



## **EVALUASI PELAKSANAAN DAN STRATEGI PENGEMBANGAN MITIGASI GAS RUMAH KACA MELALUI AKSI *LOW CARBON DEVELOPMENT* DI INDUSTRI PERTAMBANGAN**

### ***EVALUATION OF IMPLEMENTATION AND DEVELOPMENT STRATEGY OF GREENHOUSE GAS MITIGATION; LOW CARBON DEVELOPMENT ACTIONS IN MINING INDUSTRY***

B. Arifiyanto<sup>1</sup>, H. Zulkifli<sup>2</sup>, R. Juniah<sup>3</sup>

<sup>1-3</sup> Program Studi Pengelolaan Lingkungan, Program Pascasarjana, Universitas Sriwijaya

<sup>1-3</sup>Jalan Padang Selasa No. 524 Bukit Besar Palembang

e-mail: \*[bima.arifiyanto@gmail.com](mailto:bima.arifiyanto@gmail.com), [hilda.zulkifli@gmail.com](mailto:hilda.zulkifli@gmail.com), [restu\\_juniah@yahoo.co.id](mailto:restu_juniah@yahoo.co.id)

#### **ABSTRAK**

Potensi pencemaran lingkungan yang dapat terjadi akibat kegiatan pertambangan batubara secara terbuka salah satunya adalah peningkatan emisi Gas Rumah Kaca (GRK). Akibat penggunaan energi dalam aktivitas pertambangan yang secara tidak langsung akan berdampak pada emisi GRK yang dihasilkan. Perusahaan telah melakukan beberapa metode dalam mengurangi emisi GRK yaitu penambahan porsi elektrifikasi, namun diperlukan evaluasi dan penambahan strategi perusahaan untuk mencapai target *Net Zero Emission*. Intensitas emisi GRK selama lima (5) tahun terakhir masih menunjukkan nilai yang cenderung fluktuatif. Kondisi saat ini perusahaan belum melakukan pemetaan sebaran emisi GRK sehingga belum dapat menentukan program pengurangan emisi GRK secara tepat. Penelitian ini ditujukan untuk mengevaluasi pelaksanaan mitigasi GRK dan menentukan rekomendasi strategi pengembangan mitigasi GRK melalui analisis aksi *Low Carbon Development*. Metode penelitian yang dipakai adalah menggunakan analisis *Life Cycle Assesment (LCA)*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kegiatan *overburden removal and coal getting* berkontribusi sebesar 86,34% dari total emisi dan menghasilkan 0,021 ton CO<sub>2</sub> setiap ton batubara yang dihasilkan. Strategi mitigasi yang sesuai dengan konsep *low carbon development* yaitu penambahan porsi elektrifikasi peralatan, optimasi efisiensi energi dan penambahan luasan revegetasi atau *carbon offset*.

**Kata Kunci** : emisi gas rumah kaca, *low carbon development*, pertambangan, mitigasi gas rumah kaca

#### **ABSTRACT**

*One of the potential environmental pollution that can occur as a result of open coal mining activities is an increase in Green House Gas (GHG) emissions. The impact of energy use in mining activities will indirectly impact the resulting GHG emissions. The company has implemented several methods to reduce GHG emissions like increasing the electrification portion, but it needs evaluation and additional strategy to achieve the Net Zero Emission target. The intensity of GHG emissions over the last 5 years still shows values that tend to fluctuate. Conditions Currently, the company has not yet mapped the distribution of GHG emissions so it cannot determine the appropriate GHG emission reduction program. This research is aimed at evaluating the implementation of GHG mitigation and determining recommendations for GHG mitigation development strategies through analysis of Low Carbon Development actions. The research method used is Life Cycle Assessment (LCA) analysis. The research results show that OB Removal and Coal Getting activities contribute 86.34% of total emissions and produce 0.021 tons of CO<sub>2</sub> for every ton of coal produced. Mitigation strategies that are in accordance with the low carbon development concept are increasing the portion of equipment electrification, energy optimization efficiency, and increasing revegetation areas or carbon offset.*

**Keywords**: greenhouse gas emissions, low carbon development, mining, greenhouse gas mitigation



## PENDAHULUAN

Pertambangan merupakan salah satu industri yang memiliki risiko tinggi seperti kecelakaan kerja dan pencemaran lingkungan. Isu lingkungan juga merupakan isu utama dari sektor pertambangan khususnya pertambangan batubara. Hal ini dikarenakan kegiatan yang dilakukan di sektor ini sangat rentan terhadap kelestarian lingkungan [1].

Pertambangan batubara terbuka (*surface mining*) yang banyak dilakukan saat ini membutuhkan teknologi yang lebih mudah dibandingkan tambang bawah tanah namun risiko terkait pencemaran lingkungan seperti pencemaran air, udara dan tanah yang terjadi lebih besar [2]. Beberapa potensi pencemaran lingkungan yang dapat terjadi oleh pertambangan batubara seperti pencemaran air akibat adanya air asam tambang, pencemaran debu, kerusakan lahan dan juga peningkatan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) yang dihasilkan [3].

Emisi GRK yang dihasilkan dari kegiatan manusia dapat memperburuk kondisi iklim dan mempercepat pemanasan global. Pemanasan global terjadi akibat adanya peningkatan suhu bumi [4]. Peningkatan suhu bumi ini terjadi akibat adanya efek Gas Rumah Kaca yang komponen utamanya terdiri atas gas metana ( $\text{CH}_4$ ), nitrous oksida ( $\text{N}_2\text{O}$ ), dan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) serta beberapa gas lainnya [5]. Efek dari beberapa gas ini adalah membuat panas yang dipantulkan dari permukaan bumi tertahan di atmosfer dan membuat peningkatan suhu bumi dari  $1^\circ\text{C}$  hingga  $3,7^\circ\text{C}$  [6]. Efek dari perubahan iklim saat ini sudah banyak dirasakan seperti kenaikan suhu, periode musim yang berubah-ubah serta kenaikan tinggi muka air laut akibat mencairnya es di Kutub [7].

Pertambangan batubara merupakan jenis industri yang memiliki risiko besar terhadap lingkungan terutama dalam hal peningkatan emisi GRK. Hal ini diakibatkan penggunaan energi dalam aktivitas pertambangan yang secara tidak langsung akan berdampak pada emisi GRK yang dihasilkan. Permasalahan ini juga terjadi pada PT Bukit Asam Tbk, Unit Pertambangan Batubara di Tanjung Enim. Perusahaan telah melakukan beberapa program untuk menurunkan emisi GRK, namun diperlukan adanya pemetaan sebaran emisi GRK di setiap proses penambangan batubara untuk dapat merumuskan program secara lebih tepat. Beberapa tahapan kegiatan penambangan seperti penyiapan lahan, penggalian tanah penutup, pengambilan batubara, pengolahan batubara dan transportasi batubara akan dipetakan sebaran emisinya.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk melakukan pemetaan sebaran emisi GRK yang dihasilkan berdasarkan tahapan kegiatan penambangan adalah dengan perhitungan daur hidup atau *Life Cycle Assessment* (LCA). Metode LCA dapat menggambarkan

daur produk batubara dari awal penggalian hingga siap didistribusikan atau dipasarkan. Metode ini juga akan menghasilkan nilai kuantitatif terkait dampak atau emisi yang dikeluarkan ke lingkungan sehingga lebih memudahkan dalam analisis potensi serta perbaikan yang dapat dilakukan [8]. Besaran dampak lingkungan yang diketahui dapat menentukan rekomendasi perbaikan untuk meminimalisir dampak lingkungan yang ditimbulkan [9]. Penerapan LCA yang sesuai akan membuat produksi batubara dapat terus berlangsung dan meningkat namun di sisi lain emisi GRK dapat ditekan [10].

Penelitian terkait LCA dan Emisi Gas Rumah kaca telah beberapa kali dilakukan. Menurut Islam, Vilaysouk, Murakami (2020) [11], telah dilakukan Analisa LCA dan penginderaan jauh untuk penilaian dampak lingkungan, namun pengukuran LCA yang dilakukan belum maksimal karena keterbatasan data yang ada. Selain itu hasil menunjukkan bahwa dampak lingkungan terbesar terdapat pada kegiatan penggalian dan transportasi batubara di tambang yang berlokasi di Laos. Menurut Silva, Muniz, Hoffmann, Luz (2018) [12], *Analisa LCA* untuk perhitungan emisi GRK di lokasi tambang batubara Brazil menunjukkan hasil Emisi GRK didominasi oleh emisi langsung 98,3%. Menurut Khansa, Kartini, Vembrio, Maharani, Apriani, Suryawan, Zahra (2020) [13], telah dilakukan penelitian terkait pengendalian emisi dan limbah dari industri penyewaan alat berat untuk industri tambang batubara, namun penelitian dilakukan hanya pada proses pencucian alat berat meliputi proses masuknya alat berat yang dilanjutkan dengan memakirkan alat berat, pencopotan material, pencucian, pengeringan, pengecekan, penggantian suku cadang, dan perakitan kembali.

Ketiga penelitian yang dilakukan belum melakukan evaluasi LCA di Industri Penambangan secara detail. Identifikasi pengendalian emisi hanya dilakukan pada sebagian tahapan kegiatan penambangan dan belum terdapat penjelasan keberhasilan dan strategi mitigasi GRK secara tepat sasaran dan menyeluruh. Penelitian ini memiliki *state of the art* terkait evaluasi risiko dampak GRK yang menggunakan metode pengukuran LCA serta penerapan strategi mitigasi GRK melalui *low carbon development*. Berdasarkan hal tersebut penelitian ini bertujuan untuk melakukan evaluasi mitigasi GRK melalui LCA dan menentukan strategi mitigasi GRK menggunakan konsep *low carbon development* secara tepat sasaran khususnya di industri pertambangan batubara.

## METODE PENELITIAN

Penelitian mengenai evaluasi pelaksanaan dan strategi pengembangan mitigasi gas rumah kaca melalui aksi *low carbon development* dilakukan di lokasi IUP Banko Barat PT Bukit Asam, Tbk. Unit Pertambangan Tanjung

Enim, Sumatera Selatan. Penelitian berfokus pada tahapan kegiatan penambangan batubara yaitu pembersihan lahan, pengupasan tanah penutup, pengambilan batubara, pengolahan batubara, dan transportasi batubara.

Pemilihan lokasi ini dikarenakan belum dilakukannya evaluasi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) yang dihasilkan pada setiap tahapan penambangan yang ada di lokasi ini. Penelitian ini dilakukan pada tahun 2022. Pengumpulan data dilakukan melalui analisis data tahun 2017 – 2021 menggunakan data perhitungan dan pengukuran (data sekunder), tahun 2022 (Bulan Januari – Desember) menggunakan data perhitungan dan pengukuran langsung (data primer).

Tahapan persiapan dilakukan dengan melakukan inventarisir data terkait dengan emisi yang dihasilkan serta potensi perbaikan dan pengurangan emisi yang dapat dilakukan pada proses produksi batubara di PT Bukit Asam, Tbk. Data primer dikumpulkan dari hasil pengukuran dan perhitungan emisi GRK di Unit Pertambangan Tanjung Enim lokasi IUP Banko Barat periode Januari-Desember 2022. Data sekunder dikumpulkan dari perhitungan emisi GRK periode 2018-2021, data produksi batubara tahun 2018-2021, data pemindahan lapisan tanah penutup (*overburden*) tahun 2018-2021, dan nilai kalor bahan dan faktor emisi di Indonesia sesuai standar IPCC dan pedoman inventarisir emisi GRK KLHK.

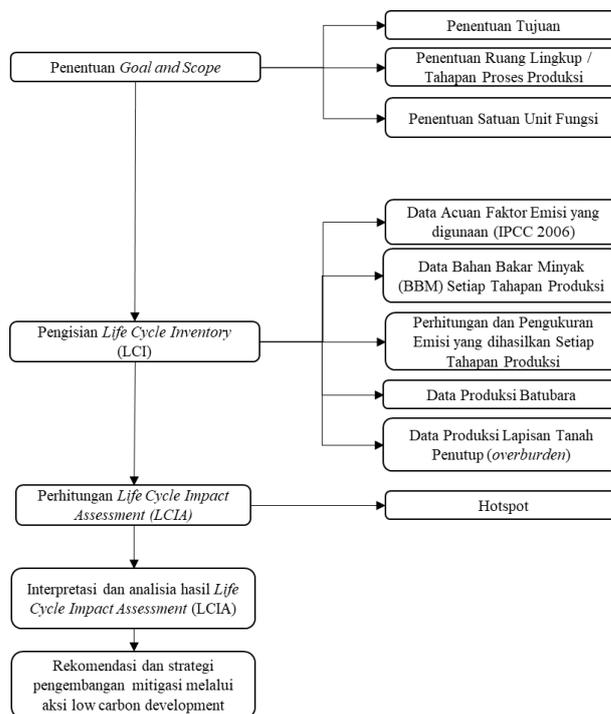
Tahap pelaksanaan penelitian dilakukan sesuai dengan SNI ISO 14040:2016 dan SNI ISO 14044:2017. Terdapat empat (4) komponen utama yang dilakukan dalam kajian LCA, diantaranya yaitu :

1. Penentuan *goal* dan *scope*
2. *Life Cycle Inventory* (LCI)
3. *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA)
4. Interpretasi dan analisis hasil *Life Cycle Impact Assessment*.

Setelah keempat komponen utama dilakukan, kemudian dilakukan penentuan *Goal and Scope Definition* sebagai fase utama yang sangat penting untuk menentukan sebuah rencana kerja dari sebuah LCA. Fase ini terdiri dari pendefinisian tujuan ruang lingkup dan fungsi. Ruang lingkup penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Cradle to Gate* dengan unit fungsi yang digunakan adalah per ton batubara.

*Cradle to Gate* merupakan kajian analisis daur hidup yang dilakukan dari tahap kegiatan penilaian *raw material* atau bahan baku yang dalam hal ini kegiatan *land preparation (cradle)* sampai ke batas terakhir kegiatan operasional yaitu *coal hauling (gate)*. Pembatasan dilakukan karena keterbatasan data *inventory* dalam penelitian sehingga tidak bisa sampai tahap *grave*. Unit fungsi yang digunakan per ton batubara dikarenakan nilai satuan produk yang

digunakan dalam industri batubara adalah per ton (1 ton).



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

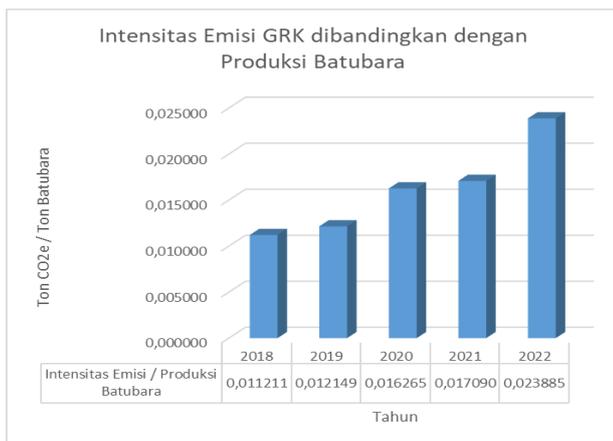
### Evaluasi Pelaksanaan Pengelolaan Emisi Gas Rumah Kaca

Tingkat produksi yang sangat tinggi di IUP Banko Barat ini secara langsung juga meningkatkan emisi GRK akibat dari pemakaian energi. Peningkatan konsumsi energi ini berbanding lurus dengan peningkatan emisi GRK yang dihasilkan. Data total emisi GRK menunjukkan bahwa tingkat kenaikan GRK adalah 25% selama 5 tahun terakhir. Total Emisi GRK di lokasi IUP Banko Barat dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Total Emisi GRK di lokasi IUP Banko Barat

Peningkatan emisi GRK dikarenakan tidak seimbangnya konsumsi energi dengan program pengurangan emisi GRK yang dilakukan. Hal tersebut tergambar dari nilai intensitas emisi GRK yang secara tren meningkat dalam waktu lima (5) tahun terakhir. Intensitas emisi GRK menjadi salah satu indikator efisiensi konsumsi energi dalam memproduksi satu ton batubara. Perbandingan intensitas emisi GRK dan produksi Batubara dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Intensitas Emisi GRK dibandingkan dengan produksi batubara

### Program Mitigasi Emisi Gas Rumah Kaca yang Telah Dilaksanakan

PTBA telah melaksanakan beberapa program untuk melakukan mitigasi emisi GRK. Khusus di IUP Banko Barat PTBA telah melaksanakan lima (5) program penurunan emisi dalam kurun waktu lima (5) tahun terakhir. Detail terkait program ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Salah satu program pengurangan emisi serta efisiensi operasional untuk pengembangan perusahaan adalah program *Eco Mechanized Mining* (e-MM). Program ini adalah penerapan peralatan tambang baru berbasis listrik dengan memanfaatkan kapasitas kompetensi dalam mengelola sistem penambangan berkelanjutan (*continuous mining*) serta potensi sumber daya yang sudah ada (PLTU Mulut Tambang) untuk mengurangi ketergantungan kepada konsumsi solar.

Efek dari pengurangan konsumsi solar membuat penurunan emisi sehingga operasional penambangan menjadi lebih ramah lingkungan. Kemudian program optimasi jarak angkut Batubara yang akan berpengaruh terhadap konsumsi BBM. Optimalisasi (memperpendek) jarak angkut dilakukan dengan pengaturan jarak angkut batubara dan tanah. Selain itu terdapat beberapa program lainnya yaitu *E-Mining Reporting System*, Substitusi

Pompa Engine dengan Pompa Listrik, *Train Loading Station System*, serta *Carbon offset* dari Revegetasi.

**Tabel 1.** Program pengurangan emisi Gas Rumah Kaca

Program	Tahun					Satuan
	2018	2019	2020	2021	2022	
Eco Mechanized Mining (e-MM)	15	15	19,7	17,5	14,2	Ribu Ton CO <sub>2</sub> e
Hauling Road Optimization	3,1	3,6	4,4	3,4	5,4	Ribu Ton CO <sub>2</sub> e
E-Mining Reporting System	-	2	2	2	2	Ribu Ton CO <sub>2</sub> e
Substitusi Jenis Pompa Engine dengan Pompa Listrik	-	0,7	0,4	0,1	0,4	Ribu Ton CO <sub>2</sub> e
Train Loading Station System	-	-	-	-	1,9	Ribu Ton CO <sub>2</sub> e
Carbon Offset dari Revegetasi	5,6	5,8	5,9	6,1	6,1	Ribu Ton CO <sub>2</sub> e
<b>TOTAL</b>	<b>23,7</b>	<b>27,2</b>	<b>32,5</b>	<b>30,2</b>	<b>30,1</b>	<b>Ribu Ton CO<sub>2</sub>e</b>

Seluruh program penurunan emisi GRK yang telah dilakukan selama lima (5) tahun terakhir, berhasil menurunkan emisi GRK sebesar 143,75 ton CO<sub>2</sub>e. Dengan demikian, program yang sudah ada hanya dapat menghilangkan 12% emisi yang dihasilkan.

### Evaluasi Program Penurunan Emisi GRK

Sesuai dengan standar LCA terdapat empat (4) tahapan evaluasi yang dilakukan melalui metode LCA yaitu Penentuan *Goal and Scope*, *Life Cycle Inventory* (LCI), *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA) dan Interpretasi atau evaluasi hasil *Life Cycle Impact Assessment*. Tujuan dari dilakukan evaluasi melalui LCA adalah untuk menggambarkan bagian proses penambangan di PT Bukit Asam IUP Banko Barat yang menghasilkan emisi GRK terbesar (*hotspot*) serta membuat rekomendasi strategi mitigasi Emisi GRK yang tepat sasaran.

Penentuan *Goal* dan *Scope* untuk menggambarkan bagian proses penambangan di PT Bukit Asam, IUP Banko Barat yang menghasilkan emisi GRK terbesar (*hotspot*) serta membuat rekomendasi strategi mitigasi Emisi GRK yang tepat sasaran. Ruang lingkup atau *Scope* kajian *Cradle to Gate* yaitu analisis daur hidup dimulai dari *raw material* sampai ke *gate* terakhir berupa produk jadi sebelum dipasarkan. Tahapan *Cradle to Gate* dalam sistem produk PT Bukit Asam, IUP Banko Barat adalah sebagai berikut:

1. *Land Preparation* atau Penyiapan Lahan
2. *Overburden Removal-Coal Getting* atau pengupasan tanah penutup dan pengambilan batubara
3. *Coal Processing* atau penanganan batubara
4. *Coal Hauling* atau transportasi batubara
5. *Supporting - Workshop, utility and reclamation* atau Bengkel, penunjang dan reklamasi lahan

Kajian LCA ini mencakup produk utama yaitu batubara dengan persentase 100% produk yang dihasilkan di IUP Banko Barat. Unit fungsional yang digunakan pada kajian proses produksi batubara PT Bukit Asam IUP Banko Barat adalah dalam satuan satu (1) ton produksi batubara di area IUP Banko Barat.

Nilai dampak efek pemanasan global dihitung menggunakan emisi GRK yang dilepaskan ke udara (atmosfer). Beberapa gas rumah kaca diantaranya karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>), dan dinitrogen oksida (N<sub>2</sub>O). Adanya gas tersebut di atmosfer mengakibatkan sebagian dari panas dalam bentuk radiasi inframerah tetap terperangkap dan meningkatkan temperatur di atmosfer. Perhitungan massa GRK dilakukan dengan faktor kesetaraan GWP yaitu perkiraan umur atmosfer dan kekuatan radiasi yang dapat berkontribusi terhadap perubahan iklim global dibandingkan dengan gas rumah kaca CO<sub>2</sub>.

Hasil evaluasi dampak *global warming potential* menunjukkan bahwa kegiatan *overburden removal - coal getting* menjadi kegiatan dengan emisi GRK tertinggi. Hal ini berbanding lurus dengan konsumsi energi tertinggi pada kegiatan ini. Analisa *hotspot* juga menunjukkan kegiatan ini menjadi titik *hotspot* utama

terkait dampak GWP. Presentase bobot GWP pada kegiatan ini mencapai 86,34 % dibandingkan total emisi GRK yang dihasilkan (Gambar 4).

### Strategi Pengembangan Mitigasi Emisi GRK Melalui Aksi *Low Carbon Development*

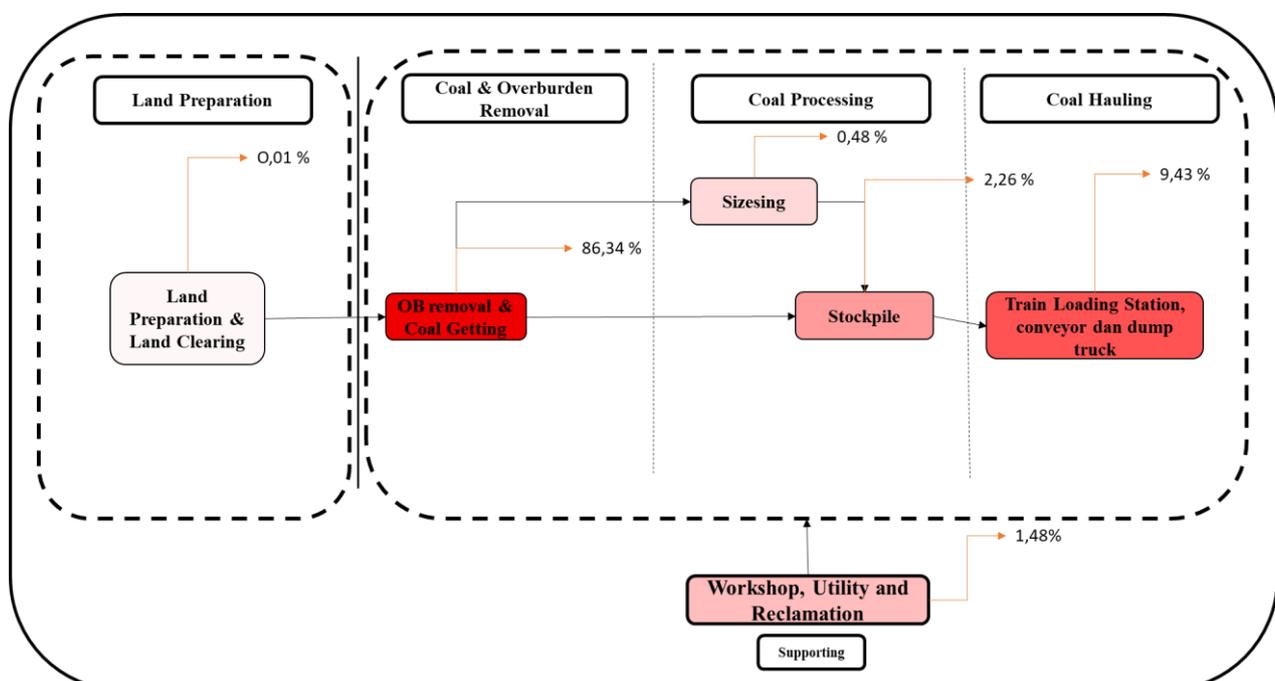
Berdasarkan kajian LCA emisi GRK yang dilakukan di IUP Banko Barat, terdapat dampak lingkungan utama yaitu *global warming potential*. Kegiatan yang memiliki dampak lingkungan terbesar adalah *overburden removal-coal getting*. Kegiatan ini menjadi *hotspot* dalam menghasilkan dampak lingkungan tertinggi dalam hal emisi GRK.

Strategi program mitigasi emisi yang dilakukan belum tepat secara keseluruhan. Strategi program mitigasi harus dilakukan dengan menggunakan tahapan PDCA (*plan, do, check and act*). Terdapat empat (4) tahapan utama dalam melakukan mitigasi yaitu :

1. Pembuatan rencana strategis perusahaan
2. Pelaksanaan kegiatan program
3. Evaluasi dan perhitungan keberhasilan program
4. Perbaikan dan tindak lanjut program

Perlu dilakukan pembuatan strategi baru dalam menentukan program mitigasi dengan aksi pengembangan perusahaan bebas emisi atau *low carbon development*. Penentuan mitigasi program ditentukan tiga strategi besar yaitu :

1. Penambahan porsi elektrifikasi peralatan
2. Optimasi atau efisiensi energi terkait operasional penambangan
3. Penambahan luasan revegetasi atau *carbon offset*



Gambar 4. Sebaran Hotspot GWP



Tiga strategi pengembangan ini merupakan pengembangan yang paling sesuai dengan konsep *low carbon development*. Hal ini dikarenakan ketiga pengembangan ini merupakan strategi yang harus diterapkan ke depannya. Penambahan porsi elektrifikasi akan meningkatkan porsi energi listrik yang akan membuat perusahaan mengurangi dampak penggunaan bahan bakar solar. Upaya ini akan mengurangi dampak emisi GRK yang dihasilkan.

Penambahan luasan revegetasi atau *carbon offset* menjadi strategi terakhir yang digunakan. Dalam mencapai *net zero carbon* perusahaan harus dapat membuat *balance emission* menjadi seimbang atau nol (0). Perlu adanya suatu strategi penyerapan karbon yang dilakukan perusahaan sebagai penyeimbang dari karbon yang dihasilkan. Strategi 1 dan 2 adalah strategi pengurangan karbon yang tidak berhasil membuat *Net Zero Emission* sehingga perlu adanya strategi ketiga untuk penyerapan karbon yang dihasilkan yaitu *carbon offset*.

## KESIMPULAN

Hasil evaluasi emisi gas rumah kaca di PT Bukit Asam, Unit Pertambangan Tanjung Enim IUP Banko Barat menunjukkan bahwa dalam lima (5) tahun terakhir tingkat emisi yang dihasilkan masih menunjukkan tren peningkatan. Kegiatan yang paling berperan dalam menghasilkan emisi GRK adalah kegiatan *overburden removal* dan *coal getting*. Kegiatan ini berkontribusi 86,34% dari total emisi dan menghasilkan 0,021 ton CO<sub>2</sub> setiap ton batubara yang dihasilkan.

Strategi mitigasi dan rekomendasi program mitigasi emisi GRK dilakukan melalui tiga (3) kegiatan utama yaitu penambahan porsi elektrifikasi peralatan, optimasi atau efisiensi energi, dan penambahan luasan revegetasi atau *carbon offset*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Juniah, R., (2018). Study of Carbon Value of the Allotment of Former Coal Mining Land of PT Samantaka Batubara for Sustainable Mining Environment. *Journal of Sustainable Development*, 11 (4), 213.
- [2] Ben-Awuah., Eugene., Richter, O., Elkington, Tarrant., Pourrahimian, Yashar., (2016). Strategic Mining Options Optimization: Open Pit Mining, Underground Mining or Both. *International Journal of Mining Science and Technology*, 26 (6), 1065–1071.
- [3] Wu, J., Qingliang, Z., Na, Q., Zhenyu, W., Wei, S., Keyu, L., Hongliang, W., and Zhe, F., (2021). Ecological Risk Assessment of Coal Mine Area Based on ‘Source-Sink’ Landscape Theory – A Case Study of Pingshuo Mining Area. *Journal of Cleaner Production*, 295, 126371
- [4] Kweku, Darkwah, O., Bismark, A., Maxwell, K., Kwakye, D., Ewurabena, D., Asenso, O., Quachie., and Adormaa, B., (2018). Greenhouse Effect: Greenhouse Gases and Their Impact on Global Warming. *Journal of Scientific Research and Reports*, 17 (6), 1–9.
- [5] Marszałek, M., Kowalski, Z., Makara, A., (2018). Emission of Greenhouse Gases and Odorants from Pig Slurry - Effect on the Environment and Methods of Its Reduction. *Ecological Chemistry and Engineering S*, 25 (3), 383–94.
- [6] Anderson, TR., Hawkins, E., Jones, PD., (2016). CO<sub>2</sub>, the Greenhouse Effect and Global Warming: From the Pioneering Work of Arrhenius and Callendar to Today’s Earth System Models.” *Endeavour*, 40 (3), 178–87.
- [7] Sayyidati, A., (2017). Isu Pemanasan Global Dalam Pergeseran Paradigma Keamanan Pada Studi Hubungan Internasional. *Jurnal Hubungan Internasional*, 6 (1), 38–45.
- [8] Irawati., Yusi, D., Andrian, D., (2018). Analisa Dampak Lingkungan Pada Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) Dengan Metode Life Cycle Assessment (LCA). *Jurnal Teknik Industri*, 19 (2), 166-177.
- [9] Windrianto., Yulius., Rachmawati, DL., Berlianty, I., (2016). Pengukuran Tingkat Eko-Efisiensi Untuk Menciptakan Produksi Batik Yang Efisien Dan Ramah Lingkungan (Studi Kasus Di UKM Sri Kuncoro Bantul ). *Jurnal OPSI*, 9 (2), 143–49.
- [10] Adi, S., Aldrian, E., Damayanti, Saroja., Tejakusuma, IG., (2020). Analisis Pembangunan Rendah Karbon Studi Kasus Propinsi Lampung. *Jurnal Sains Dan Teknologi Indonesia*, 13 (2), 95–102.
- [11] Islam, K., Vilaysouk, X., Murakami, S., (2020). Integrating Remote Sensing and Life Cycle Assessment to Quantify the Environmental Impacts of Copper-Silver-Gold Mining: A Case Study from Laos. *Journal of Resources, Conservation & Recycling*, 154, 1–13.
- [12] Silva, MG., Muniz, ARC., Hoffmann, R., Luz, AC., (2018). Impact of Greenhouse Gases on Surface Coal Mining in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 193, 206–16.
- [13] Khansa, P., Kartini, NKD., Vembrio, LAW., Maharani, AS., Apriani, S., Suryawan, IWK., Zahra, NL., (2020). Pengendalian Emisi Dan Limbah Dari Industri Penyewaan Alat Berat Untuk Industri Tambang Batubara. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 6, 1.