

Potensi Pengelolaan Sampah dan Limbah Peternakan Berbasis Integrated Resources Recovery Center (IRRC)

Devi Ratna Handini^{1*}, Rusdiana Setyaningtyas²

¹Universitas Modern Al Rifa'ie Indonesia, Indonesia

²Universitas Muhammadiyah Jember, Indonesia

Email: devirh99.umain@gmail.com*, rusdiana@unmuhjember.ac.id

Abstrak

Kecamatan Pujon dan Ngantang merupakan wilayah agraris–peternakan di Kabupaten Malang dengan karakteristik timbunan sampah dan limbah peternakan yang tinggi. Namun, belum terdapat kajian komprehensif yang mengintegrasikan potensi sampah rumah tangga dan manur sebagai dasar perencanaan sistem pengelolaan terpadu. Penelitian ini bertujuan menganalisis potensi pengelolaan sampah dan manur berbasis Integrated Resources Recovery Center (IRRC) melalui pendekatan kuantitatif-statistik terhadap data timbunan, komposisi sampah, dan produksi limbah ternak. Metode yang digunakan meliputi analisis deskriptif statistik, estimasi timbunan berbasis per kapita, survei komposisi selama tujuh hari berturut-turut, serta estimasi produksi manur menggunakan asumsi standar literatur. Hasil menunjukkan bahwa timbunan sampah rata-rata mencapai 29,22 ton/hari di Pujon dan 24,55 ton/hari di Ngantang, dengan dominasi fraksi organik di Pujon (52,38%) dan fraksi RDF di Ngantang (40,23%). Di sisi lain, produksi manur gabungan kedua kecamatan mencapai 1.124,54 ton/hari, dengan potensi realistis tertangkap sebesar 112,45–224,91 ton/hari. Temuan ini menegaskan bahwa pengembangan IRRC terpadu yang mengombinasikan komposting, RDF, dan pemanfaatan manur sangat layak secara teknis dan strategis untuk mendukung pengelolaan lingkungan berkelanjutan dan ekonomi sirkular di wilayah studi.

Kata kunci: IRRC, RDF, manur, komposting, pengelolaan sampah, Pujon, Ngantang

Abstract

Pujon and Ngantang Sub-districts are agrarian–livestock areas in Malang Regency characterized by high generation of municipal solid waste and livestock manure. However, there has been no comprehensive study integrating the potential of household waste and manure as a basis for integrated management system planning. This study aims to analyze the potential for waste and manure management based on an Integrated Resources Recovery Center (IRRC) using a quantitative–statistical approach to waste generation, waste composition, and livestock waste production data. The methods employed include descriptive statistical analysis, per capita–based waste generation estimation, a seven-day consecutive waste composition survey, and manure production estimation using standard assumptions from the literature. The results indicate that the average municipal solid waste generation reaches 29.22 tons/day in Pujon and 24.55 tons/day in Ngantang, with a dominance of organic waste in Pujon (52.38%) and RDF fractions in Ngantang (40.23%). Meanwhile, the combined manure production of both sub-districts reaches 1,124.54 tons/day, with a realistic recoverable potential of 112.45–224.91 tons/day. These findings confirm that the development of an integrated IRRC system combining composting, RDF production, and manure utilization is technically feasible and strategically important for supporting sustainable environmental management and the implementation of a circular economy in the study area.

Keywords: IRRC, RDF, manure, composting, waste management, Pujon, Ngantang



PENDAHULUAN

Kecamatan Pujon dan Ngantang terletak di bagian barat Kabupaten Malang, Secara astronomis Kecamatan Pujon terletak diantara 112°15'40" – 122°17'21" BT dan 7°31'19" – 7°29'37" LS. Sedangkan secara topografis memiliki karakteristik berbukit hingga pegunungan, berada pada ketinggian ±1.100 – 1.200 mdpl, dengan curah hujan rata 2.000 – 3.000 mm/tahun, sedangkan Kecamatan Ngantang terletak diantara 112°12'54" – 122°13'43" BT dan 7°29'40" – 7°33'37" LS, berada pada ketinggian berkisar antara ±500 – 700 mdpl, Rata-rata curah hujan tahunan mencapai sekitar 2518 mm. Dilihat dari geografisnya, wilayah Kecamatan Pujon dan

Ngantang merupakan dataran tinggi dan tentunya mempengaruhi kesuburan tanah sehingga banyak penduduk mengoptimalkannya dengan bercocok tanam dan berternak (UNESCAP, 2015; World Bank, 2025). Sehingga sektor peternakan sapi perah dan hortikultura (sayuran) menjadi komoditas unggulan utama masyarakat. Peningkatan aktivitas permukiman, pertanian, dan peternakan di wilayah ini telah menyebabkan pertumbuhan timbunan sampah dan limbah organik yang signifikan (Campuzano & González-Martínez, 2016; Costa et al., 2023; De Medina-Salas et al., 2019; Yadav et al., 2025).

Karakteristik wilayah yang relatif jauh dari tempat pemrosesan akhir (TPA) serta keterbatasan infrastruktur pengangkutan menyebabkan sistem pengelolaan sampah konvensional menjadi kurang efektif dan berpotensi menimbulkan permasalahan lingkungan. Peningkatan timbunan sampah di wilayah perdesaan tidak diikuti oleh peningkatan kapasitas sistem pengelolaan (Astuti et al., 2024; Ranieri et al., 2018; World Bank, 2025). Model konvensional angkut–buang ke TPA menghadapi kendala keterbatasan armada, jarak yang jauh, serta biaya operasional yang tinggi. Selain sampah rumah tangga, kedua kecamatan menghasilkan limbah peternakan dalam jumlah besar yang berpotensi menjadi sumber daya.

Peningkatan timbunan sampah dan limbah organik di wilayah perdesaan merupakan isu yang semakin mendapat perhatian dalam kajian teknik lingkungan. Tchobanoglous, Theisen, dan Vigil (1993) serta Tchobanoglous dan Kreith (2002) menunjukkan bahwa wilayah perdesaan dan semi-perdesaan umumnya didominasi oleh fraksi organik dengan proporsi lebih dari 50%, sehingga pendekatan pengelolaan berbasis pemanfaatan sumber daya, khususnya komposting, lebih efektif dibandingkan sistem pembuangan akhir konvensional. Penelitian oleh Damanhuri dan Padmi (2016) dalam konteks pengelolaan sampah di Indonesia menegaskan bahwa ketergantungan pada TPA sebagai solusi utama tidak berkelanjutan, terutama bagi daerah dengan jarak angkut yang jauh dan kapasitas TPA terbatas. Mereka menekankan pentingnya pengolahan di sumber dan skala kawasan sebagai strategi utama pengurangan beban TPA.

Temuan ini diperkuat oleh studi Suryani et al. (2018) yang menunjukkan bahwa sistem TPS3R berbasis komposting mampu mengurangi timbunan sampah yang diangkut ke TPA hingga 30–50% di wilayah perdesaan Jawa Timur. Selain pengolahan organik, sejumlah penelitian mengkaji potensi refuse-derived fuel (RDF) sebagai alternatif pengelolaan fraksi residu bernilai kalor. Astrup et al. (2015) menyatakan bahwa RDF memiliki peran strategis dalam sistem pengelolaan sampah terpadu karena mampu mengonversi residu non-daur ulang menjadi sumber energi. Di Indonesia, penelitian Widodo, Raharjo, dan Lestari (2020) menunjukkan bahwa RDF dari sampah rumah tangga memiliki nilai kalor yang cukup untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar substitusi di industri semen, khususnya apabila didukung oleh pemilahan yang baik di tingkat hulu.

Di sisi lain, wilayah agraris–peternakan menghasilkan limbah peternakan (manur) dalam jumlah yang sangat signifikan. Safley et al. (1992) serta Fulhage (2000) melaporkan bahwa produksi manur sapi perah dapat mencapai puluhan kilogram per ekor per hari, menjadikan manur sebagai salah satu sumber limbah organik terbesar di wilayah pedesaan. Penelitian Budiyo et al. (2014) di Indonesia menunjukkan bahwa pemanfaatan manur sebagai bahan baku kompos dan pupuk organik mampu meningkatkan kualitas tanah sekaligus menurunkan pencemaran lingkungan di sekitar kawasan peternakan. Namun demikian, sebagian besar penelitian terkait manur masih dilakukan secara sektoral, terpisah dari sistem pengelolaan sampah rumah tangga. Bernstad dan la Cour Jansen (2012) menekankan bahwa pemisahan kajian antara sampah kota dan limbah organik lainnya menyebabkan peluang integrasi sumber daya sering terabaikan. Hal ini menunjukkan perlunya pendekatan yang lebih holistik dalam perencanaan sistem pengelolaan limbah.

Pengelolaan sampah terintegrasi dengan konsep Integrated Resources Recovery Center (IRRC) menawarkan solusi dengan memaksimalkan pemulihan sumber daya melalui

komposting, produksi Refuse-Derived Fuel (RDF), dan pengolahan limbah peternakan. Namun, perencanaan IRRC membutuhkan dasar analisis kuantitatif yang kuat terkait timbulan, komposisi, dan kontinuitas feedstock. Konsep Integrated Resources Recovery Center (IRRC) ini muncul sebagai pendekatan terpadu yang mengombinasikan pengolahan sampah rumah tangga, limbah organik, dan residu bernilai kalor dalam satu sistem pemulihan sumber daya. Studi Zurbrügg et al. (2012) dan Wilson et al. (2015) menunjukkan bahwa IRRC mampu meningkatkan efisiensi pengelolaan limbah, menekan emisi lingkungan, serta memperkuat ekonomi lokal melalui pemanfaatan produk hasil olahan. Di Indonesia, kajian IRRC masih relatif terbatas dan sebagian besar berfokus pada wilayah perkotaan, dengan minim penelitian kuantitatif yang mengintegrasikan sampah rumah tangga dan limbah peternakan di wilayah perdesaan.

Berdasarkan hasil-hasil penelitian terdahulu tersebut, terdapat research gap berupa belum adanya kajian yang secara komprehensif mengintegrasikan analisis timbulan sampah, komposisi sampah, dan produksi limbah peternakan dalam satu kerangka kuantitatif-statistik sebagai dasar perencanaan IRRC di wilayah agraris-peternakan. Kebaruan (novelty) penelitian ini terletak pada: (1) integrasi kuantitatif antara potensi sampah rumah tangga dan limbah peternakan dalam satu analisis sistem, yang belum dilakukan di penelitian sebelumnya; (2) pendekatan statistik deskriptif dengan survei lapangan tujuh hari berturut-turut untuk menangkap variabilitas harian timbulan dan komposisi sampah; (3) estimasi capture rate manur yang realistis (10–20%) sebagai dasar perencanaan teknis yang aplikatif; dan (4) fokus pada wilayah perdesaan agraris-peternakan yang selama ini kurang mendapat perhatian dalam literatur IRRC di Indonesia.

Oleh karena itu, penelitian ini berupaya mengisi celah tersebut dengan menyajikan analisis statistik terapan untuk mendukung pengembangan IRRC terpadu di Kecamatan Pujon dan Ngantang, Kabupaten Malang dengan fokus pada analisis statistik potensi sampah dan manur sebagai dasar teknis pengembangan IRRC di Kecamatan Pujon dan Ngantang. Tujuan spesifik penelitian ini adalah: (1) mengkuantifikasi timbulan sampah harian dan komposisinya di kedua kecamatan, (2) mengestimasi potensi produksi manur dan tingkat capture rate yang realistis, (3) menganalisis kelayakan teknis pengembangan IRRC berbasis komposting dan RDF, dan (4) merumuskan rekomendasi strategis untuk implementasi sistem pengelolaan terpadu. Manfaat penelitian ini diharapkan dapat memberikan basis data kuantitatif untuk perencanaan infrastruktur IRRC, menjadi rujukan kebijakan pengelolaan sampah di wilayah agraris-peternakan, dan berkontribusi pada pengembangan ekonomi sirkular di tingkat lokal.

METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian di Kecamatan Pujon dan Ngantang, Kabupaten Malang, dengan lokasi survei utama TPS3R Ngabab, Pandesari, Madiredo, dan Waturejo. Data yang digunakan data sekunder dan data primer. Pengambilan data primer dilakukan dengan survey timbulan sampah selama 7 hari berturut-turut.

Penelitian ini menggunakan desain observasional kuantitatif dengan pendekatan deskriptif-inferensial terbatas. Pendekatan ini dipilih karena tujuan utama penelitian adalah:

1. Mengestimasi besaran timbulan dan potensi sumber daya limbah,
2. Menganalisis karakteristik statistik data lapangan,
3. Menyusun dasar teknis perencanaan Integrated Resources Recovery Center (IRRC) skala kecamatan dari potensi timbulan sampah, kuantifikasi potensi dan variabilitas
4. Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif-kuantitatif. Data kependudukan diperoleh dari publikasi BPS, sedangkan data peternakan menggunakan Profil Kabupaten Malang 2024 (baseline 2023). Survei komposisi sampah dilakukan di TPS3R Pujon dan Ngantang tahun 2025.

Adapun tahapan penelitian ini adalah sebagai berikut :

Tahapan awal penelitian dimulai dengan identifikasi permasalahan, yaitu tingginya timbulan sampah rumah tangga dan limbah peternakan di Kecamatan Pujon dan Ngantang yang belum dikelola secara optimal serta masih bergantung pada sistem pengangkutan konvensional menuju tempat pemrosesan akhir.

Selanjutnya, dilakukan perumusan tujuan penelitian yang difokuskan pada analisis potensi pengelolaan sampah dan manur berbasis Integrated Resources Recovery Center (IRRC) melalui pendekatan kuantitatif dan statistik. Pada tahap ini juga ditetapkan ruang lingkup penelitian yang mencakup timbulan sampah, komposisi sampah, serta produksi limbah peternakan sebagai sumber bahan baku utama IRRC.

Tahap berikutnya adalah studi literatur dan regulasi, yang bertujuan memperoleh landasan teoritis dan metodologis terkait konsep IRRC, pengolahan RDF, komposting, pemanfaatan manur, serta standar perhitungan timbulan dan metode analisis statistik yang lazim digunakan dalam studi teknik lingkungan. Literatur ini menjadi dasar dalam penentuan parameter, asumsi, dan pendekatan analisis yang digunakan.

Setelah itu, dilakukan penentuan lokasi dan objek penelitian, yaitu Kecamatan Pujon dan Ngantang sebagai wilayah studi, dengan objek utama berupa aktivitas timbulan sampah rumah tangga di TPS3R serta kegiatan peternakan yang menghasilkan limbah manur. Pemilihan lokasi didasarkan pada karakteristik wilayah agraris–peternakan dan ketersediaan data pendukung.

Tahap pengumpulan data dilakukan melalui dua pendekatan. Data sekunder diperoleh dari Badan Pusat Statistik, dokumen profil wilayah, serta literatur teknis yang memuat data jumlah penduduk, populasi ternak, dan parameter produksi limbah. Sementara itu, data primer dikumpulkan melalui survei lapangan berupa penimbangan dan pemilahan sampah di TPS3R selama tujuh hari berturut-turut untuk memperoleh gambaran variasi timbulan dan komposisi sampah harian.

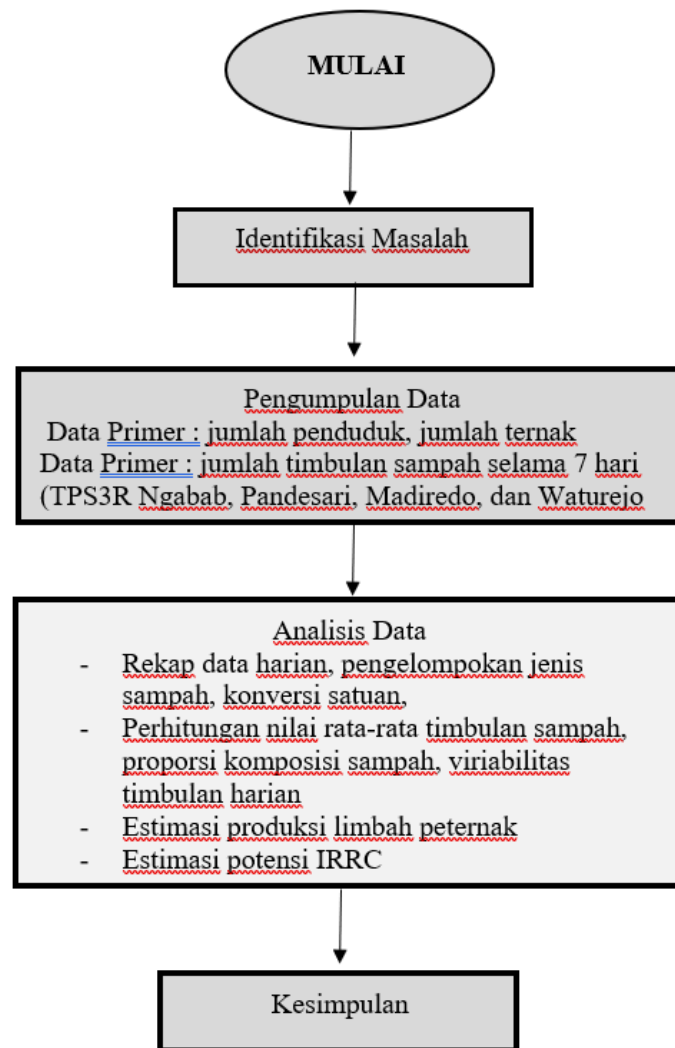
Data yang terkumpul kemudian melalui tahap pengolahan data awal, meliputi konversi satuan, rekapitulasi data harian, serta pengelompokan jenis sampah ke dalam kategori organik, daur ulang, dan refuse-derived fuel (RDF). Pengolahan ini bertujuan menghasilkan data yang siap dianalisis secara statistik.

Selanjutnya dilakukan analisis statistik deskriptif, yang mencakup perhitungan nilai rata-rata timbulan sampah, proporsi komposisi sampah, serta analisis variabilitas timbulan harian. Selain itu, dilakukan analisis perbandingan antara Kecamatan Pujon dan Ngantang untuk mengidentifikasi perbedaan karakteristik timbulan dan komposisi sampah yang berimplikasi pada desain IRRC.

Secara paralel, dilakukan estimasi produksi limbah peternakan (manur) berdasarkan data populasi ternak dan asumsi produksi harian yang diacu dari literatur. Estimasi ini dilanjutkan dengan analisis skenario tingkat penangkapan (capture rate) sebesar 10–20 persen untuk menggambarkan potensi realistis manur yang dapat dimanfaatkan dalam sistem IRRC.

Tahap berikutnya adalah analisis potensi IRRC terpadu, yang mengintegrasikan hasil analisis timbulan sampah, komposisi sampah, dan potensi manur untuk menilai kelayakan teknis pengembangan IRRC berbasis komposting, RDF, dan pemanfaatan manur. Analisis ini digunakan sebagai dasar untuk menentukan skala fasilitas dan arah pengembangan sistem pengelolaan limbah terpadu.

Tahap akhir penelitian adalah interpretasi hasil, penarikan kesimpulan, dan perumusan rekomendasi, yang menekankan pada implikasi teknis dan strategis pengembangan IRRC dalam mendukung pengelolaan lingkungan berkelanjutan dan penerapan ekonomi sirkular di Kecamatan Pujon dan Ngantang.



Gambar 1. Diagram Alir Metode Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Timbulan dan Komposisi Sampah

Berdasarkan data jumlah penduduk Pujon tercatat sebanyak 71.263 jiwa, dan jumlah penduduk Ngantang 59.879 jiwa.

Tabel 1. Luas, Jumlah Penduduk, RT dan RW Tiap Desa di Kecamatan Pujon Tahun 2024

Desa	Luas (km ²)	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Jumlah RW	Jumlah RT
Bendosari	1,78	4.126	5	23
Sukomulyo	3,74	6.722	11	45
Pujon Kidul	4,86	4.647	9	20
Pandesari	5,20	11.172	7	48
Pujon Lor	2,78	7.881	7	28
Ngroto	2,46	6.742	14	33
Ngabab	3,99	8.225	6	67
Tawang Sari	3,52	7.068	4	29

Desa	Luas (km ²)	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Jumlah RW	Jumlah RT
Madiredo	2,65	9.042	11	39
Wiyurejo	3,20	5.638	7	23
Total Kecamatan Pujon	34,18	71.263	81	355

Sumber: Kecamatan Pujon dalam Angka 2025

Tabel 2. Luas, Jumlah Penduduk, RT dan RW Tiap Desa di Kecamatan Ngantang Tahun 2023

Desa	Luas (km ²)	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Jumlah RW	Jumlah RT
Pagersari	23,81	3.623	4	19
Sidodadi	19,44	5.295	5	29
Banjarejo	10,63	5.066	7	40
Purworejo	16,08	4.331	4	23
Ngantru	11,43	5.554	5	33
Banturejo	5,99	3.468	3	17
Pandansari	18,40	5.173	7	24
Mulyorejo	5,40	4.469	7	30
Sumberagung	7,56	5.772	6	26
Kaumrejo	5,90	5.148	5	26
Tulungrejo	7,80	3.768	9	25
Waturejo	5,17	3.453	9	32
Jombok	10,19	4.759	6	24
Total Kecamatan	147,80	59.879	77	348

Sumber: Kecamatan Ngantang dalam Angka 2024

Timbulan sampah per kapita di Kabupaten Malang berkisar antara 0,38–0,44 kg/orang/hari (rata-rata 0,41 kg/orang/hari). Dengan menggunakan rentang tersebut, besarnya timbulan sampah harian di Pujon dan Ngantang dapat diperkirakan adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Timbulan Sampah per hari

Kecamatan	Timbulan Minimum	Timbulan Maksimum	Timbulan Rata-Rata
Pujon	27,08 ton/hari	31,36 ton/hari	29,22 ton/hari
Ngantang	22,75 ton/hari	26,35 ton/hari	24,55 ton/hari

Sumber: Hasil Analisa

Dengan demikian, timbulan sampah di Kecamatan Pujon berkisar antara 27,08–31,36 ton/hari atau 190–219 ton/minggu, dengan rata-rata sebesar 204,5 ton/minggu. Sedangkan di Kecamatan Ngantang, timbulan sampahnya mencapai 22,75–26,35 ton/hari atau 159–184 ton/minggu, dengan rata-rata sebesar 171,5 ton/minggu.

Survey komposisi sampah selama tujuh hari berturut-turut di TPS3R Kecamatan Pujon (Ngabab, Pandesari, Madirejo) dan Kecamatan Ngantang (Waturejo). Survei dilakukan dengan metode penimbangan langsung dan klasifikasi jenis sampah. Hasil survey ini menunjukkan karakteristik timbulan yang berbeda antara kedua kecamatan, namun keduanya memiliki potensi *feedstock* yang cukup untuk mendukung operasional IRRC–RDF dan komposting..

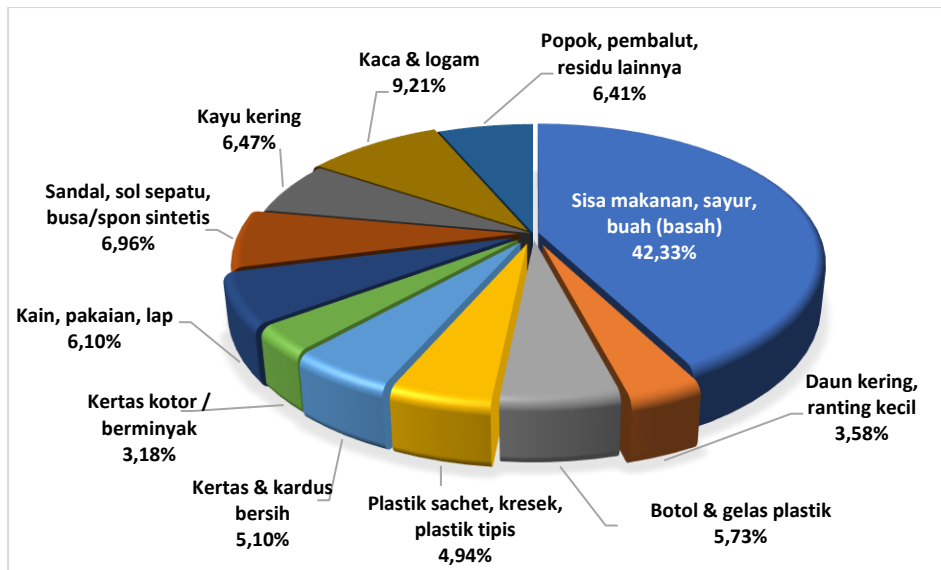
Tabel 4. Komposisi Sampah Kecamatan Pujon dan Ngantang

No.	Jenis Sampah	Pujon		Ngantang		Klasifikasi
		Berat Rata-rata Sampling (kg)	%	Berat Rata-rata Sampling (kg)	%	
1	Sisa makanan, sayur, buah (basah)	41,84	42,33	1,56	15,79	Organik (kompos)
2	Daun kering, ranting kecil	3,54	3,58	1,40	14,13	Organik (kompos)
3	Kayu kering	6,40	6,47	0,00	0,00	Organik (kompos)
4	Botol & gelas plastic (PET/PP)	5,66	5,73	0,56	5,62	Recycleable
5	Kertas & kardus bersih	5,04	5,10	0,30	3,03	Recycleable
6	Kaca & logam	9,11	9,21	2,10	21,20	Recycleable
7	Plastik sachet, kresek, plastik tipis (LDPE/multilayer)	4,88	4,94	0,85	8,58	RDF
8	Kertas kotor / berminyak	3,14	3,18	0,69	6,99	RDF
9	Kain, pakaian, lap	6,03	6,10	0,45	4,54	RDF
10	Sandal, sol sepatu, busa/spon sintetis	6,88	6,96	0,81	8,22	RDF
11	Popok, pembalut, residu lainnya	6,34	6,41	1,18	11,90	RDF
TOTAL		98,86	100,00	9,91	100,00	

Sumber: hasil survey komposisi sampah di TPS3R Kecamatan Pujon dan Ngantang, 2025

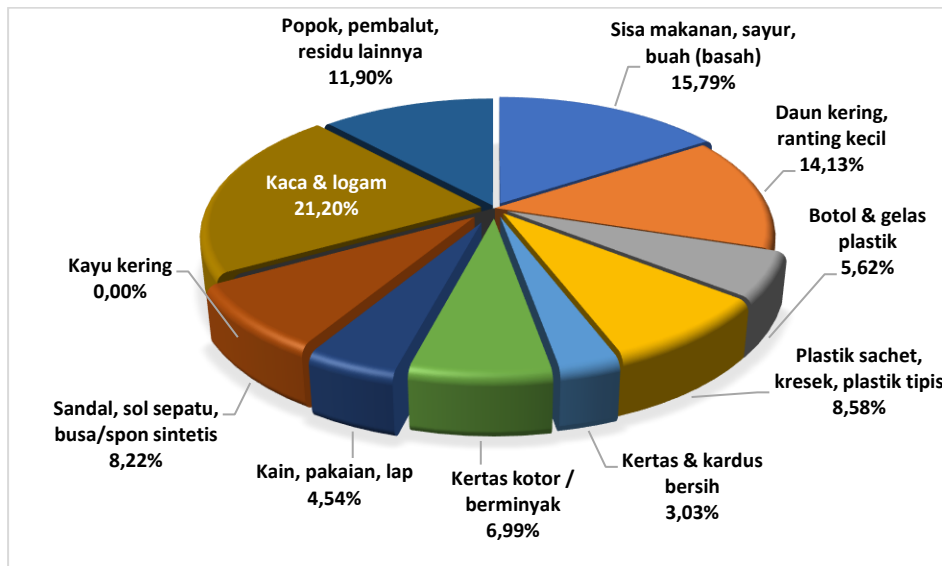
Hasil survei di Kecamatan Pujon menunjukkan bahwa fraksi organik basah mendominasi dengan porsi 42,33%, ditambah daun/ranting dan kayu 10,95%. Fraksi plastik tercatat 10,66%, terdiri atas botol dan gelas plastik yang umumnya berbahan PET dan PP, serta plastik tipis dan sachet yang didominasi LDPE dan multilayer. Fraksi residu popok dan pembalut mencapai 6,41%, sementara kaca dan logam terhitung 9,21%.

Di Kecamatan Ngantang, komposisi sampah lebih beragam. Fraksi kaca dan logam cukup tinggi, yaitu 21,20%, sedangkan organik basah hanya 15,79%. Fraksi plastik relatif lebih besar dibanding Pujon, mencapai 14,20%, dengan dominasi plastik tipis dan sachet. Fraksi popok dan pembalut juga signifikan, hampir 12% (11,90%). Perbedaan komposisi ini menunjukkan karakteristik timbunan sampah yang khas di masing-masing kecamatan. Pujon memiliki dominasi organik yang kuat, sejalan dengan aktivitas agraris dan konsumsi rumah tangga berbasis hasil pertanian. Ngantang memperlihatkan proporsi residu anorganik yang lebih besar, terutama kaca, logam, dan plastik tipis, yang mencerminkan pola konsumsi berbeda serta potensi pemilahan yang lebih menantang.



Gambar 2. Komposisi Sampah di Kecamatan Pujon (Sumber: hasil survey, 2025)

Hasil survei komposisi di TPS3R Kecamatan Pujon dan Ngantang menunjukkan adanya fraksi plastik yang cukup menonjol. Botol dan gelas plastik (sekitar 5–6%) umumnya berbahan PET dan PP, sedangkan plastik tipis dan sachet (sekitar 5–9%) didominasi oleh LDPE dan multilayer. Bersama dengan residu popok dan pembalut, fraksi ini menjadi sumber potensial RDF karena memiliki nilai kalor yang relatif tinggi. Sementara itu, sebagian plastik bernilai daur ulang seperti PET dan kardus bersih cenderung terserap oleh bank sampah maupun sector informal.



Gambar 3. Komposisi Sampah di Kecamatan Ngantang (Sumber: hasil survey, 2025)

Oleh karena itu, fraksi RDF yang realistis terutama berasal dari plastik multilayer, kantong kresek, serta residu *non-recyclable*, sedangkan fraksi organik diarahkan untuk komposting dan biofermentor.

Untuk menjaga kejelasan perhitungan *feedstock* RDF, komposisi dari 11 jenis sampah hasil survey dibagi menjadi tiga kelompok pemanfaatan: organik (kompos), *recycleable* (didaur ulang), dan RDF (*non-recyclable* bernilai kalor). Tabel 5 berikut merangkum persentase tiap kelompok di Kecamatan Pujon dan Ngantang. Di Pujon, sampah organik yang

berpotensi untuk kompos mendominasi dengan proporsi sekitar 52,38% (gabungan organik basah dan kering), sementara material *recycleable* seperti plastik PET/PP, kertas bersih, kaca, dan logam menyumbang 20,04%. Sisanya, sekitar 27,59%, merupakan RDF *feedstock* berupa plastik tipis, kertas kotor, tekstil, dan popok sekali pakai. Sebaliknya, di Ngantang, proporsi sampah organik untuk kompos relatif lebih rendah, yaitu 29,92%, sedangkan material *recycleable* hampir setara dengan Pujon, yaitu 29,85%. RDF *feedstock* justru mendominasi dengan proporsi tertinggi, mencapai 40,23%. Perbedaan ini menunjukkan bahwa karakteristik sampah di Ngantang lebih banyak didominasi oleh material yang sulit dikomposkan, sehingga strategi pengelolaan perlu menekankan pada pemanfaatan RDF dan peningkatan pemilahan *recycleable*

Tabel 5. Ringkasan Komposisi Sampah Berdasarkan Kelompok Pemanfaatan per Kecamatan

Kelompok pemanfaatan	Pujon (%)	Ngantang (%)
Organik untuk kompos (sisa makanan, daun/ranting, kayu)	52,38	29,92
<i>Recycleable</i> (botol/gelas plastik PET/PP, kertas/kardus bersih, kaca & logam)	20,04	29,85
RDF <i>feedstock</i> (plastik sachet/kresek, kertas kotor, tekstil, sandal/bus, popok/pembalut)	27,59	40,23

Sumber: analisis berdasarkan hasil survei komposisi sampah di TPS3R Pujon dan Ngantang, 2025

Gambaran komposisi sampah per kecamatan menunjukkan perbedaan karakter antara Pujon dan Ngantang. Namun, kondisi di lapangan tidak hanya ditentukan oleh persentase komposisi, melainkan juga oleh sebaran penduduk dan timbulan sampah di tiap desa. Tabel 6 dan Tabel 7 menyajikan sebaran timbulan harian dan komposisi sampah di setiap desa di Kecamatan Pujon dan Ngantang.

Tabel 6. Sebaran Timbulan Sampah Harian dan Komposisi per Desa di Kecamatan Pujon

Desa	Jumlah Penduduk (jiwa)	Timbulan Sampah (ton/hari)	Timbulan Sampah berdasarkan Komposisi (ton/hari)							
			Organik Basah (42,33%)	Organik kering (10,05%)	Plastik <i>recycleable</i> (5,73%)	Plastik <i>non-recycleable</i> (4,94%)	Kertas bersih (5,1%)	Kertas kotor /berminyak (3,18%)	Kaca & logam (9,21%)	Residu tinggi kalor (19,47%)
Bendosari	4.126	1,69	0,72	0,17	0,10	0,08	0,09	0,05	0,16	0,33
Sukomulyo	6.722	2,76	1,17	0,28	0,16	0,14	0,14	0,09	0,25	0,54
Pujon Kidul	4.647	1,91	0,81	0,19	0,11	0,09	0,10	0,06	0,18	0,37
Pandesari	11.172	4,58	1,94	0,46	0,26	0,23	0,23	0,15	0,42	0,89
Pujon Lor	7.881	3,23	1,37	0,32	0,19	0,16	0,16	0,10	0,30	0,63
Ngroto	6.742	2,76	1,17	0,28	0,16	0,14	0,14	0,09	0,25	0,54
Ngabab	8.225	3,37	1,43	0,34	0,19	0,17	0,17	0,11	0,31	0,66
Tawangsari	7.068	2,90	1,23	0,29	0,17	0,14	0,15	0,09	0,27	0,56
Madiredo	9.042	3,71	1,57	0,37	0,21	0,18	0,19	0,12	0,34	0,72
Wiyurejo	5.638	2,31	0,98	0,23	0,13	0,11	0,12	0,07	0,21	0,45
Total	71.263	29,22	12,37	2,94	1,67	1,44	1,49	0,93	2,69	5,69

Sumber: Kecamatan Pujon dalam Angka 2025 dan hasil survey, 2025

Kecamatan Pujon, desa dengan populasi besar seperti Pandesari dan Madiredo menghasilkan timbulan harian yang lebih tinggi dibandingkan desa kecil seperti Bendosari atau Pujon Kidul. Komposisi sampah di Pujon didominasi oleh fraksi organik, baik basah maupun kering, yang mencapai lebih dari separuh total timbulan (52,38%). Kondisi ini mencerminkan karakter wilayah agraris dan sekaligus menunjukkan potensi besar untuk komposting dan pengolahan organik.

Tabel 7. Sebaran Timbunan Sampah Harian dan Komposisi per Desa di Kecamatan Ngantang

Desa	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Timbunan Sampah berdasarkan Komposisi (ton/hari)								
		Timbunan Sampah (ton/hari)	Organik Basah (15,79 %)	Organik Kering (14,13 %)	Plastik <i>recycleable</i> (5,62%)	Plastik <i>non-recycleable</i> (8,58%)	Kertas bersih (3,03 %)	Kertas kotor /berminyak (6,99%)	Kaca & logam (21,2 %)	Residu tinggi kalor (24,66 %)
Pagersari	3.623	1,49	0,23	0,21	0,08	0,13	0,05	0,10	0,31	0,37
Sidodadi	5.295	2,17	0,34	0,31	0,12	0,19	0,07	0,15	0,46	0,54
Banjarejo	5.066	2,08	0,33	0,29	0,12	0,18	0,06	0,15	0,44	0,51
Purworejo	4.331	1,78	0,28	0,25	0,10	0,15	0,05	0,12	0,38	0,44
Ngantru	5.554	2,28	0,36	0,32	0,13	0,20	0,07	0,16	0,48	0,56
Banturejo	3.468	1,42	0,22	0,20	0,08	0,12	0,04	0,10	0,30	0,35
Pandansari	5.173	2,12	0,33	0,30	0,12	0,18	0,06	0,15	0,45	0,52
Mulyorejo	4.469	1,83	0,29	0,26	0,10	0,16	0,06	0,13	0,39	0,45
Sumberagung	5.772	2,37	0,37	0,33	0,13	0,20	0,07	0,17	0,50	0,58
Kaumrejo	5.148	2,11	0,33	0,30	0,12	0,18	0,06	0,15	0,45	0,52
Tulungrejo	3.768	1,54	0,24	0,22	0,09	0,13	0,05	0,11	0,33	0,38
Waturejo	3.453	1,42	0,22	0,20	0,08	0,12	0,04	0,10	0,30	0,35
Jombok	4.759	1,95	0,31	0,28	0,11	0,17	0,06	0,14	0,41	0,48
Total	59.879	24,55	3,88	3,47	1,38	2,11	0,74	1,72	5,20	6,05

Sumber: Kecamatan Ngantang dalam Angka 2024 dan hasil survey, 2025

Frakasi organik (basah dan kering) relatif lebih rendah (29,92%), sedangkan fraksi kaca dan logam serta residu tinggi kalor justru lebih menonjol mencapai 45,86%. Desa dengan jumlah penduduk besar seperti Ngantru dan Sumberagung menjadi penyumbang utama timbunan harian, sementara desa kecil seperti Banturejo dan Waturejo memberikan kontribusi lebih rendah. Proporsi plastik *non-recycleable* yang mencapai 8,58%, serta residu popok/pembalut, kain, busa, dan sandal/sepatu yang mencapai 24,66% di Ngantang menegaskan potensi wilayah ini sebagai suplai tambahan untuk *feedstock* RDF.

Potensi Limbah Peternakan

Data jumlah ternak di Kecamatan Pujon menunjukkan variasi antara sumber tahun 2022 dan 2023. Berdasarkan Profil Kecamatan Pujon 2022, populasi sapi perah mencapai 27.033 ekor dan sapi potong 234 ekor, sehingga total sapi di Pujon saat itu berjumlah 27.267 ekor. Namun, data terbaru dari Profil Kabupaten Malang 2024 (*baseline* 2023) mencatat populasi sapi di Pujon sebanyak 25.734 ekor. Perbedaan ini mencerminkan adanya dinamika populasi ternak dari tahun ke tahun, sekaligus menegaskan pentingnya menggunakan data *baseline* terbaru untuk estimasi produksi manur, sementara data per desa tetap berguna untuk memahami sebaran peternak dan konsentrasi populasi sapi di tingkat lokal. Produksi manur dapat dihitung dengan asumsi produksi kotoran sekitar 25 kg/ekor/hari untuk sapi dan sekitar 2 kg/ekor/hari untuk kambing/domba. Estimasi produksi manur harian di Pujon dan Ngantang ditunjukkan dalam Tabel 8, menggunakan *baseline* data ternak tahun 2023 dari Profil Kabupaten Malang 2024.

Tabel 8. Estimasi Produksi Manur Harian Kecamatan Pujon dan Ngantang (*Baseline* 2023)

Jenis Ternak	Kecamatan	Jumlah (ekor)	Produksi Manur per Ekor (kg/hari)	Total Produksi Manur (ton/hari)
Sapi Perah	Pujon	24.182	25	604,55
Sapi Potong	Pujon	1.552	25	38,80
Subtotal Sapi Pujon		25.734	—	643,35
Kambing & Domba	Pujon	6.713	2	13,43
Total Pujon		—	—	656,78
Sapi Perah	Ngantang	16.684	25	417,10
Sapi Potong	Ngantang	1.156	25	28,90
Subtotal Sapi Ngantang		17.840	—	446,00

Jenis Ternak	Kecamatan	Jumlah (ekor)	Produksi Manur per Ekor (kg/hari)	Total Produksi Manur (ton/hari)
Kambing & Domba	Ngantang	10.882	2	21,76
Total Ngantang		—	—	467,76
Total Pujon & Ngantang				1.124,54

Sumber: Profil Kabupaten Malang 2024 & pengolahan data sekunder, 2025

Produksi manur harian di Kecamatan Pujon dan Ngantang menunjukkan potensi yang sangat besar sebagai sumber bahan organik. Di Pujon, populasi sapi perah mencapai 24.182 ekor dan sapi potong 1.552 ekor, dengan estimasi produksi manur 643,35 ton per hari. Selain itu, populasi kambing dan domba sebanyak 6.713 ekor menambah kontribusi 13,43 ton per hari, sehingga total produksi manur di Pujon diperkirakan mencapai 656,78 ton per hari.

Di Ngantang, populasi sapi perah tercatat 16.684 ekor dan sapi potong 1.156 ekor, menghasilkan 446 ton manur per hari. Populasi kambing dan domba yang lebih besar, yaitu 10.882 ekor, menyumbang tambahan 21,76 ton per hari. Dengan demikian, total produksi manur di Ngantang mencapai 467,76 ton per hari.

Secara keseluruhan, kedua kecamatan menghasilkan 1.124,54 ton manur per hari, yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku kompos maupun *co-processing* RDF. Angka ini menegaskan bahwa sektor peternakan di Pujon dan Ngantang bukan hanya menopang ekonomi lokal, tetapi juga menyediakan sumber daya organik yang signifikan untuk mendukung pengelolaan lingkungan secara berkelanjutan.

Namun, tidak seluruh produksi manur dapat ditangkap dan masuk ke sistem pengolahan. Dengan tingkat penangkapan konservatif (*capture rate*) sebesar 10–20%, manur yang tersedia di Kecamatan Pujon berkisar antara 65,68–131,36 ton/hari, sedangkan di Kecamatan Ngantang berada pada kisaran 46,78–93,55 ton/hari. Kondisi ini menunjukkan bahwa meskipun produksi manur harian sangat melimpah, hanya sebagian yang realistis dapat dimanfaatkan. Tabel 9 menampilkan estimasi manur yang benar-benar masuk ke sistem IRRC atau komposter.

Tabel 9. Estimasi Manur Tersedia untuk Pengolahan (*Capture Rate*/α= 10–20%)

Kecamatan	Total Produksi Manur (ton/hari)	Manur Tersedia (ton/hari)		
		<i>Capture Rate</i> 10%	<i>Capture Rate</i> 15%	<i>Capture Rate</i> 20%
Pujon	656,78	65,68	98,52	131,36
Ngantang	467,76	46,78	70,16	93,55
Total	1.124,54	112,45	168,68	224,91

Sumber: Pengolahan data sekunder, 2025

Implikasi Pengembangan IRRC

Rendahnya tingkat pengangkutan sampah dan melimpahnya sumber daya organik menegaskan bahwa pendekatan konvensional tidak berkelanjutan. IRRC mampu mengintegrasikan pengolahan sampah rumah tangga dan manur, mengurangi beban TPA, serta menekan risiko lingkungan seperti pembakaran terbuka dan pencemaran sungai.

KESIMPULAN

Kecamatan Pujon dan Ngantang memiliki potensi sangat besar untuk pengembangan IRRC terpadu. Kombinasi timbunan sampah sebesar 53,77 ton/hari dan manur tertangkap hingga 224,91 ton/hari menjadikan sistem IRRC berbasis komposting dan RDF berpotensi diterapkan di kedua wilayah tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Astrup, T. F., Møller, J., & Fruergaard, T. (2015). Incineration and co-combustion of refuse-derived fuel: Accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management & Research*, 33(8), 789–798. <https://doi.org/10.1177/0734242X15587776>
- Astuti, R. D., Sari, D. P., & Rahman, A. (2024). Urbanization and benefit of integration circular economy into waste management in Indonesia: A review. *Circular Economy and Sustainability*, 4(2), 1247–1272. <https://doi.org/10.1007/s43615-024-00346-w>
- Bernstad, A., & la Cour Jansen, J. (2012). Review of comparative LCAs of food waste management systems – Current status and potential improvements. *Waste Management*, 32(12), 2439–2455. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.07.023>
- BPS Kabupaten Malang. (2024). Kecamatan Ngantang dalam angka 2024.
- BPS Kabupaten Malang. (2025). Kecamatan Pujon dalam angka 2025.
- Budiyono, B., Widiasta, I. N., Johari, S., & Sunarso, S. (2014). The influence of total solid contents on biogas yield from cattle manure using rumen fluid inoculum. *Energy Research Journal*, 5(1), 1–6.
- Campuzano, R., & González-Martínez, S. (2016). Characteristics of the organic fraction of municipal solid waste and methane production: A review. *Waste Management*, 54, 3–12. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.05.016>
- Costa, S., Quinteiro, P., Ribeiro, I., Dias, A. C., & Arroja, L. (2023). Brief overview of refuse-derived fuel production and energetic valorization: Applied technology and main challenges. *Sustainability*, 15(13), 10342. <https://doi.org/10.3390/su151310342>
- Damanhuri, E., & Padmi, T. (2016). *Pengelolaan sampah terpadu*. Institut Teknologi Bandung Press.
- De Medina-Salas, L., Castillo-González, E., Giraldo-Díaz, M. R., & Jamed-Boza, L. O. (2019). Valorisation of the organic fraction of municipal solid waste. *Waste Management & Research*, 37(2), 154–163. <https://doi.org/10.1177/0734242X18812651>
- Farahdiba, A. U., et al. (2021). Pemanfaatan kotoran sapi dan sampah organik menjadi biogas pada IRRC (Integrated Resource Recovery Centers), Kabupaten Malang. *Jurnal Abdimas Teknik Kimia*, 2, 6–11.
- Keena, M. A. (2022). *Composting animal manures: A guide to the process and management of animal manure compost* (Publication NM1478). North Dakota State University Extension. <https://www.ndsu.edu/agriculture/extension/publications/composting-animal-manures>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). (2020). *Kebijakan dan strategi nasional pengelolaan sampah*.
- Pemerintah Kabupaten Malang. (2024). *Profil Kabupaten Malang 2024*.
- Philipp, M., Ritschel, F., Tettenborn, F., Graf, T., Kircher, C., & Postel, J. (2021). Characterization of the separately collected organic fraction of municipal solid waste (OFMSW) from rural and urban districts for a one-year period in Germany. *Waste Management*, 131, 471–482. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.06.012>
- Ranieri, L., Mossa, G., Pellegrino, R., & Digiesi, S. (2018). Energy recovery from the organic fraction of municipal solid waste: A real options-based facility assessment. *Sustainability*, 10(2), 368. <https://doi.org/10.3390/su10020368>

- Suryani, A. S., Nugroho, Y., & Prasetyo, B. (2018). Evaluasi kinerja TPS 3R dalam pengurangan timbulan sampah di wilayah perdesaan Jawa Timur. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 24(2), 87–96.
- United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (UNESCAP). (2015). Decentralized and integrated resource recovery centers in secondary cities and small towns in Asia-Pacific. https://www.unescap.org/sites/default/files/Paper_ESCAP%20paper%20on%20IRRC%20ISWA%20Congress.pdf
- Widodo, S., Raharjo, S., & Lestari, P. (2020). Potensi refuse-derived fuel (RDF) dari sampah rumah tangga sebagai bahan bakar alternatif industri semen. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 16(1), 45–54.
- Wilson, D. C., Rodic, L., Scheinberg, A., Velis, C. A., & Alabaster, G. (2015). Comparative analysis of solid waste management in 20 cities. *Waste Management & Research*, 33(3), 191–203. <https://doi.org/10.1177/0734242X15576785>
- World Bank. (2025, December 18). The World Bank approves a new project to support Indonesia achieve solid waste management targets. <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2025/12/18/the-world-bank-approves-a-new-project-to-support-indonesia-achieve-solid-waste-management-targets>
- Yadav, A., Pandey, S., Srivastava, R. R., & Kumar, V. (2025). Utilization of refuse-derived fuel in industrial applications: Insights from Uttar Pradesh, India. *Heliyon*, 11(1), e40636. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40636>
- Zurbrügg, C., Gfrerer, M., Ashadi, H., Brenner, W., & Küper, D. (2012). Determinants of sustainability in solid waste management – The Gianyar waste recovery project in Indonesia. *Waste Management*, 32(11), 2126–2133. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.01.011>