



Perkiraan Greenhouse Gases (GHGs) Sampah Berbasis 4R (Reduce, Reuse, Recycle, Replace) Lingkungan Kampus

Andik Irawan^{1*}, Dicky Adi Tyagita¹, Wendy Triadji Nugroho¹, Arif Wahyudiono¹, Sahrul Ramadan¹, M Syahrul Alvian¹.

Sitasi: Irawan, Andik; Tyagita, Dicky Adi; Nugroho, Wendy Triadji; Wahyudiono, Arif; Ramadan, Sahrul; Alvian, M Syahrul. (2025). Perkiraan Greenhouse Gases (GHGs) Sampah Berbasis 4R (Reduce, Reuse, Recycle, Replace) Lingkungan Kampus. J-TETA: Jurnal Teknik Terapan, V(4) N(2), hlm. 139-145



Copyright: © 202X oleh para penulis. Karya ini dilisensikan di bawah Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License. (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

¹ Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Jember

* Korespondensi: andik_irawan@polije.ac.id; Tel.: +6281358038788

Abstract: Campus waste management based on the principles of Reduce, Reuse, Recycle, Replace (4R) is a strategic approach to support carbon-neutral targets through the reduction of Greenhouse Gases (GHG). This study aims to estimate the GHG emission reduction potential of 4R activities in the academic community of Politeknik Negeri Jember. Questionnaire survey data from 309 respondents, divided by study program Automotive Engine, Renewable Energy, and Mechatronics Engineering, were categorised into 4R activities. The results showed that the participation contribution in the Recycle category was 82.5% and Replace 78.5%, Reduce 77.75% and Reuse 74%. Emission reduction estimation was conducted using the Life Cycle Assessment (LCA) approach based on IPCC emission factors, which takes into account the composition of organic waste, plastic, paper and residue. The LCA analysis showed that implementing the 4R has the potential to reduce emissions by 1.2 tons of CO₂-eq per month, with the largest contribution from the activities of Reduce 360kg, Reuse 300kg, Recycle 300kg, and Replace 240kg. The findings indicate that participatory-based interventions and integration of the campus environmental curriculum play an important role in building a low-carbon ecosystem.

Keywords: Greenhouse Gases (GHG), 4R, Life Cycle Assessment (LCA), Waste

Abstrak: Pengelolaan sampah kampus berbasis prinsip Reduce, Reuse, Recycle, Replace (4R) merupakan pendekatan strategis untuk mendukung target netral karbon melalui pengurangan Greenhouse Gases (GHG). Penelitian ini bertujuan untuk memperkirakan potensi reduksi emisi GHG dari aktivitas 4R disivitas akademika kampus Politeknik Negeri Jember. Data survei kuesioner kepada 309 responden dari tiga program studi Mesin Otomotif (MO), Energi Terbarukan (ET), dan Rekayasa Mekatronika (RM) dikategorikan dalam empat aktivitas 4R. Hasil menunjukkan bahwa tingkat partisipasi pada kategori Recycle 82,5% dan Replace 78,5%, Reduce 77,75% dan Reuse 74%. Estimasi pengurangan emisi dilakukan dengan pendekatan Life Cycle Assessment (LCA) berbasis faktor emisi IPCC, yang memperhitungkan komposisi sampah organik, plastik, kertas, dan residu. Analisis LCA menunjukkan penerapan 4R berpotensi mengurangi emisi hingga 1,2 ton CO₂-eq per bulan, dengan kontribusi terbesar berasal dari aktivitas Reduce 360 kg, Reuse dan Recycle 300 kg, serta Replace 240 kg. Temuan ini mengindikasikan bahwa intervensi berbasis partisipatif dan integrasi kurikulum lingkungan kampus berperan penting dalam membangun ekosistem rendah karbon.

Kata kunci: Greenhouse Gases (GHG), 4R, Life Cycle Assessment (LCA), Sampah.

1. Pendahuluan

Lingkungan kampus sebagai komunitas akademik yang padat aktivitas dan jumlah penghuni yang besar memiliki potensi signifikan dalam mengurangi dampak lingkungan, termasuk emisi Gas Rumah Kaca (Greenhouse Gases). Kampus tidak hanya sebagai tempat belajar, tetapi juga sebagai laboratorium hidup (*living laboratory*) yang bisa

menjadi contoh nyata penerapan sistem berkelanjutan pada penerapan *Greenhouse Gases (GHG)* [1]. Oleh karena itu, Politeknik Negeri Jember (Polije) sebagai salah satu institusi pendidikan tinggi vokasi di Indonesia, perlu mengadopsi pendekatan 4R dalam pengelolaan sampah sebagai bentuk kontribusi nyata terhadap agenda pembangunan berkelanjutan dan target net-zero emission nasional.

Masalah pengelolaan sampah telah menjadi tantangan lingkungan global, termasuk di kawasan pendidikan tinggi seperti kampus [2]. Lingkungan kampus memiliki potensi besar dalam mengelola dan mengurangi dampak lingkungan dari aktivitas sehari-hari, terutama terkait dengan timbunan sampah dari kegiatan akademik, administratif, dan konsumsi mahasiswa [3]. Salah satu pendekatan strategis yang banyak diterapkan untuk menangani permasalahan ini adalah penerapan prinsip Reduce, Reuse, Recycle, Replace (4R) yang menekankan pada pengurangan timbunan sampah sejak awal dan optimalisasi pemanfaatan kembali barang-barang [4].

Beberapa studi telah membuktikan efektivitas 4R dalam menurunkan jejak karbon sistem pengelolaan limbah. Penelitian di Clemson University menunjukkan bahwa kombinasi program daur ulang dan penggunaan kembali dapat mengurangi emisi kampus hingga 40% [5]. Penerapan 4R berbasis partisipasi mahasiswa mampu menurunkan potensi emisi hingga 50% pada skenario ideal [6]. Studi lainya belum banyak yang secara khusus menilai kontribusi penerapan 4R terhadap penurunan emisi *GHG* di lingkungan kampus vokasi di Indonesia. Penerapan Life Cycle Assessment (LCA) dengan penerapan emisi faktor IPCC 2006 disesuaikan dengan jenis limbah dan kapasitas limbah yang dihasilkan digunakan untuk menghitung estimasi jumlah *GHG* yang dihasilkan.

Politeknik Negeri Jember sebagai institusi pendidikan vokasional memiliki potensi besar untuk menjadi percontohan dalam pengelolaan sampah berbasis 4R. Melalui pendekatan yang partisipatif, pembentukan budaya ramah lingkungan dapat ditanamkan melalui perilaku sehari-hari sivitas akademika [7]. Untuk dapat mengetahui tingkat penerapan prinsip 4R tersebut, maka dilakukan survei berbasis kuisioner kepada 309 mahasiswa dari tiga program studi di Jurusan Teknik. Penerapan prinsip-prinsip tersebut dinilai tidak hanya dari sisi *awareness*, tetapi juga praktik langsung dalam keseharian mahasiswa. Analisis dilakukan untuk melihat tingkat partisipasi berdasarkan masing-masing indikator, dan komparasi antar program studi. Dengan pendekatan kuantitatif, data dari mahasiswa tahun angkatan 2025/2026 sebagai responden diolah untuk mengetahui seberapa besar kontribusi terhadap potensi pengurangan *GHG* dari sistem pengelolaan sampah kampus.

2. Bahan dan Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif untuk menilai partisipasi mahasiswa dalam pengelolaan sampah kampus berbasis prinsip 4R dan memperkirakan potensi penurunan emisi *GHG* berdasarkan aktivitas tersebut. Untuk meningkatkan validitas data, dilakukan komparasi data antara kuisioner, observasi lapangan, dan literatur pendukung. Studi kasus dilakukan di lingkungan Kampus Pusat Politeknik Negeri Jember, dengan melibatkan responden dari tiga program studi: Mesin Otomotif (MO), Energi Terbarukan (ET) dan Rekayasa Mekatronika (RM) mahasiswa angkatan tahun 2025/26. Instrumen pengumpulan data penelitian melalui diseminasi kuisioner digital menggunakan platform Google Form selama kegiatan mahasiwa baru berlangsung, Sebanyak 309 responden berpartisipasi dalam pengisian kuisioner. Selain kuisioner, dilakukan pula observasi langsung terhadap fasilitas pengelolaan sampah kampus (TPST, tempat pemilahan, dan tempat sampah terpilah) untuk memverifikasi praktik yang berlangsung di lapangan. **Tabel 1.** Menjelaskan uraian kuisioner dan pengelompokan berdasarkan prinsip 4R. Kategori ini berdasarkan proporsi umum timbunan sampah kampus yang diperoleh dari pengamatan dan referensi studi sebelumnya. LCA diterapkan untuk menghitung estimasi emisi berdasarkan jumlah sampah yang dihasilkan, dan dikategorikan dengan setiap kelompoknya. Faktor emisi jenis plastik, logam, kertas, residu, dan organik digunakan untuk estimasi emsisi CO₂-eq yang relevan. Faktor emisi Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) dan database IPCC digunakan untuk perhitungan *GHG*.

Tabel 1. Uraian kelompok kuisioner

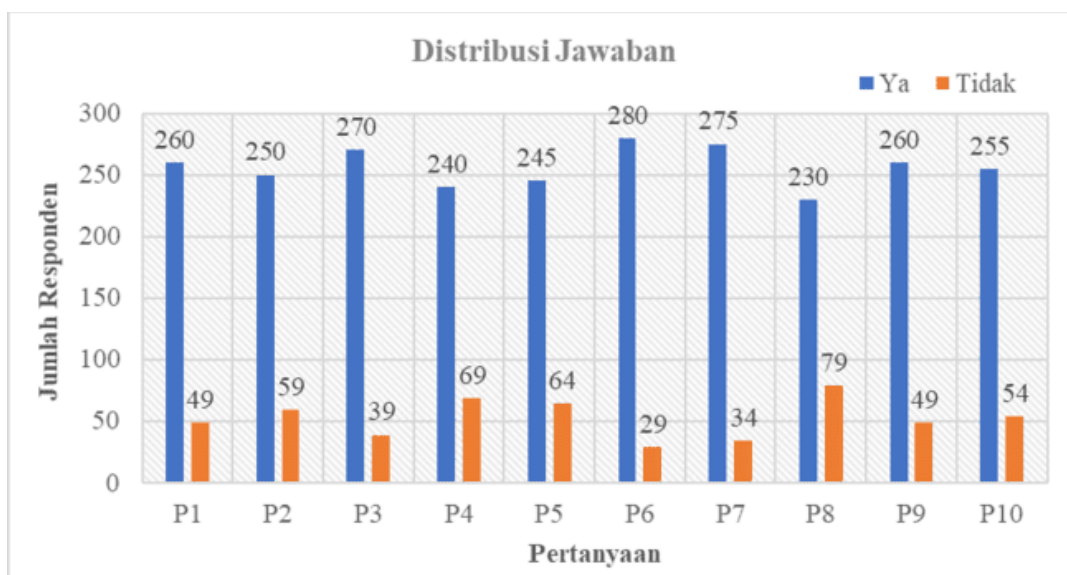
No	Pertanyaan	Kategori	Jawaban
P1	Mengurangi penggunaan kantong plastik sekali pakai?	<i>Reduce</i>	Ya/Tidak
P2	Membawa tas belanja saat bepergian ke kampus?	<i>Reduce</i>	Ya/Tidak
P3	Menggunakan botol minum sendiri?	<i>Reduce</i>	Ya/Tidak
P4	Memanfaatkan kembali botol plastik untuk mengisi air minum kembali?	<i>Reuse</i>	Ya/Tidak
P5	Menyimpan kantong plastik untuk digunakan kembali?	<i>Reuse</i>	Ya/Tidak
P6	Membuang sampah berdasarkan jenis sampahnya?	<i>Recycle</i>	Ya/Tidak
P7	Memikirkan/Membaca/Memilih produk dengan kemasan berlogo daur ulang?	<i>Recycle</i>	Ya/Tidak
P8	Mengganti sedotan plastik dengan sedotan ramah lingkungan?	<i>Replace</i>	Ya/Tidak
P9	Menggunakan kantong belanja bukan plastik?	<i>Replace</i>	Ya/Tidak
P10	Memilih produk dengan kemasan ramah lingkungan?	<i>Replace</i>	Ya/Tidak

3. Hasil

Pertanyaan yang diberikan kepada 309 responden dari tiga program studi MO, ET, dan RM, berpartisipasi dalam pengisian kuisioner. Partisipasi mahasiswa dalam praktik pengelolaan sampah berbasis prinsip 4R di lingkungan Politeknik Negeri Jember mencakup 10 indikator perilaku ramah lingkungan yang diklasifikasikan ke dalam 4R indikator. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa sebagian besar responden telah mengadopsi yang mendukung pengelolaan sampah berkelanjutan. Distribusi Jawaban: “Ya” dan “Tidak” mendominasi hampir pada seluruh program studi. Jawaban “Ya” mendominasi di hampir semua pertanyaan kuisioner. Indikator dengan jawaban “Ya” tertinggi pada bagian P5 dengan 280 responden menyatakan setuju. Secara umum, responden memberikan dampak positif yang berkaitan dengan *Reduce* dan *Recycle* sudah mulai menjadi aktivitas mahasiswa. Namun pada aspek *Replace* pada bagian P7 memerlukan peningkatan kesadaran dan dukungan infrastruktur. Hubungan antara pertanyaan P1, P2, P8, dan P9 menunjukkan bahwa mahasiswa yang mengurangi kantong plastik juga cenderung membawa tas belanja sendiri dan memilih produk berkemasan ramah lingkungan dan memiliki kesadaran tindakan 4R sekaligus. Penerapan ini sebagai bentuk untuk evaluasi jangka panjang dengan penerapan evaluasi LCA lebih komprehensif dan berkelanjutan.

3.1 Distribusi Responden

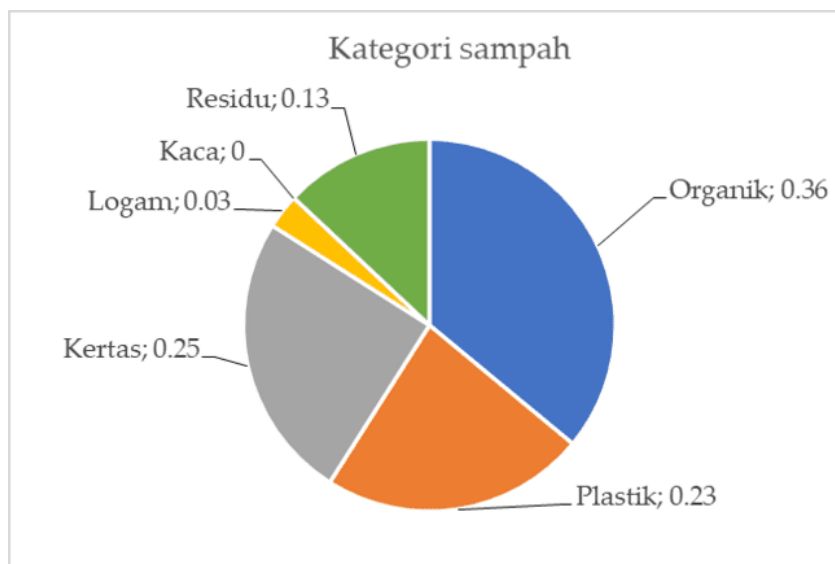
Prinsip *reuse* diuraikan pada **gambar 1**, dari P3, P4, dan P5, yang berkaitan dengan penggunaan botol minum, pemanfaatan kembali botol plastik, dan penyimpanan kantong plastik. P3 memperoleh respons “Ya” sebanyak 270, tertinggi di antara tiga indikator *reuse*, sedangkan P4 dan P5 masing-masing memperoleh 240 dan 245 jawaban “Ya”, dengan 69 dan 64 jawaban “Tidak”. Hasil kuisioner mengindikasikan responden mengadopsi perilaku *reuse*. Pada indikator *Recycle*, bagian P6 menunjukkan 280 responden menjawab “Ya”, dan 29 orang yang menjawab “Tidak”. Pada bagian P9 menunjukkan respons dengan 260 jawaban “Ya”. Sedangkan pada prinsip *replace*, P7 dan P10 masing-masing memperoleh 275 dan 255 jawaban “Ya”, sementara 34 dan 54 responden menjawab “Tidak”. Distribusi responden disimpulkan pada aspek penggunaan kembali wadah plastik masih menjadi tantangan untuk mendukung fasilitas stasiun pengisian air minum. Indikasi survey pada responden berperan penting terhadap pemilahan sampah meningkat dan menunjukkan hasil positif dari edukasi atau sosialisasi yang dilakukan di kampus. Mayoritas responden memiliki keinginan untuk beralih ke alternatif yang lebih ramah lingkungan, meskipun implementasinya tergantung pada ketersediaan produk. Secara umum, tingkat adopsi prinsip 4R oleh responden tergolong baik, dengan mayoritas jawaban “Ya” mendominasi semua pertanyaan. Akhirnya pada survey ini diperlukan peningkatan pada aspek *reuse* dan *replace* melalui strategi edukatif, penyediaan fasilitas pendukung, dan integrasi kebijakan lingkungan dalam aktivitas kampus.



Gambar 1. Distribusi jawaban survei tiga prodi.

3.2 Estimasi Reduksi Emisi

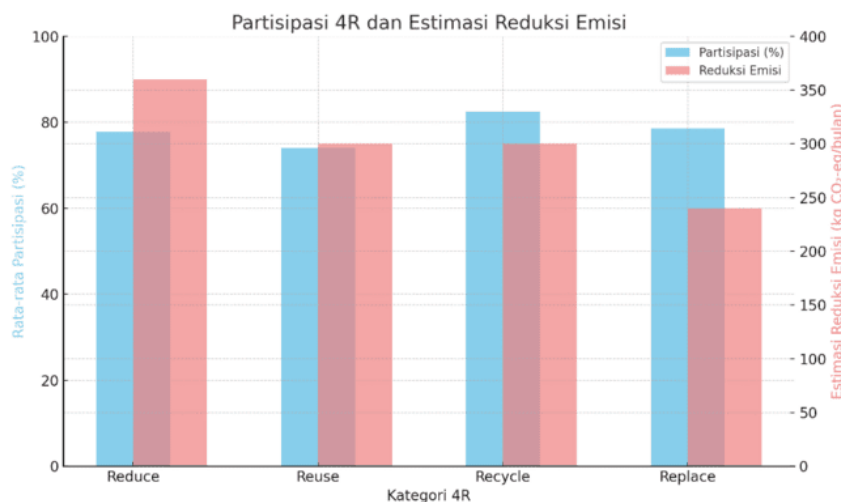
Hasil observasi langsung diuraikan dalam **Gambar 2**. Diagram komposisi kategori sampah di lingkungan kampus, yang terdiri dari enam jenis sampah: organik, plastik, kertas, residu, logam, dan kaca. Diuraikan dalam visualisasi sampah organik menjadi jenis yang paling dominan dengan persentase sebesar 36%, diikuti oleh sampah kertas 25% dan plastik 23%. Ketiga jenis ini secara kumulatif menyumbang lebih dari 80% total timbulan sampah di kampus, mencerminkan aktivitas utama yang berkaitan dengan konsumsi makanan, dokumen, dan penggunaan produk berkemasan plastik. Sampah residu yang umumnya terdiri dari tisu, dan limbah kombinasi yang tidak dapat dikompos atau didaur ulang menyumbang 13%, dan berakhir di TPA tanpa proses pengolahan. Sementara itu, sampah logam menyumbang 3%, dan kaca 0%.



Gambar 2. Diagram kategori sampah

Selanjutnya, berdasarkan kuisioner terhadap estimasi *GHG* sebagai bentuk reduksi emisi, **Gambar 3** menjelaskan bahwa tingkat keterlibatan responden dalam praktik pengelolaan sampah berbasis 4R di lingkungan kampus cukup tinggi dengan dampak yang signifikan terhadap penurunan *GHG*. Kategori *Recycle* mencatatkan rata-rata partisipasi tertinggi sebesar 82,5%, diikuti oleh *Replace* sebesar 78,5%, *Reduce* 77,75%, dan *Reuse* sebesar 74%. Meskipun *Recycle* memiliki partisipasi tertinggi, estimasi reduksi emisi tertinggi justru ditunjukkan oleh *Reduce* dengan

360 kg CO_{2-eq} per bulan, yang menggambarkan bahwa praktik penghindaran penggunaan plastik sekali pakai lebih efektif dalam menurunkan emisi dibandingkan daur ulang. Estimasi reduksi emisi dari indikator *Reuse* dan *Recycle* masing-masing sebesar 300 kg CO_{2-eq}, sedangkan *Replace* mencatatkan nilai terendah yaitu 240 kg CO_{2-eq} /bulan. Grafik ini menunjukkan tingkat partisipasi mahasiswa dalam praktik pengelolaan sampah yang tepat berpotensi penurunan emisi *GHG*. Temuan ini dapat dijadikan dasar untuk menentukan prioritas program pengelolaan sampah di kampus yang mendasar dan berorientasi kepada civitas akademik berpartisipasi tinggi dan dampak besar dalam pengurangan emisi.



Gambar 3. Estimasi reduksi GHG berbasis 4R

Faktor emisi diuraikan berdasarkan data observasi tersebut diuraikan berdasarkan formula:

$$Eps = Js \times Hk \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

Eps = Estimasi potensi sampah (kg/bulan)

Js = Jumlah sampah (kg)

Hk = hari kegiatan dikampus (bulan)

Tabel 2. Faktor koreksi kalkulasi emisi

Jenis Sampah	Faktor Emisi	Sumber
Plastik	2.0	[7], [8], [9], [10]
Organik	0.5	[10], [11]
Kertas	0.9	[9]
Logam	1.6	[10]
Residu	0.8	[10]

$$EGHG = Eps \times FEm \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

EGHG = Estimasi *GHG* (kg CO_{2-eq}/kg sampah per bulan)

Eps = Estimasi potensi sampah (kg/bulan)

FEm = Faktor emisi (kg CO_{2-eq}/kg)

Akhirnya, jika dikaitkan dengan estimasi potensi reduksi *GHG*, kontribusi terbesar diberikan oleh kategori *Reduce*, yaitu sebesar 360 kg CO_{2-eq} per bulan, yang mencerminkan 30% dari total potensi reduksi sebesar 1,2 ton CO_{2-eq} bulan. Hal ini menunjukkan upaya pengurangan konsumsi produk sekali pakai dan pencegahan timbulan sampah sejak awal merupakan strategi yang paling efektif dalam menekan emisi. Kategori *Reuse* dan *Recycle* masing-masing berkontribusi sebesar 300 kg CO_{2-eq} per bulan (25%), sedangkan *Replace* menyumbang 240 kg CO_{2-eq} per bulan (20%).

4. Pembahasan

Pengelompokan pada **Tabel 1** sebagai langkah untuk menentukan penilaian *GHG* di uraikan berdasarkan kelompok 4R. *Reduce*: P1, P2, P3: sebagai bentuk pertanyaan kepada mahasiswa terhadap penggunaan barang yang tidak perlu untuk mengurangi timbunan sampah. *Reuse*: P4, P5: menitik beratkan pada pemanfaatan ulang barang agar tidak langsung dibuang. *Recycle*: P6, P7: konsep pemilahan dan pengelolaan sampah untuk didaur ulang sebagai bentuk upaya pemanfaatan kembali sampah dilingkungan kampus. *Replace*: P8, P9, P10: bentuk upaya dapat mengganti produk sekali pakai dengan alternatif yang lebih ramah lingkungan. Komposisi kategori sampah yang ditampilkan dalam diagram menunjukkan profil timbunan sampah di lingkungan kampus yang relevan untuk dianalisis dalam kerangka pengelolaan berbasis prinsip 4R. Berdasarkan hasil survei dan pengamatan, jenis sampah yang paling dominan adalah sampah organik (36%), diikuti oleh kertas (25%), plastik (23%), serta jenis lainnya seperti residu (13%), logam (3%), dan kaca (0%). Pola ini menunjukkan bahwa aktivitas konsumsi makanan dan administrasi akademik menjadi sumber utama timbunan sampah di kampus.

Dominasi sampah organik mencerminkan pola konsumsi harian civitas akademika yang disumbang oleh aktivitas makan dan minum. Sayangnya, sampah organik sering kali belum terkelola dengan optimal, padahal dapat diolah menjadi kompos atau energi melalui proses biologis. Ini merupakan potensi besar untuk strategi *replace* atau *recycle*. Sementara itu, sampah kertas dan plastik yang secara kumulatif menunjukkan adanya peluang besar untuk strategi *reduce* dan *reuse*. Penggunaan kertas dapat diminimalkan melalui digitalisasi dokumen, sedangkan plastik sekali pakai dapat ditekan dengan mendorong kebiasaan membawa botol minum dan tas belanja sendiri. Di sinilah peran kampus sebagai agen perubahan dapat memfasilitasi transformasi budaya ini melalui kebijakan dan edukasi.

Kehadiran residu sebesar 13% juga menjadi perhatian penting. Limbah residu umumnya sulit diolah kembali, karena bersifat campuran atau tidak dapat dikategorikan secara spesifik (seperti tisu atau plastik multilapis). Maka dari itu, upaya *reduce* menjadi strategi paling logis, dengan menekan konsumsi produk-produk sekali pakai yang menghasilkan residu. Kondisi logam (3%) dan kaca (0%) mengindikasikan bahwa jenis sampah ini bukanlah komponen utama dalam sistem pengelolaan sampah kampus. Namun, ini juga bisa menunjukkan bahwa logam dan kaca telah tersortir atau penggunaan jenis material ini memang minim di lingkungan kampus. Secara keseluruhan, komposisi ini menjadi landasan penting untuk menyusun strategi pengelolaan sampah yang berkelanjutan di kampus. Program pengelolaan berbasis 4R dapat dimaksimalkan dengan menyasar kategori dominan, yakni organik, plastik, dan kertas. Edukasi perilaku konsumtif, pemilahan sampah sejak awal, serta dukungan infrastruktur menjadi faktor kunci keberhasilan.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dari 309 responden disimpulkan bahwa tingkat partisipasi sivitas akademika Politeknik Negeri Jember dalam kegiatan pengelolaan sampah berbasis indikator 4R berada pada kategori cukup baik, dengan rata-rata partisipasi berkisar antara 74% hingga 82,5%. Partisipasi tertinggi tercatat pada kategori *recycle* (82,5%), *replace* (78,5%), *reduce* (77,75%) dan *reuse* (74%). Komposisi jenis sampah kampus menunjukkan dominasi pada sampah organik (36%), kertas (25%), dan plastik (23%), yang semuanya merupakan jenis sampah yang masih memiliki potensi tinggi untuk diolah atau dikurangi melalui intervensi 4R. Dengan pendekatan perkiraan konservatif berdasarkan data IPCC dan literatur nasional, maka partisipasi aktif ini berkontribusi terhadap estimasi reduksi emisi sebesar 1.2 ton CO₂-eq per bulan dengan asumsi jumlah sampah kampus 300kg/hari selama 20 hari berdasarkan fraksi dominasi prosentasi sampah. Data ini menegaskan bahwa kampus memiliki peluang besar untuk meningkatkan kontribusi terhadap pengurangan emisi GRK melalui optimalisasi pengelolaan sampah, terutama dengan edukasi berkelanjutan, penyediaan fasilitas pendukung, dan pembentukan kebijakan kampus hijau. Langkah strategis ini juga sejalan dengan agenda nasional dan global untuk transisi menuju masyarakat rendah karbon dan berketahanan lingkungan. Keberlanjutan penelitian guna reduksi emisi dari pengolahan sampah juga diperlukan seperti pembuatan biofuel dan limbah botol, dan produk paving block melalui pemanfaatan residu.

Ucapan Terima Kasih: Kepada Politeknik Negeri Jember yang telah memberikan hibah penelitian PNBPN tahun periode 2025.

Referensi

- [1] P. Nursetyowati, S. Safrilah, and N. Zahra, "Strategi Pengelolaan Sampah Terintegrasi Menuju Kampus yang Berkelanjutan di Universitas Bakrie," *Jurnal Ilmu Lingkungan*, vol. 22, no. 6, pp. 1424–1434, Nov. 2024, doi: 10.14710/jil.22.6.1424-1434.

-
- [2] K. N. Paredes-Canencio, A. Lasso, R. Castrillon, J. R. Vidal-Medina, and E. C. Quispe, "Carbon footprint of higher education institutions," Dec. 01, 2024, *Springer Science and Business Media B.V.* doi: 10.1007/s10668-024-04596-4.
- [3] Y. V. Paramitadevi, N. Jannah, and B. Ratnawati, "Perkiraan Emisi Gas Rumah Kaca Dari Tempat Pembuangan Sampah Berbasis Reduce, Reuse, Recycle (3r) Di Kota Bogor," *Jurnal Sains Terapan*, pp. 26–36, Dec. 2022, doi: 10.29244/jstsv.12.2.26-36.
- [4] R. Clabeaux, M. Carbajales-Dale, D. Ladner, and T. Walker, "Assessing the carbon footprint of a university campus using a life cycle assessment approach," *J Clean Prod*, vol. 273, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.122600.
- [5] M. Annisa and F. Muchlas Abrori, "Pemberdayaan Mahasiswa Dalam Penerapan Prinsip Pengelolaan Sampah Menggunakan Pola 4R," *Jurnal Pendidikan IPA*, vol. 8, no. 2, pp. 75–81, Nov. 2018.
- [6] R. Battistini, F. Passarini, R. Marrollo, C. Lantieri, A. Simone, and V. Vignali, "How to Assess the Carbon Footprint of a Large University? The Case Study of University of Bologna's Multicampus Organization," *Energies (Basel)*, vol. 16, no. 1, Jan. 2023, doi: 10.3390/en16010166.
- [7] T. Hiraishi *et al.*, "Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories," Brazil. Accessed: Sep. 11, 2025. [Online]. Available: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/>
- [8] IPCC, "IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories," *Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*, p. 20, 2006.
- [9] J. Penman, M. Gytarsky, T. Hiraishi, W. Irving, and T. Krug, "2006 IPCC - Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories," *Directrices para los inventarios nacionales GEI*, p. 12, 2006, [Online]. Available: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>
- [10] IPCC, "Waste Sector Users' Guidebook," Jan. 2025. Accessed: Sep. 11, 2025. [Online]. Available: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/software/files/IPCC_Software_Waste_sector_Guidebook_ver1.1.pdf
- [11] M. Doorn, W. Treatment, I. Guidelines, W. Irving, N. Greenhouse, and G. Inventories, "Chapter 6 wastewater treatment and discharge 2006," *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, 2006.