

AKSI MITIGASI PERUBAHAN IKLIM DENGAN PEMANFAATAN SAMPAH DOMESTIK SEBAGAI PENGGANTI BAHAN BAKAR FOSIL

F. Hadinata^{1*}, Hanafiah¹, S. A. Nurjannah¹, H. Fitriani¹, Sarino¹, Yulindasari¹, R. Dewi¹, dan A. Muhtarom¹

¹Teknik Sipil, Universitas Sriwijaya, Palembang
Corresponding author: febrina.hadinata@yahoo.co.id

ABSTRACT: Thermal processing of organic waste is one of the climate change mitigation actions by avoiding methane emissions in *landfills*, as well as substituting the use of fossil fuels. In 2019, Palembang city collected and dumped 296,783 tons of domestic waste in the Sukawinatan *Landfill* (40% of which was organic waste). Using the pyrolysis process, organic waste can be dried, burned, and compacted into briquettes. Some of the leaves and twigs are used as fuel for the pyrolysis reactor, and some are used as charcoal to make briquettes. Based on the results of combustion (for 1 hour), from 3.49 kg of leaf waste that enters the reactor, 0.87 kg of charcoal is produced. Meanwhile, from 7.45 kg of twig waste that enters the reactor, 1.47 kg of charcoal is produced. From one hour of burning, 3.49 leaf waste and 7.45 kg twig waste can be processed, and the methane emission due to anaerobic decomposition in *landfills* that can be avoided is 13.8479 kg CO₂e. With emissions in the pyrolysis reactor of 0.0504 kg CO₂e, the GHG emissions that can be reduced from (one time) burning twigs (7.45 kg) and (one time) burning leaves (3.49 kg) are 13,7956 kg of CO₂e. The emission reduction can be claimed to be greater if it takes into account the substitution of lpg with organic waste briquettes and the burning of twig biomass which is used as fuel for the pyrolysis reactor, and reduction of consumption of diesel oil in the transportation and final processing of waste at the *landfill*.

Keywords: briquettes, GHG, mitigation, pyrolysis, waste.

ABSTRAK: Pengolahan sampah organik secara termal merupakan salah satu aksi mitigasi perubahan iklim dengan menghindari emisi metana di *landfill* TPA, sekaligus mensubstitusi pemakaian bahan bakar fosil. Pada tahun 2019, Kota Palembang mengumpulkan dan menimbun 296.783 ton sampah di TPA Sukawinatan, dimana 40% diantaranya merupakan sampah organik. Menggunakan proses pirolisis, sampah organik dapat dikeringkan, dibakar, dan dikompaksi menjadi briket. Sebagian sampah daun dan ranting digunakan sebagai bahan bakar reaktor pirolisis, dan sebagian lagi dijadikan arang untuk membuat briket. Berdasarkan hasil pembakaran selama 1 jam, dari 3,49 kg sampah daun yang masuk ke reaktor, dihasilkan arang sebanyak 0,87 kg. Sedangkan dari 7,45 kg sampah ranting yang masuk reaktor, dihasilkan 1,47 kg arang. Dari satu kali pembakaran selama satu jam, dapat diolah 3,49 sampah daun dan 7,45 kg sampah ranting, dan emisi metana akibat pembusukan di *landfill* yang dapat dihindari adalah 13,8479 kg CO₂e. Dengan emisi di reaktor pirolisis sebesar 0,0504 kg CO₂e, maka emisi GRK yang dapat direduksi dari satu kali pembakaran ranting (seberat 7,45 kg) dan satu kali pembakaran daun (seberat 3,49 kg), adalah 13,7956 kg CO₂e. Reduksi emisi dapat diklaim lebih besar jika memperhitungkan substitusi LPG dengan briket sampah organik, pembakaran dari biomassa ranting yang dijadikan bahan bakar reaktor pirolisis, dan penghematan bahan bakar di transportasi dan pemrosesan akhir sampah di TPA.

Kata Kunci: briket, GRK, mitigasi, pirolisis, sampah.

PENDAHULUAN

Perubahan iklim yang disebabkan oleh manusia telah mempengaruhi banyak cuaca dan iklim ekstrem di setiap wilayah di seluruh dunia. Bukti perubahan ekstrem yang teramati seperti gelombang panas, curah hujan deras, kekeringan, dan siklon tropis, dan, khususnya, atribusinya terhadap pengaruh manusia, telah menguat sejak 2014 (IPCC, 2021).

Meningkatnya konsentrasi GRK yang menyebabkan perubahan iklim global telah disadari oleh masyarakat dunia, terakhir melalui Paris Agreement 2016. Indonesia telah meratifikasi Paris Agreement pada tahun 2016 melalui UU No. 16 Tahun 2016, dan berkomitmen mengurangi tingkat emisi GRK sebesar 29% (dengan upaya sendiri) dan 41% (dengan bantuan internasional) pada Tahun 2030 (DIRJEN_PPI, 2021). Dalam rangka mencapai pengurangan emisi GRK, Pemerintah

Indonesia merumuskan beberapa aksi mitigasi untuk sektor energi, industri, pertanian, penggunaan lahan & kehutanan, serta limbah (DIRJEN_PPI, 2021).

Di Provinsi Sumatera Selatan, terbitnya Peraturan Gubernur Nomor 38 Tahun 2018 tentang Rencana Aksi Daerah (RAD) Penurunan Emisi GRK Provinsi Sumatera Selatan, telah mendorong setiap Kabupaten/Kota di Provinsi Sumatera Selatan untuk berperan aktif dalam mencapai target penurunan emisi GRK sebesar 12% pada tahun 2030 (PEMROV_SUMATERA_SELATAN, 2018). Kota Palembang menyusun laporan Rencana Aksi iklim (RAI) pada tahun 2019, dan menargetkan penurunan emisi sebesar 11% pada tahun 2025, hingga 15% pada tahun 2030 (KLHK, CCROM IPB, EU, IUC, GCOM, & PEMKOT PALEMBANG, 2020).

Salah satu sektor dalam rencana aksi iklim Kota Palembang adalah sektor pengelolaan sampah. Program *waste to energy* diperkirakan dapat menghindari emisi metana (CH₄) di *landfill* TPA, sekaligus mengurangi pemakaian bahan bakar fosil (jika digunakan sebagai sumber energi). Di lain pihak, Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 97 tahun 2017 tentang Kebijakan Dan Strategi Nasional Pengelolaan Sampah Rumah Tangga Dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga juga mendorong pengurangan sampah sebesar 30% di sumber (PEMERINTAH_RI, 2017).

Pada tahun 2019, Kota Palembang mengumpulkan dan memproses ± 70% dari seluruh produksi sampahnya ke TPA Sukawinatan (TPA Karya Jaya sedang tidak beroperasi), yaitu sebanyak 296.783 ton sampah (BAPPEDA_LITBANG_KOTA_PALEMBANG, 2020), dan diperkirakan mengemisikan gas CH₄ (di *landfill*) sebanyak 144.936 ton CO₂e (KLHK, CCROM IPB, EU, IUC, GCOM, & PEMKOT PALEMBANG, 2020). Berdasarkan hasil sampling selama 4 hari, rerata harian angkutan yang masuk ke TPA adalah: 145 unit dump truck, 46 unit armroll truck, 1 unit compactor truck, 98 unit mobil pick up, dan 30 unit motor sampah, dengan rerata timbulan sampah masuk sebesar 850 ton/hari (BAPPEDA_LITBANG_KOTA_PALEMBANG, 2020).

Komposisi sampah yang masuk ke TPA di Kota Palembang, adalah: 31% sisa makanan, 23% plastik, 15% kertas, 12% nappies, 9% sampah taman, 5% tekstil, dan 6% lainnya (kayu, karet/kulit, logam, plastik, residu (DLHK_PALEMBANG, 2019). Sampah biodegradable (sisa makanan, kertas, sampah taman, kayu) akan mengemisikan CH₄ jika ditimbun di *landfill* TPA.

Dengan adanya kandungan karbon di dalam tiap komponen sampah tersebut, maka dimungkinkan untuk memanfaatkan sampah menjadi energi. IPCC 2006 menyebutkan nilai default total karbon di tiap komponen sampah, yaitu: sisa makanan (=38%), kertas (= 46%);

tekstil (= 50%); nappies (= 70%); karet (= 67%); plastik (= 75%); dan lainnya/inert (= 3%) (IPCC, VOLUME 5: WASTE, CHAPTER 2, 2006).

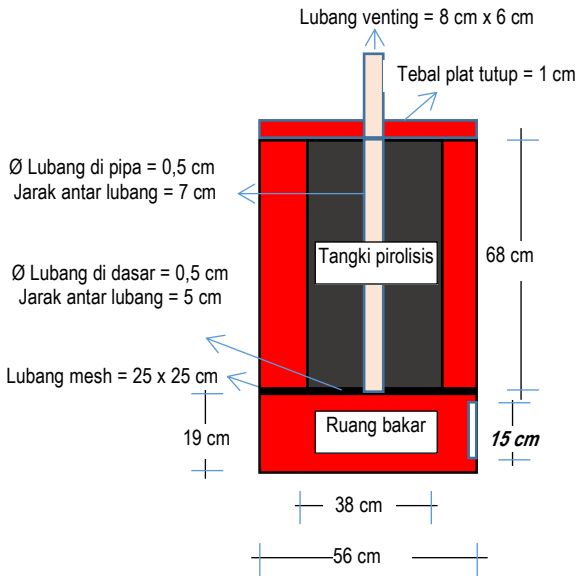
Nilai kalor sampah (Low Heating Value) sekitar 1500 kcal/kg sampah (ENRI DAMANHURI & TRI_PADMI, 2016). Dilihat dari besarnya timbulan sampah yang masuk ke TPA, komponen organik yang dominan, dan nilai kalor (LHV) sampah yang cukup tinggi, pemanfaatan sampah sebagai alternatif pengganti bahan bakar fosil (arang dan briket) layak diaplikasikan.

Untuk kegiatan ini, sampah yang dijadikan bahan bakar dan bahan material (untuk briket) hanya daun dan ranting, yang memiliki tidak memiliki kandungan karbon fosil (IPCC, 2006), sehingga tidak mengemisikan tambahan GRK antropogenik ke atmosfer. Sisa makanan juga tidak memiliki kandungan karbon fosil, tetapi (karena kandungan air yang tinggi), komponen sampah ini lebih cocok (dengan beberapa perlakuan) untuk dijadikan pakan ternak (DAME-KOREVAAR, A., BOUMANS, I. J. M. M., ANTONIS, A. F. G., VAN KLINK E., & DE OLDE, E., M., 2021).

METODE PENELITIAN

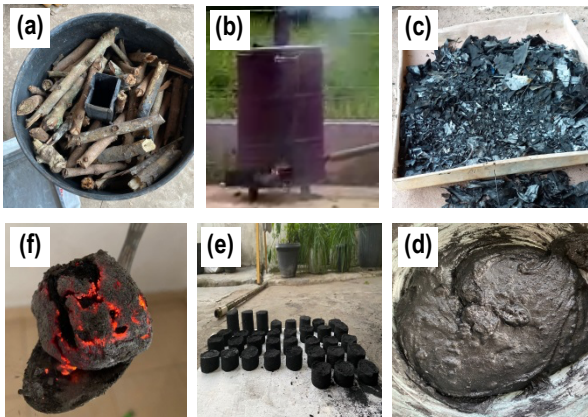
Kegiatan Aksi Mitigasi Perubahan Iklim Dengan Pemanfaatan Sampah Domestik Sebagai Pengganti Bahan Bakar Fosil, meliputi langkah-langkah, sbb:

1. Pembuatan alat, meliputi komponen sbb (Gambar 1):
 - Drum besi bekas, sebagai penampung bahan bakar dan tangki pirolisis, kapasitas 200 ltr.
 - Pintu input sampah untuk ruang bahan bakar.
 - Drum pelat hitam untuk tangki pirolisis, kap.100 ltr.
 - Mesh sebagai pembatas antara ruang bakar dan tangki pirolisis, dan sebagai pelat dasar untuk meletakkan tangki pirolisis.
 - Pipa besi untuk menyalurkan panas pada bagian tengah tangki pirolisis, dan pembuangan asap.
2. Pembuatan arang sampah organik (sampel 1 = daun dan sampel 2 = ranting) menggunakan proses karbonisasi, yaitu dengan proses pembakaran tidak sempurna dari sampah organik, dengan hasil berupa arang. Karbonisasi dilakukan dengan membakar sampah pada suplai oksigen yang terbatas, dalam waktu 1 jam. Tahapan dalam pembuatan arang, meliputi: pencacahan sampah organik (daun dan ranting), karbonisasi, penumbukan dan pengayakan arang (dengan saringan No.60 (diameter butir lolos < 0,250 mm)).



Gambar 1 Sketsa reaktor pirolisis

3. Briket dibuat dengan mencampur arang dengan perekat kanji (perbandingan massa 1:2). Briket ini dapat digunakan untuk menggantikan bahan bakar fosil untuk keperluan termal, misal memasak.



Gambar 2 (a) input sampel (sampel 1 = daun dan sampel 2 = ranting), (b) pembakaran, (c) arang hasil pembakaran, (d) pencampuran arang dan perekat, (e) penjemuran briket, dan (f) pembakaran briket.

Estimasi reduksi emisi GRK dilakukan dengan membandingkan estimasi GRK pada:

- Emisi baseline, yaitu CH₄ yang teremisikan jika sampah organik (daun dan ranting) ditimbun di *landfill*, dan terurai dalam kondisi anerob pada *semi aerobic landfill_managed poorly* (kondisi TPA Sukawinatan), serta
- Emisi proyek, yaitu emisi yang timbul saat pembakaran (pirolisis) sampah dilakukan.

Tingkat emisi baseline di *landfill*, adalah (IPCC, VOLUME 5: WASTE, CHAPTER 3, 2006):

- $DDOC_{md(T)} = W \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot MCF$ (1)
- $DDOC_{mrem(T)} = DDOC_{md(T)} \cdot e^{-k \cdot ((13-M)/12)}$ (2)
- $DDOC_{mdec(T)} = DDOC_{md(T)} \cdot (1 - e^{-k \cdot ((13-M)/12)})$ (3)
- $DDOC_{ma(T)} = DDOC_{mrem(T)} + (DDOC_{ma(T-1)} \cdot e^{-k})$ (4)
- $DDOC_{mdecomp(T)} = DDOC_{mdec(T)} + (DDOC_{ma(T-1)} \cdot (1 - e^{-k}))$ (5)
- $CH_{4generated(T)} = DDOC_{mdecomp(T)} \cdot F \cdot 16/12$ (6)
- $CH_{4emitted(T)} = [\sum x CH_{4generated(T)} - R(T)] \cdot (1 - O_{X(T)})$ (7)

Parameter dan nilai default untuk estimasi CH₄ di *landfill* TPA, adalah (IPCC, VOLUME 5: WASTE, CHAPTER 3, 2019):

- T : Tahun inventori.
- x : Fraksi komposisi sampah.
- W(T) : Jumlah sampah tertimbun (massa daun & ranting).
- MCF : Faktor koreksi metan (= 0,7, *semi-aerobic managed poorly*).
- DOC : *Degradable Organic Carbon* (ranting = 0,5 & daun = 0,49)
- DOC_f : Fraksi DOC terurai anerobik (ranting = 0,1; daun = 0,7)
- DDOC : *Decomposable DOC*.
- DDOC_{md(T)} : Massa DDOC yang terdeposit tahun T.
- DDOC_{mrem(T)} : Massa DDOC yang terdeposit dan belum terdekomposisi pada akhir tahun T.
- DDOC_{mdec(T)} : Massa DDOC terdeposit dan terdekomposisi tahun T.
- DDOC_{ma(T)} : Massa DDOC belum terdekomposisi akhir tahun T.
- DDOC_{ma(T-1)} : Massa DDOC belum terdekomposisi akhir tahun T-1.
- DDOC_{mdecompa(T)} : Massa DDOC yang terdekomposisi pada tahun T.
- CH_{4generated(T)} : Emisi CH₄ pada tahun T.
- CH_{4generated(T)} : Emisi CH₄ pada tahun T.
- F : Fraksi CH₄ dalam *landfill* gas (= 0,5).
- 16/12 : Rasio berat molekul CH₄/C.
- R(T) : CH₄ *recovery* pada tahun T.
- O_{X(T)} : Faktor oksidasi pada tahun T.
- k : Konstanta reaksi (ranting = 0,0350 & daun = 0,1700)
- M : Bulan saat reaksi dimulai (= 13).

Sedangkan tingkat emisi dari tangki pirolisis, adalah (IPCC, VOLUME 5: WASTE, CHAPTER 5, 2019):

- Emisi CH₄ = (Σ sampah * FE_{CH₄,pyrolysis_sampah}) (8)
- Emisi N₂O = (Σ sampah * FE_{N₂O, pyrolysis_sampah}) (9)

Dengan:

- FE_{CH₄,pyrolysis_sampah} = 0,00581 kg CH₄/ton sampah.
- FE_{N₂O, pyrolysis_sampah} = 0,01740 kg N₂O/ton sampah.

Emisi CO₂ tidak dihitung karena tidak ada fraksi karbon fosil di sampel yang digunakan (daun dan ranting). Dikarenakan belum selesainya tahapan uji, terdapat reduksi dan emisi proyek yang belum terhitung, yaitu:

- Reduksi emisi dari substitusi bahan bakar fosil dengan briket sampah organik.
- Reduksi emisi dari pembakaran ranting (sebagai bahan bakar alat) terhadap kondisi baseline (tertimbun di *landfill* TPA).
- Reduksi emisi dari efisiensi konsumsi bahan bakar di pengangkutan dan pemrosesan akhir sampah
- Emisi proyek dari penyiapan campuran perekat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pembakaran dari kedua varian sampel, masing – masing menggunakan bahan bakar ranting sebanyak 5,00 kg dan lama pembakaran selama 1 (satu) jam, dari 3,49 kg sampah daun yang masuk ke reaktor, dihasilkan arang sebanyak 0,87 kg. Sehingga, reduksi massa daun di dalam reaktor pirolisis adalah 78% (belum memperhitungkan efisiensi ranting sebagai bahan bakar). Sedangkan dari 7,45 kg sampah ranting yang masuk reaktor, dihasilkan 1,47 kg arang, sehingga reduksi massa ranting dalam reaktor pirolisis adalah 80%.

Dalam satu kali pembakaran selama satu jam, dapat diolah 3,49 sampah daun dan 7,45 kg sampah ranting di dalam tangki pirolisis (masing – masing satu kali pembakaran). Sebagai emisi baseline, jika 10,94 kg sampah daun dan ranting tertimbun di *landfill* TPA (*semi aerobic_managed poorly*), emisi metana (terhitung) yang diemisikan akibat pembusukan di *landfill* adalah 0,4946 kg CH₄, atau setara 13,8479 kg CO_{2e} dengan nilai GWP CH₄ sebesar 28 (IPCC, 2014). Diasumsikan sampah masuk pada tahun T (Tabel 1). Sebagai catatan, emisi CH₄ dari daun dan ranting yang masuk ke *landfill*, masih terjadi sampai dengan 16 tahun ke depan. Sedangkan emisi dari pirolisis langsung terjadi pada tahun T.

Sedangkan Dengan emisi di reaktor pirolisis sebesar 0,0504 kg CO_{2e}, dengan nilai GWP CH₄ dan N₂O, masing-masing sebesar 28 dan 265 (IPCC, 2014). Sehingga, dari satu kali pembakaran daun dan satu kali pembakaran ranting di alat pirolisis, didapat reduksi emisi dari methane avoiding di *semi aerobic landfill_managed poorly*, sebesar (13,8749 – 0,0504) kg CO_{2e}, atau sebesar 13,7956 kg CO_{2e}.

Sebagai catatan, reduksi emisi dapat diklaim lebih besar jika memperhitungkan: (a) substitusi LPG dengan briket sampah organik (untuk memasak), (b) pembakaran dari biomassa ranting yang dijadikan bahan bakar reaktor pirolisis, dan (c) pengurangan konsumsi bahan bakar dari transportasi dan pemrosesan akhir sampah di TPA.

Tabel 1 Emisi baseline dan emisi kegiatan dari satu kali pembakaran daun (= 3,49 kg) dan satu kali pembakaran ranting (= 7,45 kg) di alat pirolisis.

Tahun	Emisi baseline (<i>landfill</i>)		Emisi Proyek (pirolisis)		
	kg CH ₄	kg CO _{2e}	kg CH ₄	kg N ₂ O	kg CO _{2e}
T	0,0000	0,0000	0,000064	0,000011	0,0504
T+1	0,0796	2,2280			
T+2	0,0678	1,8986			
T+3	0,0579	1,6200			
T+4	0,0494	1,3844			
T+5	0,0423	1,1849			
T+6	0,0363	1,0161			
T+7	0,0312	0,8731			
T+8	0,0269	0,7519			
T+9	0,0232	0,6491			
T+10	0,0201	0,5619			
T+11	0,0174	0,4879			
T+12	0,0152	0,4249			
T+13	0,0080	0,2250			
T+14	0,0072	0,2006			
T+15	0,0064	0,1797			
T+16	0,0058	0,1616			
Total	0,4946	13,8479			

KESIMPULAN

Pirolisis dapat menjadi salah satu salah satu aksi mitigasi perubahan iklim dengan menghindari emisi metana akibat pembusukan sampah organik (secara anaerob) di *landfill* TPA. Menggunakan proses pirolisis, sampah organik (daun dan ranting) dapat dikeringkan, dibakar, dan dikompaksi menjadi briket. Sebagian sampah daun dan ranting digunakan sebagai bahan bakar reaktor pirolisis, dan sebagian lagi dijadikan arang untuk membuat briket. Dalam tangki pirolisis, massa sampah daun dan ranting dapat direduksi sekitar 80%, dan emisi metana akibat dekomposisi anaerob di *landfill* TPA yang dapat dihindari adalah 13,7956 kg CO_{2e}. Reduksi emisi dapat diklaim lebih besar jika memperhitungkan substitusi LPG dengan briket sampah organik, biomassa ranting yang dijadikan bahan bakar reaktor pirolisis, dan reduksi konsumsi bahan bakar untuk transportasi dan pemrosesan akhir sampah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Sriwijaya (<http://lppm.unsri.ac.id>) yang telah mendukung, dalam pendanaan, sehingga kegiatan PPM ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Bappeda_Litbang_Kota_Palembang. (2020). *Kajian Kebutuhan Sarana dan Prasarana Persampahan Kota Palembang*. Palembang: Bappeda_Litbang.
- Dame-Korevaar, A., Boumans, I. J. M. M., Antonis, A. F. G., van Klink E., & de Olde, E., M. (2021). Microbial health hazards of recycling food waste as animal feed. *Future Foods*, Vol. 4, 1-9.
- Dirjen_PPI. (2021). *Updated First Nationally Determined Contribution*. Jakarta: Directorate General of Climate Change, MoEF.
- DLHK_Palembang. (2019). *Survey Laju Timbulan dan Komposisi Sampah Kota Palembang*. Palembang: DLHK Kota Palembang.
- Enri Damanhuri & Tri_Padmi. (2016). *Pengelolaan Sampah Terpadu*. Bandung: ITB Press.
- IPCC. (2006). Volume 5: Waste, Chapter 2. In B. L. Eggleston H.S., *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (p. 2.14). Japan: IGES.
- IPCC. (2006). Volume 5: Waste, Chapter 3. In B. L. Eggleston H.S., *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (pp. 3.8 - 3.10). Japan: IGES.
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Geneva: IPCC.
- IPCC. (2019). Volume 5: Waste, Chapter 3. In IPCC, *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (pp. -). Switzerland: IPCC.
- IPCC. (2019). Volume 5: Waste, Chapter 5. Dalam IPCC, *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (hal. 5.14 & 5.16). Switzerland: IPCC.
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021, The Physical Science Basis, Summary for Policymakers*. -: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- KLHK, CCROM IPB, EU, IUC, GCoM, & Pemkot Palembang. (2020). *Rencana Aksi Iklim Kota Palembang*.
- Pemerintah_RI. (2017). *Peraturan Presiden No. 97/2017 tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga*. Sekretariat Negara.: Jakarta.
- Pemprov_Sumatera_Selatan. (2018). *Peraturan Gubernur No. 38/2018 tentang Rencana Aksi Daerah Penurunan Emisi GRK Provinsi Sumatera Selatan*. Sekretariat Daerah Provinsi Sumatera Selatan.: Palembang.