

ANALYSIS LEVEL OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS CO₂-e AT PEKANBARU CITY GARBAGE TO DEVELOPMENT MODULE CONCEPT ENVIROMENTAL ISSUE IN COURSES ENVIROMENTAL EDUCATION

Widie Kemala Hapsari¹, Sri Wulandari², Suwondo³

*e-mail: widiekemala@yahoo.com, +6282388991499, wulandari_sri67@yahoo.co.id,
wondo_su@yahoo.co.id

Study Program of Biology Education, Faculty of Teacher Training and Education
University of Riau

Abstract: *This research was to determine the level of greenhouse gas emissions CO₂-e from waste the city of Pekanbaru and develop modular concept of environmental issues in the subject of Environmental Education among October 2015 until January 2016. The results from this research used to develop module unit subjects Environmental Education. This research did by 2 phases: analysis of greenhouse gas emissions and the development stage modules. Research use descriptive methode. The data collection did by using survey methods to make observations in the Muara Fajar landfill . Sampling done by random sampling, to took rubbish out of three trucks at Muara Fajar landfill as much as 500 liters container sizes daily until 8 days. The calculation of greenhouse gas emissions CO₂-e by using data analysis methods FOD (first order decay) at the level of accuracy of Tier 1. The parameters in this study is a waste composition, type of waste, the level of greenhouse gas CO₂-e and types of plants in the buffer zone in Muara Fajar landfill. The results of survey revealed that the greenhouse gas emissions of CO₂-e from of the span of 5 years of 21.7 %. and highest in 2014 amounted to 67.832 tonnes of CO₂-e, with an average increase of emissions by 26.5%. The results of the study can be used as a modular unit concept of environmental issues in the subject of Environmental Education.*

Key Words: *Greenhouse gas CO₂-e emission, module, waste of Pekanbaru City*

ANALISIS TINGKAT EMISI GAS RUMAH KACA CO₂-e DARI SAMPAH KOTA PEKANBARU UNTUK PENGEMBANGAN MODUL KONSEP ISU LINGKUNGAN PADA MATA KULIAH PENDIDIKAN LINGKUNGAN

Widie Kemala Hapsari¹, Sri Wulandari², Suwondo³

*e-mail: widiekemala@yahoo.com, +6282388991499, wulandari_sri67@yahoo.co.id,
wondo_su@yahoo.co.id

Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Riau

Abstrak: Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat emisi gas rumah kaca CO₂-e dari sampah Kota Pekanbaru serta mengembangkan modul konsep isu lingkungan pada mata kuliah Pendidikan Lingkungan pada bulan Oktober 2015-Januari 2016. Penelitian ini dilaksanakan dengan 2 tahap yaitu tahap analisis emisi gas rumah kaca dan tahap pengembangan modul. Penelitian menggunakan metode survei dengan melakukan observasi di TPA Muara Fajar dengan analisis deskriptif. Pengambilan sampel dilakukan secara *random sampling*, dengan mengambil sampah dari 3 truk yang masuk ke TPA Muara Fajar sebanyak ukuran wadah 500 liter selama 8 hari berturut-turut. Perhitungan emisi gas rumah kaca CO₂-e dengan analisis data menggunakan metode FOD (*first order decay*) pada tingkat ketelitian Tier 1. Parameter dalam penelitian ini adalah komposisi sampah, jenis sampah, tingkat emisi gas rumah kaca CO₂-e dan jenis tanaman pada zona penyangga di TPA Muara Fajar. Hasil penelitian diketahui bahwa emisi gas rumah kaca CO₂-e dari pada rentang waktu 5 tahun sebesar 21,7%. Dan emisi yang tertinggi yaitu pada tahun 2014 sebesar 67.832 ton CO₂-e, dengan rata-rata peningkatan emisi sebesar 26,5%. Hasil penelitian dapat dimanfaatkan sebagai unit modul konsep isu lingkungan pada mata kuliah Pendidikan Lingkungan.

Kata kunci: Emisi gas rumah kaca CO₂-e, modul, sampah Kota Pekanbaru

PENDAHULUAN

Sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia atau proses alam yang berbentuk padat. Sampah spesifik adalah sampah yang karena sifat, konsentrasi, atau volumenya memerlukan pengelolaan khusus (UU No 18 Tahun 2008). Menurut Tatik dalam Janti (2012), sampah saat ini menjadi suatu permasalahan global yang dibahas diseluruh negara, sampah setiap tahunnya mengalami peningkatan yang cukup signifikan. Semakin maju tingkat penguasaan teknologi, industri dan kebudayaan suatu bangsa, maka sampah yang dihasilkan semakin banyak.

Peningkatan jumlah sampah dipengaruhi oleh peningkatan jumlah penduduk setiap tahunnya. Kota Pekanbaru terdiri dari 12 kecamatan dan 58 kelurahan dengan laju pertumbuhan penduduk sebesar 1,24%. Hal ini dapat dilihat dari data penduduk, jumlah penduduk tahun 2013 sebanyak 999.031 jiwa dan tahun 2014 sebanyak 1.011.467 jiwa. Selain itu dari data Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Pekanbaru jumlah sampah di Kota Pekanbaru tahun 2013 sebesar 133.500,26 ton/tahun dan tahun 2014 sebesar 164.338,23 ton/tahun yang mengalami peningkatan 18% (Pekanbaru Dalam Angka, 2015)

Peningkatan jumlah sampah dikarenakan masing-masing penduduk menghasilkan sisa buangan, dari data tersebut memiliki kecenderungan terjadi peningkatan penduduk yang ada di Kota Pekanbaru diikuti dengan peningkatan jumlah sampah yang dihasilkan setiap tahunnya. Jika sampah yang dihasilkan setiap hari semakin meningkat dan pengelolaan yang dilakukan tidak tepat maka akan mempengaruhi kualitas lingkungan. Sampah yang dibiarkan lama menumpuk akan menyebabkan pencemaran tanah dan pencemaran udara, dan permasalahan yang terjadi akan berdampak nyata pada kehidupan masyarakat. Sampah yang dihasilkan penduduk sangat potensial menghasilkan GRK seperti metan (CH_4) dan karbondioksida (CO_2), gas-gas tersebut merupakan gas rumah kaca yang dapat menimbulkan efek rumah kaca sehingga dapat meningkatkan suhu di bumi. Menurut Tuti (2006) dan Sudarman (2010) gas CH_4 dihasilkan dari dekomposisi sampah dengan bantuan bakteri metanogenik, gas CH_4 berpotensi 21 lebih besar dari CO_2 untuk menimbulkan efek rumah kaca, gas CH_4 dari sektor persampahan berkontribusi sebesar 3-4% dalam menimbulkan efek rumah kaca.

Lingkungan perkotaan dapat dijadikan sebagai sumber belajar, salah satunya mengenai sampah. Dimana sampah perkotaan yang menjadi penyebab peningkatan GRK menjadi permasalahan dan menjadi isu lingkungan sehingga dapat dijadikan objek belajar pada konsep isu lingkungan. Belum tersedianya bahan ajar yang bersifat lokal pada mata kuliah Pendidikan menyebabkan peserta didik kurang mengetahui fenomena lokal yang terjadi di sekitarnya sehingga perlu dilakukan pengembangan bahan ajar, berupa modul akademik. Berdasarkan kondisi ini perlu dilakukannya penelitian mengenai analisis tingkat emisi gas rumah kaca CO_2 -e dari sampah Kota Pekanbaru untuk pengembangan modul konsep isu lingkungan pada mata kuliah Pendidikan Lingkungan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Kota Pekanbaru dengan pengambilan sampel di TPA Muara Fajar Kecamatan Rumbai pada bulan Oktober 2015 hingga Januari 2016,

pengumpulan data menggunakan metode survei dengan melakukan observasi di TPA Muara Fajar. Pengumpulan data terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer di dapat dengan perhitungan komposisi sampah dan jenis sampah. Pengambilan sampel dilakukan dengan cara *random sampling* dari 3 truk sampah yang diangkut ke TPA Muara Fajar sebanyak ukuran wadah 500 liter yang dilakukan selama 8 hari berturut-turut (SNI 19-3964-1994 dan Kementerian Lingkungan Hidup, 2012). Pengumpulan data sekunder didapat dari sumber kepustakaan yaitu dengan pengumpulan jumlah sampah per tahun dari Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Pekanbaru dan jumlah penduduk Kota Pekanbaru dari Badan Pusat Statistik Kota Pekanbaru. Jumlah penduduk dan jumlah sampah akan di analisis dengan uji korelasi. Parameter penelitian meliputi komposisi sampah, jenis sampah Kota Pekanbaru, tingkat emisi gas rumah kaca CO₂-e, dan jenis tumbuhan pada zona penyangga di TPA Muara Fajar. Alat yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu: drum, sarung tangan, masker, karung, terpal, kamera, alat tulis, timbangan, dan bahan yaitu alkohol.

Perhitungan emisi gas rumah kaca dengan analisis data menggunakan metode FOD (*first order decay*) pada tingkat ketelitian Tier 1 yang mengacu kepada IPCC 2006. Setelah diketahui tingkat emisi gas rumah kaca CO₂-e maka dilakukan tahap pengembangan modul dengan menggunakan model ADDIE terdiri dari: *Analysis, Design, Development, Implementation dan Evaluation* (Dick dan Carry, 2005). Pengembangan modul pada penelitian ini hanya dilakukan pada tahap *Analysis, Design dan Development*. Hasil pengembangan modul akan di validasi oleh 3 orang validator (dosen) yang terdiri dari 2 orang ahli materi dan 1 orang ahli pendidikan, dan dilaksanakan uji terbatas untuk mengetahui respon mahasiswa terhadap modul konsep isu lingkungan pada mata kuliah Pendidikan Lingkungan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi sampah Kota Pekanbaru

Komponen komposisi sampah Menurut Kementerian Lingkungan Hidup (2012) dalam pedoman penyelenggaraan inventarisasi gas rumah kaca nasional, komposisi sampah dibagi menjadi 11 kriteria, yaitu sisa makanan, daun sisa taman, kertas/karton, kayu, plastik, kain dan produk tekstil, karet dan kulit, logam, kaca, *nappies*, lainnya. Hasil penghitungan komposisi sampah di Kota Pekanbaru dilakukan di TPA Muara Fajar Kecamatan Rumbai selama 8 hari berturut-turut. Penyajian data komposisi sampah kota Pekanbaru dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi sampah Kota Pekanbaru

No	Kategori Sampah	Berat Basah (kg)	Komposisi Sampah (%)
Organik			
1	Sisa Makanan	30,21	57,48
2	Daun-daunan	4,83	9,19
3	Kertas/Karton	2,97	6,11
4	Kayu	0,27	0,53
5	Kain dan Produk Tekstil	0,51	1,03
	Jumlah	38,79	74,34
Anorganik			
6	Plastik	8,02	15,38
7	Karet dan Kulit	0,04	0,07
8	Logam	0,15	0,33
9	Kaca	0,42	1,02
10	<i>Nappies</i>	4,02	7,24
	Jumlah	12,65	24,05
	Lainnya		
	Jumlah	0,67	1,61
Total		52,10	100,00

Berdasarkan hasil perhitungan komposisi sampah di Kota Pekanbaru terlihat bahwa komposisi sampah yang paling banyak ditemukan adalah sisa makanan dengan persentase 57,48% dan berat basah 30,21 kg, sedangkan komposisi yang paling sedikit ditemukan adalah karet dan kulit sebesar 0,07% dan berat basah 0,04 kg.

Jenis sampah yang paling banyak ditemukan di Kota Pekanbaru merupakan sampah organik yang terdiri dari sisa makan, daun-daunan, kertas dan karton, kayu, kain dan produk tekstil dengan persentase sampah organik sebesar 74,34%, sedangkan persentase sampah anorganik sebesar 24,05% yang terdiri dari plastik, karet dan kulit, logam, kaca, dan *nappies*. Menurut Achmad dan Haeruddin (2012) besarnya sampah organik yang ditemukan karena sumber sampah berasal dari sampah pemukiman yang terdiri dari sampah sisa rumah tangga, sampah halaman dan sampah pasar.

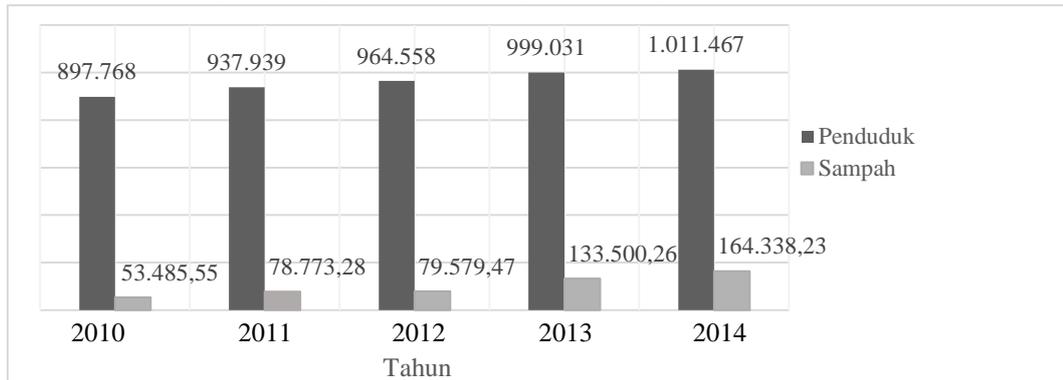
Persentase sampah organik yang paling banyak ditemukan adalah sampah sisa makanan yang terdiri dari sampah sayur-mayur, sisa nasi, sisa lauk-pauk, sisa roti, sisa buah-buahan, cangkang telur, tulang, dan lainnya. Menurut Yessi (2009), hal ini karena setiap masyarakat dari berbagai golongan dimanapun berada akan menghasilkan sampah rumah tangga yang merupakan bagian terbesar dari sampah di kota-kota. Menurut Hilda (1997), jenis sampah yang dihasilkan dari satu lokasi ke lokasi lain memiliki perbedaan, dimana sampah yang berasal dari pemukiman akan lebih cenderung dihasilkan sampah berupa makanan sedangkan sampah yang berasal dari perkantoran akan lebih cenderung menghasilkan sampah kertas.

Hal ini didukung dengan pernyataan Outerbridge dalam Lilis (2005), sampah yang ditemukan pada daerah-daerah di Indonesia 80% merupakan sampah organik, karena Indonesia merupakan negara berkembang. Sehingga dari aktivitas yang dilakukan oleh penduduk akan menghasilkan sampah organik yang lebih dominan dibandingkan sampah anorganik.

Jumlah penduduk dan sampah Kota Pekanbaru

Kota Pekanbaru merupakan ibu kota Provinsi Riau yang memiliki luas wilayah 632,26 km². Kota Pekanbaru merupakan kota yang memiliki penduduk yang cukup

padat dengan jumlah penduduk selalu meningkat setiap tahunnya. Hal ini diikuti peningkatan jumlah sampah yang dihasilkan, dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Jumlah penduduk dan jumlah sampah Kota Pekanbaru (Pekanbaru dalam Angka dan Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Pekanbaru, 2015)

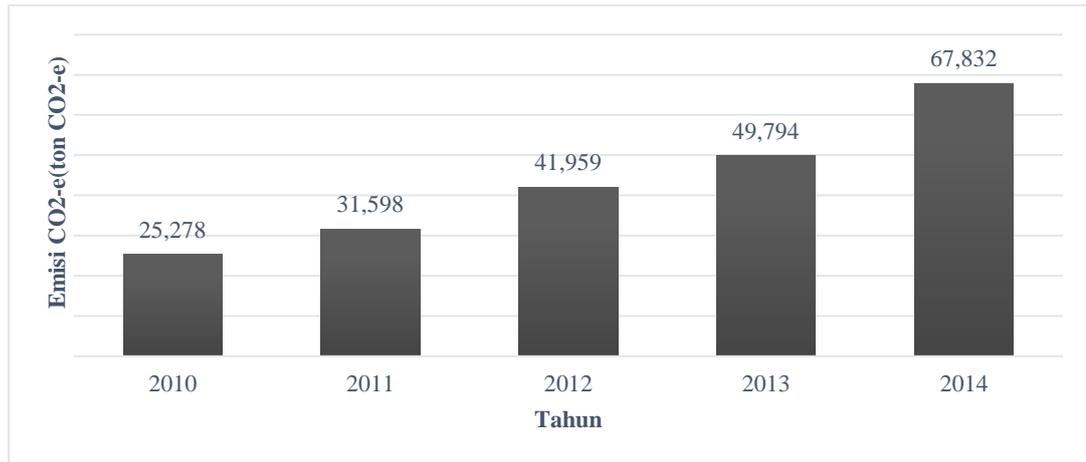
Peningkatan jumlah sampah yang dihasilkan sejalan dengan jumlah penduduk. Jumlah penduduk dari tahun 2010-2014 mengalami peningkatan penduduk dengan jumlah rata-rata sebesar 2,92%, dan jumlah rata-rata sampah meningkat 23%. Jumlah penduduk pada tahun 2014 yaitu 1.011.467 jiwa dan jumlah sampah pada tahun 2014 yaitu 164.338,23 ton/tahun, yang merupakan jumlah tertinggi pada 5 tahun terakhir. Ini membuktikan bahwa penduduk mengalami peningkatan dan sampah yang dihasilkan dari aktivitas penduduk sehari-hari juga meningkat.

Hal tersebut sejalan dengan hasil uji kolerasi yang dilakukan antara jumlah penduduk dan jumlah sampah dengan nilai $r=0,93$ yang menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang sangat kuat antara jumlah penduduk dan jumlah sampah, sedangkan arah hubungan adalah positif karena nilai r positif. Hasil ini berarti semakin bertambah jumlah penduduk, maka jumlah sampah yang dihasilkan semakin bertambah

Jumlah penduduk tersebar di 12 kecamatan dan 58 kelurahan yang ada di Kota Pekanbaru, besarnya jumlah penduduk setiap tahunnya dipengaruhi jumlah kelahiran dan ditambah banyaknya penduduk yang berimigrasi ke Kota Pekanbaru, sehingga setiap tahunnya jumlah penduduk Kota Pekanbaru mengalami peningkatan (Pekanbaru Dalam Angka, 2014).

Emisi gas CO₂e yang dihasilkan dari sampah Kota Pekanbaru

Sampah yang dihasilkan dari aktivitas masyarakat Kota Pekanbaru memiliki kontribusi yang besar terhadap emisi gas rumah kaca di Kota Pekanbaru. Peningkatan emisi tersebut karena sampah yang dihasilkan setiap harinya mengalami pertambahan, setiap aktivitas masyarakat akan menghasilkan sampah yang akan mengemisikan gas rumah kaca dari degradasi sampah yang terjadi dengan bantuan bakteri metanogenik. Peningkatan emisi gas CO₂ yang dihasilkan dari sampah perkotaan dapat dilihat pada Gambar 2 merupakan grafik emisi gas CO₂e yang dihasilkan dari sampah Kota Pekanbaru.



Gambar 2. Tingkat emisi gas CO₂-e dari sampah Kota Pekanbaru

Terlihat bahwa tingkat emisi gas CO₂ yang dihasilkan dari sampah Kota Pekanbaru, pada tahun 2010 sebesar 25.278 ton CO₂-e, sedangkan pada 2014 sebesar 67.832 ton CO₂-e. Setiap tahunnya emisi CO₂ mengalami peningkatan yang cukup besar, rata-rata peningkatan emisi CO₂-e dari tahun 2010-2014 sebesar 21,7%, emisi CO₂-e dari sampah perkotaan yang tertinggi pada tahun 2014.

Peningkatan yang cukup signifikan terjadi pada tahun 2014 dengan peningkatan emisi CO₂-e yaitu sebesar 26,5%. Ini terjadi karena peningkatan kebutuhan penduduk meningkat dan segala aktivitas masyarakat akan menghasilkan buangan dalam bentuk sampah, jika sampah dibiarkan menumpuk tanpa adanya pengelolaan yang baik maka emisi yang dihasilkan berakibat pada peningkatan jumlah emisi gas rumah kaca. Hal tersebut sejalan dengan jumlah sampah pada tahun 2014 yaitu sebesar 164.338,23 ton/tahun.

Gas rumah kaca yang diemisikan tidak hanya gas CO₂ saja, tetapi ada gas rumah kaca lainnya yaitu gas CH₄ yang memiliki nilai *global warming potensial* (GWP) 21 kali lebih berbahaya dari gas CO₂, nilai GWP tersebut merupakan kemampuan gas dalam menyerap radiasi sinar matahari. Gas CH₄ dapat bertahan di atmosfer selama kurang lebih 17 tahun, sedangkan gas CO₂ dapat bertahan di atmosfer selama 200 tahun (IPCC, 2006). Jika diperkirakan dari nilai GWP dan lamanya gas-gas rumah kaca berada di atmosfer dengan data-data peningkatan gas CO₂ yang dihitung dari emisi gas rumah kaca yang dihasilkan sampah Kota Pekanbaru, kemungkinan dampak yang akan muncul dari emisi gas tersebut sangat berbahaya bagi Kota Pekanbaru yang akan berakibat langsung pada Kota Pekanbaru jika tidak dilakukannya mitigasi.

Faktor emisi merupakan nilai rata-rata suatu parameter pencemar udara yang dikeluarkan sumber spesifik, faktor-faktor ini biasanya dinyatakan sebagai berat polutan dibagi dengan satuan berat, volume, jarak, atau lamanya aktivitas yang dapat mengeluarkan polutan (Mira, dkk. 2013). Menurut Hilda (1997) gas CO₂ sesungguhnya tidak berbahaya bagi kehidupan manusia, tetapi justru diperlukan oleh tumbuhan-tumbuhan di dalam proses fotosintesis. Namun jika jumlahnya terlampaui banyak, maka dapat menurunkan kualitas lingkungan.

Jenis tanaman di zona penyangga TPA Muara Fajar

Zona penyangga di suatu TPA sangat dibutuhkan sekali, karena pada zona tersebut ditanam tumbuhan yang dapat mengurangi bau dan tumbuhan yang dapat menyerap gas pencemar. Gas yang diemisikan dari sampah yaitu gas CO₂ dan CH₄ yang dihasilkan dari degradasi sampah. Pada TPA Muara Fajar tanaman ditanam di sekitaran tumpukan sampah dan pintu masuk. Dapat dilihat tumbuhan yang ditemukan pada zona penyangga TPA Muara Fajar dijabarkan pada Tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2. Inventarisasi Tumbuhan di Kawasan Zona Penyangga TPA Muara Fajar Kota Pekanbaru.

No	Nama Lokal	Nama Ilmiah	Suku	Individu
1	Mangga	<i>Mangifera indica</i>	Anacardiaceae	31
2	Pulai	<i>Alstonia scholaris</i>	Apocynaceae	1
3	Bintaro	<i>Cerbera manghas</i>	Apocynaceae	12
4	Palm Raja	<i>Roystonea regia</i>	Arecaceae	4
5	Pinang	<i>Areca catechu</i>	Arecaceae	7
6	Kapuk	<i>Ceiba pentandra</i>	Bombacaceae	3
7	Pepaya	<i>Carica papaya</i>	Caricaceae	2
8	Ketapang	<i>Terminalia catappa</i>	Combretaceae	10
9	Angsana	<i>Pterocarpus indicus</i>	Fabaceae	41
10	Dadap	<i>Erythrina crista-galli</i>	Fabaceae	1
11	Petai Cina	<i>Leucaena leucocephala</i>	Fabaceae	8
12	Trembesi	<i>Samanea saman</i>	Fabaceae	9
13	Sengon	<i>Albizia falcataria</i>	Fabaceae	1
14	Mahoni	<i>Swietenia macrophylla</i>	Meliaceae	55
15	Beringin	<i>Ficus benjamina</i>	Moraceae	1
16	Karet	<i>Hevea brasiliensis</i>	Moraceae	2
17	Bambu	<i>Bambusa maculate</i>	Poaceae	5
18	Kiara Payung	<i>Filicium decipiens</i>	Sapindaceae	5
19	Rambutan	<i>Nephelium lappaceum</i>	Sapindaceae	1
20	Tanjung	<i>Mimusops elengi</i>	Sapotaceae	8
Total				207

Pada Tabel 2 terlihat bahwa tumbuhan yang paling banyak ditemukan adalah *Swietenia macrophylla* yaitu sebanyak 55 individu, dan tumbuhan kedua yang paling banyak ditemukan adalah *Pterocarpus indicus* yaitu sebanyak 41 individu. Total keseluruhan tumbuhan yang ada disekitar TPA Muara Fajar yaitu sebanyak 207 individu dengan total spesies sebanyak 20 jenis. Famili yang paling banyak ditemukan berasal dari famili Fabaceae yaitu spesies *Erythrina crista-galli* (dadap), *Leucaena leucocephala* (petai cina), *Samanea saman* (trembesi), *Albizia falcataria* (sengon), dan *Pterocarpus indicus* (angsana).

Menurut Suci (2011), tumbuhan yang baik menyerap gas CO₂ yaitu dengan daya serap: *Samanea saman* (28.448,39 kg/pohon/tahun), *Swietenia macrophylla* (295,73 kg/pohon/tahun), *Tectona grandis* (135,27 kg/pohon/tahun), *Arthocarpus heterophyllus* (126,51 kg/pohon/tahun). Maka jika tanaman tersebut ditanam di seputaran zona

penyangga pada TPA diharapkan tanaman tersebut dapat mereduksi gas CO₂ yang di emisikan oleh sampah yang terdegradasi.

Tanaman-tanaman pada zona penyangga berfungsi untuk mengurangi emisi gas rumah kaca CO₂ yang dihasilkan dari degradasi sampah. Beberapa tanaman pada zona penyangga yang ada di TPA Muara Fajar, spesies yang ditanam sudah sesuai dengan ketentuan Kementerian Pekerjaan Umum yang mengeluarkan peraturan untuk setiap kawasan TPA yang akan dibangun harus memiliki zona penyangga, sehingga emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari degradasi sampah dapat direduksi oleh tanaman-tanaman tersebut.

Menurut Suci (2011) tumbuhan dapat mereduksi pencemaran udara dengan cara gas-gas di udara akan didifusikan ke dalam daun melalui stomata pada proses fotosintesis atau terdesposisi oleh air hujan kemudian didifusikan oleh akar tanaman. Gas pencemar yang masuk ke jaringan daun melalui lubang stomata yang berada pada epidermis atas. Masing-masing stomata dapat membuka jika tekanan air internal berubah, yang merupakan lubang keluar masuk polutan walaupun secara umum terdapat kutin pada jaringan epidermis atas, gas pencemar dapat masuk ke jaringan daun melalui stomata. Epidermis ini adalah target utama dari polutan. Selanjutnya bereaksi dengan sel mesofil, setiap tanaman mempunyai karakteristik yang berbeda dalam mengabsorpsi gas-gas tertentu di udara, sehingga beberapa tumbuhan merupakan penyangga yang baik terhadap pencemaran udara dan mampu memproduksi polutan menjadi asam organik, gula, dan beberapa senyawa asam amino.

Pengembangan modul konsep isu lingkungan pada mata kuliah Pendidikan Lingkungan

Hasil penelitian emisi gas rumah kaca CO₂-e akan dikembangkan menjadi modul konsep isu lingkungan pada mata kuliah Pendidikan Lingkungan dengan model *ADDIE* yang disederhanakan hanya pada tahap *Analysis*, *Design* dan *Development*. Modul yang telah dikembangkan akan divalidasi.

Validasi modul akademik ini dilakukan oleh 3 orang dosen yang terdiri dari 1 orang dosen ahli kependidikan dan 2 orang dosen ahli materi. Adapun hasil validasi dari ketiga validator ditampilkan sebagai rerata pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Rerata penilaian unit modul konsep upaya penanggulangan pencemaran udara oleh validator

No	Aspek Penilaian	Validator			Rerata
		I	II	III	
1	Isi	3,8	4,3	4,4	4,2
2	Bahasa	3,5	3,3	4,3	3,7
3	Sajian	4,0	4,2	4,2	4,1
4	Kegrafisan	3,5	5,0	4,0	4,0
Rerata		3,8	4,2	4,2	4,0

Keterangan : I = Ahli Materi 1; II = Ahli Materi 2; III = Ahli Pendidikan

Berdasarkan Tabel 3, diketahui bahwa rerata nilai pada aspek isi adalah 4,2, sehingga unit modul pembelajaran ini dapat dikatakan sangat valid. Pada aspek isi terdapat beberapa komponen yaitu kesesuaian dengan KI, KD, indikator, dan indikator pencapaian kompetensi; kesesuaian dengan kebutuhan peserta didik; kesesuaian dengan kebutuhan bahan ajar; kebenaran substansi konsep materi dari aspek keilmuan; materi yang disampaikan jelas dan sistematis; materi yang disajikan membantu peserta didik

dalam memahami konsep; keterkaitan contoh materi dengan kondisi yang ada di lingkungan sekitar; kebenaran kunci jawaban yang disajikan; manfaat untuk penambahan wawasan pengetahuan; kesesuaian dengan nilai-nilai moralitas, sosial.

Pada aspek bahasa, unit modul pembelajaran ini dapat dikatakan valid dengan nilai rerata 3,7. Secara keseluruhan, penggunaan bahasa sudah sesuai dengan kaidah bahasa Indonesia yang efektif dan efisien. Informasi yang disampaikan jelas dan kalimat yang digunakan mudah dipahami oleh peserta didik. Pada aspek sajian unit modul pembelajaran berdasarkan kejelasan tujuan, urutan penyajian, pemberian motivasi, interaktivitas dan kelengkapan informasi dapat dikatakan valid dengan nilai rerata 4,1. Kegrafisan unit modul pembelajaran berdasarkan penggunaan font, layout, tata letak, ilustrasi, grafis, gambar, foto, dan desain tampilan adalah valid dengan nilai rerata 4,0.

Secara umum penilaian yang diberikan oleh 3 validator terhadap seluruh aspek penilaian menyatakan bahwa unit modul akademik ini sudah valid dengan rerata 4,0. Sehingga unit modul pembelajaran ini dapat digunakan oleh peserta didik dalam pembelajaran konsep isu lingkungan lokal dengan revisi pada beberapa komponen yang penilaiannya rendah.

Hasil validasi modul yang telah divalidasi dan direvisi akan dilakukan uji coba terbatas untuk melihat respon mahasiswa terhadap modul yang telah dikembangkan berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan. Untuk mengetahui keterpakaian dan kesesuaian konsep-konsep yang diajarkan pada modul yang dikembangkan.

Respon mahasiswa terhadap penggunaan modul Pendidikan Lingkungan dapat diketahui dengan memberikan angket uji coba terbatas. Terdapat 12 pernyataan dalam angket tersebut. Hasil respon mahasiswa dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Hasil respon mahasiswa terhadap modul Pendidikan Lingkungan konsep isu lingkungan.

No	Komponen yang dinilai	Skala				N	Nilai	Kategori
		1	2	3	4			
1	Modul yang disajikan membuat peserta didik tertarik untuk membacanya	1	5	4	10	82,5	Baik	
2	Penggunaan modul dapat membantu responden belajar secara mandiri		9	1	10	77,5	Baik	
3	Modul dapat meningkatkan motivasi peserta didik untuk mempelajarinya		6	4	10	85,0	Sangat Baik	
4	Modul yang disajikan sesuai dengan isu lingkungan sekitar yang terjadi		5	5	10	87,5	Sangat Baik	
5	Materi yang ada dalam modul dapat memacu kognitif responden		8	2	10	80,0	Baik	
6	Modul sistematis, jelas dan mudah dipahami		5	5	10	87,5	Sangat Baik	
7	Modul dilengkapi dengan rangkuman materi dan latihan		4	6	10	90,0	Sangat Baik	
8	Modul dilengkapi dengan daftar pustaka		1	9	10	97,5	Sangat Baik	
9	Modul yang disajikan berisi gambar, ilustrasi dan tabel yang menarik		3	7	10	92,5	Sangat Baik	
10	Petunjuk yang ada dalam modul jelas dan mudah dipahami		8	2	10	80,0	Baik	
11	Modul menggunakan bahasa yang sesuai dengan EYD		6	4	10	85,0	Sangat Baik	
12	Modul menggunakan bahasa yang komunikatif, efektif dan mudah dipahami	1	7	2	10	77,5	Baik	
Rerata						85,2	Sangat Baik	

Berdasarkan Tabel 4, hampir seluruh mahasiswa yang menjadi responden dalam uji coba terbatas memberikan penilaian dengan kategori baik-sangat baik, hal ini menunjukkan respon yang positif atas modul yang diuji cobakan. Hanya beberapa orang mahasiswa yang memberikan nilai cukup baik terhadap modul yang diuji cobakan.

Nilai tertinggi dari respon angket yaitu angket yang berkenaan dengan modul yang dilengkapi dengan daftar pustaka (97,5). Nilai terendah dari respon mahasiswa yaitu angket yang berkenaan dengan penggunaan modul dapat membantu mahasiswa belajar secara mandiri (77,5), hal ini membuktikan perlu adanya pendampingan dalam proses pembelajaran agar mahasiswa lebih memahami materi yang ada didalam modul, karena materi yang disampaikan cukup sulit untuk dipahami oleh mahasiswa jika tidak ada bimbingan. Selanjutnya, nilai terendah juga didapat pada respon angket yaitu modul menggunakan bahasa yang komunikatif, efektif, dan mudah dipahami (77,5). Hal ini dikarenakan penggunaan bahasa yang cukup sulit dipahami mahasiswa dan kurang komunikatif serta efektif, sehingga mahasiswa memberikan nilai yang cukup rendah dari keseluruhan komponen yang dinilai, tetapi nilai 77,5 sudah termasuk dalam kategori baik.

Hasil respon mahasiswa dalam uji coba terbatas menunjukkan nilai 85,2 dengan kategori sangat baik. Modul Pendidikan Lingkungan yang telah diuji cobakan sudah direvisi sesuai dengan saran dan kekurangan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Tingkat emisi GRK dari sampah Kota Pekanbaru mengemisikan gas rumah kaca CO₂-e pada rentang waktu 5 tahun terakhir sebesar 21,7%. Emisi yang tertinggi yaitu pada tahun 2014 yaitu sebesar 67.832 ton CO₂-e, dengan rata-rata peningkatan emisi sebesar 26,5%. Modul Pendidikan Lingkungan konsep isu lingkungan dapat dijadikan sebagai bahan ajar pada perkuliahan Pendidikan Lingkungan dengan hasil validasi yang menunjukkan kategori valid (4,0) dan hasil uji coba terbatas yang menunjukkan kategori sangat baik (85,2). Modul perkuliahan yang dihasilkan dari penelitian ini dapat dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap analisis desain dan implementasi modul dalam perkuliahan Pendidikan Lingkungan

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad Zubair dan Haeruddin. 2012. Studi Potensi Daur Ulang Sampah di TPA Tamanggapa Kota Makassar. *Prosiding 2012*. 6: 1-10
- Dick, W. and Carey, L. 2005. *The Systematic Design of Instruction*. Allyn and Bacon; 6th ed
- Hilda Zulkifli. 1997. *Biologi Lingkungan*. Direktur Jenderal Perguruan Tinggi Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. Jakarta
- Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC). 2006. Waste IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC Guidelines)
- Janti Marchel Sari. 2012. *Pengelolaan Sampah Di Tpa Piyungan Sebagai Sumber Belajar Dalam Bentuk Modul Pengayaan Materi Pelestarian Lingkungan Bagi Siswa Sma Kelas X Semester II*. Skripsi tidak dipublikasikan. Program Studi Pendidikan Biologi. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta

- Kementerian Lingkungan Hidup. 2012. *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Buku II Volume 4 Metodologi Perhitungan Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca Pengelolaan Limbah*. Kementerian Lingkungan Hidup. Jakarta
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2012. *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Buku I Pedoman Umum*. Kementerian Lingkungan Hidup. Jakarta
- Lilis Sulistyorini. 2005. Pengelolaan Sampah Dengan Cara Menjadikannya Kompos. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*. 2(1): 77-84
- Mira Tri Wulandari, Hermawan dan Purwanto. 2013. Kajian Emisi CO₂ Berdasarkan Penggunaan Energi Rumah Tangga Sebagai Penyebab Pemanasan Global (Studi Kasus Perumahan Sebantengan, Gedung Asri, Susukan RW 07 Kab. Semarang). *Prosiding Seminar Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan*.
- Pekanbaru dalam angka. 2014. Badan Pusat Statistik Kota Pekanbaru. Pekanbaru
- Pekanbaru dalam angka. 2015. Badan Pusat Statistik Kota Pekanbaru. Pekanbaru
- Tuti Haryati. 2006. Biogas: Limbah Pertenakan yang Menjadi Sumber Energi Alternatif. *Jurnal WARTAZOA* 16(3): 160-169
- SNI 19-3964-1994. Metode Pengambilan dan Pengukuran Contoh Timbulan dan Komposisi Sampah Perkotaan. Departemen Pekerjaan Umum. Yayasan LPMB. Bandung
- Suci Normaliani Santoso. 2011. *Penggunaan Tumbuhan Sebagai Pereduksi Pencemaran Udara*. Jurusan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Sudarman. 2010. Meminimalkan Daya Dukung Sampah Terhadap Pemanasan Global. *Jurnal PROFESIONAL* 8(1): 51-59
- Undang-undang No. 18 tahun 2008 Tentang Pengelolaan Sampah