

Potensi Reduksi Emisi Gas Rumah Kaca dan Kelayakan Finansial dari Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Cisalimar, Jawa Barat

Siti Allifah dan Pini Wijayanti

Departemen Ekonomi Sumberdaya dan Lingkungan, Fakultas Ekonomi dan Manajemen, Institut Pertanian Bogor, e-mail: pini.wijayanti@apps.ipb.ac.id

ABSTRAK

Aktivitas terkait sektor energi telah meningkatkan emisi gas rumah kaca (GRK) dan suhu global. Implementasi *green energy* sebagai upaya mitigasi pengurangan emisi GRK sangat diperlukan untuk mengurangi dampak negatif dari perubahan iklim, namun umumnya membutuhkan biaya yang tinggi. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) merupakan salah satu upaya *green energy* yang mendukung pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs) di pedesaan. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi potensi emisi GRK sebelum adanya proyek PLTMH Cisalimar dan reduksi emisi GRK setelah adanya proyek PLTMH Cisalimar, serta menganalisis kelayakan finansial PLTMH tersebut. Metode *Clean Development Mechanism* (CDM) digunakan untuk mengestimasi potensi reduksi emisi GRK dan analisis kelayakan finansial untuk mengevaluasi kelayakan finansial proyek PLTMH. Hasil penelitian menunjukkan emisi GRK sebelum adanya proyek PLTMH adalah 25,50 t CO₂ per tahun pada tahun 2005 dan berpotensi meningkat hingga 34,39 t CO₂ per tahun pada tahun 2030. PLTMH Cisalimar berpotensi dalam mereduksi emisi GRK sebesar 99,87% hingga 99,91% pada kurun 2005-2030. Namun, upaya tersebut membutuhkan total biaya sebesar Rp1,09 miliar. Jika melihat aspek finansial semata, PLTMH Cisalimar tidak layak karena biaya investasi yang tinggi, namun pembangunan PLTMH sejenis patut dipertimbangkan karena berpotensi dalam reduksi emisi GRK dan berkontribusi dalam pencapaian pembangunan pedesaan yang berkelanjutan.

Kata kunci: CDM, kelayakan finansial, PLTMH, perubahan iklim, SDGs

ABSTRACT

The energy sector related activities have increased greenhouse gas (GHG) emissions and global temperatures. The implementation of green energy as mitigation efforts to reduce GHG emissions are required to reduce the negative impacts of climate change, but they are costly. Micro Hydro Power Plant (MHP) is one of green energy that supports the Sustainable Development Goals (SDGs) in rural areas. This study aims to estimate the potential GHG emissions prior the establishment of Cisalimar MHP project, the GHG emission reduction after the project, and to analyze the financial feasibility of the project. The Clean Development Mechanism (CDM) method is used to estimate the potential for GHG emission reductions, meanwhile the financial feasibility is employed to evaluate the financial feasibility of the project. The results show that GHG emissions without the MHP project were 25,50 t CO₂ per year in 2005 and may increase to 34,39 t CO₂ per year in 2030. Cisalimar MHP can reduce GHG emissions from 99,87% to 99,91% within the period of 2005-2030. However, such emission reduction requires a considerable cost i.e., USD 76.044,11. Financially, Cisalimar MHP is not feasible due to high investment costs but can reduce GHG emissions as well as contribute to the achievement of SDGs in remote villages.

Keywords: CDM, climate change, financial feasibility, MHP, SDGs

Citation: Allifah, S., Wijayanti, P., (2022). Potensi Reduksi Emisi Gas Rumah Kaca dan Kelayakan Finansial dari Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Cisalimar, Jawa Barat. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(4), 900-911 doi:10.14710/jil.20.4.900-911

1. Pendahuluan

Sektor energi berperan sangat penting untuk kesejahteraan manusia dan pembangunan ekonomi yang pada akhirnya berkontribusi pada pertumbuhan ekonomi (Shahsavari dan Akbari, 2018). Pertambahan penduduk dan pertumbuhan ekonomi diproyeksikan akan meningkatkan permintaan energi di Indonesia dengan rata-rata pertumbuhan permintaan sebesar 5% per tahun, dengan didominasi oleh energi listrik di tahun 2050 (DEN, 2019). Hal ini berpotensi semakin

meningkatkan emisi gas rumah kaca (GRK) karena mayoritas energi listrik masih dihasilkan dari pembangkit listrik berbasis fosil (KESDM, 2016; DEN, 2019).

Sejalan dengan kebijakan pembangunan rendah karbon, pemerintah Indonesia sudah mulai menaruh perhatian pada energi berkelanjutan (*green energy*) salah satunya dapat dilakukan melalui penggunaan teknologi bersih; dan meningkatkan diversifikasi energi baru dan terbarukan (Bappenas, 2014).

Sebagai negara tropis, Indonesia memiliki kelimpahan sumber daya energi terbarukan dari

tenaga surya, sumber air, dan panas bumi yang sangat besar. Namun, pemanfaatannya masih terbatas. Padahal sumber energi terbarukan tersebut dapat memenuhi kebutuhan lokal (*off grid*). Pemerintah terus berupaya memperkuat pasokan serta meningkatkan bauran energi dengan meningkatkan porsi gas, panas bumi dan energi terbarukan. Bauran energi tidak saja untuk meningkatkan ketahanan penyediaan namun juga untuk memanfaatkan dan menyediakan pasokan energi sesuai kondisi lokal serta meningkatkan energi bersih (Bappenas, 2014).

Peningkatan emisi GRK di atmosfer telah memicu kenaikan suhu sekitar 0,6°C hingga 0,8°C secara global (Bloomfield *et al.*, 2003; Akella *et al.*, 2009). Kenaikan suhu disebabkan oleh penebalan selubung GRK sehingga meningkatkan radiasi yang terperangkap, salah satunya dipicu oleh aktivitas antropogenik berupa penggunaan bahan bakar fosil (Fisher *et al.*, 2004; Tampubolon *et al.*, 2021).

Guna mengatasi dampak perubahan iklim, sebanyak 150 lebih negara bertemu di Kyoto, Jepang pada Desember 1997 untuk menyelesaikan negosiasi perjanjian Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) dalam mengurangi emisi GRK (Bloomfield *et al.*, 2003). Pertemuan tersebut menghasilkan Protokol Kyoto yang menargetkan pengurangan emisi GRK untuk mengatasi perubahan iklim (Bhatti *et al.*, 2010). Protokol Kyoto menargetkan pengurangan enam jenis GRK yang meliputi karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), nitrat oksida (N₂O), hidroflorokarbon (HFCs), perflorokarbon (PFCs), dan sulfur heksaflorida (SF₆) (KLH, 2006).

Protokol Kyoto berisi tiga jenis mekanisme pengurangan emisi GRK, yaitu *Emissions Trading* (ET), *Joint Implementation* (JI), dan *Clean Development Mechanism* (CDM) (Fisher *et al.*, 2004). CDM merupakan satu-satunya mekanisme fleksibel yang melibatkan negara berkembang (Philibert, 2000), karena CDM menjadi mekanisme yang membantu negara industri mencapai komitmen pengurangan emisi GRK dan membantu negara berkembang dalam mencapai pembangunan berkelanjutan (KLH, 2006).

Terkait sektor energi, CDM menjadi mekanisme dalam pengurangan emisi GRK. Emisi GRK pada sektor energi dihasilkan dari pembakaran bahan bakar dan emisi *fugitive* (KLH, 2012). Hal itu meningkatkan 37% akumulasi CO₂ di atmosfer melalui pembangkit tenaga listrik yang umumnya berbahan bakar fosil (EIA, 2000 dalam Bloomfield *et al.*, 2003).

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) menyatakan Indonesia sebagai negara berkembang perlu berkontribusi dalam penurunan emisi GRK berkisar antara 15% dan 30% dari skenario *Business as Usual* (BAU) (KLH, 2006; Bappenas, 2011). Upaya mitigasi tersebut dibutuhkan untuk membatasi peningkatan suhu global lebih kecil dari 2°C di bawah tingkat era

praindustri (KLH, 2006; Bappenas, 2011). Target mitigasi perubahan iklim dengan pengurangan emisi GRK Indonesia di tahun 2030 adalah sebesar 29% dengan kemampuan sendiri (*unconditional*) sampai 41% dengan bantuan internasional (*conditional*) (LAN, 2018).

Sektor energi di Indonesia memiliki potensi dalam proyek CDM. Potensi tersebut diperkirakan sekitar 2,1% dari 1.200 juta ton CO₂ per tahun dengan harga USD 1,83 per t CO₂ (KLH, 2006). Salah satu teknologi di sektor energi yang berpotensi dalam CDM adalah pembangkit listrik yang dapat mengurangi emisi GRK dengan tiga pilihan teknologi utama, yaitu efisiensi dalam pembangkit listrik, pergantian bahan bakar dalam pembangkit listrik, serta penangkapan dan penyimpanan karbon (Fisher *et al.*, 2004). Khususnya pada sektor energi di Indonesia, teknologi mitigasi GRK dapat menggunakan sumber daya energi terbarukan, seperti panas bumi, tenaga air, dan angin (KLH, 2006).

Kerangka kerja kebijakan untuk menangani potensi ancaman dari perubahan iklim akibat aktivitas manusia harus memenuhi kriteria efektif secara lingkungan, efisien secara ekonomi, dan pemerataan (Fisher *et al.*, 2004). Upaya pengurangan konsentrasi emisi GRK di atmosfer dilakukan dengan melibatkan seluruh penghasilan emisi utama untuk mencapai tujuan lingkungan secara efektif. Upaya tersebut dapat dilakukan dengan kebijakan yang efisien secara ekonomi, yaitu menggunakan biaya yang rendah. Kerangka kebijakan yang dibentuk memerhatikan keadilan bagi setiap negara dengan cara konsisten pada pembangunan ekonomi yang berkelanjutan, tidak ada paksaan, dan memfasilitasi teknologi bagi negara berkembang. Pembangunan ekonomi yang berkelanjutan membutuhkan ketersediaan akses pada sumber daya yang dibutuhkan, khususnya akses energi di negara berkembang (Fisher *et al.*, 2004). Hal tersebut membutuhkan kebijakan energi yang efektif untuk mencapai pembangunan berkelanjutan (Spalding *et al.*, 2005).

Salah satu tantangan pada sektor energi di Indonesia adalah peningkatan akses listrik khususnya daerah terpencil terkait aspek geografis dan kualitas listrik yang dihasilkan. Daerah pedesaan terpencil dan sulit dijangkau menyebabkan penyediaan listrik dari penyedia layanan energi tidak ekonomis sehingga ketersediaan listrik di daerah tersebut terbatas (IESR, 2017). Selain itu, masyarakat di daerah pedesaan yang sudah memiliki akses listrik belum menerima listrik dengan kualitas yang mencukupi, dimana aliran listrik yang hanya tersedia beberapa jam dan bertegangan rendah (IESR, 2019).

Ketersediaan akses listrik menjadi faktor penting untuk pembangunan pedesaan yang berkelanjutan. Keterbatasan akses listrik menyebabkan masyarakat pedesaan bergantung pada bahan bakar yang tidak

berkelanjutan, seperti kayu bakar untuk memasak dan minyak tanah untuk penerangan (Rao, 2012; Kong *et al.*, 2015). Tingkat penggunaan kayu bakar untuk aktivitas sehari-hari seperti memasak masih tinggi di wilayah pedesaan, contohnya di Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat.

Kabupaten Sukabumi merupakan wilayah di Jawa Barat yang memiliki tingkat penggunaan kayu bakar sebagai bahan bakar utama untuk memasak yang tinggi. BPS Provinsi Jawa Barat (2021) menunjukkan persentase penggunaan kayu bakar untuk memasak di Kabupaten Sukabumi tahun 2020 sebesar 18,14%. Angka tersebut berada di atas rata-rata seluruh wilayah di Provinsi Jawa Barat, yaitu sebesar 7,80%. Penggunaan kayu bakar oleh masyarakat pedesaan sulit diganti secara keseluruhan dengan jenis energi lain karena daya beli masyarakat rendah dan sulit memperoleh pekerjaan lain selain usahatani (Dwiprabowo, 2010).

Pembangunan berkelanjutan merupakan pembangunan yang memerhatikan aspek lingkungan dan sosial selain aspek ekonominya. Pembangunan berkelanjutan menjadi tujuan dari proyek CDM di negara berkembang. Salah satu proyek CDM di negara berkembang adalah proyek CDM berskala kecil, yang diharapkan dapat mendukung pembangunan berkelanjutan pada masyarakat lokal di pedesaan. Namun, proyek CDM berskala kecil sulit dikembangkan karena memiliki biaya yang tinggi dan menghasilkan kredit yang rendah (KLH, 2006).

Salah satu proyek CDM skala kecil adalah proyek energi terbarukan berkapasitas ≤ 15 MW (KLH, 2006). Proyek CDM skala kecil mendorong efisiensi energi, membantu pemenuhan kebutuhan energi masyarakat pedesaan, mengentaskan kemiskinan, dan mendorong pembangunan berkelanjutan khususnya di wilayah pedesaan (Purohit, 2008). PLTMH menjadi salah satu proyek energi terbarukan skala kecil yang dapat mendukung pembangunan berkelanjutan di pedesaan.

PLTMH berpotensi untuk dikembangkan di Indonesia, khususnya di wilayah pedesaan. Hal ini disebabkan oleh Indonesia memiliki wilayah pegunungan dengan mata air mengalir seperti air sungai (Pranoto *et al.*, 2018). Potensi listrik yang dapat dihasilkan oleh PLTMH di Indonesia adalah sebesar 769,69 MW, namun hanya sebesar 29,75% yang baru dimanfaatkan oleh masyarakat di tahun 2013. Salah satu provinsi di Indonesia yang berpotensi dalam pengembangan PLTMH adalah Jawa Barat dengan potensi sebesar 1,89 MW (LIPI, 2017).

Teknologi PLTMH berpotensi mengurangi emisi GRK. Hal ini menjadi salah satu parameter pemerintah untuk mengukur tingkat keberhasilan pengembangan PLTMH (LIPI, 2017). Adanya potensi pengurangan emisi tersebut menunjukkan bahwa pengembangan PLTMH berdampak positif pada lingkungan sehingga mendukung pembangunan berkelanjutan (Okot, 2013).

PLTMH dinilai andal dan ekonomis untuk kondisi tertentu namun memiliki berbagai hambatan dalam pengembangannya. Teknologi PLTMH lebih kompetitif karena menggunakan sumber daya lokal di wilayah pedesaan tetapi terkendala dalam dukungan investasi dan teknologi. Keterbatasan dana investasi untuk pembangunan PLTMH disebabkan oleh terbatasnya dukungan dari pemerintah dalam menyediakan anggaran pembangunan proyek tersebut. Selain itu, keterbatasan alat atau mesin di pasar menyebabkan pengelola sulit untuk melakukan perbaikan atau penggantian komponen PLTMH (LIPI, 2017). Sehingga, studi kelayakan diperlukan untuk mengevaluasi kelayakan dalam pengembangan proyek (Boedoyo dan Sugiyono, 2010).

Penelitian ini secara umum bertujuan untuk mengestimasi potensi pengurangan emisi GRK dari proyek PLTMH. Tujuan umum tersebut dapat dicapai dengan menjawab tiga tujuan khusus, yaitu 1) mengestimasi potensi emisi GRK sebelum adanya proyek PLTMH, 2) mengestimasi potensi reduksi emisi GRK setelah adanya proyek PLTMH, 3) menganalisis kelayakan finansial proyek PLTMH.

2. Metode

2.1. Lokasi penelitian

Penelitian dilaksanakan di Dusun Pandan Arum, Desa Cipeteuy, Kecamatan Kabandungan, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat. Penelitian ini dimulai dari bulan Juli 2020 hingga Maret 2021.

2.2. Metode Pengolahan dan Analisis Data

Metode analisis yang digunakan untuk mengestimasi potensi emisi GRK adalah CDM dari UNFCCC. Pengurangan emisi GRK diestimasi dengan metode AMS-IA untuk proyek skala kecil (UNFCCC, 2019). AMS-IA merupakan metode untuk "electricity generation by the user (pembangkit listrik oleh pengguna)" versi 17 dengan tipe *renewable energy* dan cakupan energi untuk rumah tangga dan bangunan. Metode ini digunakan untuk proyek pembangkit listrik terbarukan, seperti tenaga surya, hidro, angin atau gasifikasi biomassa yang diimplementasikan oleh pengguna sebagai instalasi baru atau penggantian pembangkit listrik berbahan bakar fosil yang ada di lokasi (UNFCCC, 2019). Reduksi emisi (ER_y) diformulasikan sebagai berikut:

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

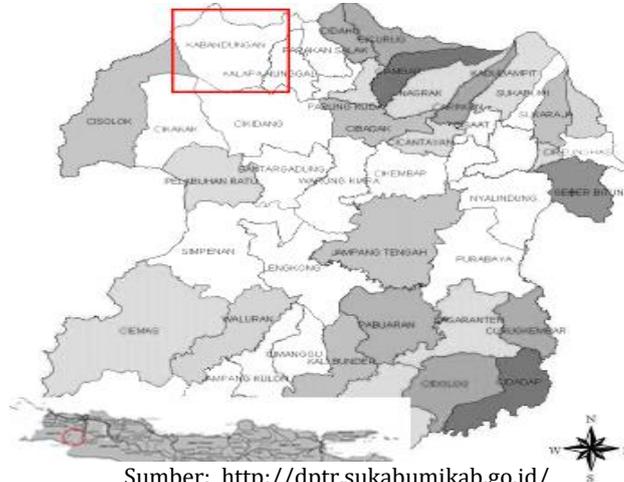
dimana:

- ER_y : reduksi emisi GRK di tahun y ($t\ CO_2 e$),
- BE_y : emisi GRK *baseline* di tahun y ($t\ CO_2 e$),
- PE_y : emisi GRK proyek di tahun y ($t\ CO_2 e$).

Metode CDM mensyaratkan *project boundary* (batasan proyek) yang jelas. Batasan proyek merujuk pada jangkauan spasial dari batas proyek

termasuk fisik, lokasi geografis dari unit pembangkit listrik yang dapat diperbarui, dan teknologi yang digunakan dalam memproduksi listrik. Batasan proyek PLTMH Cisalimar adalah pemenuhan kebutuhan listrik masyarakat Dusun Pandan Arum dengan jumlah pengguna listrik sebanyak 70 kepala

keluarga (KK). Durasi pemakaian listrik yang digunakan terdiri atas dua kondisi, yaitu durasi pemakaian listrik selama 15 jam mulai pukul 16.00 WIB hingga pukul 07.00 WIB pagi keesokan harinya selain hari Jumat dan hari Jumat selama 24 jam.



Sumber: <http://dptr.sukabumikab.go.id/>
Lokasi wilayah proyek PLTMH ditandai dengan garis berwarna merah

Gambar 1 Lokasi Proyek PLTMH

2.3. Emisi baseline (kondisi awal)

Emisi *baseline* adalah emisi pada kondisi BAU atau emisi yang dihasilkan dari layanan dengan teknologi berbasis bahan bakar fosil, contohnya lampu minyak tanah dan generator diesel sebelum adanya proyek (UNFCCC, 2019). Sumber emisi *baseline* dalam penelitian ini adalah penggunaan bahan bakar yang tidak ramah lingkungan, yaitu kayu bakar dan minyak tanah yang digunakan masyarakat untuk penerangan di malam hari dan memasak nasi. Jenis emisi GRK yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar tersebut adalah CO₂. Estimasi emisi *baseline* diformulasikan sebagai berikut:

$$BE_y = BE_{mt,j,y} + BE_{kb,j,y} \quad (2)$$

- dimana:
- BE_y : emisi GRK *baseline* di tahun y (t CO₂ e),
 - $BE_{mt,j,y}$: emisi CO₂ dari pembakaran minyak tanah dalam proses j pada tahun y (t CO₂),
 - $BE_{kb,j,y}$: emisi CO₂ dari pembakaran kayu bakar dalam proses j pada tahun y (t CO₂).

Emisi *baseline* yang dihasilkan dari penggunaan minyak tanah diestimasi menggunakan *Tool 03 "tool to calculate project or leakage CO₂ emissions from fossil fuel combustion* (alat untuk menghitung emisi CO₂ proyek atau kebocoran dari pembakaran bahan bakar fosil) versi 3. $BE_{mt,j,y}$ diformulasikan sebagai berikut:

$$BE_{mt,j,y} = \sum_j^J FC_{mt,j,y} \times COEF_{mt,y} \quad (3)$$

- dimana:
- $FC_{mt,j,y}$: jumlah minyak tanah yang dibakar pada proses j pada tahun y (satuan massa atau volume / tahun),
 - $COEF_{mt,y}$: koefisien emisi CO₂ minyak tanah pada tahun y (t CO₂ / massa atau unit volume)
 - j : proses yang menggunakan minyak tanah.

$COEF_{mt,y}$ dihitung dengan rumus:

$$COEF_{mt,y} = NCV_{mt,y} \times EF_{CO_2,mt,y} \quad (4)$$

- dimana:
- $NCV_{mt,y}$: nilai kalor netto rata-rata tertimbang minyak tanah pada tahun y (TJ/kg),
 - $EF_{CO_2,mt,y}$: faktor emisi CO₂ rata-rata tertimbang minyak tanah pada tahun y (kg CO₂/ TJ).

Emisi *baseline* yang dihasilkan oleh penggunaan kayu bakar diestimasi menggunakan *Tool 03 "tool to calculate project or leakage CO₂ emissions from fossil fuel combustion* (alat untuk menghitung emisi CO₂ proyek atau kebocoran dari pembakaran bahan bakar fosil) versi 3. Formulasi $BE_{kb,i,y}$ adalah:

$$BE_{kb,i,y} = \sum_j^J FC_{kb,j,y} \times COEF_{kb,y} \quad (5)$$

dimana:

- $FC_{kb,j,y}$: jumlah kayu bakar yang dibakar pada proses j pada tahun y (satuan massa atau volume / tahun),
 $COEF_{mt,y}$: koefisien emisi CO₂ kayu bakar pada tahun y (t CO₂ / massa atau unit volume),
 j : proses yang menggunakan minyak tanah.

$COEF_{kb,y}$ dihitung dengan rumus:

$$COEF_{kb,y} = NCV_{kb,y} \times EF_{CO_2, kb,y} \quad (6)$$

dimana:

- $NCV_{kb,y}$: nilai kalor netto rata-rata tertimbang kayu bakar pada tahun y (TJ/kg),
 $EF_{CO_2, kb,y}$: faktor emisi CO₂ rata-rata tertimbang kayu bakar pada tahun y (kg CO₂/ TJ).

2.4. Emisi Proyek

Emisi proyek adalah emisi GRK yang dihasilkan dari penerapan teknologi energi terbarukan misalnya, tenaga surya untuk penerangan dan baterai angin pengisi daya untuk menyalakan peralatan domestik (UNFCCC, 2019). Emisi proyek bersumber dari aktivitas setelah adanya proyek pengurangan emisi GRK. Sumber emisi proyek dalam penelitian ini hanya berasal dari penggunaan pelumas dalam proses produksi listrik di PLTMH Cisalimar. Jenis emisi GRK yang dihasilkan dari proses tersebut adalah CO₂.

Emisi proyek (PE_y) pada penelitian ini diestimasi menggunakan Tool 03 "tool to calculate project or leakage CO₂ emissions from fossil fuel combustion (alat untuk menghitung emisi CO₂ proyek atau kebocoran dari pembakaran bahan bakar fosil)" versi 35. PLTMH Cisalimar tidak menggunakan BBM dalam proses produksi listrik, tetapi menggunakan pelumas. Karena itu, emisi proyek hanya mengestimasi emisi GRK dari penggunaan pelumas pada tahun y (PE_y) yang diformulasikan sebagai berikut:

$$PE_y = PE_{lub,j,y} \quad (7)$$

$PE_{lub,j,y}$ dihitung dengan formula:

$$PE_{lub,j,y} = \sum_j FC_{lub,j,y} \times COEF_{lub,y} \quad (8)$$

dimana:

- $FC_{lub,j,y}$: jumlah pelumas yang digunakan pada proses j pada tahun y (satuan massa atau volume / tahun),
 $COEF_{lub,y}$: koefisien emisi CO₂ pelumas pada tahun y (t CO₂ / massa atau unit volume),
 j : proses yang menggunakan pelumas.

$COEF_{lub,y}$ dihitung dengan rumus:

$$COEF_{lub,y} = NCV_{lub,y} \times EF_{CO_2, lub,y} \quad (9)$$

dimana:

- $NCV_{lub,y}$: nilai kalor netto rata-rata tertimbang pelumas pada tahun y (TJ/kg),
 $EF_{CO_2, lub,y}$: faktor emisi CO₂ rata-rata tertimbang pelumas pada tahun y (kg CO₂/ TJ).

2.5. Analisis Kelayakan Finansial

Analisis kelayakan finansial menggunakan analisis arus kas (*cash flow*), *Return on Investment* (ROI), dan studi kelayakan. Arus kas mengevaluasi arus kas masuk dan arus kas keluar dari proyek PLTMH. Arus kas masuk meliputi uang yang masuk dari penerimaan penjualan listrik pada masyarakat. Arus kas keluar mencakup uang yang dikeluarkan untuk biaya investasi serta biaya operasional dan pemeliharaan. Selisih dari arus masuk dan keluar dalam penelitian ini merepresentasikan laba tahunan. Oleh karena itu, laba di tahun y , π_y , diformulasikan sebagai berikut (Gotze *et al.*, 2008):

$$\pi_t = \sum_{b=1}^{12} Rev_{b,y} - Exp_{b,y} \quad (10)$$

dimana:

- $Rev_{b,y}$: penerimaan pada bulan b di tahun y (Rp),
 $Exp_{b,y}$: biaya-biaya pada bulan b di pada tahun y (Rp).

Kinerja investasi dapat diukur dengan menggunakan ROI (Phillips dan Phillips, 2010). ROI dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$ROI_{periode\ tahun\ y} = \frac{\sum_{y=1}^Y \pi_y}{biaya\ investasi} \times 100\% \quad (11)$$

Studi kelayakan dievaluasi dengan menggunakan *Net Present Value* (NPV), Rasio Biaya Manfaat (*Benefit-Cost Ratio* atau BCR), dan tingkat pengembalian internal (*Internal Rate of Return* atau IRR). Arus kas masa depan yang dihitung pada tahun pertama harus mempertimbangkan nilai waktu dari uang yang bisa disebut NPV. Oleh karena itu, NPV adalah selisih antara nilai kini dari arus kas masuk pada tahun y , $PVRev_y$, dan nilai kini dari arus kas keluar pada tahun y , $PVExp_y$, selama periode waktu $[0,Y]$, sebagai berikut:

$$NPV = \sum_{y=0}^Y PVRev_y - \sum_{y=0}^Y PVExp_y \quad (12)$$

BCR adalah rasio $PVRev_y$ terhadap $PVExp_y$, selama $[0,Y]$, yang menunjukkan jumlah manfaat yang dikembalikan untuk setiap satu rupiah yang diinvestasikan. BCR diformulasikan sebagai berikut (Phillips dan Phillips, 2010):

$$BCR = \frac{\sum_{y=0}^Y PV Rev_y}{\sum_{y=0}^Y PV Exp_y} \quad (13)$$

$PV Rev_y$ dan $PV Exp_y$ diformulasikan sebagai berikut:

$$PV Rev_y = \frac{1}{(1+r)^y} \times \sum_{m=1}^{12} Rev_{b,y} \quad (14)$$

$$PV Exp_y = \frac{1}{(1+r)^y} \times \sum_{b=1}^{12} Exp_{b,y} \quad (15)$$

dimana r adalah suku bunga (% per tahun).

IRR adalah persentase tingkat pengembalian yang dihitung untuk setiap tahun yang diinvestasikan. IRR adalah tingkat suku bunga yang membuat NPV sama dengan nol. IRR bergantung pada formula yang sama dengan NPV (Gotze *et al.*, 2008). Hasil dari analisis tersebut dielaborasi dengan hasil dari estimasi potensi reduksi emisi GRK untuk memperluas proyek yang sudah ada, mendapatkan persetujuan untuk pendanaan proyek, dan mendapatkan hibah (Barrow *et al.*, 1998).

2.6. Jenis dan Sumber Data

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer dan sekunder. Data primer

diperoleh dengan proses wawancara responden yang merupakan penduduk di daerah setempat dengan menggunakan kuesioner terstruktur untuk mendapatkan informasi penggunaan bahan bakar dalam menghasilkan energi. Data primer juga diperoleh dengan wawancara pada aparat pemerintahan desa dan pihak pengelola proyek PLTMH Cisalimar guna memperoleh data detail mengenai operasional PLTMH Cisalimar.

Data sekunder yang digunakan untuk penelitian ini meliputi beberapa nilai parameter yang digunakan untuk estimasi emisi GRK dan gambaran umum lokasi penelitian. Data ini diperoleh melalui berbagai sumber data yang relevan berupa buku referensi seperti buku statistik PLN, *IPCC Guidelines on National GHG Inventories*, buku statistik BPS Kabupaten Sukabumi, buku teks, jurnal ilmiah, dan berita *online*.

Rincian parameter, unit, dan sumber data pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1. Sumber data dari pengamatan yang tercantum pada Tabel 1 berupa wawancara pada responden, yaitu rumah tangga dan pengelola proyek. Selanjutnya, standar nilai berupa nilai parameter yang tersedia pada *IPCC Guidelines on National GHG Inventories*.

Tabel 1 Parameter, unit, dan sumber data

No	Parameter	Unit	Sumber data	Keterangan
1	$FC_{mt,j,y}$	kg/tahun	Pengamatan	Survei rumah tangga
2	$NCV_{mt,y}$	TJ/kg	Standar nilai	Nilai = $43,8 \times 10^{-6}$ (IPCC, 2006)
3	$EF_{CO_2,mt,y}$	kg CO ₂ / TJ	Standar nilai	Nilai= 71.900 (IPCC, 2006)
4	$FC_{kb,j,y}$	kg/tahun	Pengamatan	Survei rumah tangga
5	$NCV_{kb,y}$	TJ/kg	Standar nilai	Nilai= $15,6 \times 10^{-6}$ (IPCC, 2006)
6	$EF_{CO_2,kb,y}$	kg CO ₂ / TJ	Standar nilai	Nilai= 112.000 (IPCC, 2006)
7	$FC_{lub,j,y}$	kg/tahun	Pengamatan	Survei ke lokasi proyek
8	$NCV_{lub,y}$	TJ/kg	Standar nilai	Nilai = $40,2 \times 10^{-6}$ (IPCC, 2006)
9	$EF_{CO_2,lub,y}$	kg CO ₂ / TJ	Standar nilai	Nilai= 112.000 (IPCC, 2006)
10	$Rev_{b,y}$	Rupiah	Pengamatan	Survei ke lokasi proyek
11	$Exp_{b,y}$	Rupiah	Pengamatan	Survei ke lokasi proyek

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Potensi Emisi GRK sebelum adanya Proyek PLTMH

Emisi *baseline* terdiri atas emisi GRK yang dihasilkan dari pembakaran kayu bakar dan minyak tanah, yang merupakan bahan bakar yang digunakan oleh masyarakat Dusun Pandan Arum sebelum adanya listrik dari PLTMH Cisalimar. Minyak tanah digunakan untuk memasak nasi dengan kompor minyak dan penerangan di malam hari dengan lampu minyak tanah. Perkiraan jumlah minyak tanah yang digunakan masyarakat Dusun Pandan Arum untuk memasak nasi adalah sebesar 397,97 liter per tahun. Jumlah tersebut lebih kecil

dibandingkan dengan penggunaan minyak tanah untuk penerangan di malam hari. Penerangan di malam hari membutuhkan minyak tanah dengan perkiraan sebesar 7986,55 liter per tahun. Kedua aktivitas ini berpotensi menghasilkan emisi GRK sebesar 21,12 t CO₂ per tahun.

Kayu bakar menjadi bahan bakar utama untuk aktivitas memasak nasi sebelum adanya listrik dari PLTMH Cisalimar. Penggunaan kayu bakar dalam aktivitas memasak nasi menghasilkan emisi GRK dalam proses pembakarannya. Berdasarkan survei, perkiraan jumlah kayu bakar yang digunakan masyarakat untuk memasak nasi adalah sebesar

5585,12 kg per tahun. Aktivitas tersebut berpotensi menghasilkan emisi GRK sebesar 9,76 t CO₂ per tahun. Berdasarkan perkiraan tersebut, total potensi emisi GRK sebelum adanya proyek PLTMH Cisalimar (emisi *baseline*) yang dihasilkan dari penggunaan minyak tanah dan kayu bakar adalah sebesar 30,88 t CO₂ per tahun.

Penggunaan minyak tanah dan kayu bakar oleh masyarakat Dusun Pandan Arum menghasilkan emisi GRK cukup besar. Hal ini telah ditemukan pada penelitian sebelumnya bahwa penggunaan bahan bakar tersebut akan berdampak negatif terhadap lingkungan (Sapkota *et al.*, 2014). Penggunaan bahan bakar sebagai energi, khususnya untuk memasak di pedesaan biasanya menggunakan bahan bakar yang tidak efisien dan menimbulkan polusi yang tinggi (Imran dan Ozcatalbas, 2020). Oleh sebab itu, teknologi yang lebih rendah emisi dibutuhkan untuk mereduksi emisi GRK yang dihasilkan oleh penggunaan bahan bakar tersebut.

3.2. Potensi Reduksi Emisi GRK setelah adanya Proyek PLTMH

Emisi proyek terdiri dari emisi GRK yang dihasilkan oleh aktivitas setelah adanya proyek. Contohnya, emisi CO₂ yang dihasilkan saat proses operasi seperti penggunaan lahan, aktivitas hidup pekerja, dan lainnya (Zhang *et al.* 2015). Pada penelitian ini, potensi emisi proyek diestimasi melalui penggunaan pelumas pada mesin PLTMH Cisalimar. Hasil survei proyek menunjukkan bahwa laher atau bantalan pada mesin diberi pelumas sebanyak dua unit dengan ukuran sebesar 454 gram per unit setiap bulannya. Perkiraan total pelumas yang digunakan adalah 10,90 kg/tahun. Berdasarkan perkiraan tersebut, penggunaan pelumas berpotensi menghasilkan emisi GRK sebesar 0,03 t CO₂/tahun. Namun, jumlah emisi GRK ini lebih kecil dibandingkan dengan emisi *baseline* sehingga menunjukkan adanya potensi reduksi emisi GRK setelah adanya PLTMH Cisalimar.

Potensi reduksi emisi GRK diestimasi dengan potensi emisi *baseline* dan emisi proyek secara tahunan. Estimasi tersebut mempertimbangkan tiga skenario pada emisi *baseline*. Skenario pertama adalah emisi *baseline* didasarkan pada jumlah penggunaan minyak tanah untuk penerangan. Skenario kedua adalah emisi *baseline* dihasilkan dari penggunaan minyak tanah untuk penerangan serta minyak tanah dan kayu bakar untuk memasak nasi. Skenario ketiga adalah emisi *baseline* dihasilkan dari penggunaan yang sama seperti skenario kedua namun pada tahun 2024 terdapat kenaikan jumlah KK pengguna listrik menjadi 80 KK dan pada tahun 2030 menjadi 90 KK sesuai batas maksimum pengguna PLTMH Cisalimar. Reduksi emisi GRK dengan skenario pertama dan kedua diilustrasikan pada Gambar 2 dan 3.

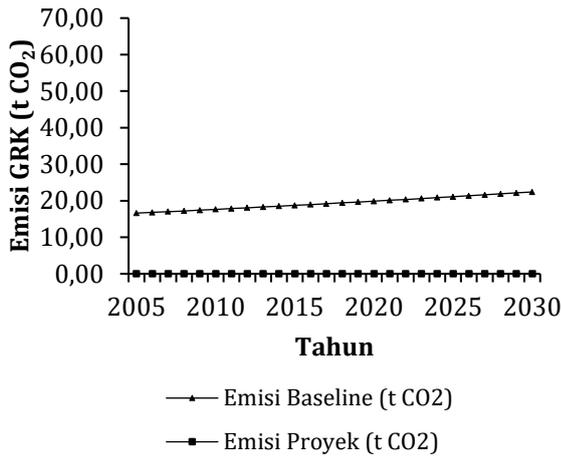
Gambar 2 dan 3 menunjukkan potensi emisi *baseline* yang terus meningkat dari tahun 2005

hingga 2030. Hal tersebut disebabkan oleh asumsi adanya peningkatan jumlah penduduk di Dusun Pandan Arum sebesar 1,20% per tahun. Persentase ini didapatkan dari rata-rata persentase pertumbuhan penduduk tahun 2017-2019 di Kecamatan Kandangan, Kabupaten Sukabumi (BPS Kabupaten Sukabumi, 2020). Karena itu, perkiraan total penggunaan minyak tanah untuk penerangan pada skenario pertama meningkat setiap tahun. Selanjutnya, perkiraan total penggunaan minyak tanah dan kayu bakar untuk memasak nasi dan penerangan pada skenario kedua juga meningkat setiap tahun. Walau demikian, potensi emisi GRK yang dihasilkan oleh minyak tanah dan kayu bakar direduksi oleh suplai listrik dari PLTMH Cisalimar setiap tahunnya.

Listrik dari proyek berpotensi besar dalam mereduksi emisi GRK dari penggunaan minyak tanah untuk penerangan. Hasil survei menunjukkan bahwa listrik dari proyek digunakan untuk penerangan oleh seluruh pengguna. Karena itu, potensi emisi GRK dari penggunaan minyak tanah untuk penerangan pada skenario pertama direduksi seluruhnya. Persentase potensi reduksi emisi GRK per tahun yang dihasilkan dari penggunaan tersebut berkisar antara 99,81% hingga 99,86% dari tahun 2005 hingga 2030. Potensi ini lebih rendah dibandingkan dengan skenario dua yang mempertimbangkan penggunaan minyak tanah dan kayu bakar untuk memasak nasi.

PLTMH Cisalimar memiliki potensi reduksi emisi GRK yang lebih besar ketika estimasi emisi *baseline* dilakukan lebih detail dengan memperhitungkan emisi kayu bakar dan minyak tanah untuk memasak nasi. Hal ini ditunjukkan pada potensi reduksi emisi GRK skenario kedua. Hasil survei menunjukkan bahwa 11% pengguna listrik proyek diasumsikan mulai menggunakan listrik untuk memasak nasi sehingga penggunaan kayu bakar dan minyak tanah untuk memasak nasi berkurang. Selanjutnya, potensi emisi GRK dari penggunaan minyak tanah untuk penerangan pun direduksi karena adanya listrik seperti kondisi skenario pertama. Jadi, potensi reduksi emisi GRK per tahun yang dihasilkan berkisar antara 99,87% hingga 99,91% dari tahun 2005 hingga 2030.

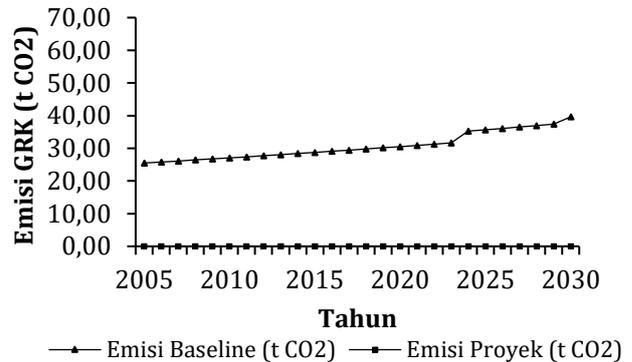
Ilustrasi potensi reduksi emisi GRK skenario pertama dan kedua disajikan pada Gambar 2 dan 3. Potensi reduksi emisi GRK mengalami kenaikan yang lebih besar ketika jumlah pengguna PLTMH Cisalimar mencapai maksimum, yaitu 90 KK. Potensi tersebut mulai mengalami peningkatan pada tahun 2024 hingga 2030. Hal ini ditunjukkan pada potensi reduksi emisi GRK skenario ketiga yang disajikan pada Gambar 4. Persentase potensi reduksi emisi GRK per tahun berkisar antara 99,87% di tahun 2005 dan 99,92% di tahun 2030.



Gambar 3 Potensi reduksi emisi GRK skenario kedua

Potensi emisi proyek pada skenario pertama, kedua, dan ketiga berjumlah konstan setiap tahunnya karena diestimasi dengan sumber data yang sama, yaitu pelumasan laher sebanyak sekali per bulan. Namun, hal tersebut menjadi kontradiktif dengan penelitian lainnya bahwa pelumasan pada laher perlu dilakukan sebanyak dua kali sebulan untuk menghindari kerusakan pada laher yang dapat memicu kerusakan bagian mesin lainnya (Putra *et al.*, 2017). Selain itu, bagian poros juga perlu diberi pelumas secara rutin. Apabila mesin sudah cukup lama beroperasi, bagian poros perlu dilakukan perawatan total, contohnya memberikan pelumas setiap enam bulan. Karena itu, potensi emisi proyek pada PLTMH Cisalimar dapat berubah sehingga memengaruhi potensi reduksi emisi GRK setiap tahunnya. Selain berpotensi dalam reduksi emisi GRK bagi masyarakat, penyediaan listrik dari PLTMH Cisalimar memberikan manfaat bagi pembangunan di Dusun Pandan Arum. Hal ini pun telah dikemukakan oleh penelitian sebelumnya bahwa PLTMH berkontribusi pada pembangunan pedesaan yang berkelanjutan sekaligus mengurangi emisi GRK (Purohit, 2008). Pembangunan tersebut memberikan manfaat yang dirasakan, seperti

kemudahan transportasi serta peningkatan jaringan komunikasi, akses listrik, dan ekonomi daerah pedesaan tersebut (Nautiyal *et al.*, 2011).



Gambar 4 Potensi reduksi emisi GRK skenario tiga

3.3. Kelayakan Finansial Proyek PLTMH

Analisis kelayakan finansial PLTMH Cisalimar dilakukan dari sudut pandang pemberi modal atau penyedia dana. Analisis ini memperhitungkan arus kas setiap bulannya. Arus kas terdiri atas arus kas masuk dan keluar pada proyek PLTMH Cisalimar. Komponen arus kas masuk PLTMH Cisalimar hanya berasal dari penerimaan penjualan listrik setiap bulannya. Sebanyak 70 pengguna listrik PLTMH Cisalimar membayar tarif listrik sebesar Rp20.000 per bulan (Rp1.400.000 per bulan). Tarif listrik ini diasumsikan Rp20.000 per bulan, yaitu tarif terendah yang ditetapkan pengelola, karena ketidakpastian tarif yang dibayarkan oleh setiap pengguna. Komponen arus kas keluar terdiri atas biaya investasi serta biaya operasional dan pemeliharaan. Biaya investasi dikeluarkan pada tahun 2004 dengan rincian yang ditampilkan pada Tabel 2 (Antasa, 2014).

Proyek PLTMH Cisalimar merupakan capital intensive project karena tingginya biaya investasi yang dibutuhkan untuk membangun proyek tersebut. Biaya operasional dan pemeliharaan PLTMH Cisalimar terdiri dari biaya variabel dan biaya tetap. Rincian kedua biaya tersebut disajikan pada Tabel 3. Biaya variabel tersusun atas empat komponen biaya yang umumnya dikeluarkan untuk pemeliharaan mesin dan saluran PLTMH Cisalimar. Sementara itu, biaya tetap tersusun atas tujuh komponen biaya yang umumnya dikeluarkan untuk operasional dan perawatan PLTMH Cisalimar. Kedua biaya tersebut mungkin mengalami perubahan di sepanjang tahun, namun untuk penyederhanaan, hal tersebut diasumsikan konstan.

Setiap biaya yang tercantum pada Tabel 3 dikeluarkan pada waktu yang berbeda-beda. Biaya pelumas mesin dan pergantian laher dikeluarkan setiap tahun dari tahun 2005 sampai 2030 karena dibutuhkan untuk pemeliharaan mesin di PLTMH Cisalimar. Sementara, biaya pergantian vanbelt

dikeluarkan setiap tiga tahun sekali selama masa operasi. Selanjutnya, biaya upah pengelola memiliki perbedaan setelah tahun 2013. Hal ini disebabkan oleh perubahan kualitas pengelolaan PLTMH Cisalimar setelah adanya PLN. Biaya upah sebelum tahun 2014 terdiri dari upah ketua pengelola, bendahara, penagih, pemelihara, dan operator, sementara mulai tahun 2014 setiap staf diberi upah dengan jumlah yang sama per bulannya. Selain itu, biaya lain yang mulai dikeluarkan pada tahun 2014 adalah biaya kebersihan untuk banjir dan biaya perawatan terjadwal. Biaya kebersihan untuk banjir mulai dikeluarkan pada tahun 2014 karena sebelum tahun 2014 biaya tersebut sudah masuk pada biaya upah pemelihara. Kondisi ini berlaku juga pada biaya perawatan terjadwal.

Biaya yang disajikan pada Tabel 2 dan 3 digunakan untuk mengestimasi kelayakan finansial dan ROI proyek PLTMH Cisalimar. Analisis kelayakan finansial dilakukan untuk mengevaluasi biaya investasi PLTMH Cisalimar dalam mencapai potensi reduksi emisi GRK sementara ROI untuk

mengestimasi tingkat pengembalian investasi yang dapat mengukur kinerja investasi proyek. Analisis kelayakan finansial dan ROI diestimasi dengan jangka waktu 26 tahun, yaitu dari tahun 2004-2030. Analisis ini dilakukan pada tahun 2004 dengan menggunakan discounting sehingga semua arus kas tahun 2005 hingga 2030 dikonversi ke nilai yang setara pada awal proyek investasi. Hal ini disebabkan oleh nilai arus kas yang tergantung pada waktu sehingga membutuhkan transformasi agar dapat membandingkannya pada titik waktu tertentu (Götze *et al.*, 2008).

Analisis kelayakan finansial dan ROI dihitung pada tiga alternatif tingkat suku bunga yang relevan dengan proyek publik di Indonesia. Skema dasar menggunakan tingkat suku bunga sebesar 8% per tahun dan skema pertama sebesar 12% (Zhuang *et al.*, 2007). Sementara itu, skema kedua menggunakan tingkat suku bunga sebesar 7,43%. Hasil analisis kelayakan finansial dan ROI disajikan pada Tabel 4.

Tabel 2 Komponen biaya investasi PLTMH Cisalimar tahun 2004

No	Komponen Biaya Invetasi	Jumlah (Rp)
1	Biaya pekerjaan sipil	273.377.000
2	Biaya pekerjaan mekanikal elektrik	267.829.000
3	Biaya pekerjaan jaringan distribusi dan pemasangan	387.129.600
Total		928.335.600

Sumber: Antasa (2014)

Tabel 3 Rincian biaya variabel dan tetap tahun 2005-2030

Jenis biaya	Tahun	Jumlah (Rp/tahun)
C.1. Biaya variable		
c.1.1 Biaya pelumas mesin	2005-2030	1.320.000
c.1.2 Biaya pergantian vanbelt	2007, 2010, 2013, 2016, 2019, 2022, 2025, dan 2028	4.000.000
c.1.3 Biaya pergantian laher	2005-2030	4.800.000
c.1.4 Biaya kebersihan saat banjir	2014-2030	800.000
C.2. Biaya tetap		
c.2.1 Upah staf	2014-2030	960.000
c.2.2 Upah ketua pengelola	2005-2013	1.200.000
c.2.3 Upah bendahara	2005-2013	1.200.000
c.2.4 Upah penagih	2005-2013	3.000.000
c.2.5 Upah pemelihara	2005-2013	1.200.000
c.2.6 Upah operator	2005-2013	2.400.000
c.2.7 Biaya perawatan terjadwal	2014-2030	3.000.000

Tabel 4 Hasil analisis kelayakan finansial

Skema	NPV (Rp)	BCR	IRR (%)	ROI (%)
Dasar	-903.800.177	0,17	-11,74	-83,27
Pertama	-913.412.569	0,13	-11,74	-87,32
Kedua	-901.836.051	0,17	-11,74	-82,52

Tabel 4 menunjukkan bahwa proyek PLTMH Cisalimar tidak layak pada seluruh skema. Hal ini disebabkan oleh proyek yang bersifat publik. Umumnya proyek publik menghasilkan pendapatan yang tidak mencukupi secara finansial sehingga berbeda dengan proyek swasta (Halil *et al.*, 2016). Walau demikian, studi kelayakan perlu dilakukan untuk memutuskan proyek tersebut layak atau tidak layak dilanjutkan, menganalisis kapasitas proyek dalam menghasilkan pendapatan, dan membuat proyeksi keuangan di masa depan untuk pembangunan.

PLTMH Cisalimar memberikan manfaat sosial pada masyarakat Dusun Pandan Arum. Manfaat

tersebut berupa kemudahan dalam berkomunikasi untuk mendapatkan informasi yang dibutuhkan dan melakukan kegiatan produktif seperti berwirausaha. Hal ini didukung oleh penelitian Baranauskiene dan Alekneviciene (2019), bahwa tujuan proyek publik memang berorientasi pada kesejahteraan publik dan bukan untuk meningkatkan keuntungan. Selain itu, proyek publik bertujuan untuk memperbaiki lingkungan sosial penduduk, melestarikan alam, dan berkontribusi bagi pertumbuhan ekonomi. Walau demikian, manfaat sosial sulit diukur dan tidak semua dapat dievaluasi dengan studi kelayakan karena berbagai faktor, salah satunya periode

investasi yang panjang. Namun, penelitian ini tidak berfokus pada kelayakan sosial proyek tersebut.

PLTMH Cisalimar berpotensi dalam reduksi emisi GRK pada skala komunitas. Namun, proyek tersebut membutuhkan biaya investasi yang tinggi dalam upaya mencapai target mitigasi perubahan iklim Indonesia sebesar 29% di tahun 2030. Hasil penelitian ini mempertegas temuan sebelumnya bahwa mitigasi perubahan iklim dapat dilakukan melalui PLTMH untuk mengurangi dampak negatif akibat perubahan iklim (Mol, 2012). Oleh sebab itu, PLTMH Cisalimar perlu dijaga keberlanjutannya dalam upaya mitigasi perubahan iklim.

Ketersediaan listrik dari PLTMH Cisalimar mendukung pencapaian target 7.1 SDGs (energi terjangkau, handal, dan berkelanjutan), khususnya di wilayah pedesaan terpencil. Biaya penggunaan listrik yang dihasilkan PLTMH Cisalimar terjangkau oleh komunitas dusun. Proyek ini pun memiliki umur efektivitas yang panjang, yaitu sekitar 20 tahun. Akan tetapi, proyek ini menjadi tidak handal karena daya listrik yang dihasilkan tidak stabil.

Selain target 7.1, PLTMH Cisalimar pun mendukung pencapaian target SDGs 7.3, yaitu efisiensi energi. Setelah adanya proyek, pengguna listrik proyek dapat memasak nasi dan menggunakan lampu serta aktivitas lainnya dengan listrik sehingga efisiensi energi meningkat. Berbeda dengan sebelum adanya proyek, pengguna listrik proyek menggunakan kayu bakar dan minyak tanah yang tidak efisien dan tinggi emisi dalam proses menghasilkan energinya.

Keberlanjutan proyek PLTMH Cisalimar dipengaruhi oleh ketersediaan modal. Proyek ini membutuhkan bantuan modal untuk membeli mesin-mesin baru seperti generator agar kembali beroperasi secara optimal. Selanjutnya, bantuan modal juga dibutuhkan untuk kegiatan perawatan total karena proyek sudah lama beroperasi. Namun, biaya untuk kegiatan-kegiatan tersebut tidak dapat dipenuhi oleh penerimaan penjualan listrik karena penerimaan tersebut hanya dapat memenuhi kebutuhan proyek setiap bulannya. Oleh sebab itu, pemerintah diharapkan dapat memberikan bantuan modal agar keberlanjutan PLTMH Cisalimar tetap terjaga.

Penelitian ini menunjukkan keberlanjutan proyek PLTMH Cisalimar tidak bisa hanya mengandalkan dana lokal seperti penerimaan penjualan listrik. Setelah listrik PLN memasuki Dusun Pandan Arum, masyarakat khususnya pengguna listrik PLTMH Cisalimar dapat membandingkan manfaat listrik yang diterima antara listrik dari PLN dengan PLTMH Cisalimar. Kapasitas daya listrik yang kecil dan ketidakstabilan daya listrik menyebabkan masyarakat mulai mengurangi penggunaan listrik dari PLTMH Cisalimar. Karena itu, pendapatan proyek menurun dan pengelola tidak menerima upah yang dapat

memberikan insentif untuk mengelola PLTMH Cisalimar.

Ancaman keberlanjutan lainnya yang dihadapi PLTMH Cisalimar adalah umur mesin atau alat yang semakin tua. Hal tersebut membebani perawatan dan pemeliharaan proyek dan membutuhkan partisipasi dari warga khususnya yang berusia muda serta mampu untuk menjaga keberlanjutan PLTMH Cisalimar. Partisipasi penduduk lokal memiliki peran sentral dalam keberlanjutan pengembangan dan pelaksanaan proyek, khususnya dalam operasi dan pemeliharaan (Signe *et al.*, 2017). Namun, penelitian ini tidak berfokus pada kelembagaan tersebut sehingga menjadi peluang untuk diteliti pada penelitian selanjutnya.

Perubahan debit air sungai juga memengaruhi keberlanjutan PLTMH Cisalimar. Dusun Pandan Arum berlokasi di wilayah pegunungan yang banyak pepohonan dan rentan banjir saat musim hujan. Gangguan suplai listrik sering terjadi akibat banjir. Selain itu, kapasitas daya yang dihasilkan tergantung pada potensi tenaga air dari debit Sungai Citamiang. Oleh karena itu, kehandalan pembangkit listrik di wilayah pedesaan terpencil dipengaruhi oleh kondisi wilayah dan potensi air (Srithiam *et al.*, 2015).

4. Kesimpulan

Emisi *baseline* sebelum adanya PLTMH Cisalimar berpotensi meningkat dari 25,50 t CO₂ pada tahun 2005 menjadi 34,39 t CO₂ pada tahun 2030 atau meningkat 1,20% per tahunnya. Emisi *baseline* diestimasi dengan batasan proyek, yaitu 70 rumah tangga pengguna listrik PLTMH Cisalimar yang sebelum adanya listrik menggunakan minyak tanah dan kayu bakar untuk aktivitas penerangan dan memasak nasi.

Reduksi emisi diestimasi dengan mempertimbangkan dua skenario. Skenario pertama (emisi *baseline* memperhitungkan minyak tanah untuk penerangan) mereduksi emisi GRK pada kisaran 16,58 t CO₂ hingga 22,38 t CO₂ (99,81% hingga 99,86%) dari tahun 2005-2030. Skenario kedua (emisi *baseline* memperhitungkan minyak tanah dan kayu bakar untuk penerangan dan memasak nasi) mereduksi emisi GRK pada kisaran 25,47 t CO₂ hingga 34,36 t CO₂ (99,87% hingga 99,91%) dari tahun 2005-2030. Skenario ketiga (emisi *baseline* memperhitungkan minyak tanah dan kayu bakar untuk penerangan dan memasak nasi dengan peningkatan jumlah KK) mereduksi emisi GRK pada kisaran 25,47 t CO₂ hingga 39,59 t CO₂ (99,87% hingga 99,92%) dari tahun 2005-2030. Oleh sebab itu, PLTMH Cisalimar memiliki potensi reduksi emisi GRK yang besar apabila daya yang dihasilkan mencukupi untuk aktivitas memasak nasi masyarakat Dusun Pandan Arum.

PLTMH Cisalimar tidak layak secara finansial karena tidak terpenuhinya kriteria kelayakan finansial dan pengembalian biaya investasi. Hal ini disebabkan oleh proyek yang bersifat padat modal

dan penerimaan proyek hanya berasal dari penerimaan penjualan listrik. Namun, proyek ini berpotensi dalam reduksi emisi GRK dan berkontribusi dalam pembangunan desa berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Akella, A. K., Saini, R. P., and Sharma, M. P. 2009. Social, economical and environmental impacts of renewable energy systems. *Renew Energy*. 34(2):390-396. doi:10.1016/j.renene.2008.05.002.
- Antasa, R. 2014. Analisis perbandingan tingkat keberlanjutan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) pada masyarakat sekitar hutan [skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- [Bappenas] Badan Perencanaan Pembangunan Nasional. 2011. Pedoman Pelaksanaan Rencana Aksi Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca. Jakarta: Badan Perencanaan Pembangunan Nasional.
- [Bappenas]. 2014. *Green Economy: Prakarsa Strategis Pengembangan Konsep Green Economy*. Jakarta: Deputi Sumber Daya Alam dan Lingkungan Hidup, Badan Perencanaan Pembangunan Nasional.
- [BPS Kabupaten Sukabumi] Badan Pusat Statistik Kabupaten Sukabumi. 2020. Kecamatan Kabudungan dalam Angka 2020. Sukabumi: BPS Kabupaten Sukabumi.
- [BPS Provinsi Jawa Barat] Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Barat. 2021. Provinsi Jawa Barat dalam Angka 2021. Bandung: BPS Provinsi Jawa Barat.
- Baranauskienė, J., and Aleknevičienė, V. 2019. Comprehensive measurement of social benefits generated by public investment projects. *Montenegrin J Econ*. 15(4):195-210. doi:10.14254/1800-5845/2019.15-4.15.
- Barrow, C., Barrow, P., and Brown, R. 1998. *The Business Plan Workbook*. Ed ke-6. London: Kogan Page.
- Bhatti, Y., Lindschow, K., and Pedersen, L. H. 2010. Burden-sharing and global climate negotiations: the case of the kyoto protocol. *Clim Policy*. 10(2):131-147. doi:10.3763/cpol.2008.0596.
- Bloomfield, K., Moore, J., and Neilson, R. J. 2003. Geothermal energy reduces greenhouse gases: CO₂ emissions from geothermal energy facilities are insignificant compared to power plants burning fossil fuels. *Clim Chang Res*, siap terbit.
- Boedoyo, M. S., and Sugiyono A. 2010. Decentralized power generation in Indonesia: current issues and prospects.
- [DEN] Dewan Energi Nasional. 2019. *Indonesia Energy Outlook 2019*. Abdurrahman, S, Pertiwi M, Walujanto, editor. Jakarta: DEN.
- Dwiprabowo, H. 2010. Kajian kebijakan kayu bakar sebagai sumber energi di pedesaan Pulau Jawa. *J Anal Kebijak Kehutan*. 7(1):1-11. doi:10.20886/jakk.2010.7.1.1-11.
- Fisher, B.S., Woffenden, K., Matysek, A., Ford, M. 2004. Alternatives to the kyoto protocol : a new climate policy framework? *Int Rev Environ Strateg*. 5(1):179-197.
- Götze, U., Northcott, D., Schuster P. 2008. *Investment Appraisal*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Halil, F. M., Nasir, N. M., Hassan, A. A., and Shukur, A. S. 2016. Feasibility study and economic assessment in green building projects. *Procedia - Soc Behav Sci*. 222:56-64. doi:10.1016/j.sbspro.2016.05.176.
- Imran, M., and Ozcatalbas, O. 2020. Determinants of household cooking fuels and their impact on women's health in rural Pakistan. *Environ Sci Pollut Res Int*. 27(19):23849-23861. doi:10.1007/s11356-020-08701-8.
- [IESR] Institute for Essential Services Reform. 2017. *Energi Terbarukan*. Jakarta: Institute for Essential Services Reform.
- [IESR] Institute for Essential Services Reform. 2019. *Sustainable Electricity Access for Rural Communities: Status, Challenges, and Opportunities*. Jakarta: Institute for Essential Services Reform. <http://iesr.or.id/wpcontent/uploads/2019/05/Proceeding-PE-11.pdf>.
- [KESDM] Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral. 2016. *Data Inventory Emisi GRK Sektor Energi*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral.
- [KLH] Kementerian Lingkungan Hidup. 2006. *Panduan Kegiatan MPB di Indonesia*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.
- [KLH] Kementerian Lingkungan Hidup. 2012. *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.
- Kong, Y., Wang, J., Kong, Z., Song, F., Liu, Z., Wei, C. 2015. Small hydropower in China: The survey and sustainable future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 48, 425-433. doi: 10.1016/j.rser.2015.04.036
- [LAN] Lembaga Administrasi Negara. 2018. *Kajian Strategi Pemerintah Daerah dalam Menghadapi Agenda Perubahan Iklim*. Hermawan R, editor. Jakarta: Pusat Kajian Desentralisasi dan Otonomi Daerah.
- [LIPI] Lembaga Penelitian Indonesia. 2017. *Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Sebuah Pilihan: Belajar dari Koperasi Mekar, Subang*. Jakarta: LIPI Press.
- Mol, A.P.J. 2012. Carbon flows, financial markets and climate change mitigation. *Environ Dev*. 1(1):10-24. doi:10.1016/j.envdev.2011.12.003.
- Nautiyal, H., Singal, S.K., Varun, Sharma, A.. 2011. Small hydropower for sustainable energy development in India. *Renew Sustain Energy Rev*. 15(4):2021-2027. doi:10.1016/j.rser.2011.01.006.
- Okot, D. K. 2013. Review of small hydropower technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 26: 515-520. doi: 10.1016/j.rser.2013.05.006
- Philibert, C. 2000. How could emissions trading benefit developing countries. *Energy Policy*. 28(13):947-956. doi:10.1016/S0301-4215(00)00073-2.
- Phillips, P. P., and Phillips, J. J. 2010. *Return on Investment*. Silber K, Foshay W, Watkins R, Leigh D, Moseley J, Dessinger J, editor. Cham: International Society for Performance Improvement.
- Pranoto, B., dan Aini, S. N., Soekarno, H., Zukhrufiyati, A., Rasyid, H.A.L., Lestari, S. 2018. Potensi energi mikrohidro di daerah irigasi (studi kasus di wilayah Sungai Serayu Opak). *J Irig*. 12(2):77-86.
- Purohit, P. 2008. Small hydro power projects under clean development mechanism in India: a preliminary assessment. *Energy Policy*. 36(6):2000-2015. doi:10.1016/j.enpol.2008.02.008.

- Putra, F., Effiandi, N., and Leni, D. 2017. Pengoperasian dan perawatan PLTMH pada pembangkit listrik mikro hidro (PLTMH) di Sungai Batang Geringging Kota Padang. *J Tek Mesin*. 10(2):25-30. <http://ejournal2.pnp.ac.id/index.php/jtm%0AJURNAL>.
- Rao, N. D. 2012. Kerosene subsidies in India: when energy policy fails as social policy. *Energy Sustain Dev*. 16(1):35-43. doi:10.1016/j.esd.2011.12.007.
- Sapkota, A., Lu, Z., Yang, H., and Wang, J. 2014. Role of renewable energy technologies in rural communities' adaptation to climate change in Nepal. *Renew Energy*. 68:793-800. doi:10.1016/j.renene.2014.03.003.
- Shahsavari, A., and Akbari, M. 2018. Potential of solar energy in developing countries for reducing energy-related emissions. *Renew Sustain Energy Rev*. 90 March:275-291. doi:10.1016/j.rser.2018.03.065.
- Signe, E., Hamandjoda, O., and Nganhou, J. 2017. Methodology of feasibility studies of micro-hydro power plants in Cameroon: case of the micro-hydro of KEMKEN. *Energy Procedia*. 119:17-28. doi:10.1016/j.egypro.2017.07.042.
- Spalding-Fecher, R., Winkler, H., and Mwakasonda, S. 2005. Energy and the world summit on sustainable development: what next? *Energy Policy*. 33(1):99-112. doi:10.1016/S0301-4215(03)00203-9.
- Srithiam, W., Asadamonkol, S., and Sumranwanich, T. 2015. Smart grid national pilot project in Mae Hong Son Province, Thailand. *Energy Environ*. 26(1-2):23-34. doi:10.1260/0958-305X.26.1-2.23.
- Tampubolon, F. R. S., Yuwono, A. S., Tambunan, A. H., dan Achsan, N. A. 2021. Penggunaan Bahan Bakar Alternatif dalam Pengelolaan Tambang Batubara sebagai Sumber Energi untuk Mengurangi Dampak Terhadap Lingkungan. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 19(1): 89-97. doi:10.14710/jil.19.1.89-97.
- [UNFCCC] United Nations Framework Convention on Climate Change. 2008. Kyoto Protocol Reference Manual: on Accounting of Emissions and Assigned Amount.
- [UNFCCC] United Nations Framework Convention on Climate Change. 2019. Clean Development Mechanism (CDM). UNFCCC.
- Zhang J., Luo C-Y., Curtis Z., Deng S., Wu Y., and Li Y. 2015. Carbon dioxide emission accounting for small hydropower plants—A case study in southwest China. *Renew Sustain Energy Rev*. 47:755-761. doi:10.1016/j.rser.2015.03.027
- Zhuang, J., Liang, Z., Lin, T., and De-Guzman, F. 2007. Theory and Practice in the Choice of Social Discount Rate for Cost-Benefit Analysis: A Survey. Manila. <http://hdl.handle.net/11540/1853>.