



Reduksi Gas Metana dari Limbah Cair Kelapa Sawit Melalui Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (Studi Kasus: PLTBg Tungkal Ulu Jambi)

Methane Emissions Reduction from Palm Oil Mill Effluent through a Biogas Plant (Case Study: Tungkal Ulu Biogas Plant, Jambi)

Jasmine Khairun Nisa¹

Departemen Ekonomi Sumberdaya dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia

Pini Wijayanti

Departemen Ekonomi Sumberdaya dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia

Artikel Masuk : 8 Oktober 2021

Artikel Diterima : 15 April 2023

Tersedia Online : 30 April 2023

Abstrak: Mayoritas industri kelapa sawit di Indonesia mengolah limbah cairnya atau *Palm Oil Mill Effluent* (POME) menggunakan sistem kolam terbuka yang melepaskan gas metana dan berpotensi meningkatkan Gas Rumah Kaca (GRK). Salah satu upaya mencegah pelepasan gas metana dari sistem tersebut adalah pembangunan proyek *methane recovery*, melalui Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg). Proyek PLTBg mendukung target pemerintah dalam menurunkan emisi GRK dan menghasilkan energi terbarukan. Penelitian ini bertujuan untuk (1) mengestimasi potensi emisi GRK dari POME sebelum adanya proyek PLTBg, (2) mengestimasi reduksi emisi GRK dari POME setelah adanya proyek PLTBg, dan (3) menganalisis kelayakan finansial proyek PLTBg. Penelitian ini menggunakan metode *Clean Development Mechanism* (CDM) AMS III H dan analisis *cashflow*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PLTBg Tungkal Ulu mereduksi emisi GRK sekaligus menguntungkan perusahaan. Emisi sebelum adanya PLTBg yang diestimasi dari 106.267 m³ POME adalah 44.767,80 t CO₂e. Potensi reduksi emisi setelah adanya PLTBg berkisar 66,64%-74,26% pada tahun 2021-2030. Pada kurun waktu tersebut, proyek PLTBg layak secara finansial pada harga CER rendah dan tinggi. Skenario CER rendah menghasilkan nilai NPV, BCR dan IRR sebesar Rp 18,55 miliar, 1,19 dan 11,46% sedangkan CER tinggi menghasilkan nilai NPV, BCR dan IRR sebesar Rp 19,65 miliar, 1,21 dan 11,69%.

Kata Kunci: *cashflow*; CDM; GRK; PLTBg; POME

Abstract: Most palm oil industries in Indonesia treat Palm Oil Mill Effluent (POME) by using an open lagoon system that releases methane gas emissions and potentially increases Greenhouse Gases (GHGs). Biogas Plant, a methane recovery project, becomes one measures to reduce such emissions. Biogas Plant projects support the government's target in reducing GHGs emissions and produces renewable energy. By focusing on the Tungkal Ulu Biogas, this

¹ Korespondensi Penulis: Departemen Ekonomi Sumberdaya dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia
Email: jasminekhairunnisa13@gmail.com

study aims to (1) estimate the potential GHGs emissions prior the implementation of biogas project, (2) estimate the GHGs emissions reduction after the project implementation, and (3) to analyze the financial feasibility of the project. This study employes Clean Development Mechanism (CDM) method (i.e. the AMS III H) and cashflow analysis. The results showed that Tungkal Ulu Biogas project can reduce GHGs emissions and can benefit the company. The estimated GHGs emissions before Biogas Plant project from 106,267 m³ of POME are 44,767.80 t CO₂e. The potential biogas emission reduction ranges from 66.64% to 74.26% during 2021-2030. Financial analysis indicates that the biogas project is feasible, at both low CER price and high CER price. The low CER results in NPV, BCR and IRR values of 18,55 billion rupiah, 1,19 and 11,46%, while high CER results in NPV, BCR and IRR values of 19,65 billion rupiah, 1.21 and 11,69%.

Keywords: *biogas plan; cashflow; CDM; GHG; POME*

Pendahuluan

Peningkatan konsentrasi Gas Rumah Kaca (GRK) seperti gas karbon dioksida (CO₂), gas metana (CH₄) dan gas dinitrogen oksida (N₂O) di atmosfer secara global disebabkan oleh aktivitas manusia sejak era pra-industri (IPCC, 2007). Keberadaan GRK yang melebihi batas normal akan menyebabkan peningkatan suhu bumi yang dikenal sebagai fenomena pemanasan global. Pemanasan global yang terus berlanjut dapat menyebabkan perubahan jangka panjang di semua komponen sistem iklim yang disebut perubahan iklim (IPCC, 2014).

Ancaman dampak perubahan iklim pada kehidupan manusia mendorong negara-negara di dunia melaksanakan aksi adaptasi dan mitigasi melalui Protokol Kyoto. Berdasarkan UNFCCC (2008) terdapat tiga mekanisme dalam mengurangi emisi GRK yang tercantum di dalam mekanisme Kyoto yaitu *Joint Implementation* (JI), *Emission Trading* (ET), dan *Clean Development Mechanism* (CDM). Diantara tiga mekanisme tersebut, yang bisa diikuti oleh negara berkembang adalah CDM. CDM bertujuan membantu negara industri dengan menerapkan proyek reduksi GRK di negara berkembang serta menghitung nilai GRK yang berhasil dikurangi sebagai “kredit” yang diperjualbelikan (KLHK, 2006).

Menindaklanjuti Protokol Kyoto, Indonesia juga berkomitmen terhadap *Paris Agreement*. Komitmen tersebut telah dituangkan dalam Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2016 yang melahirkan upaya mitigasi perubahan iklim berskala nasional yaitu *Nationally Determined Contribution* (NDC) Indonesia. Pada tahun 2030, Indonesia menargetkan penurunan emisi GRK sebesar 29% dengan usaha sendiri dan menjadi 41% dengan bantuan Internasional (KLHK, 2017). Sektor pengelolaan limbah merupakan salah satu dari lima sektor yang menjadi prioritas dalam penurunan emisi GRK di Indonesia selain sektor kehutanan, pertanian, energi, dan industri.

Salah satu aktivitas sektor limbah yang berpotensi menyumbang emisi GRK di Indonesia adalah aktivitas pengolahan air limbah Pabrik Kelapa Sawit (PKS) melalui sistem kolam terbuka. Industri *Crude Palm Oil* (CPO) merupakan penyumbang utama GRK dalam sektor air limbah yaitu 18.445 kiloton CO₂e dari total emisi GRK sektor limbah sebesar 45.982 kiloton CO₂e pada tahun 2014 (KLHK, 2017). *Palm Oil Mill Effluent* (POME) merupakan limbah paling signifikan dari PKS karena volumenya yang besar dan belum dimanfaatkan dengan baik. Volume air limbah per satu ton produksi CPO adalah 2.500 liter (Yulastri et al., 2013). Penggunaan langsung POME tanpa diolah dapat menurunkan kadar oksigen terlarut dalam sungai, mematikan vegetasi dan mengkontaminasi tanah.

Pengolahan POME umumnya dilakukan dengan sistem kolam terbuka yang tidak ramah lingkungan karena menghasilkan emisi GRK yang terlepas ke atmosfer. Pada proses pengolahan dengan sistem tersebut, POME dialirkan ke serangkaian kolam di antaranya kolam lemak, kolam pendingin, kolam anaerobic, dan kolam aerobik. Namun, sistem

tersebut dianggap kurang efisien karena memakan waktu retensi sekitar 90-120 hari, memerlukan lahan luas sekitar 5-7 hektar, dan membutuhkan biaya pemeliharaan yang cukup besar (Gusrawaldi et al., 2020). Selain itu, sistem ini mengakibatkan bau busuk dan emisi gas metana akibat proses degradasi bahan organik (Suprihatin, 2009). Pelepasan gas metana ke atmosfer mempunyai efek 28 kali lebih besar dibandingkan CO₂ (IPCC, 2014), sehingga menyebabkan peningkatan emisi GRK di atmosfer yang memicu pemanasan global.

Salah satu alternatif pengolahan POME agar tidak melepaskan gas metana ke atmosfer adalah dengan mengkonversinya menjadi listrik melalui Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg). Penggunaan energi listrik dari POME dapat mengurangi potensi emisi GRK sebesar 67% di dalam kawasan industri kelapa sawit (Wijono, 2017). Proyek PLTBg Terantam dengan kapasitas 1.025 kW dapat mereduksi emisi GRK sebesar 42.377,1 t CO₂e (Febijanto, 2018). Selain itu, Proyek PLTBg di PKS Pulau Belitung dapat mereduksi emisi sebesar 85,6% tanpa pembuangan lumpur dan menjadi 70,6% apabila dengan sistem pembuangan lumpur (Sari et al., 2019). Lalu, proyek penangkapan gas metana PT. Perkebunan Nusantara VI di PKS Pinang Tinggi dengan kapasitas pembangkit 740 kW berpotensi mereduksi emisi GRK sebanyak 18.531 t CO₂e, sedangkan PKS Tanjung lebar yang memiliki kapasitas pembangkit 530 kW berpotensi mereduksi 13.247 t CO₂e (Febijanto, 2010c). Oleh karena itu, terdapat potensi reduksi emisi GRK dan penghasil energi listrik terbarukan dengan memanfaatkan POME sebagai energi melalui PLTBg.

Upaya pemulihan metana dari POME sering dipandang sebagai proyek yang tidak menghasilkan penerimaan bagi perusahaan dan hanya akan menjadi beban jika dilaksanakan dengan biaya dari perusahaan. Guna mengatasi hal tersebut, mekanisme CDM skala kecil untuk proyek dengan kapasitas kurang dari 15 Mw potensial untuk diajukan (KLHK 2006). Salah satunya dengan mengaplikasikan teknologi pemulihan metana dengan PLTBg, yakni perusahaan akan mendapatkan tambahan pemasukan dari penjualan Certified Emission Reduction (CER) untuk menutupi biaya operasional dari proyek ini (Febijanto 2010c). Menurut penelitian Febijanto (2010b), proyek penangkapan gas metana dari kolam anaerobik di PKS Pinang Tinggi di Kabupaten Muara Bungo PT. Perkebunan Nusantara VI dapat mereduksi emisi GRK sebanyak 20.855 t CO₂e dan penerimaan yang didapatkan dari CER per tahun adalah USD 430.443.

Berdasarkan uraian di atas, terdapat potensi pemulihan metana dari POME di Indonesia dalam mereduksi emisi GRK, penghasil energi listrik serta tambahan penerimaan dari hasil penjualan CER. Oleh karena itu, Penelitian ini mencoba untuk mengestimasi reduksi emisi GRK setelah penerapan proyek PLTBg dengan skala kapasitas PKS sebesar 60 ton/TBS. Penelitian ini juga mempertimbangkan ketidakpastian produksi POME di masa depan dengan penerapan skenario peningkatan POME dan penurunan POME. Selain itu, pembangunan PLTBg harus mempertimbangkan kelayakan baik secara teknis maupun ekonomi sehingga penelitian ini juga menganalisis kelayakan finansial dari proyek PLTBg. Kelayakan finansial proyek ini dianalisis dengan menggunakan dua skenario yaitu ketika harga CER rendah dan tinggi. Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengestimasi potensi emisi GRK dari POME sebelum adanya proyek PLTBg skala kecil,
2. Mengestimasi potensi reduksi emisi GRK dari POME setelah adanya proyek PLTBg skala kecil dilakukan,
3. Menganalisis kelayakan finansial proyek PLTBg.

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PLTBg Tungkal Ulu milik perusahaan PT. Inti Indosawit Subur (PT. IIS) yang berlokasi di Desa Merlung, Kecamatan Merlung, Kabupaten Tanjung Jabung Barat, Provinsi Jambi. Pemilihan lokasi penelitian ini dilakukan secara sengaja

(purposive sampling) dengan pertimbangan bahwa sebelum dibangunnya PLTBg Tungkal Ulu, PT. IIS melakukan pengolahan POME dengan sistem kolam terbuka yang berpotensi melepaskan GRK. Hal tersebut memungkinkan peneliti untuk membandingkan potensi reduksi GRK sebelum dan setelah adanya PLTBg di PT. IIS.

Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari hasil pengamatan langsung di lapangan dan wawancara langsung dengan Manajer dan Asisten Biogas PLTBg Tungkal Ulu. Data yang diperoleh terkait sistem kerja PLTBg Tungkal Ulu dalam mengolah POME menjadi energi listrik dan sistem pengolahan POME menggunakan sistem kolam terbuka. Data sekunder diperoleh melalui berbagai sumber, meliputi data historis perusahaan PT. IIS seperti produksi TBS, volume POME, dan nilai COD dari POME yang dihasilkan. Data sekunder juga diperoleh dari hasil penelitian terdahulu, studi pustaka dari jurnal, internet, buku referensi dan laporan yang terkait dengan penelitian ini serta dokumen dari berbagai instansi diantaranya Badan Pusat Statistik (BPS) dan Dinas Perkebunan dan Kehutanan Provinsi Jambi.

Penelitian ini menggunakan dua metode analisis. Pertama, metode CDM UNFCCC untuk melihat kontribusi proyek PLTBg dalam reduksi emisi GRK. Kedua, metode analisis kelayakan finansial untuk menilai apakah proyek PLTBg layak secara finansial bagi perusahaan.

Potensi Reduksi Emisi GRK

Metode analisis untuk menghitung reduksi emisi GRK dalam proyek PLTBg Tungkal Ulu Jambi adalah metode CDM UNFCCC skala kecil yaitu AMS. III. H. *Methane Recovery in Wastewater Treatment Version 19.0* atau Pemulihan Metana dalam Pengolahan Air Limbah Versi 19.0 (UNFCCC, 2019). Estimasi reduksi emisi melalui proyek PLTBg Tungkal Ulu Jambi (lihat Persamaan 1).

$$ER_y = BE_y - PE_y \quad (1)$$

Keterangan: ER_y = reduksi emisi pada tahun y (t CO₂e); BE_y = emisi *baseline* pada tahun y (t CO₂e); PE_y = emisi proyek pada tahun y (t CO₂e).

Batasan proyek (*project boundary*) dari proyek PLTBg Tungkal Ulu adalah kapasitas pabrik 60 ton/jam dengan potensi POME sebesar 125.580 m³/tahun. Asumsi tersebut adalah setiap ton TBS menghasilkan 0,5 m³/jam limbah cair dan beroperasi 14 jam/hari. Perhitungan emisi GRK mencakup sistem penanganan limbah berupa *digester tank*, pengolahan air limbah lanjutan yaitu kolam anaerobik dan pemanfaatan biogas melalui *gas engine* untuk produksi energi terbarukan dan untuk dibakar menggunakan *flare*.

Emisi Baseline

Emisi *baseline* adalah potensi emisi GRK yang terjadi tanpa upaya mitigasi. Sebelum adanya PLTBg, PT. IIS melakukan serangkaian *treatment* limbah POME dengan sistem kolam terbuka yang berpotensi melepaskan gas metana. Batasan emisi *baseline* adalah limbah POME yang diolah memasuki *acid pond* hingga digunakan untuk *land application*. Estimasi emisi *baseline* dari sebelum adanya proyek PLTBg dihitung menggunakan metode CDM AMS III H yaitu emisi *baseline* untuk sistem yang dipengaruhi oleh aktivitas proyek (UNFCCC, 2019) (lihat Persamaan 2).

$$BE_y = BE_{ww,treatment,y} \quad (2)$$

Keterangan: BE_y = emisi *baseline* pada tahun y (t CO₂e); $BE_{ww,treatment,y}$ = emisi dasar dari sistem pengolahan air limbah yang dipengaruhi oleh aktivitas proyek pada tahun y (t CO₂e).

Komponen $BE_{ww,treatment,y}$ dihitung menggunakan rumus pada Persamaan 3.

$$BE_{ww,treatment,y} = \sum_i (Q_{ww,i,y} \times COD_{inflow,i,y} \times \eta_{COD,BL,i} \times MCF_{ww,treatment,BL,i}) \times B_{o,ww} \times UF_{BL} \times GWP_{CH_4}$$

(3)

Keterangan: $Q_{ww,i,y}$ = volume air limbah yang diolah dalam sistem pengolahan air limbah dasar i dalam tahun y (m³); $COD_{inflow,i,y}$ = kebutuhan oksigen kimiawi dari aliran air limbah ke sistem pengolahan dasar i pada tahun y (t /m³); $\eta_{COD,BL,i}$ = efisiensi penghilangan COD dari sistem pengolahan dasar i ; $MCF_{ww,treatment,BL,i}$ = faktor koreksi gas metana untuk sistem pengolahan dasar air limbah proyek i ; $B_{o,ww}$ = kapasitas produksi gas metana air limbah (kg CH₄/kg COD); UF_{BL} = faktor koreksi model untuk memperhitungkan ketidakpastian model; GWP_{CH_4} = potensi pemanasan global untuk gas metana; i = indeks pengolahan POME dengan sistem kolam terbuka.

Emisi Proyek

Emisi proyek pada penelitian ini adalah emisi dari pemulihan gas metana dengan pembangunan instalasi PLTBg sehingga gas metana dapat dimanfaatkan menjadi sumber energi dan tidak dilepaskan ke atmosfer. Sumber emisi proyek adalah gas metana yang berasal dari ketidakefisienan penangkapan biogas *digester tank*, pembakaran biogas oleh *flare* dan pengolahan air limbah lanjutan dengan sistem kolam. Estimasi emisi proyek setelah adanya aktivitas proyek PLTBg dihitung menggunakan metode CDM AMS III H (UNFCCC, 2019) (lihat Persamaan 4).

$$PE_y = \{PE_{ww,treatment,y} + PE_{fugitive,y} + PE_{flaring,y}\} \tag{4}$$

Keterangan: PE_y = emisi proyek pada tahun y (t CO₂e); $PE_{ww,treatment,y}$ = emisi gas metana dari sistem pengolahan air limbah dipengaruhi oleh aktivitas proyek dan tidak dilengkapi dengan pemulihan biogas pada tahun y (t CO₂e); $PE_{fugitive,y}$ = emisi gas metana dari pelepasan biogas dalam sistem penangkapan di tahun y (t CO₂e); $PE_{flaring,y}$ = emisi gas metana akibat *flaring* yang tidak sempurna pada tahun y (t CO₂e).

Komponen $PE_{ww,treatment,y}$ dihitung menggunakan rumus pada Persamaan 5.

$$PE_{ww,treatment,y} = \sum_i (Q_{ww,k,y} \times COD_{inflow,k,y} \times \eta_{COD,PJ,k} \times MCF_{ww,treatment,PJ,k}) \times B_{o,ww} \times UF_{PJ} \times GWP_{CH_4} \tag{5}$$

Keterangan: $Q_{ww,k,y}$ = volume air limbah yang diolah dalam sistem pengolahan air limbah proyek k dalam tahun y (m^3); $COD_{inflow,k,y}$ = kebutuhan oksigen kimiawi dari aliran air limbah ke sistem pengolahan proyek k pada tahun y (t/m^3); $\eta_{COD,PJ,k}$ = efisiensi penghilangan COD dari sistem pengolahan proyek k ; $MCF_{ww,treatment,PJ,k}$ = faktor koreksi gas metana untuk sistem pengolahan air limbah proyek k ; $B_{o,ww}$ = kapasitas produksi gas metana dari air limbah ($kg\ CH_4/kg\ COD$); UF_{PJ} = faktor koreksi model untuk memperhitungkan ketidakpastian model; GWP_{CH_4} = potensi pemanasan global untuk gas metana; k = indeks pengolahan POME dilengkapi pemulihan metana.

wKomponen $PE_{fugitive,y}$ dapat dihitung menggunakan rumus pada Persamaan 6.

$$PE_{fugitive,y} = PE_{fugitive,ww,y} = (1 - CFE_{ww}) \times (MEP_{ww,treatment,y}) \times GWP_{CH_4} \quad (6)$$

Keterangan : CFE_{ww} = efisiensi penangkapan dari fasilitas pemulihan biogas dalam sistem pengolahan air limbah; $MEP_{ww,treatment,y}$ = potensi emisi metana dari sistem pengolahan air limbah yang dilengkapi dengan sistem pemulihan biogas pada tahun y ($t\ CH_4e$).

$MEP_{ww,treatment,y}$ dihitung menggunakan Persamaan 7.

$$MEP_{ww,treatment,y} = Q_{ww,y} \times B_{o,ww} \times UF_{PJ} \times \sum_k COD_{removed,PJ,k,y} \times MCF_{ww,treatment,PJ,k}$$

(7)

Keterangan: $Q_{ww,y}$ = volume air limbah olahan yang dibuang pada tahun y (m^3); $COD_{removed,PJ,k,y}$ = kebutuhan oksigen kimiawi dihilangkan oleh sistem pengolahan k kegiatan proyek dilengkapi dengan pemulihan biogas pada tahun y (t/m^3);

Komponen $PE_{flaring,y}$ dihitung menggunakan rumus pada Persamaan 8 (Febijanto, 2018).

$$PE_{flaring,y} = GWP_{CH_4} \times \sum_{h=1}^{8760} TM_{RG,h} \times (1 - \eta_{flare,h}) \times 10^{-3} \quad (8)$$

Keterangan: $TM_{RG,h}$ = laju massa gas metana yang mengalir ke *flaring system* dalam jam h ($t\ CH_4e$); $\eta_{flare,h}$ = efisiensi *flare* dalam jam h .

$TM_{RG,h}$ dihitung dengan formula pada Persamaan 9 (Febijanto, 2018).

$$TM_{RG,h} = MEP_{ww,treatment,y} - MG_{burnt,y} - PE_{fugitive,ww,y} \quad (9)$$

Keterangan: $MG_{burnt,y}$ = kebutuhan gas metana untuk bahan bakar *gas engine* ($t\ CH_4e$).

$MG_{burnt,y}$ dihitung menggunakan Persamaan 10.

$$MG_{burnt,y} = \frac{Kapasitas\ gas\ engine \times 8760 \times Kapasitas\ Faktor}{Efisiensi\ Listrik \times Konversi\ koefisien\ dari\ panas\ ke\ listrik \times Nilai\ kalor\ CH_4} \quad (10)$$

Analisis Kelayakan Finansial

Analisis kelayakan finansial dari PLTBg berbahan dasar POME dihitung melalui perhitungan *Net Present Value* (NPV), *Benefit Cost Ratio* (BCR) dan tingkat pengembalian internal (IRR). NPV merupakan selisih antara nilai kini dari arus kas masuk dengan nilai kini dari arus kas keluar. Jika nilai NPV ≥ 0, proyek dikatakan layak secara finansial sedangkan jika NPV < 0 maka proyek tidak layak. NPV dihitung dengan formula pada Persamaan 11 (Götze, 2008).

$$NPV = \sum_{y=0}^Y PVRev_y - \sum_{y=0}^Y PVExp_y \quad (11)$$

Keterangan: *PVRev_y* = arus kas masuk pada tahun ke-*y* (Rp); *PVExp_y* = arus kas keluar pada tahun ke-*y* (Rp).

Nilai *PVRev_y* dan *PVExp_y* dihitung dengan Persamaan 12 dan 13.

$$PVRev_y = \frac{1}{(1+r)^y} \times \sum_{m=1}^{12} PVRev_{my} \quad (12)$$

$$PVExp_t = \frac{1}{(1+r)^y} \times \sum_{m=1}^{12} PVExp_{my} \quad (13)$$

Keterangan: *r* merupakan biaya modal (% per tahun).

BCR adalah rasio antara *PVRev_y* dan *PVExp_y* selama [0,Y]. Jika nilai BCR ≥ 1 suatu proyek atau kegiatan investasi layak untuk dilaksanakan dan sebaliknya BCR dihitung menggunakan Persamaan 14 (Götze, 2008).

$$BCR = \frac{\sum_{y=0}^Y PVRev_y}{\sum_{y=0}^Y PVExp_y} \quad (14)$$

IRR merupakan tingkat suku bunga yang membuat NPV sama dengan 0 (Götze, 2008). Jika IRR ≥ *r*, maka proyek layak untuk dilaksanakan. Jika IRR < *r*, proyek tidak layak untuk dilaksanakan. Nilai IRR dihitung melalui Persamaan 15.

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} (i_2 - i_1) \quad (15)$$

Keterangan: *NPV₁* = NPV yang bernilai positif; *NPV₂* = NPV yang bernilai negatif; *i₁* = *r* yang menyebabkan NPV positif; *i₂* = *r* yang menyebabkan NPV negatif.

Analisis finansial dipengaruhi oleh komponen kas masuk dan kas keluar. Komponen kas masuk pada proyek PLTBg adalah penghematan listrik dan penjualan CER. Sedangkan komponen kas keluar adalah biaya operasional dan biaya investasi dari proyek. CER proyek dihitung dengan rumus pada Persamaan 16.

$$CER_y = ER_y \times HK \quad (16)$$

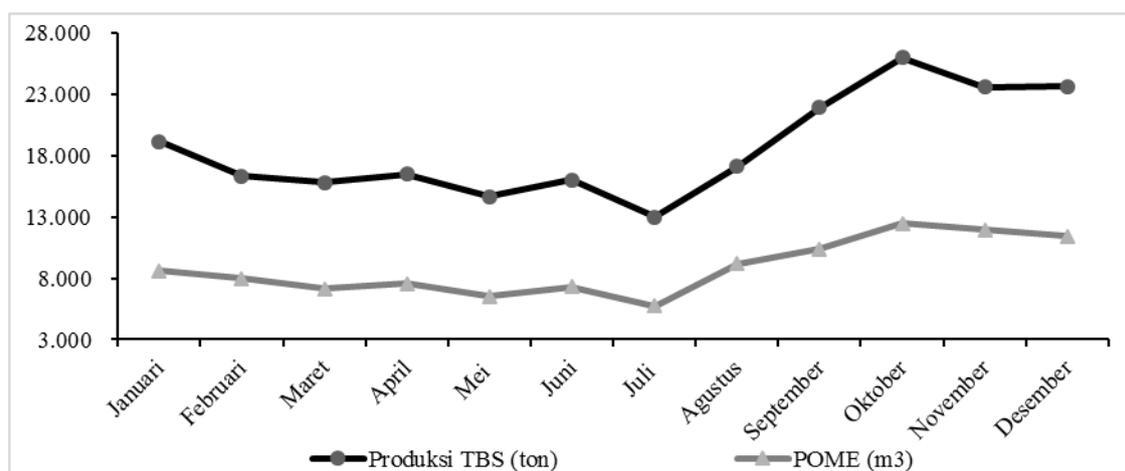
Keterangan: ER_y = jumlah reduksi GRK pada tahun ke y (t CO₂e); HK = nilai jual kredit karbon (Rp/t CO₂e).

Hasil dan Pembahasan

Potensi Emisi GRK sebelum adanya PLTBg Tungkal Ulu

Potensi POME terhadap reduksi emisi GRK

PT. IIS mampu memproduksi TBS dengan kapasitas 60 ton/jam. Pengolahan TBS menjadi CPO dapat menghasilkan POME dalam jumlah yang besar (Sinaga et al., 2018). Produksi TBS dan POME PT. IIS ditunjukkan pada Gambar 1.



Sumber: Data PT. IIS dan hasil analisis data, 2021

Gambar 1. Produksi TBS dan POME PT. IIS Tahun 2020

Jumlah produksi TBS dan POME PT. IIS meningkat pada bulan Juli hingga Desember. Peningkatan tersebut dikarenakan PT. IIS sedang mengalami periode semester 2 atau *peak corp*. Periode *peak corp* artinya jumlah buah masak di pokok sangat banyak (Juli hingga Desember). Kemudian, jumlah produksi POME dipengaruhi oleh jumlah TBS yang mampu dihasilkan oleh PKS pada waktu tertentu. Setiap 1 ton TBS yang diolah PT. IIS, dapat menghasilkan POME sebesar 45,53% atau 0,46 m³. Nilai tersebut lebih rendah dibandingkan dengan penelitian Wijono (2017) yang menyatakan bahwa satu ton TBS yang diolah dapat menghasilkan 0,6 – 1 m³ POME. Jumlah POME yang besar tersebut, apabila dibuang tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu akan menyebabkan pencemaran lingkungan dan meningkatkan emisi GRK. Oleh karena itu, PT. IIS berinvestasi dengan membangun instalasi biogas yang bertujuan untuk menangkap gas metana.

Emisi Baseline

Emisi *baseline* dipengaruhi oleh jumlah POME yang diproduksi dan nilai COD yang direduksi. Jumlah POME yang dihasilkan oleh PT. IIS pada tahun 2020 sebesar 106.267 m³, sedangkan nilai COD yang digunakan adalah rata-rata nilai COD tahun 2020 ketika memasuki *digester tank* dan menuju *land application*. Nilai COD yang direduksi pada skenario *baseline* adalah 84.526 mg/l. Berdasarkan kedua pengaruh tersebut, potensi emisi *baseline* dari proses pengolahan POME dengan sistem kolam terbuka pada tahun 2020 sebesar 44.767,80 t CO₂e.

Menyadari produksi POME yang fluktuatif setiap tahunnya, penelitian ini membandingkan dua alternatif skenario jumlah POME yaitu skenario produksi POME naik yaitu peningkatan volume POME sebesar 1% per tahun dan skenario POME turun yaitu penurunan volume POME yang diolah sebesar 2% per tahun. Hasil estimasi menunjukkan, emisi *baseline* dari skenario POME naik lebih tinggi dibandingkan dengan nilai emisi *business as usual* (BAU) dan emisi yang dilepaskan dari skenario POME turun mempunyai nilai emisi yang lebih rendah dibandingkan dengan nilai BAU. Pada kurun waktu 2021 – 2030, emisi *baseline* skenario POME naik diestimasi meningkat hingga 48.588,36 t CO₂e pada tahun 2030 dengan laju peningkatan sebesar 1% per tahun, sedangkan emisi *baseline* skenario POME turun diestimasi menurun hingga 37.533,97 t CO₂e pada tahun 2030 dengan laju penurunan sebesar 2% per tahun. Hal ini menunjukkan dengan asumsi nilai reduksi COD yang sama setiap tahunnya, emisi *baseline* dipengaruhi oleh persentase peningkatan dan penurunan jumlah POME yang diolah pada masing-masing skenario. Hal ini sejalan dengan penelitian Wijono (2017) bahwa peningkatan produksi CPO linear dengan peningkatan emisi GRK. Hasil estimasi kedua skenario pada tahun 2021 ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Potensi emisi *baseline* pada tahun 2021

Uraian	Emisi <i>baseline</i> (t CO ₂ e)
BAU	44.767,80
POME naik	45.135,93
POME turun	43.988,05

Sumber: Data primer PT. IIS dan hasil analisis data, 2021

Potensi Reduksi Emisi GRK setelah adanya PLTBg Tungkal Ulu

Emisi Proyek

Emisi proyek merupakan emisi setelah adanya proyek PLTBg Tungkal Ulu. Potensi emisi proyek berasal dari tiga komponen, yaitu: 1) sistem pengolahan POME yang tidak dilengkapi pemulihan biogas, 2) emisi dari inefisiensi *digester tank*, dan 3) emisi dari pembakaran *flare* yang tidak sempurna. Emisi setiap komponen ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Potensi emisi proyek PLTBg Tungkal Ulu Tahun 2021

Uraian	Emisi (t CO ₂ e)			Emisi Proyek (4) = (1)+(2)+(3)
	Komponen 1 (1)	Komponen 2 (2)	Komponen 3 (3)	
BAU	8.591,34	4.774,57	1.916,16	15.282,07
POME naik	8.661,99	4.813,83	2.092,84	15.568,66
POME turun	8.441,70	4.691,41	1.541,94	14.675,05

Sumber: Data primer PT. IIS dan hasil analisis data, 2021

Emisi proyek skenario POME naik diestimasi meningkat hingga 18.256,36 t CO₂e dengan laju peningkatan berkisar 1,72% hingga 1,86% pada tahun 2021-2030. Selanjutnya, emisi proyek skenario POME turun diestimasi menurun hingga 9.666,15 t CO₂e dengan laju

penurunan berkisar 4,06% hingga 5,09% pada tahun 2021-2030. Hal ini menunjukkan bahwa, jumlah POME yang diolah meningkat pertahunnya dapat menghasilkan emisi proyek yang lebih tinggi dibandingkan jumlah POME yang diolah menurun dengan asumsi nilai reduksi COD sama pertahunnya.

PLTBg PT. IIS berpotensi menghasilkan emisi GRK sebesar 15.282,07 t CO₂e pada tahun 2021 pada kondisi BAU. Jika dibandingkan dengan penelitian Febijanto (2010b), PKS Pinang Tinggi PT. Perkebunan Nusantara VI menghasilkan emisi yang lebih kecil sebesar 6.646,8 t CO₂e dengan kondisi kapasitas PKS yang sama yaitu 60 ton/jam. Hal ini dikarenakan komponen perhitungan emisi proyek dipengaruhi oleh volume limbah cair yang dihasilkan, nilai COD limbah, dan efisiensi penangkapan biogas *digester tank* yang digunakan.

Reduksi Emisi

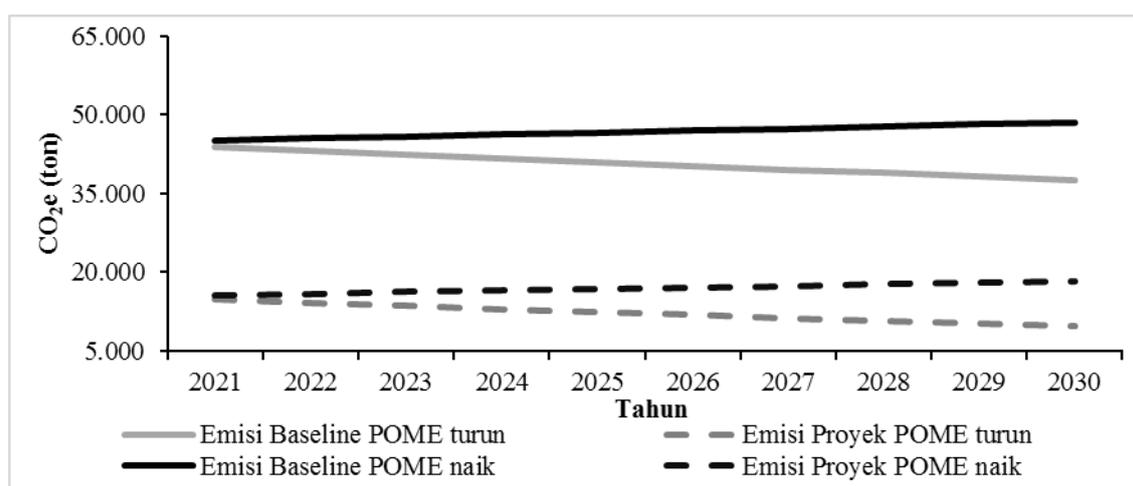
Reduksi emisi dihitung dengan menyelisihkan emisi *baseline* dan emisi proyek. Tabel 3 menunjukkan proyek PLTBg Tungkal Ulu berpotensi mereduksi emisi GRK untuk seluruh skenario.

Tabel 3. Potensi reduksi emisi PLTBg Tungkal Ulu Tahun 2021

Uraian	t CO ₂ e			Persentase reduksi emisi (%)
	Emisi <i>baseline</i>	Emisi proyek	Reduksi emisi	
BAU	44.767,80	15.282,07	29.485,73	65,86%
POME naik	45.135,93	15.568,66	29.567,27	65,51%
POME turun	43.988,05	14.675,05	29.313,01	66,64%

Sumber: Data primer PT. IIS dan hasil analisis data, 2021

Reduksi emisi penelitian ini juga membandingkan kedua skenario yang diestimasi dalam jangka panjang selama 10 tahun yaitu tahun 2021 – 2030 (lihat Gambar 2). Estimasi tersebut bertujuan untuk menunjukkan suatu proyek PLTBg dapat mendukung target NDC Indonesia dalam mereduksi emisi GRK sebesar 29% dengan usaha sendiri pada tahun 2030 (KLHK, 2017).



Gambar 2. Emisi GRK dalam Skenario Proyek PLTBg Tungkal Ulu Tahun 2021 – 2030

PLTBg Tungkal Ulu memiliki potensi persentase reduksi emisi GRK yang tinggi apabila diestimasi menggunakan skenario POME turun yaitu berkisar 66,64% hingga 74,26% pada tahun 2021-2030. Hal ini dikarenakan, dengan asumsi POME menurun 2% pertahunnya, semakin sedikit POME yang diolah sehingga semakin kecil emisi gas metana yang dilepaskan. Penelitian ini menghasilkan persentase reduksi emisi yang lebih kecil dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yaitu 84% (Febijanto, 2018) dan 70,58% (Sari et al., 2019). Hal tersebut dikarenakan hasil perhitungan emisi total dengan metode *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) dipengaruhi oleh jumlah POME dan metode pengolahan POME (Sari et al., 2019). Metode pengolahan POME yang digunakan pada penelitian Febijanto (2018) adalah teknologi *covered lagoon* dan sistem kolam terbuka yang memiliki nilai efisiensi reduksi COD sebesar 80% dan 26,64%. Nilai tersebut lebih rendah dibandingkan dengan metode pengolahan POME pada penelitian ini yaitu teknologi *digester tank* dan sistem kolam terbuka yang mempunyai nilai efisiensi reduksi COD sebesar 81% dan 77%. Sistem kolam terbuka pada penelitian ini mereduksi lebih banyak COD dari penelitian terdahulu sehingga menghasilkan lebih banyak gas metana terlepas ke atmosfer.

Hasil penelitian menunjukkan PLTBg Tungkal Ulu layak secara lingkungan karena menghasilkan reduksi emisi GRK pada seluruh skenario. Masing-masing skenario yaitu skenario POME naik dan skenario POME turun menghasilkan rata-rata reduksi emisi sebesar 63,95% dan 70,36% dari kondisi *baseline*. Adanya reduksi emisi tersebut menunjukkan bahwa PLTBg Tungkal Ulu berkontribusi terhadap reduksi emisi GRK dalam lingkungan PKS. Hal ini sejalan dengan penelitian Wijono (2017) yang menyatakan bahwa penggunaan energi listrik dari POME dapat mereduksi potensi emisi GRK sebesar 67% di dalam kawasan industri kelapa sawit.

Estimasi emisi PLTBg Tungkal Ulu mempertimbangkan ketidakpastian produksi POME guna melihat potensi reduksi emisi di masa mendatang pada tahun 2021-2030. Ketidakpastian tersebut ditunjukkan melalui estimasi emisi yang mempertimbangkan peningkatan POME sebesar 1% per tahun. Hasil estimasi untuk skenario POME naik menghasilkan reduksi emisi proyek PLTBg Tungkal Ulu sebesar 65,51% hingga 62,43%. Peningkatan jumlah POME tersebut bisa saja terjadi apabila PT. IIS dalam kurun waktu tersebut meningkatkan penggunaan teknologi unggulannya yaitu Bibit Topaz sehingga berpotensi meningkatkan produksi TBS. Penggunaan teknologi unggulan seperti penggunaan input yang sesuai anjuran memiliki kontribusi dalam meningkatkan produktivitas kelapa sawit (Ardana dan kariyasa, 2016). Lalu, penelitian ini juga mengestimasi emisi GRK dengan mempertimbangkan penurunan POME sebesar 2% per tahun. Penurunan jumlah POME tersebut diasumsikan dengan serangan hama dan penyakit oleh ulat api di perkebunan PT. IIS. Serangan hama ulat api menyebabkan helaian daun kelapa sawit habis dan tidak terbentuknya tandan selama dua hingga tiga tahun sehingga berdampak langsung terhadap penurunan produksi TBS (Ardi et al., 2018). Hasil estimasi menunjukkan PLTBg Tungkal Ulu dapat mereduksi emisi sebesar 66,64% hingga 74,26% untuk skenario POME turun pada tahun 2021-2030. Hasil penelitian ini berbeda dengan penelitian Febijanto (2018) yang menunjukkan reduksi emisi yang konstan setiap tahunnya yaitu 84% karena asumsi jumlah limbah POME yang digunakan sama setiap tahunnya.

Analisis Kelayakan Finansial proyek PLTBg

Arus Penerimaan dari Penjualan CER

Reduksi emisi GRK dapat dijual dalam bentuk CER dengan mengikuti mekanisme CDM. Nilai reduksi emisi diestimasi berdasarkan perhitungan emisi GRK pada skenario POME naik tahun 2018 – 2030. Sedangkan, nilai CER yang digunakan adalah nilai terendah

dan nilai tertinggi CER pada *Intercontinental Exchange* (ICE) untuk 1 ton CO₂e pada periode 13 November 2019 hingga 19 Maret 2021. Alternatif 1 menggunakan nilai CER terendah yaitu € 0,17 per t CO₂e dan alternatif 2 menggunakan nilai CER tertinggi dengan asumsi satu t CO₂e bernilai € 0,43 (ICE, 2021). Nilai CER diperoleh dengan mengalikan reduksi emisi pada tahun tertentu dengan nilai jual CER yang telah di konversi dari Euro ke Rupiah. Nilai kurs Euro terhadap Rupiah yang digunakan adalah Rp 17.176,29 per 3 Maret 2021 (CNBC, 2021). Nilai CER proyek dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Potensi penerimaan penjualan karbon tahun 2018 - 2030

Tahun	Reduksi Emisi (t CO ₂ e)	Alternatif 1 (Juta Rp per tahun)	Alternatif 2 (Juta Rp per tahun)
2018	32.202,69	94,03	237,84
2019	30.664,76	89,54	226,48
2020	29.485,72	86,09	217,77
2021	29.567,27	86,33	218,37
2022	29.649,48	86,57	218,98
2023	29.732,37	86,81	219,59
2024	29.815,94	87,06	220,21
2025	29.900,20	87,30	220,83
2026	29.985,15	87,55	221,46
2027	30.070,80	87,80	222,09
2028	30.157,16	88,05	222,73
2029	30.244,22	88,31	223,37
2030	30.332,00	88,56	224,02

Sumber: Data primer PT. IIS dan hasil analisis data, 2021

Melalui mekanisme CDM, perusahaan kelapa sawit yang berhasil menurunkan nilai emisinya akan mendapatkan *reward* dari penjualan CER. Artinya, mekanisme tersebut tidak hanya menurunkan emisi GRK yang dihasilkan pabrik tetapi juga memberikan tambahan pendapatan dari penjualan CER yang dapat digunakan untuk mendukung biaya operasional PLTBg (Chin et al., 2013).

Arus Penerimaan dari Penghematan Listrik

Tujuan lain perusahaan kelapa sawit membangun PLTBg adalah untuk memenuhi kebutuhan listrik operasional pabrik. Sebelum adanya PLTBg Tungkal Ulu, suplai listrik PT.IIS berasal dari turbin uap dan *generator diesel*. Setelah PLTBg Tungkal Ulu beroperasi, suplai listrik PT. IIS berasal dari tiga sumber yaitu turbin uap, *generator diesel* dan *gas engine*. Pengoperasian PLTBg mengurangi beban kerja dari turbin uap untuk menghasilkan listrik karena digantikan oleh *gas engine*. Dengan demikian, dapat dihitung dari nilai penghematan listrik yang digantikan listrik dari biogas.

Tabel 5. Potensi penghematan listrik yang digantikan oleh listrik biogas

No	Uraian	Jumlah	Satuan
1	Total listrik yang dihasilkan PLTBg (2020)	1.044.711,67	kw/bulan
2	*) Tarif listrik industri menengah	1.114,74	kw/jam

Sumber: Data primer PT. IIS dan hasil analisis data, *) PLN, 2021

Pendapatan dari penghematan listrik per tahun PT. IIS diestimasi sebesar Rp 13.974.982.599,60 per tahun. Hasil perhitungan tersebut belum memasukkan biaya operasional PLTBg/kwh. Namun, nilai tersebut tetap menunjukkan bahwa terdapat nilai tambah secara ekonomi berupa keuntungan yang didapatkan dari penghematan listrik yang digantikan oleh listrik biogas. Adanya nilai tambah tersebut merupakan *financial*

additionality atau nilai tambah finansial yang membuat proyek semakin menarik untuk dilaksanakan (Khaira, 2007).

Selain itu, adanya tambahan energi listrik melalui pembangunan PLTBg sejalan dengan pencapaian target bauran energi terbarukan di Indonesia (USAID, 2016). Target Rencana Umum Energi Daerah (RUED) Provinsi Jambi telah diatur dalam Peraturan Daerah Provinsi Jambi Nomor 13 Tahun 2019 tentang RUED 2019-2050. Energi listrik yang dihasilkan PLTBg Tungkal Ulu dapat mendukung target RUEN sebesar 23% dan target RUED Provinsi Jambi sebesar 24% pada tahun 2025. Hal tersebut bertujuan untuk mengurangi ketergantungan energi nasional terhadap energi fosil (Effendi et al., 2018).

Arus Pengeluaran Perusahaan

Arus pengeluaran (*outflow*) terdiri dari biaya yang dikeluarkan untuk proyek PLTBg Tungkal Ulu. Komponen arus pengeluaran tersebut adalah biaya investasi serta biaya operasional dan pemeliharaan proyek. Biaya investasi proyek ini sebesar Rp 80.000.000.000 yang didalamnya meliputi biaya pembelian komponen dan instalasi biogas. Adapun biaya operasional terdiri dari biaya operasional supervisi dan tenaga kerja, biaya pemakaian bahan penolong, biaya pemakaian *spare parts*, dan biaya *service and maintenance* dengan total biaya setiap tahunnya sebesar Rp 1.934.681.283. Biaya tersebut berdasarkan data anggaran biogas PT. IIS Tungkal Ulu pada tahun 2020. Ringkasan arus pengeluaran PT. IIS tahun 2020 disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Arus pengeluaran PT. IIS Tungkal Ulu 2020

No	Jenis biaya	Jumlah (Rp)
1	Operasional supervisi & tenaga kerja	476.336.537,00
2	Pemakaian bahan penolong	524.055.976,00
3	pemakaian <i>spareparts</i>	411.745.021,00
4	<i>Service and maintenance</i>	522.543.749,00

Sumber: Data primer PT. IIS dan hasil analisis data, 2021

Hasil Analisis Finansial Pemanfaatan POME menjadi Energi Listrik

Analisis kelayakan finansial yang digunakan dalam penelitian ini meliputi perhitungan nilai NPV, BCR, dan IRR. Tingkat diskonto yang digunakan adalah tingkat suku bunga obligasi Bank Indonesia tahun 2021 yaitu sebesar 7,5% (Bank Indonesia, 2021). Analisis biaya dan manfaat finansial yang diperhitungkan melalui pendekatan dua alternatif yaitu alternatif 1 dan alternatif 2. Kedua alternatif tersebut telah memasukkan komponen penerimaan dari penghematan listrik yang digantikan oleh biogas.

Tabel 7. Kriteria kelayakan finansial proyek PLTBg Tungkal Ulu

Alternatif	NPV (Miliar Rp)	BCR	IRR
Alternatif 1	18,55	1,19	11,46%
Alternatif 2	19,65	1,21	11,69%

Sumber: Data primer PT. IIS dan hasil analisis data, 2021

Tabel 7 menunjukkan proyek PLTBg Tungkal Ulu dalam mengkonversi POME menjadi listrik layak untuk diterapkan baik untuk alternatif CER rendah maupun tinggi. Proyek PLTBg ini telah memenuhi semua kriteria kelayakan agar proyek dapat berlanjut dan menguntungkan secara finansial kedepannya. Nilai NPV yang diperoleh menunjukkan nilai positif, BCR lebih dari 1 dan IRR lebih dari *discount rate*. Penelitian ini sejalan dengan Sugiyono et al. (2019) pembangunan PLTBg secara keekonomian layak untuk dilaksanakan dengan nilai IRR sebesar 11,44%.

Proyek PLTBg Tungkal Ulu jika hanya memasukkan pendapatan dari penjualan CER tidak layak untuk dilakukan. Adanya penurunan dari harga CER tersebut menghasilkan

penerimaan dari penjualan CER berkisar Rp 86,09 juta hingga Rp 237,84 juta pertahun. Sedangkan biaya operasionalnya sebesar Rp 1,93 miliar per tahun. Sehingga pendapatan dari penjualan CER tidak bisa menutupi biaya investasi dan biaya operasional proyek. Penelitian ini berbeda dengan Febijanto (2010b), proyek layak secara ekonomi jika hanya memasukkan CER dikarenakan nilai CER pada tahun 2009 mencapai 15 Euro sehingga pendapatan yang didapat dari CER per tahun tinggi sebesar USD 430.443 yang dapat menutupi biaya operasional PLTBg. Meskipun manfaat yang diperoleh dari perdagangan karbon sangat kecil, dengan atau tanpa mekanisme CDM masih terdapat potensi reduksi emisi GRK yang besar dari pengolahan limbah (Wang et al., 2016).

PT. IIS merupakan Pabrik Mengolah Kelapa Sawit (PMKS) yang bersertifikasi *Roundtable on Sustainable Palm Oil* (RSPO). Salah satu kriteria penilaian RSPO yaitu mengembangkan, menerapkan, dan memantau rencana untuk mengurangi polusi dan emisi GRK (RSPO, 2006). Setelah adanya PLTBg Tungkal Ulu, dihasilkan reduksi emisi GRK di lingkungan pabrik sebesar 62,43% hingga 65,51%. Adanya reduksi emisi ini selain berkontribusi terhadap pencapaian target reduksi emisi NDC sebesar 29% pada tahun 2030 dan meningkatkan nilai penjualan CPO perusahaan di pasar dunia.

Selain manfaat finansial, dari aspek lingkungan proyek PLTBg Tungkal Ulu berpotensi menurunkan emisi dari pembakaran cangkang dan serabut. Sebelum adanya PLTBg Tungkal Ulu, listrik yang dihasilkan oleh PT. IIS bersumber dari turbin uap dan *generator diesel*. *Generator diesel* digunakan untuk *starter up* dan pembersihan, sedangkan turbin uap mengubah *steam* yang dihasilkan *boiler* menjadi energi listrik. *Boiler* merupakan mesin berbahan bakar cangkang dan serabut yang berfungsi untuk menghasilkan *steam*. *Steam* tersebut digunakan untuk menggerakkan turbin uap sehingga menghasilkan energi listrik. Pembakaran tersebut berpotensi menghasilkan emisi GRK. Abu yang terbentuk karena adanya kandungan dari bahan bakar cangkang dan serabut menyebabkan peningkatan polusi lingkungan dan efek rumah kaca (Sylvia et al., 2020). Setelah adanya PLTBg Tungkal Ulu, suplai listrik dari turbin uap berkurang dikarenakan telah digantikan oleh listrik yang diproduksi oleh *gas engine* dan penggunaan cangkang dan serabut sebagai bahan bakar *boiler* dapat dikurangi. Namun, pada penelitian ini tidak berfokus pada emisi yang dihasilkan dari proses pengolahan limbah padat kelapa sawit.

Pembangunan PLTBg berpotensi mereduksi emisi karbon, namun proyek tersebut merupakan proyek *capital intensive* sehingga tidak semua perusahaan kelapa sawit mampu menerapkannya. Hal ini ditunjukkan oleh PLTBg Tungkal Ulu yang membutuhkan investasi sebesar Rp 80 miliar untuk menyediakan teknologi, mesin dan sistem pendukungnya. Bagi perusahaan kelapa sawit lain, khususnya yang berskala lebih kecil dari PT. IIS, investasi teknologi PLTBg mungkin terkendala karena keterbatasan biaya. Oleh karena itu, diperlukan dukungan pemerintah agar proyek PLTBg dapat menarik pelaku bisnis dan dapat diterapkan oleh perusahaan kelapa sawit khususnya Provinsi Jambi.

Pembangunan PLTBg Tungkal Ulu berkontribusi dalam pencapaian target SDGs, yaitu SDGs nomor 7.3 yang bertujuan efisiensi energi dan SDGs nomor 12.4 tentang manajemen ramah lingkungan dari bahan kimia dan limbah. PLTBg Tungkal Ulu menghasilkan listrik yang dimanfaatkan dari biogas yang dihasilkan dari limbah POME sejalan dengan tujuan SDGs nomor 7.3. Selain itu, setelah adanya PLTBg, PT. IIS Tungkal Ulu juga berkontribusi terhadap prinsip *zero waste*. Salah satunya, PLTBg mengubah limbah POME menjadi biogas yang menghasilkan energi listrik, sehingga memberikan manfaat bagi lingkungan dan kebersihan, mengurangi pencemaran dengan mengolah limbah organik yang sangat tinggi kadar pencemarannya (USAID, 2016).

Ketidakpastian di masa depan juga harus dipertimbangkan dari keberlanjutan PLTBg Tungkal Ulu. Ketidakpastian secara teknis salah satunya terkait dengan umur proyek. Meskipun PLTBg ini masih tergolong baru, berjalan hampir 4 tahun, namun tetap harus dilakukan sejumlah pemeliharaan dalam menjaga umur proyek. Pemeliharaan teknologi

terlihat dari penggunaan *gas engine* dengan mempertimbangkan hari libur. Selain itu, terdapat jadwal rutin dalam hal pemeliharaan komponen biogas seperti pembersihan rutin *biogas clean* setiap 3 – 6 bulan sekali dan penggantian *sparepart gas engine* setiap 2.000 *hour meter*.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian, beberapa simpulan dapat diambil, emisi *baseline* yaitu emisi sebelum adanya PLTBg Tungkal ulu diestimasi pada tahun 2020 sebesar 44.767,80 t CO₂e, yang bersumber dari 106.267 m³ limbah POME PT. IIS. Jumlah POME berfluktuatif setiap tahunnya, sehingga selain emisi *baseline* BAU (tanpa skenario), penelitian ini mengestimasi emisi *baseline* untuk dua skenario pada kurun 2021-2030. Estimasi emisi pada skenario POME naik (peningkatan POME sebesar 1% per tahun) mencapai 45.135,93 t CO₂e hingga 48.588,36 t CO₂e. Estimasi emisi pada skenario POME turun (penurunan POME sebesar 2% per tahun) diestimasi mencapai 43.988,05 t CO₂e hingga 37.553,97 t CO₂e.

Reduksi emisi GRK adalah selisih emisi *baseline* dengan emisi proyek. Estimasi emisi proyek pada kondisi BAU (tanpa skenario) adalah 15.282,07 t CO₂e di tahun 2020. Emisi proyek pada tahun 2021 hingga 2030 pada skenario POME naik (peningkatan POME sebesar 1% per tahun) dan skenario POME turun (penurunan POME sebesar 2% per tahun) adalah 15.568,66 t CO₂e hingga 18.256,36 t CO₂e dan 14.675,05 t CO₂e hingga 9.666,15 t CO₂e. Potensi reduksi emisi pada kurun 2021 hingga 2030 untuk BAU, skenario POME naik, dan skenario POME turun, adalah 65,86%, 65,51% hingga 62,43%, dan 66,64% hingga 74,26%. Reduksi emisi tersebut menunjukkan bahwa PLTBg berkontribusi terhadap reduksi emisi GRK dalam lingkungan PKS sehingga dapat menjadi bahan pertimbangan yang mendorong pengembangan dan penerapan pengolahan POME yang lebih ramah lingkungan pada perusahaan kelapa sawit serta mendukung peningkatan energi terbarukan melalui pemanfaatan limbah POME.

Proyek PLTBg Tungkal Ulu layak secara finansial untuk harga CER tinggi (€ 0,43 per t CO₂e) dan harga CER rendah (€ 0,17 per t CO₂e) karena telah memenuhi semua kriteria kelayakan. Saat CER tinggi, nilai NPV, BCR dan IRR adalah Rp 18,55 miliar, 1,19 dan 11,46%. Saat CER rendah, nilai NPV, BCR dan IRR adalah Rp 19,65 miliar, 1,21 dan 11,69%. Namun, proyek PLTBg ini berpotensi menjadi tidak layak secara finansial apabila hanya mengandalkan penerimaan dari penjualan CER dikarenakan hal tersebut tidak menutupi biaya operasional per tahun. Oleh karena itu, diperlukan analisis finansial lanjutan dengan mengikutsertakan potensi sumber-sumber penerimaan lain sangat direkomendasikan. Sumber penerimaan tersebut dapat berupa penjualan listrik dari PLTBg yang terhubung ke jaringan PLN dan penjualan cangkang dari adanya listrik PLTBg sebagai pengganti sebagian bahan bakar cangkang di boiler PKS.

Daftar Pustaka

- Ardana, I.K., Kariyasa, K. (2016). Pengaruh Inovasi Teknologi dan Penggunaan Input terhadap Produktivitas Kelapa Sawit di Provinsi Kalimantan Barat. *Jurnal Littri*. 22(3),125-134. doi: 10.21082/littri.v22n3.2016.125-134.
- Ardi, Ezward, C., Pramana, A. (2018). Intensitas Serangan Hama Ulat Api (setora nitens) di Perkebunan Kelapa Sawit (*elaeis guineensis* Jacq) pada Tanaman Menghasilkan (TM) di Desa Simpang Raya Kabupaten Kuantan Singingi. *Primordia*. 14(1), 30-36. doi: 10.37303/.v14i1.36.
- Bank Indonesia (BI). (2021). *Suku Bunga Obligasi Pemerintah RI Seri SBR007 Periode 11 Januari 2021 S.D. 10 April 2021*. Retrieved from <https://www.bi.go.id/id/publikasi/ruang-media/news->

- release/Pages/Suku-Bunga-Obligasi-Pemerintah-RI-Seri-SB R007-Periode-11-Januari-2021-s.d.-10-April-2021.aspx.
- Chin, M.J., Poh, P.E., Tey, B.T., Chan, E.S., Chin, K.L. (2013). Biogas from Palm Oil Mill Effluent (POME): Opportunities and Challenge from Malaysia's Perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 26, 717-726. doi:10.1016/j.rser.2013.06.008.
- Consumer News and Business Channel (CNBC). 2021. *Market Data*. Retrieved from <https://www.cnbcindonesia.com/marketdata/currencies/EURIDR=X/E UR-IDR>.
- Effendy, S., Syarif, A., Tahdid, Trisnaliani. (2018). Biogas Hasil Konservasi Limbah Kotoran Sapi sebagai Bahan Bakar Genset untuk Menghasilkan Energi Listrik Kapasitas 0,3 kWatt. *Prosiding SENIATI*. 4(1), 97-102.
- Febijanto I. 2010a. Pemanfaatan Potensi Gas Metana di Pabrik Kelapa Sawit Sei Silau, PTPN3, Sumatera Utara. *Jurnal Teknik Teknologi Lingkungan*. 11(3):459-474. doi:10.29122/jtl.v11i3.1192.
- Febijanto I. 2010b. Pengurangan GRK dari Limbah Cair di Pabrik Kelapa Sawit Pinang Tinggi, Jambi dengan CDM. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*. 6(3):275- 290.
- Febijanto I. 2010c. Potensi Penangkapan Gas Metana dan Pemanfaatan sebagai Bahan Bakar Pembangkit Listrik di PTPN VI Jambi. *Jurnal Ilmiah Teknologi Energi*. 1(10):30-47. 57
- Febijanto I. 2017. Pemanfaatan Gas Metana dari Limbah Cair Sebagai Sumber Energi. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)*. doi.org/10.21009/03.SNF2017.02.ERE.05.
- Febijanto, I. (2018). Optimalisasi Pemanfaatan Gas Metana sebagai Sumber Energi di Pabrik Kelapa Sawit. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 19(1), 49-60. doi: 10.29122/jtl.v19i1.2071.
- Götze, U., Northcott, D., Schuster, P. (2008). *Investment appraisal: Methods and models*. Berlin: Springer.
- Gusrawaldi, M., Parinduri, L., Sulitiawati. (2020). Perencanaan Pemanfaatan Limbah Cair untuk Pembangkit Listrik Pabrik Kelapa Sawit. *Journal of Electrical Technology*. 5(1), 38-42.
- Intercontinental Exchange (ICE). (2021). *CER Daily Future*. Retrieved from <https://www.theice.com/products/26238355/CER-Daily-Futures/data>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis Full Report Intergovernmental Panel on Climate Change*. Retrieved from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4_wg1_full_report-1.pdf.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). *Climate Change 2014 AR5 Synthesis Report Intergovernmental Panel on Climate Change*. Retrieved from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). (2017). *Indonesia Third National Communication*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). (2006). *Panduan Kegiatan MPB di Indonesia*. Jakarta: CV. Avisindo Pratama.
- Khaira, T.F. (2007). *Clean Development Mechanism : Peluang Bagi Indonesia*. Institut Pertanian Bogor.
- Perusahaan Listrik Negara (PLN). (2021). *Tarif Listrik Triwulan 1 2021 Tidak Naik*. Retrieved from <https://web.pln.co.id/media/siaran-pers/2021/01/tarif-listrik-triwulan-1-2021-tidak-naik>.
- Republik Indonesia. Peraturan Daerah Provinsi Jambi Nomor 13 Tahun 2019 tentang Rencana Umum Energi Daerah Provinsi Tahun 2019-2050.
- Republik Indonesia. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2016 tentang Pengesahan Paris Agreement to The United Nations Framework Convention on Climate Change.
- Roundtable on Sustainable Palm Oil (RSPO). (2006). *Prinsip dan Kriteria RSPO Untuk Produksi Minyak Sawit Berkelanjutan*. Dokumen Panduan.
- Sari, D.A.P., Mutaqin, P.A.Z., Pawenary, Majlan, E.H. (2019). Methane Capture Installation for Greenhouse Gasses Emission Reduction in Palm Oil Mill. *Journal of Advance in Dynamical & Control System*. 11(7), 459-464. doi: 10.31227/osf.io/n5x3j.
- Sinaga N., Nasution, S.B., Mel, M. (2018). Process Optimization of Biogas Production from Palm Oil Mill Effluent: A Case Study of a Crude Palm Oil Factory in Muaro Jambi, Indonesia. *Journal of advanced research in fluid mechanics and thermal sciences*. 49(2), 155-169.

- Sugiyono, A., Adiarso, Dewi, R.E.P., Yudiartono, Wijono, A., Larasati, N. (2019). Analisis Keekonomian Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dari POME dengan Continuius Stirred Tank Reactor (CSTR). *Jurnal M.I.P.I.* 13(1), 75-84. doi: 10.29122/mipi.v13i1.3232.
- Suprihatin. (2019). Emisi GRK Akibat Dekomposisi Anaerobik Limbah Cair Industri Minyak Kelapa Sawit dan Alternatif Penaggulungannya. Institut Pertanian Bogor.
- Sylvia, N., Husin, H., Muslim, A., Yunardi. (2020). Analisa Pengaruh Rasio Serat dan Cangkang dengan Udara Berlebih terhadap Emisi Proses Pembakaran pada Boiler Pabrik Kelapa Sawit. *Journal of Mechanical Engineering.* 4(2), 21–28. doi: 10.31002/jom.v4i2.3413.
- United Nations Framework Convention Climate Change (UNFCCC). (2008). *Kyoto Protocol Reference Manual on Accounting of Emissions and Assigned Amount.* Jerman: United Nations Framework Convention Climate Change.
- United States Agency for International Development (USAID). (2016). *Pembiayaan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas.* Otoritas Jasa Keuangan.
- Wang, Y., Geng, S., Zhao, P., Du, H., He, Y., Crittenden, J. (2016). Cost-benefit analysis of GHG Emission Reduction in Waste to Energy Project of China under Clean Development Mechanism. *Resource, Concervation and Recycling.* 109, 90-95. doi: 10.1016/j.resconrec.2016.02.010.
- Wijono, A. (2017). Dampak Pengurangan Emisi GRK pada Pemanfaatan POME untuk Pembangkit. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2017.* Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Yulastri, Hazmi, A., Desmiarti, R. (2013). Aplikasi Plasma dengan Metoda Dielectric Barrier Discharge (DBD) untuk Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit. *Jurnal Nasional Teknik Elektro.* 2(2), 46-50. doi.org/10.25077/jnte.v2n2.85.2013.