

ANALISIS MANFAAT BIAYA PENGELOLAAN LIMBAH SPENT BLEACHING EARTH MELALUI PEMANFAATAN DAN PENIMBUNAN DENGAN MEMPERHITUNGGAN NILAI GAS RUMAH KACA

BENEFIT-COST ANALYSIS OF SPENT BLEACHING EARTH MANAGEMENT THROUGH RECOVERY AND LANDFILLING BY USING GREENHOUSE GASES AS EXTERNALITY

^{1*} Kapas Fernando Pasaribu , dan ²Sukandar

^{1,2} Program Studi Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

Jl Ganesha 10 Bandung 40132

* ¹kapasfernando@gmail.com dan ²sukandar11@gmail.com

Abstrak: Pertumbuhan industri minyak sawit di Indonesia mendorong tumbuhnya jumlah limbah *spent bleaching earth* (SBE). Ditetapkannya limbah SBE sebagai limbah B3 pada tahun 2014 menyebabkan urgensi pengelolaan limbah B3 pada perusahaan. Urgensi pengelolaan limbah SBE mendorong peningkatan emisi gas rumah kaca (GRK) yang berdampak negatif pada perubahan iklim. Oleh karenanya, eksternalitas berupa emisi GRK perlu diinternalisasi dalam skenario perencanaan biaya guna mengurangi beban lingkungan. Dalam penelitian ini, pengujian nilai manfaat-biaya pada skenario pengelolaan limbah SBE yang meliputi pemanfaatan dan penimbunan telah dilakukan. Nilai emisi GRK pada tiap skenario diinternalisasi dalam nilai investasi melalui perhitungan *shadow price of carbon* (SPC). Pengujian nilai manfaat-biaya dilakukan melalui perhitungan *net present value* (NPV) dan *benefit cost ratio* (BCR) yang dilanjutkan dengan analisis sensitivitas. Skenario pemanfaatan minyak nabati SBE sebagai bahan baku pembuatan biodiesel serta pemanfaatan residunya sebagai pengganti bahan baku bentonit dalam kiln semen merupakan skenario yang layak secara ekonomi dan memiliki nilai GRK yang rendah, sehingga layak dijadikan sebagai alternatif pengelolaan limbah SBE.

Kata kunci: *Benefit-cost analysis, spent bleaching earth, gas rumah kaca, shadow price of carbon*

Abstract : *The growth of palm oil industry in Indonesia induces the growth of spent bleaching earth (SBE). Legitimation of SBE waste as hazardous waste in 2014 caused urgency of SBE's waste management on the palm oil company. This urgency of SBE waste management induce the increased of greenhouse gas (GHG) emissions that have a negative impact on climate change. Therefore, externalities of GHG emissions need to be internalized in the cost planning scenario to reduce environmental impact. In this study, cost-benefit value testing on SBE waste management scenarios including recovery and landfilling has been done. The GHG emission value in each scenario is internalized in the investment value through the calculation of shadow price of carbon (SPC). Cost-benefit analysis is done through calculation of net present value (NPV) and benefit cost ratio (BCR) followed by sensitivity analysis. The scenario of recover vegetable oil from SBE as raw material for biodiesel production and its residue as a substitute of bentonite in cement kiln is founded economically feasible and has low GHG value, making it as an alternative waste management for SBE waste*

Key words: *Benefit-cost analysis, spent bleaching earth, greenhouse gas, shadow price of carbon*

PENDAHULUAN

Ditetapkannya limbah SBE sebagai limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) pada tahun 2014 (PP 101 tahun 2014) menyebabkan urgensi pengelolaan limbah pada industri minyak sawit. Singkatnya waktu penyimpanan limbah B3 mendorong kebutuhan pengelolaan limbah yang berpotensi meningkatkan beban lingkungan berupa emisi GRK. Peningkatan emisi GRK

mendorong tumbuhnya potensi dampak negatif terhadap perubahan iklim. Oleh karenanya perlu dicari suatu skenario pengelolaan limbah SBE yang dapat mengurangi beban lingkungan dengan memperhitungkan nilai GRK yang dihasilkan.

Beragam metode pada pengelolaan limbah telah banyak diteliti guna mengurangi jumlah limbah SBE yang telah terbentuk dalam industri minyak kelapa sawit (Lina Chong Ann, 2010; Mardiko SM, 2014; Jalal Romansyah, 2015). Nilai kalor yang dimiliki oleh minyak nabati yang terkandung di dalam SBE berpotensi untuk dapat dimanfaatkan kembali sebagai sumber energi (*waste to energy*) (Damanhuri, 2004). Ong dan J.T.L (1983), Klein dan J.M. (1986), dan Wahyudi (2000) membuktikan bahwa minyak nabati dapat diekstraksi kembali dari limbah *spent bleaching earth* untuk dapat dimanfaatkan kembali.

Minyak nabati dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel (Liu *et al.*, 2007; Kouzu *et al.*, 2007; Anastopoulos *et al.*, 2013; Ahmad *et al.*, Ivana *et al.*, 2015). Selain itu, bentonit yang ada pada SBE dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengganti dalam pembuatan semen. Pemanfaatan ini perlu dilakukan guna mengurangi besaran penimbunan sampah yang memiliki dampak negatif terhadap lingkungan (Damanhuri dan Padmi, 2012). Alternatif lain dalam pengelolaan limbah SBE adalah dengan *landfilling* (Kep. Bapedal No. 4 Tahun 1995).

Beberapa studi penggunaan kembali SBE sebagai bahan baku dalam suatu proses telah banyak dilakukan. Namun, studi terkait analisis manfaat biaya yang memperhitungkan besaran emisi GRK yang dihasilkan dari pengelolaan limbah SBE, belum banyak dilakukan. Besaran emisi GRK perlu diperhatikan dalam analisis manfaat biaya untuk mengurangi beban lingkungan dalam suatu pengelolaan limbah.

Dalam pengelolaannya, suatu limbah B3 membutuhkan energi yang dapat mengemisikan GRK, baik secara langsung maupun tidak langsung. Gas CH₄, CO₂, dan N₂O merupakan GRK yang dapat menyebabkan peningkatan suhu permukaan bumi. Emisi GRK juga dihasilkan pada proses penimbunan. Kondisi anaerobik pada limbah yang ditimbun mendorong terbentuknya gas metana yang dihasilkan oleh mikroorganisme (Kurniasari *et al.*, 2015).

Besaran biaya dalam pengelolaan limbah juga menjadi faktor penting bagi para pelaku usaha. Oleh karenanya diperlukan suatu studi yang mengkaji manfaat biaya pengelolaan limbah SBE. Salah satu metode analisis yang dapat digunakan adalah analisis manfaat biaya atau *benefit cost analysis* (BCA) (Mandell S., 2011; Li *et al.*, 2014; Cooper *et al.*, 2016). Analisis ini dilakukan dengan penentuan nilai *net present value* (NPV) dan *benefit cost ratio* (BCR).

Besaran biaya dan manfaat pada masing-masing komponen internal dan eksternal pada pengelolaan limbah SBE diinternalisasi pada perhitungan BCA. Komponen internal adalah komponen yang berdampak langsung terhadap biaya maupun manfaat dalam skenario pengelolaan seperti biaya kapital, operasional dan pemeliharaan. Selain itu, analisis BCA juga melibatkan komponen eksternal (Cooper *et al.*, 2016). Komponen eksternal adalah komponen yang memiliki dampak terhadap pihak ketiga yang berada di luar skenario pengelolaan. Komponen tersebut dalam skenario pengelolaan ini merupakan GRK dalam CO₂ ekuivalen (CO₂e). Nilai GRK tersebut selanjutnya digunakan untuk mendapatkan nilai *shadow price of carbon* (SPC) dalam bentuk rupiah sehingga dapat diinternalisasi dalam perhitungan BCA (Price *et al.*, 2007).

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan skenario pengelolaan limbah SBE terbaik melalui analisis kelayakan ekonomi dengan memperhitungkan nilai GRK sebagai eksternalitas.

METODOLOGI

Skenario pengelolaan limbah

Pada penelitian ini, skenario pengelolaan SBE yang akan diuji dipaparkan sebagai berikut:

- Pembuatan biodiesel dan penimbunan residunya (Biodiesel-Landfilling)
- Pembuatan biodiesel dan pemanfaatan residunya pada pabrik kiln semen (Biodiesel-Kiln semen)

Besaran nilai investasi kapital dan operasional dari skenario pembuatan biodiesel oleh penghasil serta besaran biaya dalam penimbunan dan pemanfaatan oleh pihak ke-3 diperoleh dari pihak terkait serta beberapa pakar dalam pengelolaan limbah B3. Besaran limbah yang akan dikelola pada skenario pembuatan biodiesel adalah 30,3840 ton per-hari. Ekstraksi yang dilakukan pada skenario ini menggunakan *n-hexane* dengan perbandingan 1:1, sedangkan dalam pembuatan biodiesel, rasio molar *metanol* dan minyak yang digunakan adalah 6:1. Pada proses ekstraksi, *n-hexane* digunakan kembali setelah ekstraksi minyak nabati dari SBE dengan penambahan kembali *n-hexane* sebesar 5% dari volume penggunaan *n-hexane* sebelumnya. Selain itu, besaran residu hasil ekstraksi minyak dari SBE berupa *deoiled bleaching earth* (De-OBE) yang akan dimanfaatkan oleh pihak ke-3 yaitu pabrik semen ataupun penimbunan oleh pihak ke-3 adalah sebesar 22,8700 ton per-hari. Biaya pemanfaatan pada kiln semen adalah Rp. 214.394/ton, sedangkan untuk biaya angkut dibebankan sebesar Rp. 6.283.321 per-22ton untuk jarak tempuh 769 km. Biaya penimbunan pada limbah De-OBE adalah Rp. 1.180.000/ton dan untuk biaya angkut dibebankan sebesar Rp. 16.000.000 per-22ton pada jarak tempuh 1958,2 km. Waktu kajian penelitian ini adalah 10 tahun, dimulai dari tahun 2016 yang diasumsikan hingga tahun 2026 dengan tahun 2016 sebagai tahun ke-0. Tingkat diskonto yang digunakan dalam kajian ini adalah 6,75%. Biaya pemeliharaan pada investasi kapital diasumsikan sebesar 10%, sedangkan asuransi dari investasi sebesar 1%. Selain itu, nilai pajak berupa Pajak Bumi dan Bangunan (PBB) diasumsikan sebesar 0,1% dari nilai lahan dan bangunan, sedangkan pajak kendaraan ditetapkan sebesar 0,5%. Adapun biaya jasa lab yang digunakan pada skenario pemanfaatan oleh penghasil ditetapkan sebesar 10% dari biaya tenaga kerja. Pemilihan skenario terbaik dilakukan melalui valuasi ekonomi dengan membandingkan *net present value* (NPV) dan *benefit cost ratio* (BCR) dari tiap skenario. Skenario yang memiliki nilai NPV dan BCR terbesar dipilih sebagai skenario terbaik.

Perhitungan nilai GRK

Faktor emisi GRK yang digunakan untuk mengestimasi nilai GRK dari skenario pemanfaatan, pembakaran biodiesel hasil pemanfaatan dan sektor bergerak (transportasi) diperoleh dari faktor emisi yang dikeluarkan oleh *Department for Business, Energy and Industrial Strategy* (BEIS). Nilai GRK diperoleh melalui perhitungan energi yang digunakan oleh pembuatan biodiesel, transportasi ataupun pembakaran biodiesel dengan faktor emisi. Perhitungan besaran nilai CH₄ yang dihasilkan dari penimbunan dilakukan dengan metode *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), *Solid Waste Disposal* dengan parameter De-OBE pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Parameter perhitungan nilai CH₄ yang dilakukan pada skenario penimbunan

Parameter	Nilai	Keterangan
DOC	0,47% (0,0047)	Persentase minyak nabati De-OBE
DOC _f	0,5	<i>Default value</i> (IPCC, 2006)
MCF	1	Kriteria <i>landfill</i> : dikelola-anaerobik (IPCC, 2006)
k	0,4	Kategori <i>food waste</i> dalam iklim tropis dan basah (IPCC, 2006)
F	0,5	Sekitar 50% dari bahan organik pada limbah terdegradasi menjadi CH ₄ (IPCC, 2006)
Waktu tunda	6 bulan	<i>Default value</i> (IPCC, 2006)

Parameter	Nilai	Keterangan
Rt	0%, 5%, 10%, 20%	20% merupakan <i>default value</i> (IPCC)
OX	0	<i>Default value</i> (IPCC, 2006)

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006.

Dimana DOC adalah *Degradable organic carbon* (dalam kondisi aerobik), DOC_f merupakan fraksi DOC yang terdekomposisi dalam kondisi anaerobik, MCF adalah faktor koreksi metana, k merupakan konstanta laju reaksi, F merupakan Fraksi CH_4 dari volume dari keseluruhan gas pada *landfill*, Rt adalah CH_4 yang di-*recovery* pada tahun T dengan asumsi 0%, 5%, 10%, dan 20%, dan OX merupakan faktor oksidasi pada tahun T. Nilai GRK dari tiap skenario selanjutnya dikonversi kedalam GWP dalam CO_2 ekuivalen melalui persamaan berikut:

$$GWP (kg CO_2eq) = (1 \cdot kg CO_2) + (25 \cdot kg CH_4) + (298 \cdot kg N_2O)$$

Pada skenario *landfill*, nilai GWP diperoleh dari CH_4 , dimana GWP CH_4 adalah 25 kali dari CO_2 . Nilai GWP selanjutnya dikonversi ke dalam satuan ton CO_2e dengan mengalikan nilai GWP dengan 10^{-3} untuk selanjutnya digunakan dalam perhitungan SPC (Price *et al.*, 2007) dalam satuan rupiah dimana 1£ = Rp 16.870,42.

Nilai GRK dari pemanfaatan oleh pihak ke-3 ini diperoleh dari hasil hitung GRK dari sektor transportasi dan pembakaran pada kiln semen. Besaran CO_2e dilakukan berdasarkan persamaan kesetimbangan kimia pembakaran sempurna dari minyak nabati yang terdiri dari trigliserida dan *free fatty acid* (FFA). Kesetimbangan kimiawi pembakaran sempurna tersebut diuraikan sebagai berikut:

- **Pembakaran sempurna Triolein:**
 $C_{53}H_{101}O_7 + 74.75 O_2 \rightarrow 53 CO_2 + 50.5 H_2O$
- **Pembakaran sempurna FFA:**
 $C_{17}H_{33}O_2 + 24.25 O_2 \rightarrow 17 CO_2 + 16.5 H_2O$

Hasil hitung pada kesetimbangan kimia tersebut menghasilkan faktor emisi CO_2 yang dihasilkan pada pembakaran yaitu 2,78219 ton CO_2 /ton trigliserida dan 0,15337 ton CO_2 /ton FFA.

Analisis Biaya-Manfaat

Biaya investasi dan besaran nilai GRK yang telah diinternalisasi ke dalam nilai SPC pada setiap skenario selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai *net present value* (NPV) dengan persamaan berikut:

$$NPV = \sum_{t=0}^{t=n} \frac{B_t - C_t}{(1+r)^n}$$

Dimana B_t adalah nilai *cash flow* pada tahun t, C_t merupakan biaya pada tahun t, dan r adalah *discount rate* (tingkat diskonto). Selain itu, perbandingan antara biaya yang dikeluarkan dan manfaat dari skenario pengelolaan limbah SBE dilakukan untuk melihat besaran manfaat yang didapatkan dibanding besaran biaya yang dikeluarkan di dalam skenario pengelolaan. Analisis ini dilakukan dengan persamaan *benefit-cost ratio* (BCR) sebagai berikut:

$$B/C = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+i)^t}}$$

Dimana B_t merupakan nilai manfaat hingga tahun ke-t, C_t adalah biaya hingga tahun ke-t, dan i adalah *discount rate* (tingkat diskonto). Skenario pengelolaan limbah SBE yang memiliki nilai NPV dan BCR paling besar selanjutnya dipilih sebagai skenario pengelolaan terbaik.

Analisis sensitivitas

Analisis sensitivitas selanjutnya dilakukan pada skenario yang layak secara ekonomi ($NPV > 0$ dan $BCR > 1$) guna menganalisis parameter yang memengaruhi kelayakan skenario pengelolaan dan seberapa jauh perubahan suatu parameter harga memengaruhi nilai kelayakan.

Analisis ini dilakukan dengan berbantuan software *Oracle Crystal Ball* versi 11.1.2.4.850 dengan asumsi memiliki distribusi triangular dengan perubahan minimum dan maksimum sebesar 10% dari nilai awal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

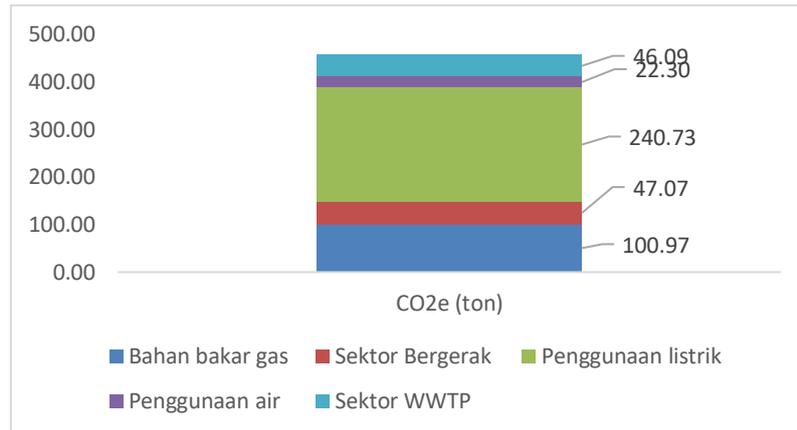
Estimasi nilai gas rumah kaca

Besaran nilai CO₂ ekuivalen (CO₂e) dan SPC (Rp) pada keseluruhan skenario dari tahun ke-0 hingga ke-10 dipaparkan pada **Tabel 2**. Dari hasil perhitungan jejak karbon diketahui bahwa besaran nilai karbon terkecil dihasilkan dari skenario *Biodiesel-Landfilling* rentang nilai 60.031,06 hingga 61.424,09 ton CO₂e. Perlu diketahui, bahwa besaran ini memperhitungkan GRK dari pembakaran biodiesel hasil pemanfaatan SBE, yaitu sebesar 53.809,75 ton CO₂e. Besaran nilai GRK pada skenario *Biodiesel-Landfilling* juga didapati meningkat apabila memanfaatkan eksternalitas berupa CH₄. Eksternalitas ini merupakan hasil dari proses metanogenesis oleh mikroorganisme secara anaerobik (White dan Beaven, 2013; Chen *et al.*, 2016). Nilai ini lebih rendah dibanding skenario *Biodiesel-Kiln semen* dikarenakan adanya pembakaran sisa zat organik pada De-OBE oleh pabrik kiln semen.

Tabel 2. Nilai total CO₂e (ton) dan rerata SPC (Rp) pada tiap skenario dari tahun ke-0 hingga ke-10

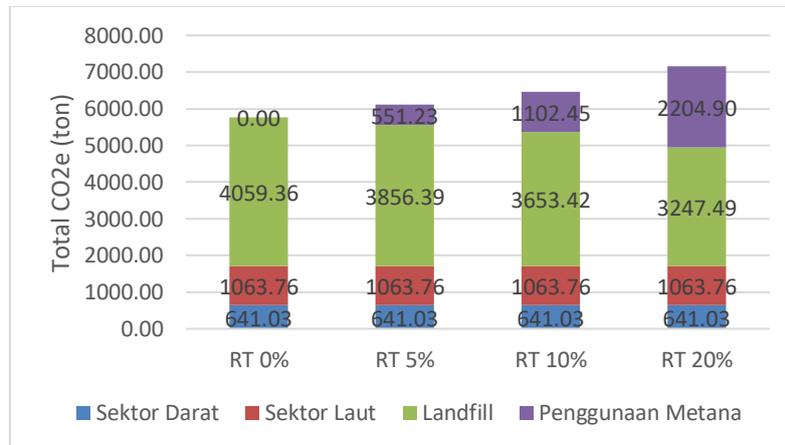
Skenario		Total CO ₂ e (ton)	Rerata SPC (Rp)
Biodiesel-Landfilling	<i>Recovery methane</i>		
	0%	60.031,06	Rp. 8.239.219.863
	5%	60.379,32	Rp. 8.000.502.604
	10%	60.727,58	Rp. 7.761.785.346
	20%	61.424,09	Rp. 7.284.350.828
Biodiesel-Kiln semen		62.469,17	Rp. 3.224.149.545

Pada **Tabel 2**, juga ditampilkan nilai rerata SPC pada tiap skenario selama sepuluh tahun. Nilai rerata SPC pada skenario *Biodiesel-Landfilling* terlihat bertentangan dengan nilai total CO₂e, dimana pada nilai CO₂e ditemukan peningkatan jumlah, sedangkan nilai rerata SPC menunjukkan penurunan. Perbedaan ini didorong oleh adanya peningkatan nilai SPC dari tahun ke tahun (Price *et al.*, 2007). Selain itu, adanya efek tunda dalam penguraian zat organik pada skenario *Biodiesel-Landfilling* juga mengakibatkan meningkatnya jumlah CH₄ dari tahun ke tahun yang menyebabkan meningkatnya nilai rerata SPC. Nilai rerata SPC pada skenario *Biodiesel-Kiln semen* didapati lebih kecil dibanding skenario *Biodiesel-Landfilling*, yaitu sebesar Rp. 3.224.149.545. Pelepasan besaran organik dari limbah SBE ke dalam CO₂e melalui pembakaran biodiesel (hasil pemanfaatan) pada waktu yang lebih cepat menyebabkan rendahnya perubahan pada nilai SPC.



Gambar 1. Variansi besaran gas CO₂e (ton) pada pembuatan biodiesel

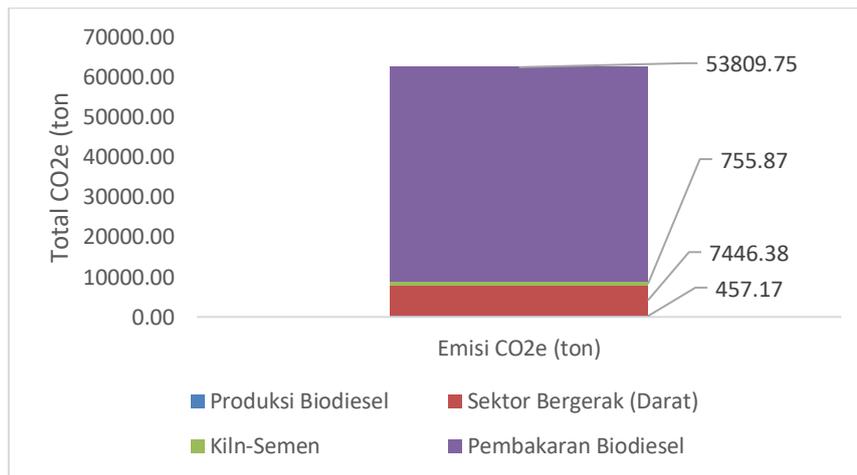
Rincian besaran nilai GRK dalam satuan ton CO₂e pada pembuatan biodiesel ditampilkan pada **Gambar 1**. Dari hasil hitung, diperoleh bahwa penyumbang nilai GRK terbesar berasal dari penggunaan listrik yang menjadi sumber energi utama pada reaktor ekstraksi dan reaktor biodiesel. Penyumbang nilai GRK selanjutnya berasal dari pembakaran bahan bakar gas. Hal ini disebabkan oleh penggunaan bahan bakar gas sebagai sumber energi pemanasan dalam pengolahan minyak nabati dalam menghasilkan biodiesel. Besaran nilai GRK lainnya dihasilkan dari sektor bergerak, WWTP dan penyediaan air. Sektor bergerak dalam skenario ini merupakan truk angkut yang digunakan untuk memindahkan limbah SBE dari lokasi timbulan hingga lokasi pemanfaat yang berada disekitar lokasi penghasil.



Gambar 2. Variansi besaran gas CO₂e (ton) pada beragam sektor di dalam skenario *landfill* De-OBE

Rincian besaran nilai GRK yang dihasilkan oleh pengelolaan melalui penimbunan dengan variasi pemanfaatan CH₄ sebesar 0%, 5%, 10%, dan 20% ditampilkan pada **Gambar 2**. Nilai GRK terbesar dari skenario *landfill* De-OBE disumbang oleh skenario dengan pemanfaatan gas metana sebesar 20%. Sektor penyumbang nilai GRK terbesar dari penimbunan De-OBE diperoleh dari CH₄ yang dihasilkan oleh *landfill*. Sektor penyumbang lainnya disumbang oleh penggunaan metana hasil *landfill* dan sektor transportasi. Jauhnya jarak antar penghasil dan penimbun serta penggunaan transportasi laut yang didorong oleh bedanya pulau antara penghasil dan penimbun menyebabkan tingginya nilai GRK yang dihasilkan oleh sektor laut dibanding sektor darat. Adanya pemanfaatan minyak nabati mengurangi kadar organik pada SBE, sehingga CH₄ yang dihasilkan oleh *landfill* lebih sedikit dibanding penimbunan secara langsung yang berdampak pada nilai GRK.

Seluruh sektor penyumbang GRK dalam skenario ini dari tahun ke-0 hingga tahun ke-10 dipaparkan pada **Gambar 3**. Dari hasil hitung, diketahui bahwa penyumbang GRK terbesar dari skenario ini adalah pembakaran biodiesel yang merupakan produk skenario pemanfaatan SBE. Penyumbang nilai GRK terbesar selanjutnya adalah sektor transportasi ke kiln semen (pihak ke-3). Hal ini membuktikan bahwa pembakaran jarak antara penghasil dan pemanfaat berpengaruh besar terhadap meningkatnya nilai GRK. Selain itu, sektor transportasi pada skenario ini menyumbang nilai GRK lebih besar dibanding sektor transportasi pada skenario Biodiesel-Landfilling. Hal ini dikarenakan nilai faktor emisi GRK dari sektor transportasi darat lebih besar dari sektor transportasi laut



Gambar 3. Variansi besaran GRK yang dihasilkan dari tiap sektor pada skenario Biodiesel-Kiln semen

Analisis Biaya-Manfaat

Perhitungan nilai manfaat biaya pada seluruh skenario selanjutnya dilakukan dengan memperhitungkan nilai GRK dari tiap skenario yang telah diinternalisasikan ke dalam rupiah melalui perhitungan SPC. Nilai NPV dan BCR untuk tiap skenario pengelolaan limbah ditampilkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. NPV dan BCR pada tiap skenario

Skenario		NPV	BCR
Biodiesel-Landfilling	0%	-Rp 66.213.407.503,80	0,7119
	5%	-Rp 54.859.005.328,62	0,7595
	10%	-Rp 43.504.603.153,44	0,8078
	20%	-Rp 20.795.798.803,07	0,9067
Biodiesel-Kiln semen		Rp 39.604.054.044,24	1,3193

Dari hasil analisis manfaat biaya, nilai NPV pada skenario Biodiesel-Landfill, baik pada *recovery methane* 0%, 5%, 10%, dan 20% diperoleh bernilai negatif. Nilai tersebut menunjukkan bahwa skenario tersebut tidak layak secara ekonomi. Hal ini juga didukung dengan rendahnya nilai BCR yang dimiliki skenario tersebut ($BCR < 1$). Rendahnya nilai tersebut disebabkan oleh tingginya nilai SPC dari skenario penimbunan serta besarnya biaya jasa *landfill* pada pihak ke-3. Besaran nilai SPC pada skenario ini sebagian besar dipengaruhi oleh nilai GRK yang dihasilkan dari proses anaerobik penimbunan serta besarnya GWP dari metana yaitu 25 kali lebih besar dibanding CO_2 . Selain itu, kuantitas eksternal berupa gas metana yang dimanfaatkan sangat kecil. Hal ini dikarenakan adanya jeda waktu yang lama oleh material organik untuk dapat terdeposisi menjadi gas metana. Nilai ini menunjukkan bahwa

besaran manfaat yang dihasilkan oleh pemanfaatan minyak nabati yang terkandung pada biodiesel belum mampu mengimbangi biaya eksternalitas yang dihasilkan dari penimbunan limbah De-OBE.

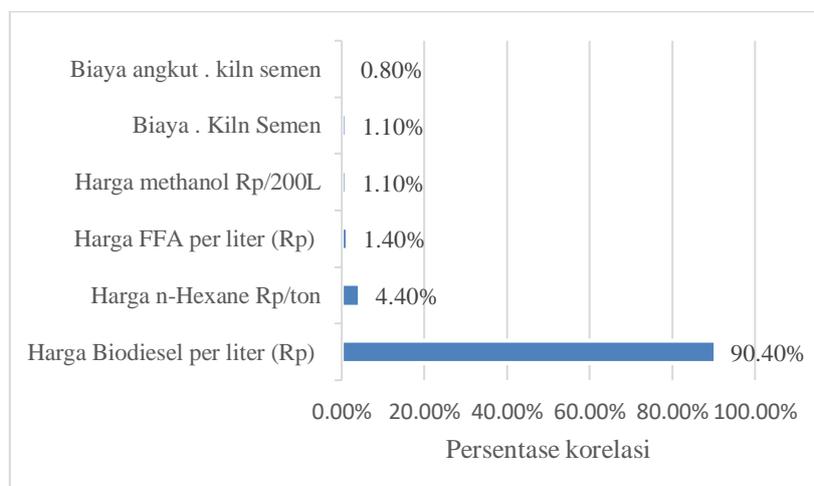
Pada skenario Biodiesel-Kiln semen didapati bahwa NPV bernilai positif yaitu Rp 39.604.054.044,24. Hal ini menunjukkan bahwa skenario ini layak secara ekonomi. Hal ini juga didukung oleh nilai BCR yang bernilai di atas angka 1. Lebih rendahnya biaya yang ditanggung pada pemanfaatan pihak ke-3 dibanding penimbunan, serta dekatnya jarak angkut yang lebih dekat menyebabkan layaknya skenario ini dibanding skenario Biodiesel-Landfilling.

Analisis sensitivitas

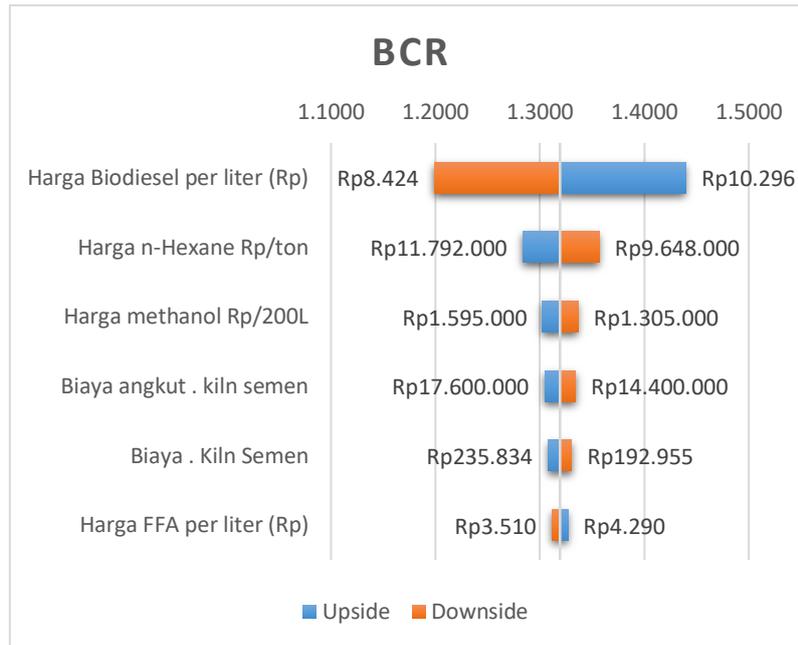
Analisis sensitivitas selanjutnya dilakukan pada skenario yang layak secara ekonomi. Dari hasil uji sebelumnya diketahui bahwa skenario Biodiesel-Kiln semen layak secara ekonomi. Analisis sensitivitas dilakukan dengan perubahan biaya operasi berupa biaya bahan baku, bahan bakar, dan biaya tenaga kerja. Selain itu perubahan nilai jual manfaat berupa produk dan biaya eksternal pada pemanfaat pihak ke-3 juga diuji pengaruh perubahannya.

Hasil uji sensitivitas pada skenario Biodiesel-Kiln semen ditunjukkan pada **Gambar 4**. Dari hasil uji tersebut diketahui bahwa harga biodiesel berpengaruh besar terhadap perubahan nilai NPV dengan nilai kontribusi sebesar 90,4%. Selain itu, harga bahan baku *n-hexane* dalam ekstraksi minyak juga berpengaruh sebesar 4,4% terhadap perubahan nilai NPV. Nilai manfaat berupa FFA yang merupakan hasil samping dari proses ekstraksi minyak dari SBE memengaruhi nilai NPV sebesar 1,4%. Bahan baku dalam pembuatan biodiesel berupa metanol diketahui memengaruhi NPV sebesar 1,1%. Untuk biaya eksternal dalam pemanfaatan limbah SBE pada pihak ke-3, biaya kiln semen diketahui memengaruhi nilai NPV sebesar 1,1%, sedangkan biaya angkut sebesar 0,8%.

Hasil analisis *tornado chart* pada skenario Biodiesel-Kiln semen dipaparkan pada **Gambar 5**. Dari analisis tersebut diketahui bahwa penurunan harga biodiesel dan peningkatan harga *n-hexane* masing-masing sebesar 10% dapat menurunkan nilai BCR. Apabila harga biodiesel turun hingga Rp. 8.824 per liter, maka nilai BCR berubah hingga menyentuh angka 1,1991, sedangkan jika harga *n-hexane* yang digunakan dalam ekstraksi minyak dari limbah SBE meningkat hingga Rp. 11.792.000/ton, maka nilai BCR akan menurun hingga 1,2837. Nilai pada analisis sensitivitas dapat berubah-ubah pada beragam waktu. Hal ini disebabkan oleh adanya pemilihan nilai secara acak sebanyak 1000 kali pada tiap parameter. Namun nilai tersebut tidak berbeda jauh dengan hasil sebelumnya.



Gambar 4. Hasil uji sensitivitas pada skenario Biodiesel-Kiln semen



Gambar 5. Hasil analisis *tornado chart* terhadap BCR skenario Biodiesel-Kiln semen

KESIMPULAN

Skenario pemanfaatan terbaik dari penelitian ini dihasilkan oleh skenario pemanfaatan minyak nabati SBE dalam pembuatan biodiesel serta pemanfaatan residunya pada pabrik kiln semen. Skenario ini terbukti layak secara ekonomi dan aman apabila terjadi perubahan harga beli bahan baku dan penurunan harga jual sebesar 10%. Pemanfaatan minyak nabati dari limbah SBE dapat menjadi peluang dalam menurunkan nilai GRK pada pembuatan biodiesel yang mana nilai GRK terhitung dari timbulan SBE, sehingga dapat lebih rendah dibanding berbahan baku minyak sawit secara langsung. Selain itu, pemanfaatan residu dari skenario ini berupa De-OBE pada pihak ke-3, yaitu pabrik kiln semen dapat mengurangi pengambilan bentonit dari alam. Penelitian ini juga menunjukkan pentingnya lokasi yang dekat antar pemanfaat dengan penghasil limbah SBE. Oleh karenanya, pembangunan pusat pengelolaan limbah SBE yang dekat dengan lokasi ekonomi strategis, khususnya industri minyak sawit, perlu dilakukan. Pemanfaatan limbah SBE sebagai bahan baku atau bahan pengganti tidak hanya mengurangi beban lingkungan yang dihasilkannya, namun juga mengurangi beban lingkungan dari pengambilan sumber daya alam. Selain itu, melalui skenario pemanfaatan limbah SBE, beban lingkungan dapat ditanggung bersama melalui mekanisme ekonomi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anastopoulos, G., Dodos, G. S., Kalligeros, S., & Zannikos, F. 2013. *Biodiesel production by ethanolysis of various vegetable oils using calcium ethoxide as a solid base catalyst. International journal of green energy*, **10(5)**, 468-481.
- Chen, Yunmin., Guo, Ryu., Li, Yu-Chao., Liu, Hailong., dan Zhan, Tony Liantong. (2016). *A Degradation Model for High Kitchen Waste Content Municipal Solid Waste. Waste Management*.
- Cooper, W., Garcia, F., Pape, D., Ryder, D., & Witherell, B. 2016. *Climate Change Adaptation Case Study: Benefit-Cost Analysis of Coastal Flooding Hazard Mitigation. Journal of Ocean and Coastal Economics*, **3(2)**, 3.
- Damanhuri, E. 2004. *Waste Minimization as Solution of Municipal Solid Waste Problem in Indonesia. The 6 th ASIAN Symposium on Academic Activities for Waste Management, Padang-Indonesia*

- Damanhuri, E., & Padmi, T. 2000. *Reuse and recycling as a solution to urban solid waste problems in Indonesia. Proceedings of ISWA International Symposium on Waste Management in Asia Cities.*
- Department for Environment, Food & Rural Affairs. 2013. *Environmental Reporting Guidelines: Including mandatory greenhouse gas emissions reporting guidance.*
- Department for Business, Energy and Industrial Strategy. 2016. *Government GHG Conversion Factors for Company Reporting. Methodology Paper for Emission Factors.*
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.*
- Keputusan Kepala Bapedal No. 4 Tahun 1995 tentang Tata Cara Pesyaratan Penimbunan Hasil Pengolahan, Persyaratan Lokasi Bekas Pengolahan, dan Lokasi Bekas Penimbunan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun.
- Klein, J.M., 1986. *Methods for recovering oil from spent bleaching earth. Proc. World Conf. Emerging Technologies in the Fats and Oils Industry (Ed A. R. Baldwin). American Oil Chemists' Society, USA, 169-171.*
- Kouzu, M., Kasuno, T., Tajika, M., Yamanaka, S., & Hidaka, J. 2007. *Active phase of calciumoxide used as solid base catalyst for transesterification of soybean oil with refluxing methanol. Applied Catalysis A: General, 334(1), 357-365.*
- Kouzu, M., & Hidaka, J. S. 2012. *Transesterification of vegetable oil into biodiesel catalyzed by CaO: a review. Fuel, 93, 1-12.*
- Kurniasari, O., Damanhuri, E., Padmi, T., & Kardena, E. 2014. *Tanah Penutup Landfill menggunakan Sampah Lama Sebagai Media Oksidasi Metana Untuk Mengurangi Emisi Gas Metana. Bumi Lestari, 14(1), 46-52*
- Li, J., Mullan, M., & Helgeson, J. 2014. *Improving the practice of economic analysis of climate change adaptation. Journal of Benefit-Cost Analysis, 5(3), 445-467.*
- Lina Chong Ann, Y. 2010. *Strength as concrete with spent bleaching earth as cement replacement. Malaysia: University Malaysia Pahang.*
- Liu, X., He, H., Wang, Y., Zhu, S., & Piao, X. 2007. *Transesterification of soybean oil to biodiesel using CaO as a solid base catalyst. Fuel, 87(2), 216-221.*
- Lukić, I., Kesić, Ž., Zdujčić, M., & Skala, D. 2015. *Calcium diglyceroxide synthesized by mechanochemical treatment, its characterization and application as catalyst for fatty acid methyl esters production. Fuel, 165, 159-165.*
- Mandell S. 2011. *Carbon Emission Values in Cost Benefit Analyses. Transport Policy, 18, 888-892.*
- Mardiko SM. 2014. *Formulasi Paving Block dari Berbagai Bahan Berbasis Limbah Padat Spent Bleaching Earth.* Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Mohammadshirazi, A., Akram, A., Rafiee, S., & Kalhor, E. B. (2014). *Energy and cost analyses of biodiesel production from waste cooking oil. Renewable and sustainable energy reviews, 33, 44-49.*
- Ong, J.T.L., 1983. *Oil Recovery from Spent Bleaching Earth and Disposal of the Extracted Material. J. Am. Oil Chem. Soc., 60, 314-315.*
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun.
- Price, R., Thornton, S., dan Nelson, S. 2007. *The Social Cost of Carbon and The Shadow Price of Carbon: What They Are, and How to Use them in Economic Appraisal in the UK.*
- White, J.K dan Beaven, R.P. (2013). *Development to A Landfill Processes Model Folloriwng Its Appliation to Rwo Landfill Modelling Challenges. Waste Management, 33, 1969-1981.*
- Wahyudi MY. 2000. *Studi Penggunaan Kembali Bleaching Earth Bekas sebagai Adsorben dalam Proses Refining CPO.* Bandung (ID). Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung.