

Analisis Perhitungan Emisi Karbon Dalam Perdagangan listrik Listrik di PLTU 2×300 MW

Herji Hasnanto^{1*}; Hendra Setiawan¹

1. Universitas Islam Indonesia, Fakultas Teknologi Industri, Program Studi Magister
Rekayasa Elektro, Jl. Kaliurang KM 14,5, Ngemplak, Sleman, Daerah Istimewa
Yogyakarta 55584, Indonesia

**Email: 32925001@students.ac.id*

Received: 28 Desember 2023 | Accepted: 28 Desember 2023 | Published: 05 Juli 2024

ABSTRACT

The Steam Power Plant (PLTU) serves as the main support for electricity needs and is a primary source of greenhouse gas (GHG) emissions, especially CO₂, contributing to global climate change. The research focus is on analyzing carbon emissions from power plants in Central Java, Indonesia, in response to the new CO₂ tax policy. The research method involves collecting operational data from PLTU, presenting Greenhouse Gas (GHG) calculation results, and estimating CO₂ taxes from the PLTU. The use of Tier 1, Tier 2, and Tier 3 methods aims to demonstrate data consistency with government-published calculation theories. The analysis results for the emissions of Unit 2×300 MW show accurate results and a surplus presentation, simultaneously achieving significant revenue. The overall presentation results indicate that 59% can still be concluded to meet below the emission cap set by PT-BAE-PU Directorate General of Electricity. All of this depends on the annual progress that will be realized in 2023. The success of implementing the Greenhouse Gas Emission Trading System (ETS) is identified as crucial in efforts to reduce CO₂ emissions. With the implementation of the carbon tax, it is expected that the reduction of CO₂ emissions can achieve the Nationally Determined Contribution (NDC) commitment with a target reduction of 29% by 2030 in Indonesia.

Keywords: Emissions, Power Plant, Carbon

ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) sebagai penopang utama kebutuhan energi listrik dan sumber utama emisi gas rumah kaca (GRK), terutama CO₂, yang berperan dalam perubahan iklim global. Fokus penelitian ditujukan pada analisis emisi karbon dari PLTU yang ada di Jawa Tengah, Indonesia, sebagai respons terhadap kebijakan pajak CO₂ yang baru. Metode penelitian melibatkan pengumpulan data operasional PLTU, presentasi hasil perhitungan Gas Rumah Kaca (GRK), dan estimasi pajak CO₂ dari PLTU tersebut. Penggunaan metode Tier 1, Tier 2, dan Tier 3 bertujuan untuk menunjukkan konsistensi data sesuai dengan teori perhitungan yang di terbitkan pemerintah. Hasil analisis untuk emisi Unit 2×300 MW menunjukkan hasil yang akurat dan presentasi surplus, sekaligus mencapai pendapatan yang signifikan. Hasil presentasi bisa dilihat nilai keseluruhan 59% bisa disimpulkan masih bisa memenuhi dibawah cap emisi yang ditetapkan oleh batas emisi PT-BAE-PU Dirjen ketenagalistrikan. Semua ini tergantung pada progres tahunan yang akan terealisasi pada tahun 2023. Keberhasilan implementasi sistem perdagangan emisi GRK (ETS) diidentifikasi sebagai kunci dalam upaya mengurangi emisi CO₂. Dengan diberlakukannya pajak karbon, diharapkan pengurangan emisi CO₂ dapat mencapai

komitmen Nationally Determined Contribution (NDC) dengan target penurunan sebesar 29% pada tahun 2030 di Indonesia.

Kata kunci: *Emisi, Power Plant, Karbon*

1. PENDAHULUAN

Pembangunan dan pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah salah satu pilar penting dalam memenuhi kebutuhan energi listrik yang meningkat, tetapi juga menjadi sumber utama emisi gas rumah kaca (GRK), terutama CO₂ [1], yang berdampak pada perubahan iklim global. Pada tahun 2019, sektor energi menyumbang 638.452 Gg CO_{2e} emisi GRK, dengan industri produsen energi sebagai penyumbang terbesar (43,83%), diikuti oleh transportasi (24,64%) dan industri manufaktur serta konstruksi (21,46%). Dalam sektor industri produsen energi, pembangkit listrik menjadi penyumbang utama emisi [2]. Pemerintah Indonesia berkomitmen menurunkan emisi GRK sesuai *Nationally Determined Contribution* (NDC) dengan target penurunan 29% pada 2030, setara dengan 834 juta ton CO_{2e} untuk semua sektor, di mana sektor energi harus mengurangi 314 juta ton CO_{2e} [3]. Meskipun PLTU 2×300 MW di Jawa tengah telah berperan besar dalam memenuhi kebutuhan listrik nasional, masalah emisi karbon dari operasinya menjadi isu serius. Emisi CO₂ PLTU berdampak buruk pada lingkungan dan dapat memperburuk perubahan iklim global. Penelitian ini bertujuan menganalisis emisi karbon dari PLTU 2×300 MW Jawa tengah sebagai representasi dari tantangan yang dihadapi oleh PLTU serupa di Indonesia. Studi kasus ini meliputi identifikasi sumber-sumber utama emisi karbon di PLTU, perhitungan estimasi emisi CO₂, dan evaluasi strategi pengurangan emisi untuk menghadapi kebijakan baru terkait pajak CO₂ yang akan diterapkan secara bertahap oleh Sub-Bidang Ketenagalistrikan sesuai Peraturan Menteri ESDM No 16 Tahun 2022 [4]. Melalui pemahaman yang lebih baik tentang emisi karbon dan pembelajaran dari strategi pengurangan yang telah diterapkan di lokasi ini, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi positif terhadap upaya mitigasi perubahan iklim di Indonesia. Selain itu, hasil penelitian ini juga dapat menjadi dasar untuk perbaikan dan pengembangan kebijakan lingkungan yang lebih efektif terkait PLTU di masa depan. Salah satu upaya untuk mengatasi perubahan iklim adalah menurunkan emisi CO₂ dengan Rencana Aksi Nasional–Gas Rumah Kaca (RAN-GRK) [5], yang dominan dalam kontribusi perubahan iklim. Langkah-langkah mitigasi yang efektif memerlukan pemahaman yang mendalam tentang sumber-sumber emisi CO₂ dan perhitungan yang tepat tentang penurunannya. Oleh karena itu, Penelitian ini akan berfokus pada analisis kinerja operasi gas rumah kaca, dengan penekanan khusus pada emisi CO₂, dan upaya menghitung nilai perbandingan keakuratan data di PLTU 2×300 MW dengan metode penghitungan Inventarisasi Gas Rumah Kaca (IGRK).

2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, digunakan metode literasi, pengumpulan data, dan perhitungan emisi gas rumah kaca (GRK) berdasarkan Pedoman IPCC-2006. Laporan Inventarisasi GRK Bidang Energi Sub Bidang Ketenagalistrikan 2010: Penelitian ini mencantumkan kewajiban pelaporan emisi GRK dari pembangkit listrik sesuai dengan regulasi nasional. Data emisi GRK dari unit pembangkit listrik penting untuk menghitung potensi mitigasi emisi GRK yang dilakukan oleh unit pembangkit listrik. Ini berkaitan dengan upaya penurunan emisi GRK sesuai dengan Peraturan Presiden Nomor 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAN-GRK)[3]. Pengumpulan data dan teknik perhitungan yang mengacu pada Pedoman "2006 IPCC *Guideline for National Greenhouse Gas Inventories*" atau IPCC-2006 [6-11]. Data yang kami kumpulkan berasal dari operasional PLTU selama periode 2020-2022, yang merupakan informasi yang

diperlukan untuk menghitung emisi gas rumah kaca dari PLTU 2×300 MW. Dalam artikel ilmiah ini, kami akan mengakses data tahunan langsung dari sumber aslinya. Untuk mendapatkan data yang lebih lengkap, kami juga akan merujuk kepada laporan penelitian asli. Rangkuman data selama satu tahun dapat ditemukan dalam Tabel 1, 2, 3, dan 4 di bawah ini:

2.1. Data operasional

Tabel 1. Data Unit #A (300 MW)

Unit #A	2019	2020	2021	2022
Pemakaian BB (Ton)	1.120.451,15	917.992,94	876.561,28	871.473,70
Carbon (CO ₂)	50,06	47,65	47,23	48,34
NCV (TJ/Gg)	18,47	18,39	17,32	18,92

Tabel 2. Data Unit #B (300 MW)

Unit #B	2019	2020	2021	2022
Pemakaian BB (Ton)	1.145.203,43	983.640,59	1.082.944,08	750.007,70
Carbon (CO ₂)	50,06	47,65	47,23	48,34
NCV (TJ/Gg)	18,47	18,39	17,32	18,93

2.2. Data Intesitas emisi GRK, untuk sebagai data pembanding untuk dikomparasi dari hasil perhitungan dengan metode IGRK pada tabel 3 dibawah ini:

Tabel 3. Data Output Intensitas GRK (ton CO₂e/MWh) [18].

	2019	2020	2021	2022
Unit #A	1,17	1,11	0,98	1,07
Unit #B	1,17	1,10	1,01	1,10

2.3. Formula Emisi GRK Secara Umum [3].

Secara umum, emisi gas rumah kaca dihitung dengan mengalikan data aktivitas dengan faktor emisi bahan bakar yang relevan.

$$E = DA \times FE \quad (1)$$

2.4. Faktor Emisi dengan Metode Penelitian IPCC 2006 [3].

Penentuan faktor emisi dapat dikategorikan menjadi tiga tingkatan (*Tier*) rincian dibawah ini:

2.4.1. Faktor emisi pada *Tier*-1 merujuk pada faktor emisi yang telah ditetapkan secara internasional dan berlaku di seluruh negara pada tabel 4 dibawah ini:

Tabel 4. NCV dan Faktor Emisi IPCC [3].

Jenis Bahan Bakar	Kg GRK/TJ			NCV	Kandungan Karbon	
	CO ₂	CH ₂	N ₂ O		Kg/TJ	%
Sub Bituminous	96,10	1	1,5	18,9	26,2	50

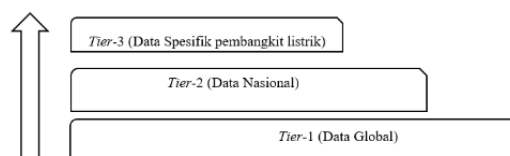
2.4.2. Faktor emisi pada *Tier-2* adalah faktor emisi yang bersifat spesifik untuk setiap negara bisa di lihat pada tabel 5 dibawah ini:

Tabel 5. NCV dan Faktor Emisi Batubara Nasional [3].

Kualitas batubara	Kg GRK/TJ			NCV	Kandungan Karbon	
	CO ₂	CH ₂	N ₂ O		Kg/TJ	%
Rendah (<5100)	106,48	N/A	N/A	14,80	29,0	43

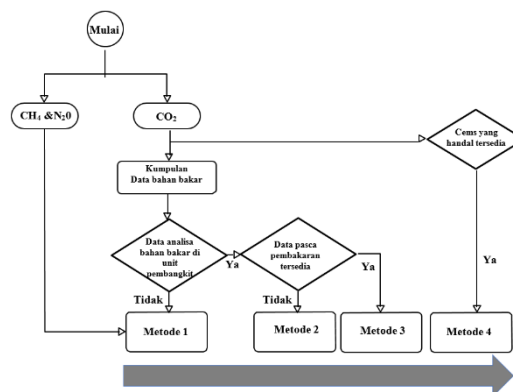
2.4.3. Faktor emisi pada *Tier-3* adalah faktor emisi yang sangat spesifik dan berkaitan dengan sebuah pembangkit listrik di suatu negara. (Data spesifik belum ada di pembangkit)

2.4.4. Dari perhitungan Emisi 3 tingkatan faktor Emisi pada Gambar 1 di bawah ini :



Gambar 1. Tingkatan Faktor Emisi

2.4.5. Alur Penentuan Metode Perhitungan Emisi GRK



Gambar 2. Alur penentuan metode perhitungan emisi GRK Pembangkit Listrik

2.5. Perhitungan Emisi CO₂[3].

Penghitungan emisi CO₂ dapat dilakukan dengan menggunakan pendekatan berbasis perhitungan atau berbasis pengukuran, dan perusahaan pembangkit dapat memilih metode yang sesuai berdasarkan data yang tersedia.

Perhitungan Emisi GRK dengan Metode 1 dan *Tier 1*

$$E_{CO_2} = DA \times FE \quad (2)$$

Perhitungan Emisi GRK dengan Metode 1 *Tier 2*

$$DA_{BB} = F_{BB} \times NCV \times 10^{-3} \quad (3)$$

Perhitungan Emisi GRK dengan Metode 2 *Tier 2*

$$E_{CO_2} = F_{BB} \times C_{ar} \times FO \times 44/12 \quad (4)$$

Perhitungan Emisi GRK dengan Metode 3 *Tier 3*

$$E_{CO_2} = F_{BB} \times \{C_{ar} - (A_{ar} \times C_{ub})\} \times 44/12 \quad (5)$$

2.6. Gambaran Umum penerapan Pajak Karbon

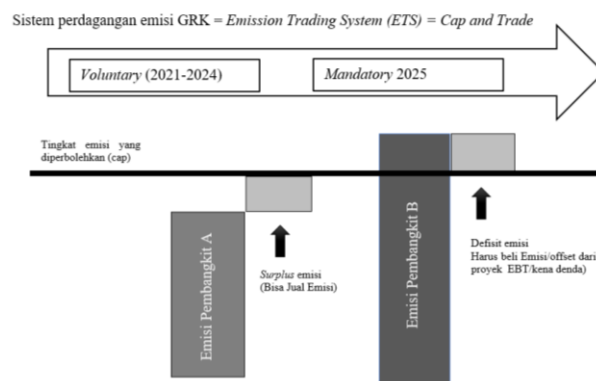
Pembagian kapasitas berdasarkan Peraturan Menteri ESDM Nomor 9 Tahun 2020 tentang Efisiensi Penyediaan Tenaga Listrik PT PLN (Persero) dan Nilai *cap* berdasarkan

nilai intensitas emisi GRK rata-rata tertimbang pada tahun 2019 pada 3 (tiga) kelompok PLTU peserta uji coba perdagangan karbon, mempertimbangkan kelebihan alokasi kuota emisi bisa di lihat pada tabel 6 di bawah ini:

Tabel 6. Nilai *Cap* Emisi GRK PLTU

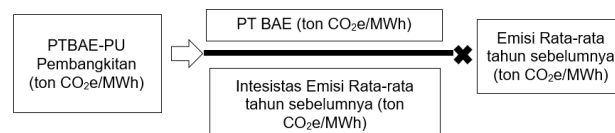
Jenis Pembangkit	Kapasitas Terpasang (MW)	Nilai <i>cap</i> (ton CO ₂ /MWh)
PLTU	$x > 400$	0,92
PLTU	$100 \leq x \leq 400$	1,01
PLTU Mulut Tambang	$100 \leq x \leq 400$	1,09

Konsep umum sistem perdagangan Emisi GRK (ETS) [19].



Gambar 3. Konsep Umum ETS

Dari Penertiban persetujuan Teknis Batas Atas Emisi Pelaku Usaha (PTBAE-PU) Pembangkitan sesuai Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 16 Tahun 2022 [4].



Gambar 4. Perhitungan Emisi Total

Pemerintah telah mengesahkan Undang-Undang Nomor 7 Tahun 2021 tentang pajak karbon di Indonesia, berlaku mulai 1 April 2022 untuk PLTU Batubara dengan tarif Rp30 per kg CO₂e. Meski lebih rendah dari yang direncanakan dalam RUU KUP (Rp75/kg CO₂e), tarif Rp30/kg CO₂e dianggap terlalu rendah, mengingat rekomendasi Bank Dunia dan IMF. Sebagai solusi, tarif yang lebih sesuai adalah Rp30.000 per ton CO₂e, sesuai dengan persamaan "*marginal benefit of abatement = marginal cost of abatement*" [14]

3. PEMBAHASAN

3.1. Perhitungan Langsung dengan Metode IGRK

3.1.1. Perhitungan Emisi GRK dengan Metode 1 dan Tier 1

Data sampel perhitungan Unit #1 tahun 2022 bisa dilihat pada tabel 7 dibawah ini:

Tabel 7. Sampel perhitungan Unit #1

Bahan Bakar	Faktor Emisi CO ₂
Batubara <i>Low rank</i>	96,10

$$E_{CO_2} = 871.473,70 \times 96,10 = 83.748.622,77 \text{ tCO}_2$$

3.1.2. Perhitungan Emisi GRK dengan Metode 2 Tier 2 bisa dilihat pada tabel 8 dibawah ini:

Tabel 8. Nilai Faktor Oksidasi [3].

Bahan Bakar	Faktor Oksidasi
Batubara	100 %

$$E_{CO_2} = F_{BB} \times C_{ar} \times FO \times 44/12$$

Data contoh perhitungan Unit #1 tahun 2022

Diketahui

$$F_{BB} = 871.473,70 \text{ ton}$$

$$C_{ar} = 48,31 \%wt \rightarrow \text{Sumber data di ambil dari Average 1 tahun}$$

$$FO = 100 \%$$

$$E_{CO_2} = (F_{BB} \times C_{ar} \times 1 \times 44) / 1200 = 1.543.827,28 \text{ tCO}_2$$

3.1.3. Perhitungan Emisi GRK dengan Metode 3 Tier 3

$$E_{CO_2} = F_{BB} \times \{C_{ar} - (A_{ar} \times C_{ub})\} \times 44/12$$

diketahui

$$F_{BB} : 871.473,70 \text{ ton}$$

$$C_{ar} : 48,31 \%wt$$

$$A_{ar} : 7,83 \%wt$$

$$C_{ub} : 0,30 \%wt \text{ (Unburn Carbon, tidak ada dlm sertifikat) harus dianalisa dari sampel fly ash \& bttm ash)}$$

Maka, kita dapat menghitung E_{CO_2} sebagai berikut:

$$E_{CO_2} = 871.473,70 \times \{48,31 - (7,83 \times 0,30)\} \times 44/12$$

$$C_{ar} - (A_{ar} \times C_{ub}) = 48,31 - (7,83 \times 0,30) = 48,31 - 2,35 = 45,96 \%$$

$$E_{CO_2} = (871.473,70 \times 45,96 \times 44) / 1200$$

$$E_{CO_2} = 1.468.639.43 \text{ tCO}_2$$

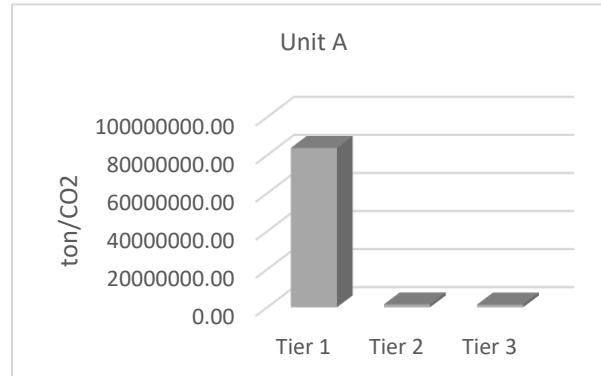
3.2. Compile Hasil perbandingan dengan 3 metode

Dari perhitungan manual akan terlihat nilai pada tabel 9 sesuai tingkat akurasi antar metode sebelum di bandingkan dengan hasil IGRK perhitungan Output Aplikasi Pemerintah.

Tabel 9. Hasil Perhitungan dengan Metode IGRK dengan contoh data 2022

	Tier 1	Tier 2	Tier 3
Unit #A	83.748.622,77	1.543.827,28	1.468.639,43

Tabel 10 bisa dilihat pada Gambar 5 Grafik Perbandingan Hasil Emisi dibawah ini:



Gambar 5. Perhitungan dengan Metode IGRK dengan contoh data 2022

Dari analisis perhitungan di atas, tergambar dengan jelas bahwa hasilnya menunjukkan adanya penurunan data pada metode *Tier 1*, *Tier 2*, dan *Tier 3*. Temuan ini mengarah pada kesimpulan bahwa data tersebut secara konsisten mendukung teori yang menyatakan bahwa semakin tinggi tingkat perhitungan Tier, semakin rendah emisi yang dihasilkan. Oleh karena itu, dari perbandingan yang telah dilakukan, terlihat bahwa implementasi metode perhitungan *Tier 2* kepada pemerintah sesuai dengan data yang terdokumentasi dalam aplikasi Gatrik dan untuk hasil *output* Intensitas GRK bisa dilihat pada tabel 10,11 dan 12 dibawah ini.

Tabel 10. Data *Output* Intensitas GRK (ton CO₂e/MWh) [18].

	2019	2020	2021	2022
Unit #A	1,17	1,11	0,98	1,07
Unit #B	1,17	1,10	1,01	1,10

Tabel 11. Data Hasil perhitungan Intesitas (ton CO₂e/MWh)

	2019	2020	2021	2022
Unit #A	1,17	1,11	0,98	1,07
Unit #B	1,17	1,10	1,01	1,10

Tabel 12. Data Komparasi Hasil Intesitas (ton CO₂e/MWh)

	2019		2020		2021		2022	
	M	G	M	G	M	G	M	G
Unit #A	1,17	1,17	1,11	1,11	0,98	0,98	1,07	1,07
Unit #B	1,17	1,17	1,10	1,10	1,01	1,01	1,10	1,10

M : Perhitungan Intesitas Langsung

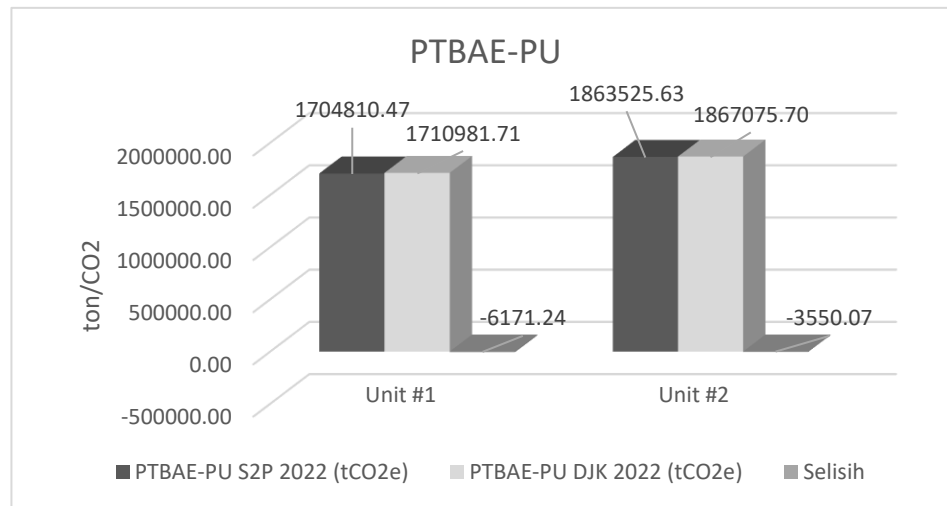
G : Hasil Output Intesitas Gatrik (Aplikasi Pemerintah)

Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa data output dari aplikasi dianggap akurat dan bisa di lanjutkan dalam perhitungan Komparasi batas emisi perhitungan PLTU dengan Data hasil dari perhitungan Aplikasi.

Hasil Perhitungan bisa dilihat pada tabel 13 dan Gambar 6 dibawah ini:

Tabel 13. Data Hasil komparasi PTBAE-PU Perhitungan Metode *Tier 2* VS Aplikasi Gatrik Tahun 2023

Power Plant	PTBAE-PU S2P (tCO ₂ e)	PTBAE-PU DJK (tCO ₂ e)	Selisih (tCO ₂ e)
Unit #A	1.704.810,47	1.710.981,71	-6.171,24
Unit #B	1.863.525,63	1.867.075,70	-3.550,07

**Gambar 6.** Grafik Perbandingan PTBAE-PU

3.3. Rencana perhitungan Emisi Tahun 2023

PTBAE-PU PLTU 2×300 MW telah di sepakati dengan nilai tersebut dan sudah di klarifikasi hasil perhitungan dari point 3.2 bahwa gap intensitas nilai mendekati hasil Output Gatrik sehingga sangat mendukung persetujuan perhitungan oleh pemerintah bisa dilihat pada Gambar 7 dibawah ini:

Jenis Pembangkit	Mulut Tambang	Kapasitas Terpasang (MW)	Rencana Emisi (ton CO ₂ e)	Nilai PTBAE-PU (ton CO ₂ e)
PLTU - Batubara (PLTU Subcritical - Pulverized Coal Combustion)	Tidak	300.00	1,165,114.00	1,710,981.71
PLTU - Batubara (PLTU Subcritical - Pulverized Coal Combustion)	Tidak	300.00	1,358,823.00	1,867,075.70

Gambar 7. PTBAE-PU Persetujuan ESDM Ketenagalistrikan

Dari hasil perhitungan estimasi yang sudah bisa dihitung sesuai pada tabel 14 dibawah ini:

Tabel 14. Hasil potensi nilai Emisi tahun 2023

PTBAE-PU S2P 2022 (tCO ₂ e)	PTBAE-PU DJK 2022 (tCO ₂ e)	Emisi tahun 2023	PTBAE-PU- Emisi total 2023	Presentasi Cap Emisi (%)	
				Surplus	Defisit
1,704,810.47	1.710.981,71	1.165.114,00	545.867,71	32%	
1,863,525.63	1.867.075,70	1.358.823,00	508.252,70	27%	

Total Presentasi	59% (Surplus)
------------------	---------------

Jadi Untuk Nilai Jual beli karbon bisa dilihat di tabel 15 dibawah ini:

Tabel 15. Hasil Potensi Estimasi/Prediksi Jual beli karbon di tahun 2023

Unit	Emisi (tCO ₂ e)	Beli Emisi (Emisi ×(101.5/100)×30.000,-)	Jual Emisi <i>Minimal</i> (× 4000,-)	Jual Emisi <i>Maximal</i> (× 30.000,-)
#A			2.183.470.840,00	16.376.031.300,00
	545.867,71			
#B			2.033010.800,00	15.247.581.000,00
	508.252,70			

Dari data hasil di atas, nilai potensi Jual Beli karbon dari proses perhitungan *Tier 2* dapat dimonitor. Data ini dapat dianalisis untuk pertimbangan ke depan, baik dalam proses penurunan emisi dengan memperhatikan peralihan ke perhitungan *Tier 3*, mengurangi Pemakaian Sendiri (PS) energi dengan program *Solar Cell*, penurunan carbon batubara, mengurangi target CF (*Request* dari rencana PLN) maupun melalui implementasi rencana pendukung lainnya bertujuan menjadi menjaga konsistensi di bawah Cap Emisi.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Pembangkit Listrik Tenaga Uap PLTU 2×300 MW di Jawa Tengah menjadi sumber utama emisi CO₂ dalam sektor energi Indonesia. Perhitungan Gas Rumah Kaca (GRK) dari PLTU ini menggunakan berbagai metode (*Tier 1*, *Tier 2*, *Tier 3*), dan hasilnya konsisten sesuai dengan teori yang diterapkan oleh pemerintah dan juga terbukti hasil perhitungan manual VS data Approvel Gatrik dapat terbukti hasil mendekati akurat. Penelitian lanjutan dan pemantauan terus menerus diperlukan untuk mengukur dampak kebijakan pajak karbon dan ETS terhadap pengurangan emisi GRK di sektor energi Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. F. S. Budi and S. Suparman, "Perhitungan Faktor Emisi CO₂ PLTU Batubara dan PLTN," Jurnal Pengembangan Energi Nuklir, vol. 15, no. 1, 2013.
- [2] E. S. D. M. Kementerian, "Inventarisasi Emisi GRK Bidang Energi," Pusat Data dan Teknologi Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral, 2020.
- [3] K. Energi and S. D. Mineral, "Pedoman Penghitungan dan Pelaporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca," Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, 2018.
- [4] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, "Tata cara penyelenggaraan nilai ekonomi karbon subsector pembangkit tenaga listrik," Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 16 Tahun 2022, 2022.
- [5] Rizki, Danti Fadhila, Hernani Yulinawati, and Mawar DS Silalahi. "Kajian Inventarisasi dan Estimasi Upaya Penurunan Emisi Karbon Dioksida Di PLTU Suralaya Unit 1–7, Banten." In Prosiding Seminar Nasional Cendekiawan, pp. 6-1, 2016.
- [6] M. Chaerul, A. Febrianto, and H. S. Tomo, "Peningkatan kualitas penghitungan emisi gas rumah kaca dari sektor pengelolaan sampah dengan metode IPCC 2006 (studi kasus: Kota Cilacap)," Jurnal Ilmu Lingkungan, vol. 18, no. 1, pp. 153-161, 2020.
- [7] Eggleston, H S, Buendia, L, Miwa, K, Ngara, T, and Tanabe, K. 2006. "2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories." Japan.

- [8] M. Nawir, H. Pramoedyo, B. Yanuwadi, and D. S. Nojeng, "Inventory and Efforts to Reduce Carbon Dioxide Emissions for the Operation of the Jeneponto Units 1 & 2 Coal Power Plant in South Sulawesi, Indonesia," 2022.
- [9] IPCC, "2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 1: General Guidance and Reporting, Chapter 3: Uncertainties," Geneve, Austria, 2006.
- [10] IPCC, "2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 1: Energy, Chapter 1: Introduction," Geneve, Austria, 2006.
- [11] IPCC, "2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 1: Energy, Chapter 2: Stationary Combustion," Geneve, Austria, 2006.
- [12] M. F. Akhsani and K. P. P. J. BALI, "Pengambilan Keputusan Operation And Maintenance (O&M) Pltu Batu Bara Menggunakan Pemodelan Keandalan Dan Sistem Dinamik," Doctoral dissertation, Thesis. Institut Teknologi Sepuluh November, 2018.
- [13] R. Watanabe and G. Robinson, "The European Union emissions trading scheme (EU ETS)," *Climate Policy*, vol. 5, no. 1, pp. 10-14, 2005.
- [14] H. N. Maghfirani, N. Hanum, and R. D. Amani, "Analisis Tantangan Penerapan Pajak Karbon Di Indonesia," *Juremi: Jurnal Riset Ekonomi*, vol. 1, no. 4, pp. 314-321, 2022.
- [15] Febijanto, Irhan. "Perhitungan Faktor Emisi Di Sistem Jaringan Ketenagalistrikan Jawa-Madura-Bali." *Jurnal Teknologi Lingkungan*, vol. 11, no. 2 (2010): 227-237.
- [16] Faizah, Silmi. "Pengukuran Emisi terhadap Dampak lingkungan pada PLTU menggunakan Cycle Assessment (Studi Kasus: PLTU Teluk Sirih)." PhD diss., Universitas Andalas, 2022.
- [17] Putra, Arinan Najah, Arief Marwanto, and Muhamad Haddin. "Potential for Reducing CO2 Emissions in the Operation of Subcritical Power Plants into Supercritical." In 2020 7th International Conference on Electrical Engineering, Computer Sciences and Informatics (EECSI), pp. 100-104. IEEE, 2020.
- [18] Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan. "Aplikasi penghitungan & pelaporan emisi Ketenagalistrikan." Apple-Gatrik. [Online]. Available: <https://apple-gatrik.esdm.go.id/tingkat-fasilitas/rekap-emisi>. Accessed on October 20, 2023.
- [19] Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan. "Aplikasi penghitungan & pelaporan emisi Ketenagalistrikan." Apple-Gatrik. [Online]. Available: <http://perdagangankarbon-esdm.id/tingkat-fasilitas/ets-unit-pembangkit-neraca-detail?id=1478>. Accessed on October 20, 2023.