

ESTIMASI MITIGASI GAS RUMAH KACA DENGAN PENERAPAN DAUR ULANG SAMPAH KASUS: UNIVERSITAS AGUNG PODOMORO

Elsa Try Julita Sembiring¹⁾, Alifia Intan Safithri²⁾, Maria Prihandrijanti³⁾

¹ Program Studi Arsitektur, Universitas Agung Podomoro
Email: elsa.try@podomorouniversity.ac.id

² Program Studi Arsitektur, Universitas Agung Podomoro
Email: -

³ Program Studi Arsitektur, Universitas Agung Podomoro
Email:
maria.prihandrijanti@podomorouniversity.ac.id

ABSTRAK

Sampah yang berakhir di tempat pembuangan akhir (TPA) diprediksi menghasilkan gas metana yakni salah satu rumah kaca yang berkontribusi terhadap perubahan iklim. Gas ini diemisikan dari proses dekomposisi anaerobik material organik di sampah. Semakin banyak sampah yang ditimbun di TPA (tanpa pengolahan sebelumnya) berarti lebih tinggi juga emisi yang lepas ke atmosfer. Tujuan dari studi ini adalah mengestimasi emisi metana (CH₄) dari timbulan sampah di Universitas Agung Podomoro (UAP) sebagai dasar pengembangan strategi pengelolaan sampah kampus. Dikembangkan dua skenario: I) dengan pengelolaan sampah eksisting (100% langsung dibuang ke TPA); pada skenario II dengan pengolahan pada tahap sebelumnya. Metode penghitungan menggunakan pedoman IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) tahun 2006 untuk beberapa parameter defaultnya. Jumlah timbulan, komposisi, dan potensi daur ulang sampah eksisting berdasarkan data evaluasi timbulan pada penelitian sebelumnya di UAP. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengolahan sebelumnya berpotensi mengurangi 0,315 ton CH₄/tahun atau sekitar 55% dari total emisi CH₄ tanpa ada pengolahan sebelumnya. Upaya mitigasi dan adaptasi yang direkomendasikan adalah penetapan peraturan dan penyediaan fasilitas berbasis 3R di lingkungan kampus disertai dengan sosialisasi dan evaluasi berkelanjutan. Selain itu, diperlukan juga komitmen dari pihak manajemen dan segenap civitas academica kampus untuk mencapai kesuksesan pengelolaan sampah yang berkelanjutan ini.

Kata kunci: sampah, gas rumah kaca, UAP, metana (CH₄)

ABSTRACT

Waste ended in landfills is predicted to emit methane (CH₄), one of the greenhouse gases that contributes to the climate change. It is emitted from the anaerobic decomposition process of organic material in the waste. The more waste ended in landfills (without prior treatment) means the more methane (CH₄) emits to the atmosphere. The purpose of this study is to estimate the methanes (CH₄) emission from the waste generation in UAP as a basis in developing the waste management strategy. Two scenarios were developed based on the certain amount of waste: I) with the existing waste management (100% directly disposed to landfills); II) with the prior treatment. The calculation method referred to guideline in IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2006 for some default parameters. The amount of the existing waste generation, composition, and potential recycling were based on the previous study in UAP. The results show that the prior treatment potentially reduce 0.315 tonnes CH₄/year or about 55% of the total emission of CH₄ without prior treatment. The recommended mitigation and adaptation efforts are the stipulation of regulation and provision of the facility related to 3R in the campus accompanied by continuous socialization and evaluation. However, it should take commitment from the entire campus management and community to achieve the successful sustainable waste management.

Elsa Try Julita
Estimasi Mitigasi Gas...

Article History

Received : 2021-04-10

Revised : 2021-05-21

Accepted : 2021-05-30



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

Keywords: solid waste, greenhouse gasses, UAP campus, methane (CH₄)

A. PENDAHULUAN

Masyarakat dunia saat ini menghadapi perubahan iklim global sebagai tantangan lingkungan bersama. Tren peningkatan emisi gas rumah kaca (GRK) yang didominasi berasal dari kegiatan antropogenik terjadi tiga kali lipat dari tahun 1990 sampai 2014 (Bank, n.d.). Sektor utama yang berkontribusi pada peningkatan gas rumah kaca ini antara lain adalah pembangkit listrik dan penggunaan lahan yakni sebesar 50% total emisi gas rumah kaca. Timbulan sampah diperhitungkan turut menyumbang pada peningkatan emisi GRK sebesar 5% (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007).

Pengelolaan sampah dengan paradigma lama (pengumpulan, pengangkutan, pembuangan) menyebabkan sampah terkonsentrasi di *landfill* dalam jumlah yang besar (Tchobanoglous et al., 1993) Sampah yang berakhir di *landfill* akan mengalami proses dekomposisi dan menimbulkan emisi salah satu GRK yaitu gas metana (CH₄). Gas ini menimbulkan efek sebesar 20-30 kali lipat dari gas karbondioksida (CO₂) (Damanhuri, E., & Padmi, T., 2015). Jumlah CH₄ yang dihasilkan bergantung pada komposisi sampah. Damanhuri et al., (2009) menyampaikan data bahwa sekitar 60-70% sampah berakhir di *landfill*. Pengelolaan *landfill* (misalnya teknologi penangkapan gas dll.) yang tidak memadai berpotensi melepaskan gas CH₄ yang terbentuk dari tumpukan sampah, yang akan menyebar baik secara vertikal maupun horizontal (Artiningrum, 2017). Dengan demikian dituntut suatu perubahan pola pengelolaan

sampah di Indonesia yang memprioritaskan pada minimasi sampah dari sumbernya melalui *Reduce, Reuse, Recycle* (UU 18/2008, 2008) untuk pengurangan emisi CH₄.

Data DKI Jakarta mencatat bahwa timbulan sampah kota berkisar 6200 ton per hari dengan kampus berkontribusi sebesar 0,52% (Pemerintah Provinsi DKI Jakarta, 2017). Beragamnya aktivitas seperti proses belajar mengajar, konsumsi, dan administrasi mempengaruhi besarnya timbulan sampah. Studi literatur komposisi sampah kampus dari beberapa penelitian (Safitri et al., 2020) menunjukkan bahwa sampah dari kegiatan kampus memiliki potensi daur ulang yang tinggi yaitu berkisar 40 – 80%.

Penelitian ini dilakukan di Universitas Agung Podomoro (UAP), salah satu kampus di daerah Jakarta Barat yang saat ini masing menganut paradigma lama dalam pengelolaan sampah. Penelitian Safitri et al. (2020) telah melakukan evaluasi lengkap terkait jumlah timbulan, komposisi, serta potensi daur ulang sampah sebagai dasar penentuan strategi pengelolaan sampah berkelanjutan. Selanjutnya, dalam penelitian tersebut juga telah dikembangkan strategi-strategi berupa pengurangan timbulan sampah, peningkatan daur ulang dan meningkatkan partisipasi sivitas akademika melalui berbagai kebijakan dan fasilitas.

Penelitian ini merupakan kelanjutan penelitian Safitri (2020) yang bertujuan untuk menghitung potensi pengurangan emisi GRK khususnya gas metana (CH₄) berdasarkan potensi daur ulang sampah yang dianalisis dari timbulan

dan komposisi dengan menggunakan dua skenario. Skenario tersebut yakni tanpa dan dengan upaya daur ulang sampah bernilai ekonomis yang dapat dijual ke bank sampah dan pengomposan sampah mudah mengurai. Hasil penelitian ini diharapkan bahan pertimbangan pengambil kebijakan UAP dalam memperbaiki pengelolaan sampah secara umum di UAP. Kampus sebagai institusi pendidikan sebaiknya menginisiasi strategi berkelanjutan sebagai bentuk tanggung jawab terhadap lingkungan melalui antara lain kontribusi pengurangan emisi GRK ke atmosfer dan mengurangi dampak dari perubahan iklim.

B. KAJIAN LITERATUR

Gas Rumah Kaca (GRK)

GRK merupakan berbagai gas yang dapat berkontribusi dalam terjadinya pemanasan global di bumi. Pemanasan global ini ditunjukkan dengan suhu rata-rata permukaan bumi yang meningkat. Secara ideal, panas matahari yang sampai ke permukaan bumi diabsorpsi dan sisanya direfleksikan kembali ke angkasa, tetapi karena adanya kumpulan gas ini menyebabkan efek rumah kaca (Wirana et al., 2019). Keberadaan GRK pada konsentrasi tinggi menyebabkan radiasi inframerah ini kembali terpantul dan terjebak di atmosfer sehingga meningkatkan suhu bumi dari suhu normal dalam interval waktu yang lama. Berikut enam jenis GRK dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah:

Tabel 1 Jenis dan sumber GRK

No	Gas	Sumber
----	-----	--------

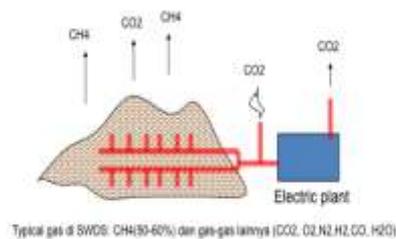
1.	Karbon dioksida (CO ₂)	konsumsi energi dari bahan bakar fosil, deforestasi
2.	Metana (CH ₄)	pertanian, produksi energi, sampah
3.	Dinitrogen oksida (N ₂ O)	pertanian
4.	Hidrofluorokarbon (HFCs)	digunakan sebagai pengganti zat pemicu penipisan ozon
5.	Perfluorokarbon (PFCs)	digunakan di proses industri dan peralatan elektronik
6.	Sulfur heksafluorida (SF ₆)	

(UNFCC, 2009)

Selain gas yang disebutkan di atas, terdapat gas lain yang termasuk GRK antara lain nitrogen oksida (NO_x), karbonmonoksida (CO), klorofluorokarbon (CFC), dan gas-gas organik volatil nonmetal. Gas CO₂ merupakan kontributor pertama terhadap isu pemanasan global diikuti oleh CH₄ (UNFCC, 2009)

IPCC (2006) menyatakan bahwa terjadi peningkatan suhu bumi sebesar 0,6°C. Diperkirakan sampai dengan tahun 2100, peningkatan suhu ini terus terjadi dengan rata-rata sebesar 0,1°C – 0,2°C/10 tahun selama 50 tahun kedepan apabila tidak ada upaya mitigasi oleh berbagai sektor. Implikasi peningkatan suhu global ini berdampak pada banyak hal antara lain: permukaan laut naik, intensitas fenomena cuaca ekstrem meningkat, pola dan jumlah presipitasi hujan berubah, es mencair serta berbagai satwa terancam punah. Oleh karena itu diperlukan penerapan berbagai upaya untuk mengurangi peningkatan emisi GRK di atmosfer (UNFCC, 2009).

Emisi Gas Metana (CH₄) dari Sampah



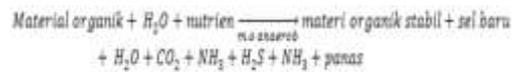
Sampah yang ditimbulkan dari berbagai aktivitas manusia akan melalui berbagai proses untuk sampai ke TPA (Damanhuri, E., & Padmi, T., 2015) mulai dari dikumpulkan pada tempat sampah di sumber, diangkut dengan gerobak, di pindahkan ke TPS (Tempat Penampungan Sementara),

Gambar 1 Proses pembentukan emisi GRK dari sampah di TPA

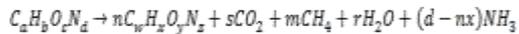
diangkut dengan kendaraan/alat, diolah untuk sampah-sampah yang masih memiliki nilai, lalu yang terakhir adalah ditimbun di TPA untuk sampah-sampah yang tidak dapat dimanfaatkan lagi. Berdasarkan IPCC (*Publications - IPCC-TFI*, n.d.) salah satu potensi GRK dapat berasal dari sektor sampah yakni TPA baik dari yang terkelola (*sanitary landfill* dan *controlled landfill*) maupun yang tidak terkelola (*open dumping*). Proses pengolahan lainnya pada sampah seperti biologi dan termal juga merupakan potensi GRK. GRK yang muncul dari kegiatan pengolahan sampah ini terdiri dari gas metana (CH_4), nitrogen oksida (NO_x), dan karbon dioksida (CO_2) apabila terjadi pada kondisi anaerobik (tanpa oksigen). Gas CH_4 merupakan gas yang berasal dari proses pembusukan materi organik oleh mikroorganisme secara anaerob dan merupakan gas utama di tempat pembuangan sampah. Pembentukan emisi GRK dari sampah ditunjukkan pada Gambar 1 berikut: (IPCC, 2006)

Reaksi kimia dekomposisi anaerob adalah sebagai berikut:

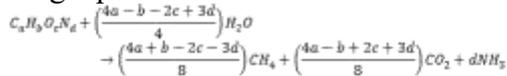
Reaksi Sederhana



Konversi fraksi organik dari limbah padat



Reaksi dekomposisi organik secara lengkap



Potensi emisi gas metana di Indonesia bisa mencapai 11.390 ton CH_4 /tahun, sedangkan emisi gas metana di DKI Jakarta sendiri pada

tahun 2010 adalah sebesar 2.300 ton CH_4 /tahun (Herlambang, A., Sutanto, H., & Wibowo, K., 2010). Jika dikalkulasikan berdasarkan sumber sampahnya, 0,52% dari jumlah emisi gas metana tersebut berasal dari kampus, yakni sebesar 11,96 ton CH_4 /tahun. Oleh karena itu dengan adanya pengelolaan sampah berkelanjutan di kampus yang menganut paradigma baru, dapat berkontribusi dalam pengurangan emisi gas metana ke atmosfer walaupun angkanya tidak signifikan.

Metode untuk penentuan emisi CH_4 pada penelitian ini mengacu pada Metode *First Order Decay* (FOD) menggambarkan fraksi material – material yang dapat diuraikan menjadi CH_4 dan CO_2 yang dibuat berdasarkan faktor eksponensial. Dalam pemodelan ini, massa material organik yang dapat didegradasi dari sampah yang berakhir di TPA (*Degradable Organic Carbon Compound /DOC*) dapat diperkirakan berdasarkan data timbulan dan komposisi sampah, contohnya: sisa makanan, sampah pekarangan seperti daun dan kayu, karton, kertas dan lain-lain. Tingkat

ketelitian (tier) dalam perhitungan inventarisasi GRK dibedakan menjadi tiga yakni (Kementerian Lingkungan Hidup, 2012):

- Tier 1: menggunakan persamaan dasar (*basic equation*) dan faktor emisi *default* atau IPCC *default values* (yaitu faktor emisi yang disediakan dalam IPCC Guideline) dan data aktivitas yang digunakan sebagian bersumber dari sumber data global;
- Tier 2: menggunakan persamaan yang lebih rinci, misalnya persamaan reaksi atau neraca material dan menggunakan faktor emisi lokal yang diperoleh dari hasil pengukuran langsung dan data aktivitas berasal dari sumber data nasional dan/atau daerah;
- Tier 3: menggunakan metode yang paling rinci (dengan pendekatan modeling dan sampling). Dengan pendekatan modeling faktor emisi lokal dapat divariasikan sesuai dengan keberagaman kondisi yang ada sehingga emisi dan serapan akan memiliki tingkat kesalahan lebih rendah. Parameter-parameter kunci harus termasuk waktu paruh (*the half life*), potensi pembentukan gas metana (Lo) maupun kandungan DOC pada limbah dan fraksi DOC yang terdekomposisi (DOCf).

Paradigma Baru Pengelolaan Sampah

Paradigma baru pengelolaan sampah berfokus pada minimasi sampah di sumber. Urutan prioritas upaya penanganan sampah dalam bentuk hierarki adalah sebagai berikut (Damanhuri, E., & Padi, T., 2015):

- a. *Reduce*: upaya untuk menghasilkan sampah sesedikit mungkin.
- b. *Reuse*: memanfaatkan kembali sampah yang telah terbentuk.

- c. *Recycle*: mengolah sampah sehingga dapat kembali digunakan sebagai bahan baku ataupun sumber energi.
- d. *Treatment*: mengolah sampah yang tidak dapat dimanfaatkan agar aman untuk dilepas ke lingkungan.
- e. *Dispose*: membuang sampah yang tidak dapat diolah ke sebuah lahan urug yang telah dibuat.
- f. *Remediasi*: rehabilitasi media lingkungan (tanah dan air) melalui upaya rekayasa seperti bioremediasi.

Upaya minimasi sampah ini bermanfaat untuk jangka panjang, yaitu berkurangnya ketergantungan terhadap Tempat TPA serta terciptanya peluang usaha pengelolaan sampah seperti daur ulang (Damanhuri, E., & Padi, T., 2015).

Daur ulang merupakan upaya minimasi sampah yang efektif dan menguntungkan secara ekonomi dan lingkungan (Banaget, C. K., Kristanto, G. S. B. A., & Gustiani, I., 2013), yang terbukti dari beberapa hasil kajian:

- Pendaaur-ulangan sampah hanya dapat dilakukan pada sampah yang mudah untuk dipilah (Trang et al., 2015).
- Daur ulang sampah dapat menghemat lebih banyak energi daripada melakukan pembakaran dan gasifikasi limbah (Colling, et al., 2016).
- Selain menciptakan peluang usaha dari segi ekonomi, daur ulang sampah di sumber juga dapat meminimalkan biaya pengangkutan ke TPS (Damanhuri, E., & Padi, T., 2015).
- Konsep daur ulang dapat diterapkan dengan berbagai cara pengolahan, yakni pengomposan dan biogas untuk sampah mudah mengurai (*biodegradable*) seperti sisa

makanan dan kotoran ternak. Untuk sampah sulit mengurai seperti sampah kertas dan plastik, dapat didaur ulang untuk pembuatan briket atau RDF (*Refused Derived Fuel*) (Hidayah, S., 2018).

Tabel 2 berikut menunjukkan potensi daur ulang sampah dari berbagai kajian literatur:

Tabel 2 Jenis dan sumber GRK

No	Komponen Sampah	% Daur Ulang
<i>Recyclable (Sampah yang dapat didaur ulang kembali)</i>		
1.	Kertas HVS	50%
2.	Kertas coklat	50% (*)
3.	Majalah dan koran	50% (*)
4.	Karton	50% (*)
5.	Kardus	50% (*)
6.	<i>Tetra pack</i>	50% (*)
7.	Botol dan gelas plastik	100% (**)
8.	Kantong plastik	50% (*)
9.	Sendok Plastik	40% (**)
10.	Kemasan	50% (**)
11.	Kaleng	100% (**)
12.	Botol kaca	65% (*)
13.	Besi	100% (**)
14.	Kayu	10% (*)
15.	Tisu	50% (*)

* (Wardiha et al., 2013); ** (Safitri et al., 2020)

Penerapan paradigma prinsip 3R semaksimal mungkin merupakan rekomendasi strategi yang dapat dilakukan oleh kampus UAP dalam minimasi sampah. Tujuannya adalah agar kuantitas sampah yang dibuang ke TPA berkurang sehingga dapat mengurangi emisi gas CH₄ di atmosfer. Contoh beberapa kampus di dunia maupun di Indonesia yang telah menerapkan prinsip 3R ini ditunjukkan pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3 Penerapan Prinsip 3R di Kampus

No	Lokasi Kampus	Strategi Pengelolaan Sampah	Sumber
1.	Universitas Baja California, Amerika Serikat (Kampus Mexicali I of the Autonomus)	Menerapkan prinsip <i>Reuse</i> dan <i>Reduce</i> dengan menggunakan kembali kertas yang telah terpakai dan memanfaatkan teknologi <i>electronic-mail (e-mail)</i> sebagai wadah mahasiswa memasukkan tugas sehingga mengurangi penggunaan kertas.	(De Vega, et al., 2008)
2.	Universiti Kebangsaan Malaysia	Menerapkan prinsip <i>Recycle</i> dengan mendaur-ulang sampah kertas menggunakan mesin.	(Elfithri et al., 2012)
3.	University of Malaya, Malaysia	Menerapkan prinsip <i>Recycle</i> melalui projek University of Malaya Zero Waste Campaign (UM ZWC), yakni pemilahan sampah untuk pembuatan kompos, mendaur ulang sampah sulit mengurai, dan mengubah sampah menjadi energi (<i>recovery energy</i>).	(Yusoff, 2018)

No	Lokasi Kampus	Strategi Pengelolaan Sampah	Sumber	No	Lokasi Kampus	Strategi Pengelolaan Sampah	Sumber
4.	Universitas Indonesia kampus Depok	Menerapkan prinsip <i>Recycle</i> dengan memasukkan sampah yang masih memiliki nilai seperti kertas, kardus, botol dan gelas plastik, karton, kemasan minuman, kantong kresek dan logam bank sampah. Lalu sampah organik dari taman dan kantin dimasukkan ke komposter yang tersedia di kampus untuk diolah menjadi kompos. Sedangkan sampah yang tidak dapat didaur ulang seperti <i>styrofoam</i> dan residu lain dibuang ke TPA.	(Trilina, 2010)			2. Sampah organik dari taman dan kantin dimasukkan ke komposter yang tersedia di kampus untuk diolah menjadi kompos. 3. Sampah anorganik diproses di fasilitas ISWM (<i>Integrated Solid Waste Management</i>)	
5.	Universitas Diponegoro kampus Tembalang	Menerapkan prinsip <i>Recycle</i> , meliputi: 1. Menyediakan fasilitas 4 tempat sampah pilah, yakni: organik, kertas, plastik, dan sampah lainnya.	(Oktiawan, Istirokhatun, & Fajar, 2012)	6.	Universitas Andalas	Menerapkan prinsip <i>Recycle</i> , meliputi: 1. Penyediaan tempat sampah pilah. 2. Pengolahan lanjut di PPST (Pusat Pengolahan Sampah Terpadu) Universitas Andalas yang terdiri dari pengomposan sampah basah sebesar 33,64%, penjualan sampah ekonomis ke bank sampah sebesar 46,28%, dan proses	(Ruslinda, Raharjo, & Susanti, 2014)

No	Lokasi Kampus	Strategi Pengelolaan Sampah insinerasi sebesar 20,08%	Sumber
----	---------------	---	--------

Komposisi utama sampah di beberapa kampus di Indonesia ditunjukkan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4 Komposisi utama sampah di beberapa kampus di Indonesia

No	Lokasi Kampus	Jenis Sampah Terbanyak	Sumber
1.	Universitas Indonesia kampus Depok	Kertas	(Trilina, 2010)
2.	Universitas Musamus Merauke	Kertas	(Lolo, & Cahyanti,, 2013)
3.	Universitas Riau kampus Widya Bina	Kertas	(Febria, Darmayanti, & Asmara, 2014)
4.	Universitas Andalas	Plastik	(Ruslinda, Raharjo, & Susanti, 2014)
5.	Universitas Putra Indonesia Padang	Plastik	(Dewilda, & Julianto, 2019)
6.	Universitas Bhayangkara Jakarta Raya kampus II	Plastik	(Marisda, 2017)

C. METODE PENELITIAN

Pengambilan dan Pengumpulan Data

Tahap pertama penelitian

dimulai dari pengumpulan dan pengambilan data untuk mendapatkan informasi terkait penelitian yakni prosedur operasional sampah kampus saat ini, data timbulan sampah, komposisi sampah, dan potensi daur ulang (sampah ekonomis) serta skenario pengelolaan sampah yang dipilih berdasarkan penelitian sebelumnya (Safitri et al., 2020). Perhitungan timbulan sampah mengikuti SNI 19-2454-2002 tentang Tata Cara Teknik Operasional Sampah Perkotaan disertai dengan pemilahan sesuai jenisnya yang berlangsung selama 14 hari (29 Februari 2020 s/d 8 Maret 2020) di UAP.

Selain data terkait timbulan sampah, data sekunder dalam penelitian ini antara lain data acuan yang digunakan yaitu IPCC (2016).

Perhitungan Emisi GRK (CH₄)

Perhitungan emisi berdasarkan data timbulan sampah menggunakan metodologi standar untuk menghitung emisi yang tercantum dalam Pedoman IPCC tahun 2006 kategori Tier-2, karena beberapa parameter berasal dari hasil penelitian lapangan tetapi beberapa parameter lain menggunakan *default* IPCC.

Emisi GRK dianalisis dengan dua skenario yaitu:

I. Emisi yang dihasilkan jika tidak ada reduksi sampah dan langsung dibuang ke TPA (100%) seperti kondisi lapangan saat ini.

II. Emisi yang dihasilkan setelah adanya upaya kegiatan daur ulang sampah ekonomis dan pengomposan sampah organik (daun dan makanan).

Selanjutnya penurunan emisi yang terjadi dihitung berdasarkan selisih Emisi CH₄ skenario I dengan Emisi CH₄ skenario II.

Berikut rumus yang digunakan pada skenario 1 dan 2:

$$L_o = W \times \text{DOC} \times \text{DOC}_f \times \text{MCF} \times F \times \frac{16}{12}$$

Dengan:

L_o = emisi CH_4 (gr CH_4/tahun)

W = berat sampah (gr) (pada skenario 1 merupakan berat sampah total ke TPA tanpa ada upaya daur ulang; pada skenario 2 merupakan berat sampah ke TPA setelah adanya kegiatan daur ulang)

DOC = karbon organik yang terdegradasi (gr C/gr sampah)

DOC_f = fraksi DOC yang dapat terdekomposisi (fraksi)

MCF = faktor koreksi CH_4 pada proses dekomposisi aerobik pada tahun di mana sampah dibuang (fraksi)

F = fraksi CH_4 pada gas yang dihasilkan di TPA (fraksi volume)

16/12 = rasio berat molekul CH_4/C

Penentuan nilai *Degradable Organic Carbon* (DOC) bergantung pada jenis sampah. Pada penelitian ini, tidak dilakukan *ultimate analysis* (basis kering) komponen elementer C, H, N, O, S, dan kadar abu untuk menentukan fraksi DOC pada komponen sampah i (basis berat basah) (DOC_i). Nilai DOC dirujuk pada angka *default* IPCC (2006).

Tabel 5 menunjukkan *default* (std) kandungan bahan kering dan DOC yang digunakan dalam estimasi gas CH_4 ini.

Tabel 5 Standar kandungan bahan kering dan DOC

Komponen Sampah Kota	Bahan Kering dalam (%) Berat Basah		DOC dalam (%) Sampah Basah		DOC dalam (%) Sampah Kering	
	Def-ault	Def-ault	Ren-tan-g	Def-ault	Ren-tang	
Kertas/karton	90	40	36 45	44	40 – 50	

Komponen Sampah Kota	Bahan Kering dalam (%) Berat Basah		DOC dalam (%) Sampah Basah		DOC dalam (%) Sampah Kering	
	Def-ault	Def-ault	Ren-tan-g	Def-ault	Ren-tang	
Tekstil	80	24	20 40	30	25 – 50	
Sampah Makanan	40	15	8 – 20 39	38	20 – 50	
Kayu	85	43	46 18	50	46 – 54	
Sampah Taman	40	20	18 22	49	45 – 55	
Popok	40	24	32	60	44 – 80	
Karet & kulit	84	39	39	47	47	
Plastik	100	-	-	-	-	
Logam	100	-	-	-	-	
Kaca	100	-	-	-	-	
Lainnya	90	-	-	-	-	

(IPCC, 2006)

Tabel 5 menunjukkan standar kandungan bahan kering dan DOC yang digunakan dalam estimasi gas CH_4 ini. DOC merupakan karakteristik yang menentukan besarnya gas CH_4 yang terbentuk pada proses penguraian komponen organik/karbon yang ada pada sampah. Selanjutnya Tabel 6 berikut menunjukkan standar kadar karbon total dan fraksi fosil karbon.

Tabel 6 Standar kadar karbon total dan fraksi fosil karbon dari sampah

Komponen Sampah Kota	Kandungan Karbon Total dalam (%) Berat Kering		Fraksi Karbon Fosil dalam (%) Total Karbon	
	Def-ault	Renta-ng	Def-ault	Renta-ng
Kertas/karton	46	42 – 50	1	0 – 5
Tekstil	50	25 – 50	20	0 – 50

Komponen Sampah Kota	Kandungan Karbon Total dalam (%) Berat Kering		Fraksi Karbon Fosil dalam (%) Total Karbon	
	Defualt	Renta ng	Defualt	Renta ng
Sampah Makanan	38	20 – 50	-	-
Kayu	50	46 – 54	-	-
Sampah Taman	49	45 – 55	0	0
Popok	70	54 – 90	10	10
Karet & kulit	67	67	20	20
Plastik	75	67 – 85	100	95 – 100
Logam	NA	NA	NA	NA
Kaca	NA	NA	NA	NA
Lainnya	3	0 – 5	100	50 – 100

(IPCC, 2006)

Penentuan nilai untuk semua parameter diperoleh dari Pedoman IPCC tahun 2006 dengan mengikuti kondisi pengolahan di TPA yang merupakan tujuan akhir dari pengangkutan sampah UAP. Dasar penentuan ini ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7 Dasar penentuan nilai untuk setiap parameter perhitungan emisi gas metana

No.	Parameter	Nilai	Sumber Data
1.	W	Tergantung pemilahan	Massa sampah (setiap jenis) dari hasil pengukuran setelah dipilah
2.	DOC	Tergantung jenis sampah	Tabel 2 (IPCC <i>guidelines chapter 2</i>)
3.	DOC _f	0,5	Asumsi kondisi lingkungan TPA adalah anaerobik (IPCC <i>guidelines chapter 3</i>)
4.	MCF	0,5	Asumsi TPA telah memiliki bahan penutup yang permeabel, terdapat sistem drainase air lindi, dan terdapat

No.	Parameter	Nilai	Sumber Data
5.	F	0,5	sistem ventilasi gas (IPCC <i>guidelines chapter 3</i>) Kebanyakan sampah menghasilkan 50% gas metana (IPCC <i>guidelines chapter 3</i>)

(IPCC, 2006)

Uji Korelasi dengan Korelasi Sederhana

Uji korelasi dilakukan untuk mengetahui seberapa kuat hubungan yang terjadi antara dua variabel. Uji korelasi digunakan untuk melihat hubungan pengaruh daur ulang terhadap penurunan emisi CH₄. Rumus korelasi sederhana ini adalah sebagai berikut:

$$r = \frac{N(\sum xy) - (\sum x \sum y)}{\sqrt{(N\sum x^2 - (\sum x)^2)(N\sum y^2 - (\sum y)^2)}}$$

Dimana:

x mewakili data emisi CH₄ tanpa upaya daur ulang
y adalah hasil reduksi emisi.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan mengenai jumlah emisi gas metana (CH₄) yang dapat diturunkan mengacu pada timbulan sampah yang berhasil dicegah masuk menuju *landfill* melalui upaya daur ulang. Oleh karena itu, sebelum dilakukan perhitungan gas metana (CH₄) pada awal penelitian dianalisis dahulu jumlah timbulan sampah kampus selama 14 hari. Penelitian dilanjutkan dengan perhitungan gas metana (CH₄) mengacu pada IPCC (2016).

Evaluasi Timbulan UAP

Kampus UAP merupakan salah

satu perguruan tinggi yang telah berdiri sejak tahun 2014. Kampus UAP merupakan kampus yang berada dalam suatu gedung perkantoran di kawasan Jakarta Barat. Kampus seluas 7.593,28m² ini terdiri dari 3 lantai untuk memuat segala fasilitas penunjang kegiatannya.

Penanggung jawab terhadap pengelolaan sampah di lingkungan kampus adalah divisi Administrasi Umum bagian Kebersihan (CS). Tim CS dibagi dua tim untuk mengelola sampah di lantai 5 dan lantai 6 untuk selanjutnya dikumpulkan dalam satu tempat sampah/wadah tercampur, tidak terdapat tempat sampah pilah yang artinya tidak ada pemilahan di sumber.



Gambar 2 Pengumpulan sampah dalam kondisi tercampur (tanpa pemilahan) (Safitri et al., 2020)

Proses pengumpulan sampah di UAP setiap harinya dilakukan sebanyak dua kali. Pengumpulan sampah pada kantong berkapasitas 100-120 liter yang dilakukan di ruangan berukuran kurang lebih 8 m x 4 m berdekatan dengan ruang Akademik (*Student Academic Service*). Kemudian diangkut ke ruang sampah pengelola gedung (TPS gedung). TPS gedung ini berukuran kurang lebih 7 m x 5 m dalam keadaan tercampur sehingga tidak ada proses pemilahan sampah di sana. Sampah tersebut dikelola oleh manajemen gedung kemudian

diserahkan kepada *vendor* sebagai pihak ketiga untuk dibuang ke *landfill*. Pengangkutan sampah ke *landfill* oleh pihak ketiga dilakukan setiap malam hari sebanyak dua kali pengangkutan dengan menggunakan truk.

Berdasarkan evaluasi timbulan dari penelitian Safitri et al. (2020), diketahui dari 32,29% sampah yang mudah mengurai, sebagian besar terdiri dari sampah mudah mengurai basah seperti sisa makanan. Sebanyak 67,71% dari sampah memiliki nilai ekonomis, seperti: kertas; kardus; karton; dan *tetra pack* (kotak minuman). Tabel 8 berikut menunjukkan komposisi sampah berdasarkan jenis di kampus UAP dalam waktu 14 hari berdasarkan penelitian yang merupakan acuan dalam perhitungan emisi CH₄ pada skenario 1.

Tabel 8 Komposisi sampah berdasarkan jenis di UAP

Komposisi Sampah (kg)	Jumlah (kg)	Rata-rata (kg/hari)	%berat
Jenis Sampah			
1. Kertas HVS	33,42	2,39	4,60%
2. Kertas coklat Majalah dan koran	22,12	1,58	3,04%
3. Karton	0,16	0,01	0,02%
4. Kardus	45,16	3,23	6,21%
5. <i>Tetra pack</i> Sisa	35,42	2,53	4,87%
6. Sisa makanan	2,16	0,15	0,30%
7. Tisu	232,64	16,62	32,00%
8. Daun	96,11	6,87	13,22%
9. Kayu	2,12	0,15	0,29%
10. Botol dan gelas	0,46	0,03	0,06%
11.	126,02	9	17,34%

Komposisi	Jumlah	Rata-	%ber
plastik			
12 Kantong plastik	37,64	2,69	5,18%
13 Sendok Plastik	1,58	0,11	0,22%
14 Kemasan	24,91	1,78	3,43%
15 Kaleng	2,68	0,19	0,37%
16 Botol kaca	4,5	0,32	0,62%
17 Styrofoam	37,62	2,69	5,18%
18 Besi	0,7	0,05	0,10%
19 LB3	0,5	0,04	0,07%
20 Residu	21,01	1,5	2,89%
Jumlah	726,93	51,92	100%

(Safitri et al., 2020)

Dari hasil komposisi sampah tersebut selanjutnya dipilah sampah yang bernilai ekonomis (bisa dijual) dan sampah yang dapat dijadikan kompos mengacu pada potensi daur ulang tabel. Berdasarkan hasil evaluasi timbulan, sebanyak 51,92 kg/hari sampah yang ditimbulkan, 61,01% dapat didaur ulang. Sebanyak 31,681 kg/hari sampah yang dapat didaur ulang terdiri dari 11,57 kg/hari sampah didaur ulang untuk pengomposan dan 20,111 kg/hari sampah *recyclable* ekonomis. Dengan demikian sampah yang menuju *landfill* diperkirakan hanya 20,242 kg/hari. Data residu setelah sampah didaur ulang ini dijadikan acuan dalam perhitungan emisi CH₄ skenario II. Potensi daur ulang sampah di kampus UAP ditunjukkan pada Tabel 9 berikut.

Tabel 9 Potensi daur ulang sampah Kampus UAP

No	Komponen Sampah	Sampah Terdaur Ulang	Residu (kg/hari)
----	-----------------	----------------------	------------------

	(kg/hari)	
Pengomposan		
1. Sisa makanan	11,466	5,151
2. Daun	0,104	0,047
Jumlah	11,57	5,198
Recyclable (Sampah yang dapat didaur ulang kembali)		
1. Kertas HVS	1,194	1,194
2. Kertas coklat	0,79	0,79
3. Majalah dan koran	0,006	0,006
4. Karton	1,613	1,613
5. Kardus	1,265	1,265
6. Tetra pack	0,077	0,077
7. Botol dan gelas plastik	9,001	0
8. Kantong plastik	1,344	1,344
9. Sendok Plastik	0,045	0,068
10. Kemasan	0,89	0,89
11. Kaleng	0,191	0
12. Botol kaca	0,209	0,113
13. Besi	0,05	0
14. Kayu	0,003	0,03
15. Tisu	3,433	3,433
Jumlah	20,111	10,821
Non-Recyclable (Residu)		
1. Styrofoam	0	2,687
2. LB3	0	0,036
3. Residu	0	1,501
Jumlah	0	4,224
	31,681	20,242
Jumlah Total	-	-
	61,01%	38,99%

(Safitri et al., 2020)

Perhitungan Emisi Gas Rumah Kaca

Skenario I

Perhitungan emisi CH₄ diasumsikan bahwa seluruh sampah kampus langsung menuju *landfill* dalam keadaan tercampur tanpa penerapan 3R. Data berat sampah harian mengacu pada hasil evaluasi Table 9 dengan nilai parameter IPCC

Elsa Try Julita
Estimasi Mitigasi Gas...

disesuaikan dengan kondisi sampah (basah/kering) dan kondisi *landfill* tujuan akhir. Hasil perhitungan estimasi emisi CH₄ sesuai skenario I ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10 Estimasi CH₄ Skenario I

No.	Komponen Sampah	Lo (kg CH ₄)
1	Kertas HVS	0,175
2	Kertas cokelat	0,116
3	Majalah dan koran	0,001
4	Karton	0,237
5	Kardus	0,186
6	<i>Tetra pack</i>	0,011
7	Sisa makanan	0,415
8	Daun	0,005
9	Kayu	0,003
10	Botol dan gelas plastik	0,000
11	Kantong plastik	0,000
12	Sendok Plastik	0,000
13	Kemasan	0,000
14	Tisu	0,503
15	Kemasan	0,000
16	Kaleng	0,000
17	Botol kaca	0,000
18	<i>Styrofoam</i>	0,000
19	Besi	0,000
20	LB3	0,000
21	Residu	0,000
Jumlah		1,651

(Hasil analisis, 2021)

Dari hasil perhitungan di atas, didapat CH₄ yang dihasilkan dari sampah kampus sebesar 1,65 kg CH₄ per hari. Sampah yang bersifat inert seperti plastik, kaca, *styrofoam*, dan besi memiliki DOC = 0 sehingga tidak dihitung kontribusi emisinya karena dianggap sangat kecil berdasarkan sifatnya yang sulit mengurai. Namun kandungan sampah ini umumnya bersifat toksik yang dapat mencemari tanah apabila dibuang langsung ke lingkungan.

Sampah plastik yang dibuang ke tanah yang tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme menyebabkan mineral-mineral dalam tanah baik organik maupun anorganik semakin berkurang. Hal ini menyebabkan jarangya fauna tanah seperti cacing dan mikorganisme tanah, yang hidup pada area tanah tersebut, dikarenakan sulitnya untuk memperoleh makanan dan perlindungan. Selain itu juga menyebabkan kadar O₂ dalam tanah semakin sedikit, sehingga fauna tanah sulit untuk bernafas dan akhirnya mati. Akibat ini berdampak langsung pada tumbuhan yang hidup pada area tersebut (Pramiati Purwaningrum, 2016).

Skenario II

Perhitungan emisi CH₄ diasumsikan bahwa kampus sudah menerapkan daur ulang secara optimal melalui kegiatan pemilahan sampah ekonomis untuk dijual ke bank sampah (sesuai % potensi daur ulangnya) dan pengomposan sampah makanan dan daun. Dengan demikian, sampah yang menuju *landfill* hanya sampah berupa residu atau sampah yang memang tidak dapat didaur-ulang lagi. Tabel 11 menunjukkan hasil estimasi gas metana dari skenario II yakni sebesar 0,75 kg CH₄ per hari.

Tabel 11 Estimasi CH₄ Skenario I

No.	Komponen Sampah	Lo (kg CH ₄)
1	Kertas HVS	0,175
2	Kertas cokelat	0,116
3	Majalah dan koran	0,001
4	Karton	0,237
5	Kardus	0,186
6	<i>Tetra pack</i>	0,011
7	Sisa makanan	0,09
8	Daun	0,06
9	Kayu	0,00

No.	Komponen Sampah	Lo (kg CH ₄)
10	Botol dan gelas plastik	0,12
11	Kantong plastik	0,09
12	Sendok Plastik	0,01
13	Kemasan	0,13
14	Tisu	0,00
15	Kemasan	0,00
16	Kaleng	0,00
17	Botol kaca	0,00
18	<i>Styrofoam</i>	0,00
19	Besi	0,00
20	LB3	0,25
21	Residu	0,00
Jumlah		0,75

(Hasil analisis, 2021)

Reduksi Emisi CH₄

Setelah dilakukan perhitungan skenario I dan II maka didapat potensi reduksi emisi CH₄: (1,651-0,75) kg CH₄/hari = 0,901 kg/CH₄/hari, 315 kg CH₄/tahun atau pengurangan sebesar 55%. Dengan kata lain, CH₄ ini dapat dicegah keluar ke atmosfer jika penerapan daur ulang berlangsung optimal.

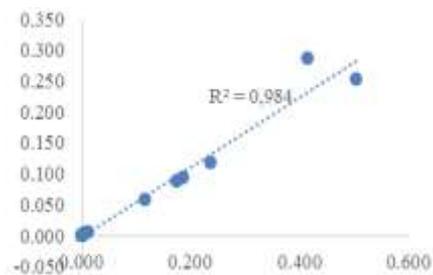
Setiap kilogram emisi GRK, gas CH₄ berpotensi sekitar 22 kali lebih banyak dibandingkan gas karbondioksida (CO₂), atau indeks potensi pemanasan global gas metana 22 kali molekul CO₂ (Damanhuri, E., & Padmi, T., 2015). Dapat dikatakan bahwa efektivitas gas CH₄ dalam penyerapan dan memanaskan lingkungan adalah 22 kali lebih besar daripada gas CO₂.

Gas CH₄ mempunyai waktu hidup (*life-time*) yang pendek yaitu 11 tahun karena sangat mudah hilang dari reaksi proses kimia di atmosfer. Berbeda dengan gas CO₂ melibatkan banyak proses dalam penyisihannya di atmosfer. Antara 60% - 80% CO₂ yang terlepas ke atmosfer, akan terlarut dalam laut hingga jangka waktu 20-200 tahun. Namun, meskipun demikian, keberadaan gas

CH₄ di atmosfer lebih ampuh pengaruhnya (*potent*) dikarenakan kemampuannya yang lebih kuat dalam menperangkap panas. Oleh karena itu, pengurangan emisi gas CH₄ ke atmosfer berpengaruh terhadap potensi efek GRK (Damanhuri, E., & Padmi, T., 2015).

Hubungan Upaya Daur Ulang terhadap Penurunan Emisi GRK

Hubungan daur ulang terhadap penurunan emisi CH₄ dianalisis dengan metode statistic; yaitu korelasi sederhana yang digunakan untuk melihat hubungan antara dua variabel dan keeratan hubungan yang terjadi. Nilai x ditentukan berdasarkan tingkat emisi tiap komponen sampah pada skenario I dan nilai y ditentukan dari hasil reduksi emisi yang terjadi pada tiap komponen sampah jika diberlakukan daur ulang. Grafik korelasi



sederhana ditampilkan pada Gambar

Gambar 3. Grafik Korelasi Sederhana

3.

Berdasarkan perhitungan *r* dengan menggunakan rumus korelasi sederhana diperoleh nilai *r* = 0,984. Hasil analisis ini menunjukkan bahwa upaya daur ulang sampah mampu mengurangi emisi GRK yang dihasilkan pada aktivitas penimbunan sampah secara langsung di *landfill*. Selain mengurangi jumlah emisi GRK, penerapan daur ulang sampah juga memberi manfaat ekonomi yakni

dari penjualan sampah ke bank sampah

sekitar kampus seperti Bank Sampah Tanjung Duren Utara. Berdasarkan observasi lapangan, bank sampah tersebut menerima dari sektor apapun yang berada di Kelurahan Tanjung Duren Utara seperti sektor perumahan, individu (pegepul) maupun pendidikan (sekolah dan kampus). Prosedur penjualannya cukup sederhana hanya mengantar sampah yang sudah dipilah langsung ataupun memanfaatkan jasa jemput ke lokasi penjual tanpa biaya tambahan.

Optimalisasi Upaya *Reduce, Reuse, Recycle* (3R)

Untuk menerapkan konsep ini, diperlukan upaya pemilahan sampah yang benar yang didukung dengan penyediaan fasilitas tempat pilah sampah I. Selanjutnya juga diperlukan penyusunan prosedur bagi petugas kebersihan terkait langkah-langkah pengumpulan sampai penyerahan sampah daur ulang ekonomis ke bank sampah terdekat.

Selain daur ulang, program terkait pengurangan (*reduce dan reuse*) juga perlu digalakkan. Berdasarkan hasil komposisi sampah dan analisis persepsi masyarakat kampus (Safitri et al., 2020) menunjukkan bahwa tingkat konsumsi masyarakat kampus UAP belum mengarah pada kepedulian terhadap lingkungan. Hal tersebut terlihat dari penggunaan botol dan gelas plastik, karton kemasan makanan, kantong plastik, serta *styrofoam*. Tren layanan pesan antar juga menyebabkan *overpackaging* (kemasan berlebih), yaitu penggunaan sampah plastik dan karton semakin tinggi (Tarro, N. Q. P., 2020).

Upaya *Reduce & Reuse* yang

dapat ditempuh oleh pihak kampus, a.l.:

- Adanya komitmen dan kebijakan kampus terkait pengelolaan sampah berkelanjutan;
- Menerbitkan peraturan terkait penggunaan kertas secara efisien misalnya dengan pemanfaatan kertas *reuse*, mencetak dokumen secara bolak-balik; serta mengoptimalkan penggunaan media elektronik (portal kampus ataupun surat elektronik) untuk pengumpulan tugas dan administrasi kampus;
- Mengkampanyekan penggunaan alat makan dan botol minum pribadi yang dapat digunakan berulang kali;
- Menyediakan fasilitas galon isi ulang seperti yang dijalankan oleh program Sadar Diri;
- Menerbitkan peraturan khusus terkait—larangan penggunaan karton, kantong plastik, dan *styrofoam* sebagai kemasan makanan dengan memberlakukan sistem *dine in* atau makan di tempat dengan menyediakan peralatan makan yang dapat dipakai berulang-ulang.

Contoh kunci sukses penerapan strategi penurunan emisi GRK di beberapa universitas, a.l.: Universitas Kebangsaan Malaysia menerbitkan regulasi untuk melakukan daur ulang sampah kertas, di mana terdapat hukuman atau konsekuensi bagi yang tidak melakukan daur ulang sampah kertas (Elfithri, R., Ghee, T. K., Basri, N. E. A., & Zain S. M., 2012). Adanya dokumen formal dan legal juga merupakan bentuk komitmen kampus dalam pengelolaan sampah berkelanjutan. Universitas Indonesia telah memasukkan pengelolaan sampah (pemilahan, pewadahan, pengangkutan) ke dalam program kerja direktorat terkait yang selanjutnya diturunkan dalam

kebijakan yang diformalkan dengan keputusan dekan fakultas.

Keberhasilan dalam pengelolaan sampah di Universitas Indonesia, Universitas Diponegoro, dan Universitas Andalas, ditunjukkan melalui perolehan penghargaan program *UI Greenmetric World University Ranking* sebagai kampus ter hijau di Indonesia. Pada tahun 2018, Universitas Indonesia menempati urutan pertama sebagai kampus ter hijau di Indonesia, Universitas Diponegoro menempati urutan ketiga, sedangkan Universitas Andalas menempati urutan ke-24 (HMJ Biologi, 2018). Penerapan konsep *green campus* merupakan tantangan yang membutuhkan komitmen jangka panjang dari seluruh masyarakat dan seluruh masyarakat kampus.

E. KESIMPULAN

Dua skenario telah dikembangkan dalam rangka mengestimasi GRK (CH₄) yang dapat dimitigasi melalui pengelolaan sampah kampus di UAP, dengan mengacu pada data evaluasi timbulan dan potensi daur ulang sampah. Skenario I yang mewakili kondisi eksisting tanpa daur ulang, menunjukkan estimasi CH₄ sebesar 1,65 kg/hari. Skenario II yang mewakili kondisi kampus bila menerapkan daur ulang sampah yang bernilai ekonomis dan pengomposan sampah makanan, menunjukkan estimasi CH₄ sebesar 0,75 kg/hari. Hasil ini menunjukkan bahwa kampus berpotensi melakukan pengurangan emisi sebesar 0,9 kg per hari atau setara dengan 0,315-ton CH₄/tahun. Hasil analisis korelasi sederhana menunjukkan bahwa upaya daur ulang sampah berkorelasi sangat kuat dalam mengurangi emisi GRK

yang ditunjukkan dengan nilai $r=0,984$.

Penerapan *reduce* dan *reuse* juga penting untuk meminimalkan jumlah timbulan yang dibuang ke TPA. Untuk menyukseskan pengelolaan sampah berkelanjutan berbasis 3R ini diperlukan komitmen kampus yang ditandai harus adanya peraturan formal dan legal terkait pengelolaan sampah kampus disertai dengan fasilitas pendukungnya, seperti tempat sampah pemilahan. Kampus juga perlu mensosialisasikan peraturan-peraturan ini secara berkala agar dipahami dan dilaksanakan oleh segenap masyarakat kampus. Pengelolaan sampah 3R sudah seharusnya diinisiasi oleh kampus yang merupakan institusi pendidikan, sebagai bentuk edukasi sikap ramah lingkungan serta tanggung jawab terhadap lingkungan melalui pengurangan emisi GRK ke atmosfer dan dampak dari perubahan iklim.

DAFTAR PUSTAKA

- Artiningrum, T. (2017). Potensi Emisi Metana (Ch 4) Dari Timbulan Sampah Kota Bandung. *Geoplanart*, 1(1), 36–44. <http://journal.unwim.ac.id/index.php/geoplanart/article/view/143>
- Banaget, C. K., Kristanto, G. S. B. A., & Gustiani, I. (2013). *Karakteristik dan Potensi Daur Ulang Sampah di Lingkungan Kampus Universitas Indonesia: Studi Kasus Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik, Fakultas Ekonomi, dan Fakultas Teknik*. Depok: Universitas Indonesia.
- Bank, W. (n.d.). *Adjusted savings: carbon dioxide damage (% of GNI) | Data*. Total Greenhouse Gas Emissions (Kt of CO₂ Equivalent). Retrieved from <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.GHGT.KT.CE>
- Colling, A. V., Oliveira, L. B., Reis, M. M., daCruz, N. T., & Hunt, J. D.

- (2016). Brazilian recycling potential: Energy consumption and greenhouse gases reduction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 544-549.
- Damanhuri, E., & Padi, T. (2015). *Pengelolaan Sampah Terpadu Edisi Kedua*. Bandung: ITB Press.
- Damanhuri, E., Wahyu, I. M., Ramang, R., & Padi, T. (2009). Evaluation of municipal solid waste flow in the Bandung metropolitan area, Indonesia. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 11(3), 270-276. <https://doi.org/10.1007/s10163-009-0241-9>
- De Vega, C. A., Benitez, S. O., & Barreto, E. R. (2008). Solid Waste characterization and recycling potential for a university campus. *Waste Management*, 28.
- Dewilda, Y., & Julianto. (2019). Studi Timbulan, Komposisi, dan Potensi Daur Ulang Sampah Kawasan Kampus Universitas Putra Indonesia (UPI) Padang. *Seminar Nasional Pembangunan Wilayah dan Kota Berkelanjutan*. Padang: Universitas Andalas.
- Ebrahimi, K., & North, L. A. (2017). Effective strategies for enhancing waste management at university campuses. *International Journal of Sustainability in Higher Education*.
- Elfithri, R., Ghee, T. K., Basri, N. E. A., & Zain S. M. (2012). Integrated paper recycling management system in UKM campus. *Social and Behavioral Sciences*, 60, 556-561.
- Febria, S., Darmayanti, L., & Asmara, J. (2014). Studi timbulan dan komposisi sampah sebagai dasar perencanaan sistem pengelolaan sampah di Kampus Bina Widya Universitas Riau. *JOM FTEKNIK*, 1(2), 1-11.
- Hapsari, I. D., Sumarjiyanto, N., & Purwanti, E. Y. (2014). Perencanaan dan penganggaran Green Campus Universitas Diponegoro. *Teknik*, 35(2), 86-93.
- Herlambang, A., Sutanto, H., & Wibowo, K. (2010). Produksi gas metana dari pengolahan sampah perkotaan dengan sistem sel. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 11(3), 389-399.
- Hidayah, S. (2018). *Potensi daur ulang sampah organik dan partisipasi masyarakat dalam pengelolaan sampah skala rumah tangga di Kecamatan Sangkapura, Kabupaten Gresik*. Surabaya: Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya.
- HMJ Biologi. (2018, Desember 19). *Mau Tahu Peringkat Kampus Terhijau di Indonesia Tahun 2018?* From Green Campus UIN Raden Intan Lampung Web Site: <https://green.radenintan.ac.id/mau-tahu-peringkat-kampus-terhijau-di-indonesia/>
- IPCC. (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Vol. 5: Waste*. Kanagawa: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). *Climate Change 2007*. https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=8-m8nXB8GB4C&oi=fnd&pg=PA339&ots=hBfvC6tiI-&sig=96EdTALevzm_fHtvZQqtT6Cv8Q&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Kementerian Lingkungan Hidup. (2012). Pedoman penyelenggaraan inventarisasi gas rumah kaca nasional. *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional*, 116. https://www.google.co.id/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwilnYmHp4LQAhWFpY8KHUzQBY4QFggfMAA&url=http://www.kemenperin.go.id/download/11221&usg=AFQjCNH_FvQz7x1j9DhfxepLnzSERTxKwg&bvm=bv.136811127,d.c2I
- Lolo, D. P., & Cahyanti, T. W. A. (2013). Pengambilan dan pengukuran contoh timbulan dan komposisi sampah berdasarkan SNI 19-3964-1994 studi kasus: Kampus Unmus. *Jurnal Ilmiah Mustek Anim Ha*,

- 2(3), 198-206.
- Marisda, R. (2017). Kajian timbulan dan komposisi sampah sebagai dasar pengelolaan sampah di Kampus II Universitas Bhayangkara Jakarta Raya. *Journal of Env. Engineering & Waste Management*, 2(2), 69-78.
- Oktiawan, W., Istirokhatun, T., & Fajar, N. (2012). Optimalisasi sistem pengelolaan sampah di lingkungan kampus Universitas Diponegoro: Upaya menuju UNDIP Eco-Campus. *Teknik*, 33(2).
- Pemerintah Provinsi DKI Jakarta. (2017). *Data Timbulan dan Berat Jenis Sampah di Setiap Sumber Sampah*. From Jakarta Open Data Web Site: www.data.jakarta.go.id
- Pramiati Purwaningrum. (2016). Upaya Mengurangi Timbulan Sampah Plastik di Lingkungan. *JTL*, 8(2), 141-147. <https://core.ac.uk/download/pdf/291652151.pdf>
- Safitri, A., Sembiring, E., & Prihandrijanti, M. (2020). Sustainable Campus Through Solid Waste Minimization Strategies Case study: Universitas Agung Podomoro in Indonesia. *International Journal of Built Environment and Scientific Research*, 04, 101.
- Ruslinda, Y., Raharjo, S., & Susanti, L. (2014). Kajian penerapan konsep pengolahan sampah terpadu di lingkungan kampus Universitas Andalas. *Prosiding SNSTL I*.
- Simangunsong, T. L. (2017). Pengelolaan sampah kampus untuk mewujudkan kampus berkelanjutan. *Prozima*, 1(1), 59-63.
- Tarro, N. Q. P. (2020, Januari 23). *Winnetnews*. From Winnetnews Web Site: <https://www.winnetnews.com/post/hobi-belanja-online-bisa-merusak-lingkungan-gimana-tuh>
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. (1993). *Integrated solid waste management: Engineering principles and management Issues*. McGraw-Hill.
- Trang, D. T. T., Matsui, Y., Dang, N. H., & Thanh, N. P. . (2015). Estimation of solid waste generation and recycling potential on hotel sector: Case study in a tourism city-Hue, Vietnam. *Journal of Solid Waste Technology & Management*, 41(4), 497-504.
- Triana, V. (2008). Pemanasan global. *Jurnal Kesehatan masyarakat*, 2(2).
- Trilina, S. (2010). *Studi timbulan dan komposisi sampah sebagai dasar usulan desain unit pengolahan sampah (UPS) di Universitas Indonesia Depok*. Depok: Universitas Indonesia.
- UNFCCC. (2009). United Nations Climate Change Conference - Fact sheet - The Need for Mitigation. *UNFCCC Publications*, November, 1-7. https://unfccc.int/files/press/backgr_ounders/application/pdf/press_facts_h_mitigation.pdf
- Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008, tentang Pengelolaan Sampah . Retrieved from <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/39067/uu-no-18-tahun-2008>
- Wardiha, M. W., Putri, P. S. A., Setyawati, L. M., & Muhajirin. (2013). Timbulan dan komposisi sampah di kawasan perkantoran dan wisma Studi kasus: Werdhapura Village, Center, Kota Denpasar, Provinsi Bali. *Jurnal Presipitasi*, 10(1).
- Wirana, I., Gobel, J., & Sela, R. L. E. (2019). Sebaran Spasial Emisi Gas Karbon Dioksida (Co2) Pada Kawasan Permukiman Di Kecamatan Singkil Kota Manado. *Spasial*, 6(3), 628-636.
- Yusoff, S. (2018). Toward integrated and sustainable waste management in University of Malaya: UM zero waste campaign. *E3S Web of Conferences*, 48.