (DLH), sementara data sekunder diperoleh dari studi pustaka dan dokumentasi. Untuk menjamin validitas, diterapkan teknik triangulasi dengan memverifikasi silang temuan dari berbagai sumber tersebut. Analisis data dalam penelitian ini dilakukan secara sistematis melalui lima tahapan utama yang berurutan.

Tahap pertama adalah kondisi eksisting TPA Berahan Kulon. Tahap kedua adalah analisis SWOT TPA Berahan Kulon. Tahap ketiga adalah evaluasi pengolahan sampah organik. Tahap keempat adalah evaluasi pengolahan sampah anorganik. Tahap kelima adalah evaluasi pengolahan air lindi. Keterkaitan antar tahapan dan proses integrasi kedua pendekatan tersebut disajikan dalam kerangka penelitian pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka Penelitian

Pada tahap evaluasi kondisi eksisting TPA, evaluasi pengolahan sampah organik, dan evaluasi pengolahan air lindi, data dianalisis dengan metode kualitatif deskriptif. Wawancara dilakukan terhadap 15 informan yang dipilih menggunakan teknik *purposive sampling* berdasarkan keterlibatan dan pengetahuan informan terhadap pengelolaan TPA Berahan Kulon. Informan terdiri atas 1 orang koordinator pengelolaan sampah organik, 1 orang koordinator pengelolaan sampah anorganik, 1 orang perwakilan dari Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Demak, dan 12 petugas operasional. Pemilihan informan didasarkan pada keterlibatan langsung dalam kegiatan pengelolaan sampah serta pemahaman terhadap aspek operasional dan permasalahan TPA. Wawancara dilakukan secara semi-terstruktur menggunakan pedoman wawancara yang mencakup kondisi eksisting, alur pengelolaan sampah, fasilitas, kendala operasional, serta faktor internal dan eksternal yang memengaruhi pengelolaan TPA. Wawancara dilaksanakan secara langsung di TPA Berahan Kulon pada 15 Juli-15 Agustus 2025, dengan durasi sekitar 15-30 menit per informan. Hasil wawancara kemudian dikombinasikan dengan hasil observasi lapangan sebagai dasar identifikasi kondisi eksisting dan penyusunan faktor dalam analisis SWOT. Data hasil wawancara dan observasi diolah secara deskriptif untuk menggambarkan alur proses, fasilitas, dan permasalahan, serta diperkuat dengan data primer pengujian kualitas produk dan baku mutu air lindi. Pada analisis SWOT, setiap faktor dinilai berdasarkan Nilai Urgensi (NU), Nilai Dukungan (ND), dan Bobot Faktor (BF) untuk memperoleh Skor Akhir (SA) sebagai dasar penentuan posisi strategis dan prioritas rekomendasi. Penilaian NU dan ND menggunakan skala 1-5. NU menunjukkan tingkat urgensi suatu faktor dalam memengaruhi pengelolaan TPA, sedangkan ND menunjukkan tingkat dukungan atau pengaruh faktor terhadap pengembangan sistem pengelolaan sampah. BF dihitung dengan membagi nilai NU masing-masing faktor dengan total nilai NU, sedangkan SA diperoleh dari perkalian BF dengan ND (SA=BF X ND). Penilaian dilakukan berdasarkan hasil observasi lapangan dan wawancara dengan pengelola TPA serta perwakilan DLH Demak. Dari ketiga parameter tersebut, kemudian dihitung Skor Akhir (SA) untuk setiap faktor guna memetakan posisi strategis TPA dan memprioritaskan rekomendasi.

Pada evaluasi pengolahan sampah anorganik, data dianalisis secara kuantitatif menggunakan metode perancangan jaringan rantai pasok dengan *gravity model* untuk menentukan lokasi fasilitas sehingga meminimalkan dampak lingkungan dan biaya (Eghbali et al., 2022) dan *vehicle routing problem*, perancangan ulang sistem produksi dengan *line balancing* agar jumlah stasiun kerja dan waktu menganggur dapat diminimalkan (Durmaz & Budak, 2024), analisis *lean manufacturing* untuk mengidentifikasi dan mengurangi pemborosan dalam operasi (Afonso et al, 2021), perancangan ulang tata letak untuk meningkatkan efisiensi transportasi internal (Burinskienė et al, 2018), serta validasi kinerja sistem melalui simulasi peristiwa diskrit (*discrete event simulation*) menggunakan perangkat lunak FlexSim untuk mengevaluasi skenario solutif yang direkomendasikan (Pawlak et al, 2025).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

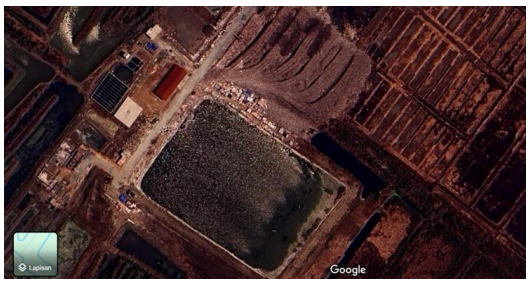
3.1. Kondisi Eksisting TPA Berahan Kulon

TPA Berahan Kulon yang berada di Kecamatan Wedung menjadi satu-satunya TPA yang masih aktif beroperasi di Kabupaten Demak hingga penelitian dilakukan pada tahun 2025. TPA ini berjarak kurang lebih satu kilometer dari pemukiman penduduk di Desa Berahan Kulon dan berada dekat dengan Sungai Wulan. TPA Berahan Kulon mulai beroperasi pada tahun 2021 setelah kedua TPA sebelumnya, yaitu TPA Candisari dan TPA Kalikondang ditutup. TPA Candisari berlokasi di Desa Candisari Kecamatan Mranggen, sedangkan TPA Kalikondang berlokasi di

© 2026, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP

Desa Kalikondang Kecamatan Wonosalam. Kedua TPA tersebut ditutup karena kelebihan kapasitas akibat luas lahan yang terbatas. Pemindahan lokasi TPA ini juga dipicu oleh tekanan pemukiman penduduk dan konflik sosial yang muncul akibat buruknya kondisi lingkungan di Kalikondang. Pemilihan Desa Berahan Kulon sebagai lokasi TPA mempertimbangkan kondisi geografis yang relatif jauh dari pemukiman padat penduduk sehingga meminimalisir terjadinya permasalahan seperti yang terjadi pada TPA sebelumnya.

Secara fisik, TPA Berahan Kulon yang memiliki luas lahan sekitar ± 25 Ha terbagi menjadi tiga zona, yaitu ± 0,19 Ha untuk zona landfill, ± 1,20 Ha untuk zona resapan air, dan ± 0,45 Ha untuk zona IPAL (Zaenuri, 2023). Luas lahan tersebut juga mencakup berbagai zona fungsional lainnya, yaitu zona pengolahan sampah organik dan anorganik, pos jaga, dan area parkir armada pengangkut. Di beberapa titik juga tersedia parit dan sel-sel pemisah limbah yang dilapisi membran untuk menampung air lindi agar tidak mencemari lingkungan.



Gambar 2. Wilayah TPA Berahan Kulon (Google Earth)

Ditinjau dari sisi sarana dan prasarana, TPA ini dilengkapi dengan 3 unit eskavator untuk pemindahan timbunan sampah, jembatan timbangan truk di area portal masuk, serta 5 CCTV yang tersebar untuk memantau aktivitas dan keamanan lokasi. Tercatat jumlah armada pengangkut sampah yang tersedia milik DLH yaitu 15 unit truk dan 11 unit kendaraan roda tiga. Selain armada milik DLH, TPA juga menerima 40–50 armada pengangkut sampah dari berbagai wilayah di Kabupaten Demak, dengan total kendaraan yang masuk mencapai sekitar 70 unit per hari (Catatan Operasional DLH, 2025). Seluruh armada pengangkut sampah yang masuk akan ditimbang terlebih dahulu menggunakan jembatan timbangan digital di area portal untuk mencatat berat dan asal armada. Operasional TPA berjalan aktif di hari senin sampai sabtu dari pukul 07.00 hingga 14.00 WIB dengan pola pengangkutan sampah ke TPA menunjukkan fluktuasi musiman. Volume sampah tertinggi terjadi pada awal pekan di hari Senin dan Selasa serta setelah hari besar seperti Idul Fitri. Sedangkan pada hari Jumat jumlah pengiriman sampah ke TPA cenderung sepi.



Gambar 3. Pengambilan dan Pemadatan Timbunan Sampah di TPA Berahan Kulon

Pengelolaan sampah di TPA Berahan Kulon dirancang untuk diterapkan sistem *sanitary landfill*, yaitu sistem pembuangan akhir sampah yang dilakukan dengan cara sampah ditimbun dan dipadatkan, kemudian ditutup dengan tanah sebagai lapisan penutup yang dilakukan setiap hari setelah jam kerja (Pemerintah Provinsi Jawa Tengah, 2021; Kementerian LH RI, 2009). Namun pada kenyataannya, pengelolaan sampah di TPA Berahan Kulon dilakukan dengan sistem *open dumping*. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Akbar (2023), pengelolaan sampah di TPA Berahan Kulon masih dilakukan secara *open dumping*, tanpa proses pemadatan dan penutupan harian dengan timbulan sampah yang masuk tidak dipilah sejak dari sumbernya. Kesenjangan antara desain teknis dan praktik operasional ini memiliki potensi untuk menimbulkan dampak lingkungan lebih besar, seperti pencemaran air tanah, bau menyengat, dan risiko kesehatan masyarakat di sekitar lokasi TPA. Faktor penyebab praktik *open dumping* perlu dievaluasi lebih lanjut, namun indikasi awal mengarah pada keterbatasan sumber daya manusia, tekanan volume kiriman, dan prioritas operasional yang belum memadai untuk prosedur *sanitary landfill*. Kondisi ini tercermin dari belum optimalnya penerapan komponen utama *sanitary landfill*, seperti penutupan sampah harian (*daily cover*) yang tidak konsisten, keterbatasan alat berat untuk pemadatan dan perataan, serta belum tersedianya sistem pengelolaan lindi dan gas yang terkontrol secara menyeluruh. Selain itu, tingginya volume sampah yang masuk setiap hari menyebabkan fokus pengelola lebih tertuju pada pembuangan cepat daripada pengelolaan berlapis sesuai standar teknis, sehingga praktik yang berlangsung cenderung menyerupai *open dumping*.

Komposisi sampah yang masuk di TPA Berahan Kulon didominasi oleh sampah rumah tangga dan limbah domestik perkotaan–terutama sampah organik basah–diikuti sampah anorganik non-ekonomis seperti plastik *multilayer*, *styrofoam*, dan residu campuran yang tidak bisa didaur ulang (SIPSN, 2024). Namun, pemilahan di tingkat Tempat Pengumpulan Sementara (TPS) belum berjalan secara sistematis, sehingga seluruh jenis sampah bercampur saat tiba di TPA dan pemilahan masih terbatas oleh oleh petugas dan/atau pemulung.

© 2026, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP



Gambar 4. Persebaran Sumber dan Komposisi Jenis Sampah Kabupaten Demak (SIPSN, 2024)

Meski sistem dominan masih berupa penimbunan terbuka, telah terdapat beberapa inisiatif pengelolaan sampah berbasis daur ulang dan biokonversi. Untuk sampah organik, TPA memanfaatkan larva BSF (*Black Soldier Fly*) atau maggot sebagai agen pengurai limbah. Proses ini dikelola oleh tim khusus yang merawat media pakan maggot menggunakan bahan organik seperti sayur sisa, ampas tahu, dan fermentasi tempe. Hasilnya berupa larva maggot untuk pakan ternak dan kasgot sebagai pupuk organik. Selain itu, untuk sampah organik juga dibuat *eco enzyme* dan kompos. Sementara itu, sampah plastik non-ekonomis diproses menjadi *eco hex brick* melalui pembakaran dan pencetakan di gudang. Namun, pengelolaan ini masih berskala kecil karena keterbatasan bahan baku dan sumber daya manusia. Secara keseluruhan, sistem pengelolaan sampah di TPA Berahan Kulon masih berada pada tahap transisi antara metode tradisional ke sistem berbasis daur ulang dan pemberdayaan masyarakat. Berdasarkan kondisi dan kendala yang terjadi di lapangan, diperlukan pemetaan strategis faktor internal dan eksternal untuk merumuskan prioritas perbaikan.

3.2. Analisis SWOT TPA Berahan Kulon

Analisis SWOT adalah metode analisis yang digunakan untuk mengevaluasi empat aspek utama dalam suatu organisasi, rencana, proyek, atau aktivitas bisnis, yaitu Strengths(kekuatan), Weaknesses(kelemahan), Opportunities (peluang), dan Threats (ancaman). Metode ini membantu mengidentifikasi faktor internal (kekuatan dan kelemahan) serta faktor eksternal (peluang dan ancaman) yang memengaruhi keberhasilan suatu entitas dalam mencapai tujuan strategisnya (Gürel S. & Tat M., 2017). Analisis SWOT sering digunakan sebagai alat perencanaan strategis untuk merumuskan strategi bisnis yang efektif dengan memanfaatkan kekuatan dan peluang serta mengatasi kelemahan dan ancaman. Semua organisasi memiliki kekuatan dan kelemahan (David, 2017).

Metode IFAS (Internal Factors Analysis Strategy) dan EFAS (External Factors Analysis Strategy) merupakan alat analisis dalam kerangka SWOT yang digunakan untuk mengevaluasi faktor internal (kekuatan dan kelemahan) serta faktor eksternal (peluang dan ancaman) secara sistematis. Dalam penerapannya, setiap faktor dinilai menggunakan beberapa komponen utama, yaitu NU (Nilai Urgensi) yang menunjukkan tingkat kepentingan relatif suatu faktor dibandingkan faktor lain, ND (Nilai Dukungan) yang mencerminkan seberapa besar pengaruh faktor tersebut terhadap organisasi, serta BF (Bobot Faktor) yang diperoleh dari pembagian nilai urgensi tiap faktor dengan total seluruh nilai urgensi. Selanjutnya dihitung SA (Skor Akhir), yaitu hasil perkalian antara bobot faktor dan nilai dukungan (atau rating), yang kemudian dijumlahkan untuk menentukan posisi strategis perusahaan dalam matriks SWOT. Konsep ini sejalan dengan metode IFAS dan EFAS yang menyatakan bahwa setiap faktor strategis diberi bobot berdasarkan tingkat kepentingannya dan rating berdasarkan pengaruhnya, lalu dikalikan untuk memperoleh skor pembobotan sebagai dasar evaluasi posisi perusahaan (Rangkuti, 2018) Analisis tiap komponen SWOT terdapat pada Tabel 1.

Berdasarkan hasil skoring SWOT (Tabel 1), total skor faktor strength sebesar 4,6 dan weakness sebesar 2,92, sedangkan total skor opportunity sebesar 4,16 dan threats sebesar 2,62. Posisi strategis TPA ditentukan berdasarkan selisih antara faktor internal dan eksternal. Koordinat sumbu internal diperoleh dari S-W = 1,68, sedangkan koordinat sumbu eksternal diperoleh dari O-T = 1,54. Dengan demikian, posisi TPA Berahan Kulon berada pada koordinat (1,68;1,54) yang menempatkannya pada Kuadran 1 (Strength-Opportunities). Posisi ini menunjukkan kekuatan internal TPA relatif lebih besar dibandingkan kelemahannya dan peluang eksternal lebih besar dibandingkan ancaman.

Komponen strength merupakan faktor internal yang menjadi keunggulan atau potensi positif dari sistem TPA yang mendukung pencapaian tujuan secara efektif.

Berdasarkan analisis komponen strength, TPA Berahan Kulon memiliki fondasi pengelolaan sampah yang cukup kuat, ditunjukkan oleh fasilitas budidaya maggot dan inovasi pengolahan sampah anorganik menjadi eco hex brick. Kedua program tersebut mencerminkan penerapan awal konsep circular economy melalui pengurangan volume sampah dan pemanfaatannya menjadi produk bernilai guna. Keberadaan IPAL juga menunjukkan upaya pengendalian dampak lingkungan, meskipun masih memerlukan penguatan teknis dan pengawasan. Selain itu, dukungan DLHK serta ketersediaan sistem shift, alat berat, genset, dan CCTV turut menunjang keberlanjutan operasional TPA.

Kekuatan lain yang menonjol adalah sistem pencatatan timbangan digital yang sistematis, yang memudahkan pendataan sampah dan memperkuat transparansi dan perencanaan jangka panjang. Dari

© 2026, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP

aspek skoring, pencatatan digital dan dukungan DLHK memperoleh skor tertinggi (SA = 1.0), mengindikasikan pentingnya dua faktor ini dalam menjaga stabilitas dan arah pengembangan TPA. Sementara itu, faktor lain seperti pengolahan maggot dan *eco hex brick* juga menunjukkan skor tinggi (SA = 0.8), menjadikannya potensi besar untuk dikembangkan ke arah program pemberdayaan masyarakat seperti tabungan maggot dan usaha komunitas daur ulang plastik. Secara keseluruhan, kekuatan-kekuatan ini memberikan pondasi yang solid bagi TPA Berahan Kulon untuk bertransformasi dari sistem open dumping menuju sistem pengelolaan sampah terpadu dan berkelanjutan. Komponen weakness merupakan faktor internal yang menjadi kelemahan, hambatan, dan keterbatasan dalam suatu sistem yang dapat mengurangi efektivitas pencapaian tujuan.

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 1, untuk komponen *weakness*, TPA Berahan Kulon masih menghadapi beberapa persoalan internal yang cukup mendasar dan berdampak signifikan terhadap efektivitas sistem pengelolaan sampah. Kelemahan utama yang paling mendesak adalah sistem *open dumping* yang masih menjadi metode dominan, dengan skor akhir tertinggi (SA = 0,80), menunjukkan bahwa meskipun ada upaya pengelolaan melalui maggot dan *eco hex brick*, volume sampah yang menumpuk tanpa pengolahan tetap tinggi. Di sisi lain, tidak adanya pemilahan sampah dari sumber membuat sampah masuk dalam kondisi tercampur (organik dan anorganik), menyulitkan proses lanjutan seperti pengolahan maggot atau daur ulang plastik. Faktor ini juga memiliki skor SA yang cukup tinggi (0,60), mencerminkan bahwa persoalan ini mendesak untuk segera ditangani dengan sistem pemilahan yang lebih tertata dari hulu.

Selain itu, analisis juga menunjukkan bahwa ada kendala signifikan pada aspek sumber daya manusia (SDM) dan infrastruktur pendukung. Misalnya, pengolahan plastik masih menghadapi tantangan akibat kurangnya tenaga kerja terlatih dan belum stabilnya pasokan bahan baku seperti plastik dan oli bekas untuk produksi *eco hex brick*. Hal ini terlihat dari skor SA yang cukup rendah (0,48), menandakan keterbatasan dukungan terhadap aspek ini. Kelemahan lainnya yaitu belum dimanfaatkannya IPAL secara optimal untuk irigasi atau *reuse* air olahan (SA = 0,24), serta belum adanya SOP tetap dalam menangani konflik sosial seperti keluhan bau dan pembuangan liar (SA = 0,32), menunjukkan bahwa kelemahan ini memerlukan penguatan dari segi regulasi dan partisipasi sosial. Secara keseluruhan, kelemahan-kelemahan ini memberikan gambaran bahwa meskipun ada kemajuan dari sisi kekuatan, perbaikan menyeluruh dari sisi sistem, SDM, dan tata kelola masih menjadi pekerjaan rumah besar bagi TPA Berahan Kulon.

Tabel 1. Analisis Komponen SWOT TPA Berahan Kulon

Faktor	NU*	ND**	BF***	SA****
Strentghs				
Tersedianya fasilitas budidaya maggot dan petugasnya	4	4	0,17	0,8
Adanya IPAL untuk pengelolaan air lindi	4	3	0,17	0,6
Proses pencatatan timbangan digital yang sistematis	4	5	0,17	1
Program pengolahan plastik menjadi *eco hex brick* sudah berjalan	4	4	0,17	0,8
Dukungan DLHK aktif dalam operasional dan pengembangan	4	5	0,17	1
Adanya infrastruktur berupa eskavator, genset, CCTV, portal, dan sistem shift	3	4	0,13	0,4
Total faktor *strength*	23	26	0,98	4,6
Weakness				
Sistem open dumping masih dominan	5	4	0,2	0,8
Ketergantungan bahan bakar oli bekas dan pemasok plastik tidak tetap	4	3	0,16	0,48
Tidak ada pemilahan sampah dari sumber (masuk campuran)	5	3	0,2	0,6
Kendala SDM untuk pengolahan plastik	4	3	0,16	0,48
IPAL belum dimanfaatkan untuk irigasi datau reuse	3	2	0,12	0,24
Belum ada SOP tetap penanganan konflik sosial (bau dan sampah liar)	4	2	0,16	0,32
Total faktor *weakness*	25	26	1	2,92
Opportunities				
Potensi pasar maggot sebagai pakan ternak dan pupuk organik	4	4	0,16	0,64
Potensi reklamasi lahan untuk penghijauan dan edukasi lingkungan	4	4	0,16	0,64
Bank sampah berbasis tabungan maggot bisa diterapkan per RT	5	4	0,2	0,8
Pemanfaatan *eco enzyme* dan kasgot sebagai pupuk tanaman	4	4	0,16	0,64
Dukungan stakeholder terhadap edukasi dan kolaborasi *pilot project*	4	5	0,16	0,8
Dikembangkan menjadi pusat pelatihan pengelolaan maggot dan *eco hex brick*	4	4	0,16	0,64
Total faktor opportunity	25	25	1	4,16
Threats				
Penolakan warga karena bau dan keluhan saat musim hujan	5	2	0,22	0,44
Infrastruktur dan alat rusak saat jam sibuk (mati lampu)	3	3	0,13	0,39
Belum adanya pasar tetap untuk produk maggot	4	3	0,17	0,51
Masyarakat mengaitkan sampah dengan DBD (stigma)	3	2	0,13	0,26
Ketergantungan pada pihak ketiga dalam pemasaran hasil	4	3	0,17	0,51
Belum ada SOP ketat pengangkutan sampah ilegal	4	3	0,17	0,51
Total faktor *threats*	23	16	0,99	2,62

**) NU = nilai urgensi/rating*
***) ND = nilai dukungan*
****) BF = bobot faktor*
*****) SA = skor bobot akhir*

© 2026, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP

Komponen opportunities merupakan faktor eksternal yang dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kinerja dan pengembangan TPA.

Berdasarkan analisis komponen opportunities, TPA Berahan Kulon memiliki berbagai potensi eksternal yang dapat dimanfaatkan untuk memperkuat sistem pengelolaan sampah dan pemberdayaan masyarakat. Salah satu peluang paling menonjol adalah penerapan bank sampah berbasis tabungan maggot yang bisa dijalankan di tingkat RT, dengan nilai SA tertinggi sebesar 0,80. Ini menunjukkan bahwa gagasan tersebut sangat mendesak dan mendapat dukungan luas. Selain itu, dukungan stakeholder terhadap edukasi dan kolaborasi pilot project juga memperoleh skor SA yang tinggi, yaitu 0,80, menandakan bahwa kerja sama lintas sektor seperti dengan DLHK, CSR BRI, dan komunitas lokal membuka jalan luas untuk inovasi pengelolaan sampah yang berkelanjutan dan edukatif.

Peluang lainnya yang juga kuat adalah pengembangan pasar maggot sebagai pakan ternak dan pupuk organik, pemanfaatan eco enzym dan kasgot, serta potensi reklamasi lahan untuk edukasi lingkungan, yang masing-masing mencetak skor SA sebesar 0,64. Ini menunjukkan bahwa walaupun tingkat urgensi dan dukungan tidak sekuat dua poin sebelumnya, semua faktor ini tetap relevan dan dapat menjadi fondasi program jangka menengah. Peluang untuk menjadikan TPA sebagai pusat pelatihan pengelolaan maggot dan eco hex brick juga patut ditekankan karena bisa meningkatkan nilai tambah ekonomi dan transfer pengetahuan ke masyarakat. Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan bahwa TPA Berahan Kulon memiliki landasan peluang yang kuat untuk tumbuh menjadi model pengelolaan sampah terpadu berbasis masyarakat dan inovasi

Berdasarkan hasil analisis komponen, dapat dilihat bahwa beberapa faktor eksternal berpotensi menghambat pengelolaan TPA Berahan Kulon jika tidak segera ditanggulangi. Salah satu faktor utama adalah keluhan masyarakat terhadap bau sampah yang menyengat terutama saat musim hujan, yang memiliki nilai urgensi tinggi (NU = 5) tetapi dukungan rendah (ND = 2), menghasilkan skor akhir rendah (SA = 0,44). Hal ini menunjukkan adanya ketegangan sosial yang perlu ditangani secara proaktif. Selain itu, keterbatasan infrastruktur seperti mati lampu saat jam sibuk juga mengganggu efektivitas operasional harian, karena berdampak langsung pada proses pengolahan sampah dan aktivitas petugas, terutama pada unit maggot dan *eco hex brick*.

Ancaman lainnya yang cukup signifikan adalah belum adanya pasar tetap untuk produk maggot dan ketergantungan pada pihak ketiga dalam distribusi dan pemasaran hasil, seperti eco hex brick. Meskipun potensi produk cukup besar, tanpa kepastian pasar, hasil budidaya berisiko tidak termanfaatkan secara maksimal. Stigma masyarakat yang masih mengaitkan sampah dengan penyakit seperti DBD serta belum adanya SOP ketat dalam penanganan sampah ilegal turut memperbesar potensi konflik sosial dan penurunan kepercayaan publik terhadap program pengelolaan TPA. Secara keseluruhan, ancaman-ancaman ini mengindikasikan perlunya strategi mitigasi berbasis kolaboratif dan edukatif untuk membangun kembali kepercayaan serta meningkatkan stabilitas operasional TPA ke depan. Selain itu, mengingat ancaman strategis yang teridentifikasi maka diperlukan evaluasi teknis terhadap unit pengolahan sampah dan limbah menjadi prioritas.

3.3. Evaluasi Pengolahan Sampah Organik

TPA Berahan Kulon telah menerapkan beberapa metode pengolahan sampah organik sebagai bentuk upaya pengurangan volume sampah dan pemanfaatan kembali limbah organik menjadi produk bernilai guna. Tiga metode utama yang digunakan, yaitu budidaya larva Black Soldier Fly (BSF/maggot), pembuatan kompos, dan pemanfaatan eco enzyme. Di antara ketiganya, sistem budidaya maggot menjadi metode utama dan yang paling aktif dilaksanakan saat ini.

Fasilitas pengolahan sampah organik berlokasi tepat di sebelah barat area penumpukan sampah yang dilengkapi alat pemilah dan penggiling sampah organik. Peralatan ini digunakan untuk mempermudah dalam memisahkan sampah organik yang akan digunakan sebagai pakan maggot dan mencacahnya menjadi ukuran yang lebih kecil sehingga mempercepat proses dekomposisi oleh maggot yang sedang dibiakkan. Sumber utama sampah organik sebagai pakan maggot berasal dari sampah pasar yang umumnya menghasilkan sampah buah dan sampah sayur dalam jumlah yang cukup besar. Ditambah pasokan dari beberapa industri, seperti limbah sampingan dari pabrik mie, membuat rantai pasok bahan baku organik relatif terjamin, meskipun kontinuitas volume masih perlu ditingkatkan.



Gambar 5. Unit Pengolahan Sampah Organik TPA Berahan Kulon (a) Mesin Pemilahan Sampah (b) Mesin Pencacahan Sampah Organik

Secara biologis, maggot dapat dikembangbiakkan dalam waktu yang relatif singkat. Siklus hidup BSF mulai bertelur hingga menjadi lalat dewasa berlangsung sekitar 40-43 hari, tergantung kondisi lingkungan dan media yang diberikan (Tomberlin et al., 2009). Berdasarkan pengamatan lapangan yang dilakukan, maggot dapat dipanen dalam waktu satu bulan, dengan waktu paling singkat 21 hari dalam satu kali siklus hidup (Mulyadi, 2025). Menurut penelitian Widodo dkk (2021), penggunaan dedak, ampas tahu,

© 2026, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP

dan fermentasi EM4 pada media pakan dapat mempercepat pertumbuhan larva dan meningkatkan kandungan proteinnya hingga 40–45%. Hal tersebut membuktikan bahwa penggunaan ampas tahu dan bekatul atau dedak sebagai media tumbuh sekaligus pakan dapat mempercepat tumbuh kembang maggot. Selain dengan media yang baik, penggunaan media EM4 bertujuan untuk mempercepat proses fermentasi sampah organik yang digunakan sehingga merangsang pertumbuhan maggot lebih cepat.



Gambar 6. Budidaya Maggot di TPA Berahan Kulon

Produk utama dari budidaya maggot adalah larva maggot yang berpotensi dijual sebagai pakan ternak, serta residu (*frass*) yang dapat diformulasikan menjadi kompos. Sampah yang didekomposisikan oleh maggot akan menghasilkan kompos dalam waktu yang lebih singkat dibandingkan pengomposan dengan menimbun dan fermentasi pada sampah organik. Kompos berbasis maggot hanya memerlukan waktu 1 hingga 3 hari untuk menjadi pupuk dibandingkan dengan pengomposan biasa yang memerlukan waktu 90 hari (Silalahi dkk., 2022). Kompos yang dihasilkan selanjutnya dikemas dalam karung seberat 3–5 kg dan siap dimanfaatkan untuk pertanian atau penghijauan. Selain itu, sebagian limbah organik juga diformulasikan menjadi larutan *eco enzyme*, yaitu hasil fermentasi dari limbah dapur seperti kulit buah dan sayuran dengan campuran air dan gula merah. Hasil pencampuran tersebut menghasilkan cairan multifungsi beraroma asam manis. Meski potensial sebagai pembersih alami dan pupuk cair, produk *eco enzyme* dari TPA Berahan Kulon hingga kini masih terbatas pada pemanfaatan internal dan belum dikomersilkan.

Berdasarkan pengamatan lapangan, waktu pemanenan maggot tidak berlangsung secara tetap, tetapi bergantung pada ketersediaan dan kontinuitas bahan organik yang tersedia tidak tetap. Produk samping berupa kasgot selanjutnya dikemas dalam karung. Namun, belum tersedia pencatatan yang sistematis mengenai jumlah sampah organik yang diolah, persentase reduksi massa sampah, jumlah maggot dan kasgot yang dihasilkan dalam setiap produksi produksi, serta nilai ekonomi dari produk yang dihasilkan. Kondisi ini menyebabkan proses evaluasi hanya dapat dilakukan secara kualitatif berdasarkan keberlangsungan kegiatan dan pemanfaatan hasil pengolahan.

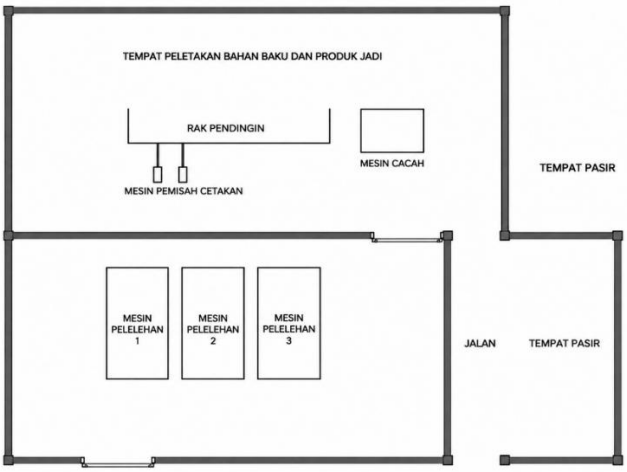
Secara keseluruhan, pengelolaan sampah organik di TPA Berahan Kulon menunjukkan perkembangan menuju sistem yang lebih sirkular dan produktif. Namun, untuk meningkatkan efektivitasnya, diperlukan penguatan kapasitas fasilitas, pendataan kuantitatif hasil produksi, diversifikasi pasar, serta penerapan SOP yang ketat. Dengan langkah-langkah tersebut, pengolahan organik diharapkan mampu berkontribusi signifikan terhadap pengurangan beban timbunan sampah sekaligus menghasilkan produk ramah lingkungan yang bernilai ekonomi.

3.4. Evaluasi Pengolahan Sampah Anorganik

Pengolahan sampah anorganik di TPA Berahan Kulon difokuskan pada sebuah program inovatif, yaitu produksi eco hex brick, sebuah balok segi enam yang terbuat dari limbah plastik non-ekonomis. Tujuan utama dari produksi ini adalah untuk mitigasi bencana lingkungan. Berdasarkan wawancara dengan pihak pengelola sampah anorganik, produk ini secara spesifik dirancang untuk berfungsi sebagai struktur pemecah ombak (wave breaker). Pemanfaatan utamanya adalah untuk program reklamasi daratan di wilayah pesisir Kecamatan Sayung, Kabupaten Demak, yang mengalami abrasi. Sistem produksi eksisting untuk eco hex brick di TPA Berahan Kulon dirancang sebagai alur proses manufaktur sekuensial yang dioperasikan oleh lima orang pekerja. Proses diawali dengan tahap pencacahan sampah plastik, dilanjutkan dengan pelelehan, pencampuran dengan pasir, pencetakan, pendinginan, dan diakhiri dengan pelepasan produk dari cetakan serta inspeksi akhir. Salah satu karakteristik utama dari sistem ini adalah praktik pencampuran berbagai jenis plastik yang dilelehkan secara bersamaan.

Meskipun memiliki tujuan dan alur proses yang jelas, berdasarkan observasi langsung di lapangan pada Juli 2025, unit pengolahan eco hex brick ini ditemukan dalam kondisi tidak beroperasi. Seluruh kegiatan produksi, dari pencacahan hingga pencetakan, tidak ditemukan berjalan selama periode observasi. Analisis lebih lanjut mengidentifikasi bahwa berhentinya operasional ini disebabkan oleh kombinasi dua masalah fundamental. Masalah paling kritis adalah kegagalan pada rantai pasok, di mana pasokan bahan baku plastik yang sepenuhnya bergantung pada Dinas Lingkungan Hidup (DLH) kini tidak lagi berjalan. Disamping kegagalan pasokan eksternal tersebut, sistem produksi internal itu sendiri memiliki kelemahan inheren berupa efisiensi yang rendah, yang ditandai dengan ketidakmampuan mencapai target produksi bahkan saat bahan baku tersedia.

© 2026, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP



Gambar 7. Tata Letak (*Layout*) Sistem Produksi *Eco Hex Brick* TPA Berahan Kulon

Kelemahan pada sistem produksi juga tercermin pada tata letak (*layout*) fasilitas eksisting, sebagaimana divisualisasikan pada Gambar 7. Tata letak ini tidak memiliki area fungsional yang terdefinisi dengan jelas untuk aktivitas penerimaan (*receiving*), penyimpanan, dan pengiriman (*shipping*). Akibatnya, area penyimpanan bahan baku menyatu dengan produk jadi, sehingga menimbulkan kesulitan dalam manajemen *inventory*. Lebih jauh lagi, alur material yang terjadi bersifat bolak-balik (*backtracking*) yaitu bahan baku diangkut dari depan ke area belakang untuk diproses, dan produk jadi kemudian harus diangkut kembali ke depan untuk dikirim.

Untuk mengukur kinerja sistem eksisting, model simulasi dibangun menggunakan FlexSim untuk memperoleh *baseline* kinerja dan mengidentifikasi *bottleneck*. Hasil simulasi menunjukkan *output* hanya 6 balok/hari, jauh di bawah target 18 balok/hari. *Bottleneck* terjadi pada Operator 1 dan 2 dengan utilitas 100%, yang menyebabkan Mesin Pemisah Cetakan hanya memiliki utilitas 1,9%, sedangkan Mesin Pelelehan 2 dan 3 tidak terpakai dengan utilitas 0%. Rangkuman hasil simulasi sistem eksisting disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Rangkuman Hasil Simulasi Sistem

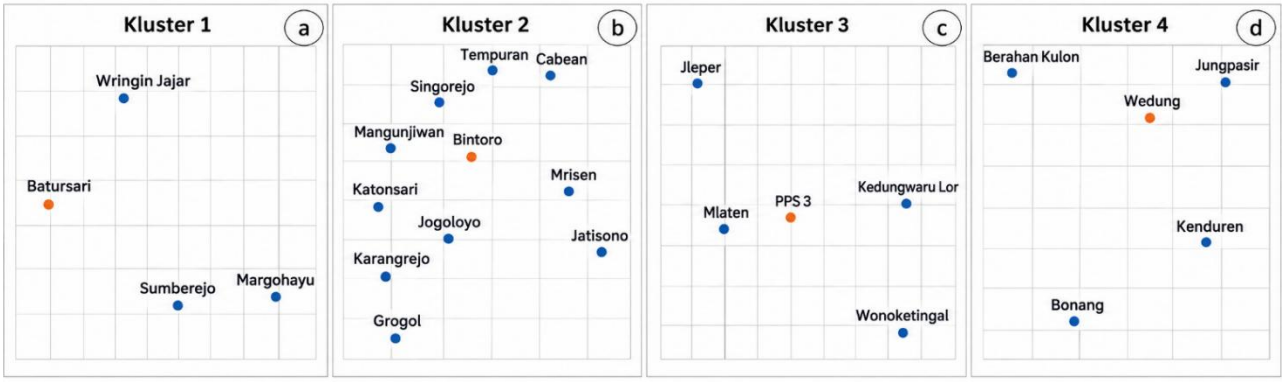
Indikator Simulasi Sistem	Nilai
Utilitas Pekerja	
Operator 1	100%
Operator 2	100%
Operator 3	88,30%
Operator 4	88,60%
Operator 5	87,90%
Utilitas Mesin	
Mesin Cacah	84,30%
Mesin Pemisahan Cetakan	1,90%
Mesin Pelelehan 1	77,50%
Mesin Pelelahan 2	0%
Mesin Pelelehan 3	0%
Output per Hour (Mesin Pelelehan)	0,2
Mesin Pelelehan 1	0,8
Mesin Pelelehan 2	0
Mesin Pelelehan 3	0

Selain analisis kinerja operasional, dilakukan pula evaluasi biaya kuantitatif terhadap sistem rantai pasok eksisting yang terpusat. Perhitungan ini didasarkan pada serangkaian asumsi operasional untuk menciptakan model yang konsisten, di mana pengangkutan diasumsikan menggunakan truk berkapasitas muatan 3 ton. Komponen biaya yang dianalisis mencakup biaya bahan bakar solar seharga Rp10.000 per liter dengan estimasi konsumsi 8 km/liter , biaya tenaga kerja sebesar Rp2.800 per kilometer, serta biaya perawatan kendaraan sebesar Rp500 per kilometer. Berdasarkan kerangka perhitungan tersebut, total estimasi biaya untuk menjalankan skema pasokan ini selama satu bulan diperkirakan mencapai Rp3.788.549. Angka ini kemudian ditetapkan sebagai dasar perbandingan (*baseline*) untuk mengevaluasi efisiensi ekonomis dari model rantai pasok yang diusulkan.

Rekomendasi utama untuk mengatasi kegagalan sistem pasokan adalah dengan melakukan transisi dari model sentralisasi ke model rantai pasok desentralisasi dengan strategi 'Penyimpanan Distributor dengan Pengiriman Jarak Dekat' (*Distributor Storage with Last-Mile Delivery*). Model rantai pasok desentralisasi adalah suatu struktur dimana setiap pelaku dalam rantai pasok, seperti produsen, distributor, dan pengecer, mengambil keputusan secara mandiri tanpa pengendalian pusat.

Langkah awal perancangan dilakukan dengan mengelompokkan (*clustering*) 68 bank sampah ke dalam empat klaster geografis, yaitu Klaster 1 (Batursari), Klaster 2 (Bintoro dan sekitarnya), Klaster 3 (Mlaten), dan Klaster 4 (Wedung). Selanjutnya, lokasi optimal Pusat Pengumpulan Sementara (PPS) pada setiap klaster ditentukan menggunakan *Gravity Model* berdasarkan jarak dan volume pasokan setiap bank sampah. Petersen & Church (2020) menunjukkan bahwa *gravity model* dapat diterapkan dalam penentuan lokasi *drop-off* daur ulang. Hasil analisis merekomendasikan PPS 1 di Desa Batursari, PPS 2 di Kelurahan Bintoro, PPS 3 di sebelah timur Desa Mlaten, dan PPS 4 di Desa Wedung. Titik penempatan PPS disajikan pada Gambar 8.

© 2026, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP



Gambar 8. Grafik Penempatan Lokasi PPS: (a) PPS 1 (Batursari); (b) PPS 2 (Bintoro); (c) PPS 3; (d) PPS 4 (Wedung)

Tahap akhir adalah perancangan rute penjemputan yang efisien menggunakan metode *Vehicle Routing Problem* (VRP) dengan algoritma *Saving Matrix*. Perancangan ini diterapkan pada dua tingkatan: rute sekunder (dari bank sampah ke PPS di dalam klaster) dan rute primer (dari TPA ke keempat PPS). Hasilnya adalah sebuah strategi rute hibrida yang mengkombinasikan perjalanan langsung (*direct shuttle*) dan rute melingkar (*looping route*) untuk memaksimalkan efisiensi. Alokasi akhir dari 13 unit truk yang dibutuhkan untuk melayani keseluruhan rute primer dan sekunder ini dirinci dalam Tabel 6.

Tabel 6. Rangkuman Hasil Simulasi Sistem Perancangan Rantai Pasok TPA Berahan Kulon

Truk	Rute
1	TPA - PPS 1 - TPA
2	TPA - PPS 1 - TPA
3	TPA - PPS 2 - TPA
4	TPA - PPS 2 - TPA
5	TPA - PPS 3 - TPA
6	TPA - PPS 1 - PPS 2 - PPS 4 - TPA
7	TPA - PPS 4 - TPA
8	Batusari (PPS 1) -- Sumberejo - Margohayu - Winginjajar - Batusari (PPS 1)
9	Bintoro (PPS 2) - Mrisen - jatisono - Cabean - Tempuran - Singorejo - Bintoro (PPS 2)
10	Bintoro (PPS 2) - Karangrejo - Grogol - Joloyo - Bintoro (PPS 2)

Rekomendasi utama untuk perbaikan sistem produksi adalah dengan merestrukturisasi alur kerja awal, di mana proses pemilahan, kontrol kualitas, dan pencacahan bahan baku dialihkan ke hulu dalam rantai pasok. Langkah pemilahan direkomendasikan untuk dilakukan sedini mungkin di setiap bank sampah, sementara aktivitas kontrol kualitas awal dan pencacahan dilakukan di Pusat Pengumpulan Sementara (PPS). Dengan demikian, TPA akan menerima bahan baku terstandar yang siap olah, yang secara fundamental akan meningkatkan kualitas dan konsistensi material, serta menyederhanakan operasional di fasilitas utama.

Sebagai kelanjutannya, di fasilitas TPA direkomendasikan implementasi tiga lini produksi paralel yang terspesialisasi berdasarkan kategori material dan suhu lelehnya, sebagaimana dirinci pada Tabel 7.

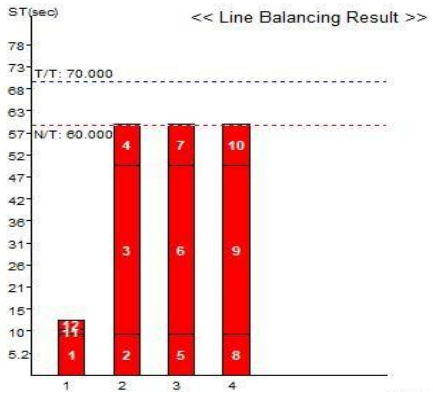
Tabel 7. Rekomendasi Lini Produksi *Eco Hex Brick* TPA Berahan Kulon

Mesin	Lini Produksi	Jenis Plastik	Suhu Leleh
1	Lini Produksi Suhu Rendah	LDPE/HDPE	105-137°C
2	Lini Produksi Suhu Tinggi	PET	245-260°C
3	Lini Produksi Plastik Lainnya	Plastik Lainnya	Variatif

Alur proses produksi usulan di dalam TPA dimulai dari penerimaan bahan baku plastik yang sudah dalam bentuk cacahan dari PPS. Material ini kemudian langsung dialirkan ke salah satu dari tiga lini pelelehan yang sesuai dengan kategorinya. Pada stasiun pelelehan, pasir ditambahkan dan dicampur hingga homogen, kemudian adonan panas tersebut dicetak. Produk yang masih di dalam cetakan selanjutnya dipindahkan ke area pendinginan dan menjadi *Work-in-Process* (WIP) selama satu hari. Keesokan harinya, produk yang telah dingin tersebut dipindahkan ke stasiun pelepasan cetakan, di mana produk jadi akan melalui inspeksi akhir sebelum dipindahkan ke area penyimpanan produk jadi.

Untuk mengatasi masalah *bottleneck* dan ketidakseimbangan beban kerja, direkomendasikan restrukturisasi alokasi tenaga kerja. Hasil perhitungan keseimbangan lini (*line balancing*), yang divisualisasikan pada Gambar 9, menunjukkan bahwa 12 elemen kerja dapat dialokasikan ke dalam empat stasiun kerja dengan tingkat efisiensi lini mencapai 80,4% dan waktu siklus 60 detik (di bawah *Takt Time* 70 detik). Implementasi skema ini membutuhkan penambahan jumlah operator menjadi 10 orang, di mana Operator 1 menangani Stasiun Kerja 1 (inspeksi dan pemisahan cetakan), dan sisanya dibagi menjadi tiga tim untuk melayani masing-masing mesin pelelehan, sehingga menciptakan alur kerja yang seimbang dan produktif.

© 2026, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP



Gambar 9. Line Balancing Rekomendasi Sistem Produksi pada TPA Berahan Kulon

Analisis terhadap sistem produksi eksisting mengidentifikasi bahwa tata letak fasilitas merupakan salah satu sumber inefisiensi utama. Alur material yang terjadi bersifat bolak-balik (*backtracking*), dimana bahan baku diangkut ke belakang bangunan dan produk jadi harus diangkut kembali ke depan untuk pengiriman. Fasilitas ini juga tidak memiliki area yang terdefinisi secara jelas untuk penerimaan, penyimpanan, dan pengiriman, yang menyebabkan bercampurnya bahan baku dengan produk jadi.

Sebagai solusi, direkomendasikan sebuah rancangan tata letak baru yang sistematis, sebagaimana disajikan pada Gambar 10. Rancangan ini secara fundamental mengubah alur kerja dengan menciptakan alur material yang linear dan searah (*one-way flow*), sehingga menghilangkan proses *backtracking*. Selain itu, *layout* usulan ini menyediakan area-area fungsional yang terdefinisi dengan jelas dan terpisah untuk Penerimaan Bahan Baku, Penyimpanan WIP, Penyimpanan Produk Jadi, dan Area Pengiriman. Dengan demikian, tata letak baru ini direkomendasikan karena mampu meminimalkan pemborosan transportasi, memperlancar alur kerja, dan mendukung sistem produksi yang lebih produktif dan teratur.

Setelah perancangan sistem produksi dan rantai pasok yang baru, dilakukan validasi kuantitatif menggunakan model simulasi FlexSim untuk mengevaluasi kinerja sistem usulan dibandingkan kondisi eksisting. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem usulan mampu mengatasi kendala utama pada sistem eksisting, terutama ketidakseimbangan beban kerja dan *bottleneck* pada operator. Beban kerja menjadi lebih merata, dengan sembilan dari sepuluh operator memiliki tingkat utilitas antara 85,7% hingga 85,8%. Pemanfaatan aset juga meningkat, ditunjukkan oleh ketiga mesin pelelehan yang beroperasi secara seimbang dengan utilitas 75%. Perbaikan tersebut menunjukkan bahwa rancangan sistem mampu meningkatkan keseimbangan proses dan pemanfaatan sumber daya sehingga target produksi harian dapat tercapai. Rangkuman hasil simulasi sistem usulan disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Simulasi Kinerja Sistem Usulan Kerja di TPA Berahan Kulon

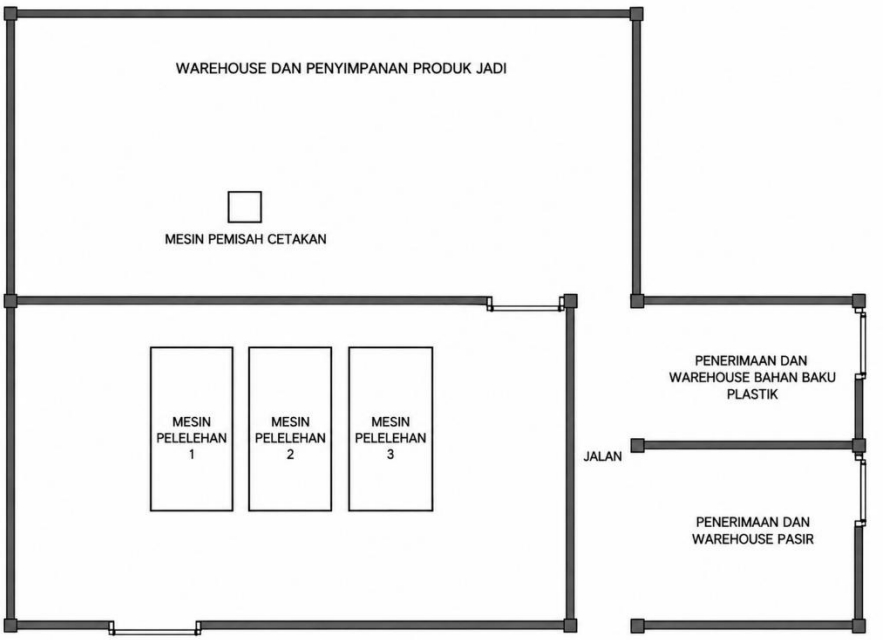
Indikator Simulasi Sistem	Nilai
Utilitas Pekerja Operator 1	47,50%
Operator 2	85,70%
Operator 3	85,70%
Operator 4	85,70%
Operator 5	85,70%
Operator 6	85,70%
Operator 7	85,70%
Operator 8	85,70%
Operator 9	85,70%
Operator 10	85,70%
Utilitas Mesin	
Mesin Pemisahan Cetakan	7,50%
Mesin Pelelehan 1	75%
Mesin Pelelehan 2	75%
Mesin Pelelehan 3	75%
Output per Hour (Mesin Pelelehan)	
Mesin Pelelehan 1	0,8
Mesin Pelelehan 2	0,8
Mesin Pelelehan 3	0,8

3.5. Evaluasi Pengolahan Air Lindi

Sebagai bagian dari sistem pengendalian pencemaran lingkungan, TPA Berahan Kulon telah dilengkapi dengan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) untuk menangani air lindi. Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016, yang dimaksud dengan lindi adalah cairan yang timbul akibat masuknya air eksternal ke dalam timbunan sampah, melarutkan dan membilas materi-materi terlarut, termasuk materi organik hasil proses dekomposisi secara biologi. Air lindi sendiri dapat mencemari lingkungan, khususnya pada ekosistem tanah apabila tidak dikelola dengan baik. Untuk mencegah perkolasi ke tanah, dasar landfill dilapisi membran geosintetik dan dipasang jaringan pipa drainase bawah tanah yang mengalirkan lindi menuju IPAL.

Sayangnya, dalam praktik operasional terjadi penyumbatan saluran masuk pipa oleh akumulasi timbunan sampah menyebabkan aliran lindi tidak selalu optimal sehingga sering terjadi luapan di jalan operasional dalam kawasan TPA. Luapan tersebut disertai dengan bau menyengat yang disebabkan oleh akumulasi gas metana hasil dekomposisi anaerobik antara sampah dan lindi yang menggenang. Luapan ini menjadi ancaman nyata terhadap kualitas lingkungan sekitar, khususnya dalam hal pencemaran tanah dan kenyamanan pekerja.

© 2026, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP



Gambar 10. Rekomendasi Tata Letak (Layout) Sistem Produksi *Eco Hex Brick* TPA Berahan Kulon

abel 9. Hasil Pengujian Kualitas Air Lindi Sebelum dan Setelah Melalui Pengolahan di TPA Berahan Kulon

Parameter	Sebelum IPAL	Setelah IPAL	Baku Mutu
Fisika			
Bau	Berbau menyengat	Tidak berbau	Tidak berbau
Warna	Hitam gelap	Jernih kehijauan	10 TCU
Kimia			
Suhu	30	30	Suhu udara ± 3
pH	9	7	6-9*
Total Dissolved Solid (TDS)	2650 mg/L	2500 mg/L	<300 mg/L**
Kesadahan	425 mg/L	425 mg/L	
Total Alkali	240 mg/L	180 mg/L	
Total Chlorine	0 mg/L	0 mg/L	
Free Chlorine	0,5 mg/L	0 mg/L	
Nitrat ($NO3^-$)	10 mg/L	0 mg/L	20 mg/L**
Nitrit ($NO2^-$)	1 mg/L	0 mg/L	3 mg/L**
Zat Besi (Fe)	5 mg/L	0 mg/L	0.2 mg/L**
Fluoride (F)	10 mg/L	0 mg/L	1.5 mg/L**
Bromin (Br)	1 mg/L	0 mg/L	
Kromium (Cr)	0 mg/L	0 mg/L	0.01 mg/L**
Timbal (Pb)	20 mg/L	0 mg/L	0.01 mg/L**
Merkuri (Hg)	0 mg/L	0 mg/L	0.005 mg/L*
Tembaga (Cu)	1 mg/L	0 mg/L	
Asam Sianurat ($C3N3(OH)3$)	300 mg/L	30–50 mg/L	

**) Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016 Tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir*

***) Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 Tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 Tentang Kesehatan Lingkungan*

Lindi yang telah terkumpul melalui saluran drainase selanjutnya dialirkan ke bak penampungan tertutup. Pada unit ini, dilengkapi sistem pemisahan antara padatan dan cairan menggunakan membran filtrasi khusus untuk menahan partikel kasar, sementara cairan jernih dialirkan ke tahap berikutnya. Sayangnya, membran filtrasi ini hanya diganti apabila air hasil olahan menunjukkan ketidaksesuaian terhadap baku mutu, yang dinilai secara berkala melalui uji laboratorium. Lindi kemudian memasuki tahapan filtrasi lanjutan, dimana cairan dialirkan melalui serangkaian tray filter bertingkat berisi media penyaring untuk menurunkan kadar bahan pencemar kimia dan biologi. Proses ini menjadi kunci dalam meningkatkan kualitas air menuju tahap akhir. Air hasil filtrasi selanjutnya dikumpulkan dalam rumah pompa, yang juga berfungsi sebagai titik pengambilan sampel untuk pengujian kualitas air setelah pengolahan. Dari rumah pompa, air hasil olahan dapat dialirkan ke kolam pembuangan akhir yang terhubung ke lingkungan luar apabila memenuhi ketentuan baku mutu.

Pengujian kualitas lindi dilakukan secara *in situ* pada titik outlet IPAL sebanyak 1–2 kali selama periode penelitian menggunakan instrumen portabel yang telah dikalibrasi. Parameter yang diuji meliputi alkalinitas total, kesadahan, karbonat, nitrat, nitrit, Fe, Cr, Pb, Cu, dan Hg, sedangkan pH dan TDS diukur menggunakan alat portabel terpisah. Pengujian bersifat semi-kuantitatif dan digunakan sebagai *rapid*

© 2026, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP

field-based assessment. Pengambilan sampel hanya dilakukan pada outlet tanpa data pembanding inlet dan tanpa replikasi laboratorium maupun penetapan batas deteksi terstandardisasi. Selain itu, parameter utama BOD, COD, TSS, dan NH_3-N tidak diuji karena keterbatasan akses laboratorium. Oleh karena itu, hasil pengujian hanya digunakan sebagai gambaran awal kondisi lindi dan tidak dapat digunakan untuk menyimpulkan efektivitas IPAL maupun kepatuhan terhadap baku mutu secara definitif. Hasil pengujian diajikan pada Tabel 9.



Gambar 11. Alat Filtrasi pada IPAL di TPA Berahan Kulon

Hasil pengukuran pada Tabel 9 menunjukkan bahwa keberadaan IPAL di TPA Berahan Kulon menurunkan banyak parameter anorganik dan menormalkan pH (dari ~9 ke 7), serta menurunkan kadar logam dan beberapa anion (Fe, Pb, F, Cu, Br, nitrit/nitrat). Namun nilai TDS dan kesadahan tetap jauh melampaui baku mutu, menunjukkan beban terlarut yang belum teratasi. Data fisika-kimia awal ini menjadi *baseline* penting untuk pemantauan lindi; namun, karena parameter organik kunci seperti *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solids* (TSS), dan *Ammonia Nitrogen* (NH_3-N) tidak diuji dalam studi ini, maka evaluasi kualitas air lindi belum dapat menggambarkan tingkat pencemaran organik secara komprehensif, efisiensi IPAL terhadap beban organik belum dapat dinilai secara kuantitatif. Secara desain, IPAL menerapkan pengolahan bertingkat yang sesuai prinsip pengelolaan lindi, tetapi kinerja lapangan terpengaruh oleh kendala operasional seperti penyumbatan drainase dan beban lindi yang tinggi. Untuk itu direkomendasikan: (1) verifikasi nilai logam berat dan fluorida di laboratorium terakreditasi; (2) pengukuran lanjutan BOD, COD, TSS, dan NH_3-N serta perhitungan muatan massa (*mass load*); dan (3) perbaikan operasional drainase agar IPAL dapat bekerja lebih andal dan risiko pencemaran lingkungan dapat diminimalkan.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa TPA Berahan Kulon memiliki potensi pengembangan, tetapi masih menghadapi sejumlah kendala operasional dalam pengelolaan sampah. Analisis SWOT menempatkan TPA pada Kuadran I (*Strength-Opportunities*) dengan skor faktor internal 7,52 dan eksternal 6,78, sehingga strategi pertumbuhan menjadi arah pengembangan yang sesuai. Budidaya maggot menjadi potensi utama dalam pengolahan sampah organik, sedangkan unit pengolahan anorganik terkendala oleh rantai pasok dan inefisiensi produksi. Hasil simulasi perancangan ulang sistem menunjukkan potensi peningkatan *output* hingga 200% pada skenario penambahan jumlah pekerja dari lima menjadi sepuluh orang yang disertai dengan perbaikan sistem produksi. Sementara itu, efektivitas pengelolaan air lindi masih terkendala oleh penyumbatan drainase. Secara keseluruhan, integrasi perbaikan strategis, operasional, dan lingkungan diperlukan untuk mendukung pengelolaan sampah yang terpadu dan berkelanjutan di TPA Berahan Kulon. Metode campuran yang diterapkan (observasi, wawancara, analisis dokumen, pengujian parameter fisika-kimia dasar, dan simulasi operasi) terbukti relevan dengan permasalahan dan kebutuhan lokal, meskipun pengujian parameter organik perlu dilengkapi pada tahap tindak lanjut. Untuk selanjutnya direkomendasikan langkah-langkah prioritas, yaitu verifikasi laboratorium dan perhitungan muatan massa lindi, perbaikan drainase dan peningkatan kinerja IPAL, percepatan klasterisasi bank sampah serta pendirian PPS untuk desentralisasi pasokan, standarisasi SOP dan pelatihan SDM (K3 dan *quality control*), serta pengembangan akses pasar, kemitraan *off-taker*, dan skema pendanaan untuk menskalakan pilot. Implementasi rekomendasi ini diharapkan menjadikan pengelolaan TPA lebih andal, berkelanjutan, dan memberikan manfaat sosial-ekonomi yang nyata bagi masyarakat setempat.

DAFTAR PUSTAKA

Afonso, T., Alves, A., Carneiro, P., & Vieira, A. (2021). Simulation pulled by the need to reduce wastes and human effort in an intralogistics project. *International Journal of Industrial Engineering and Management.*

Akbar, A. D. (2023). *Peran pedagang pasar dalam pengelolaan sampah di lingkungan Pasar Bintoro*. Semarang: Universitas Islam Sultan Agung.

Burinskienė, A., Lorenc, A., & Lerher, T. (2018). A Simulation Study for the Sustainability and Reduction of Waste in Warehouse Logistics. *International Journal of Simulation Modelling*.

Cahyati, A. P., & Hutagaol, J. D. C. (2023). *Perencanaan pengolahan sampah menggunakan metode Material Flow Analysis (MFA) dan Life Cycle Assessment (LCA) di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Berahan Kulon Kabupaten Demak* [Laporan tugas akhir, Universitas Diponegoro].

David, F. R. (2017). Manajemen Strategi: Konsep dan Penerapan.

Gramedia Pustaka. Jakarta.

Durmaz, N., & Budak, A. (2024). An integrated Bi-objective green vehicle routing and partial disassembly line problem for electronic waste: an industrial case study. *International Journal of Computer Integrated*

© 2026, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP

Manufacturing, 38, 408 - 433.

Eghbali, H., Arkat, J., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2022). Sustainable supply chain network design for municipal solid waste management: A case study. *Journal of Cleaner Production*.

Gürel, S., & Tat, M. (2017). SWOT Analysis: A Theoretical Review. *The Journal of International Social Research, 10*, 994-1006.

Herman, F., & Subagja, A. (2023). Strategi Pengelolaan Sampah Di Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kabupaten Subang. *The World of Public Administration Journal*.

Marzan, A., Taufik, I., Hidayat, R., Nugraha, W., & Sari, R. (2024). STUDI KELAYAKAN TEKNIS LOKASI TEMPAT PEMROSESAN AKHIR (TPA) SAMPAH REGIONAL CILELES KABUPATEN LEBAK PROVINSI BANTEN. *Jurnal Teknik |Majalah Ilmiah Fakultas Teknik UNPAK*.

Pawlak, S., Małysa, T., Fornalczyk, A., Sobianowska-Turek, A., & Kuczyńska-Chałada, M. (2025). Analysis of Opportunities to Reduce CO2 and NOX Emissions Through the Improvement of Internal Inter-Operational Transport. *Sustainability*.

Pemerintah Provinsi Jawa Tengah. (2021, Maret 22). *TPA baru diharapkan atasi permasalahan sampah di Demak.* https://jatengprov.go.id/beritadaerah/tpa-baru-diharapkan-atasi-permasalahan-sampah-di-demak/

Petersen, M. I., & Church, R. L. (2020). A gravity model for siting recycling drop-off centers. *Journal of Environmental Management*, 260, 110098.

Putri, V., Raharjo, S., & Aziz, R. (2023). Strategi Pengelolaan Sampah Menggunakan Analisis SWOT: Studi Kasus TPA Regional Payakumbuh. *Jurnal Serambi Engineering*.

Rahman, M., & Hasan, M. M. U. (2022). Pavement Dweller Center (PDC) – An innovative one-stop service for homeless people: The case of Sajida Foundation's Amrao Manush project. *Community Development,* 54, 72–90.

Rangkuti, F. (2018). *Analisis SWOT: Teknik Membedah Kasus Bisnis*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.

Silalahi, A. T., Manurung, R., & Yuliani, A. (2022). Black Soldier Fly (Hermetia illucens) larvae frass as organic fertilizer: Characteristics and use in soil. *Journal of Cleaner Production*, 335, 130340.

Slingerland, G., Kooijman, J., Lukosch, S., Comes, T., & Brazier, F. (2021). The power of stories: A framework to orchestrate reflection in urban storytelling to form stronger communities. *Community Development*, 54(1), 18–37. https://doi.org/10.1080/15575330.2021.1998169

Sugiyono. (2011). *Metode Penelitian Kombinas*i. Bandung: Alfabeta

Tomberlin, J.K., P.H. Adler, and H.M. Myers. 2009. Development of the Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) in Relation to Temperature. *Environ. Entomol*. 38(3):930-934.

Wagner, B., Felderhoff, B., & Solomon, K. (2022). Implementing the collective impact model as a gateway to a veterans community navigator program. C*ommunity Development,* (1), 38–54.

Widodo, E. M., Yuwono, M. A., & Rachman, F. (2021). Cultivation of maggot from organic waste to increase economic value at TPS 3R Enggal Comfort, Gondosuli, Muntilan. Garuda Kemdikbud.

Zaenuri, M. (2023). *Dampak ketidakefektifan pengelolaan persampahan TPA Berahan Kulon Kabupaten Demak terhadap pencemaran lingkungan* [Tugas akhir, Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Universitas Semarang]. eSkripsi Universitas Semarang.

© 2026, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP