

**ANALISIS POTENSI BEBAN EMISI
PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) *CO-FIRING*
DAN KEMAMPUAN SERAPAN TANAMAN PENGHIJAUAN
DI AREA KERJA TERHADAP EMISI CO₂ PT MAKMUR SEJAHTERA WISESA
KABUPATEN TABALONG PROVINSI KALIMANTAN SELATAN**

**Analysis of Potential Emission
Loads at the Co-Firing Steam Power Plant
and the Absorption Capability of Reforestation Plants
in the Work Area on CO₂ Emissions of PT Makmur Sejahtera Wisesa,
Tabalong Regency, South Kalimantan Province**

Joko Agus Pamuji Wibowo¹⁾, Suyanto²⁾, Gusti Rusmayadi³⁾, Abdul Ghofur⁴⁾

¹⁾ *Program Magister Pengeloaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan
Universitas Lambung Mangkurat/ e-mail: joko.apw@gmail.com*

²⁾ *Fakultas Kehutanan Universitas Lambung Mangkurat/ e-mail: suyantomp1@gmail.com*

³⁾ *Fakultas Pertanian Universitas Lambung Mangkurat/ e-mail: grusmayadi@gmail.com*

⁴⁾ *Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat / e-mail: ghofur@yahoo.co.uk*

Abstract

One of the policies of the Ministry of Energy and Mineral Resources of the Republic of Indonesia related to the contribution in reducing the effect of greenhouse gases is to terminate or discontinue the construction permit for coal-fired Steam Power Plants, which will begin gradually in 2025. This policy is considered difficult to implement, because there are still many Coal Power Plant that are still operating in accordance with the permits issued by the Government. So in addition to the policy of retiring coal-fired power plants, the Government has implemented a policy of Co-firing Power Plant innovation for better environmental management and supporting sustainable development goals. Coal Power Plant PT Makmur Sejahtera Wisesa (MSW) in South Kalimantan will implement the Power Plant Co-Firing policy. This study aims to analyze the amount of power plant greenhouse gas emissions so far, then project the amount of emissions until 2030 with the treatment of coal-fired power plants and co-firing power plants, and calculate the carbon uptake of plants in reforestation areas at PT MSW Power Plant. The method used is the data collection and calculation of Green House Gas Emissions (GHG) produced so far and then simulated calculations using waste pellets as co-firing fuel, using the 2006 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Guidelines approach method. The calculation results The GHG emission is projected until 2030 using the Auto- Regressive Moving Average (ARIMA) method. The GHG emissions produced by the Power Plant are compared with the company's efforts so far by planting trees in the reforestation area of the PLTU. To assess these efforts, an evaluation of the GHG emissions produced by the ability of reforestation plants to absorb CO₂ emissions has been carried out so far. The results of the study obtained that the GHG Emissions of the PT MSW Power Plant in 2021 amounted to 156,436 tons / year. From the results of data projections obtained for the next 9 years (until 2030) the results of gas emissions will decrease every year. The results of the inventory and estimation of the absorption capacity of plants in the reforestation area of PT MSW Power Plant with an area of 30,535.12 m², is 3,820.5 tons/year and carbon absorbed is 103.86 tons. With a total number of tree plants, an inventory of 2,764 trees was carried out.

Keywords: *carbon sequestration; co-firing steam power plant; greenhouse gas emissions*

PENDAHULUAN

Pemanasan global menjadi permasalahan lingkungan di dunia saat ini sehingga muncul Kesepakatan Paris di tahun 2015, yang merupakan sebuah kesepakatan global antara negara maju dan negara berkembang untuk mengatasi masalah pemanasan global dan perubahan iklim. Dengan adanya kesepakatan tersebut, setiap negara baik negara maju, maupun berkembang harus berkontribusi dalam menurunkan emisi gas rumah kaca (GRK) mereka, termasuk Indonesia. Menurut Indonesia *Third National Communication* tahun 2017, Sub Bidang Ketenagalistrikan dari Bidang Energi merupakan bidang penyumbang emisi GRK terbesar pada tahun 2014 yang mencapai 34,6% terhadap total inventori GRK Bidang Energi. Emisi GRK sub bidang ketenagalistrikan diproyeksikan akan tetap menjadi yang terbesar pada tahun 2030.

Salah satu kebijakan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia terkait kontribusi dalam menurunkan efek gas rumah kaca adalah dengan melakukan penghentian atau tidak melanjutkan izin pembangunan PLTU berbahan bakar batubara yang dimulai tahun 2025 secara bertahap.

Selain kebijakan memensiunkan PLTU batubara, Pemerintah melakukan kebijakan inovasi PLTU *co-firing* untuk pengelolaan lingkungan yang lebih baik dan mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan.

Di tahun 2020 Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) melakukan uji coba PLTU *co-firing*, dengan memanfaatkan 10% biomassa dari pellet sampah di PLTU Ropa Flores dan 5 % biomassa dari pellet cacahan kayu di PLTU Bolok Kupang, hasil uji coba PLTU *co-firing* tersebut dinyatakan berhasil. Dimana indikator keberhasilannya adalah hasil pembakaran di kedua PLTU tersebut sempurna selayaknya penggunaan bahan bakar 100 % batubara. Kemudian

parameter saat beroperasi tidak menghasilkan perbedaan yang signifikan antara penggunaan bahan bakar batubara tanpa biomassa dan batubara dikombinasikan dengan biomassa. Berdasarkan hasil uji coba tersebut, PLTU PT Makmur Sejahtera Wisesa (MSW) di Kabupaten Tabalong Provinsi Kalimantan Selatan berencana akan melakukan *co-firing* sesuai dengan kebijakan Kementerian ESDM.

PT MSW merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dibidang usaha pembangkit listrik di Kabupaten Tabalong Provinsi Kalimantan Selatan. PT MSW memiliki PLTU dengan kapasitas 2x30 MW. PLTU beroperasi dan berproduksi listrik sejak tahun 2013. PLTU ini termasuk kategori PLTU mulut tambang. Dimana tujuan pembangunan PLTU tersebut untuk melayani kebutuhan listrik di wilayah pertambangan PT Adaro Indonesia yang berada di Kabupaten Tabalong. Selama ini upaya perusahaan dalam pengelolaan emisi GRK dengan melakukan penanaman pohon. Dimana tujuan penanaman pohon selain untuk penghijauan dan memanfaatkan kemampuan tanaman dalam menyerap emisi CO₂. Hutan berperan penting dalam menyerap karbon dioksida (CO₂) dalam proses fotosintesis untuk menghasilkan Oksigen (O₂) dan energi yang sebagian besar energi tersebut berada dalam bentuk biomassa (Widyasari, et al, 2010).

Penelitian ini menarik untuk dilaksanakan karena PLTU *co-firing* merupakan kebijakan jalan tengah dalam mengurangi Emisi GRK di sektor energi. Dimana kita belum mengetahui sejauh mana nilai penurunan Emisi GRK yang akan dihasilkan suatu PLTU *co-firing* yang memanfaatkan biomassa pellet sampah. Diharapkan pemanfaatan sampah sebagai bahan bakar kombinasi akan mendorong inovasi pengelolaan sampah di masa mendatang.

Kemudian perhitungan serapan emisi oleh tanaman penghijauan sebagai bentuk penilaian upaya pengelolaan Emisi GRK

selama ini oleh perusahaan. Tanaman yang merupakan sebagai komponen utama pengisi RTH ini memiliki kemampuan dalam menyerap emisi CO₂ sehingga mampu mengurangi konsentrasi emisi CO₂ di alam. (E.N. Dahlan, 2007).

METODE PENELITIAN

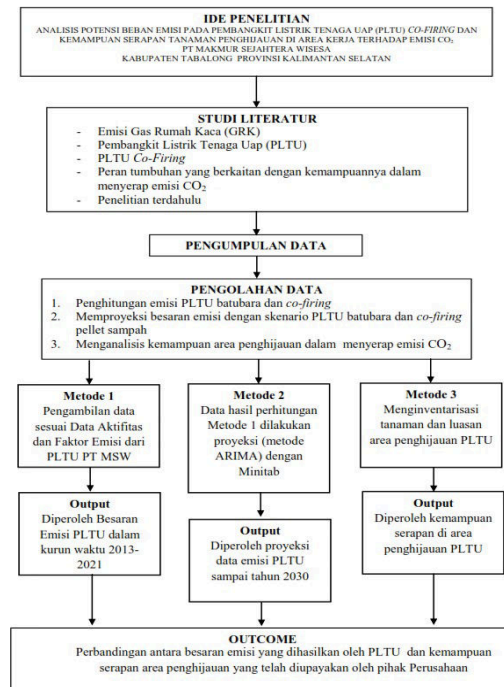
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis besaran emisi yang dihasilkan PLTU batubara selama ini, kemudian potensi besaran emisi PLTU *co-firing* serta menganalisis kecukupan upaya penghijauan di area kerja PLTU dalam menyerap emisi tersebut. Untuk melakukan analisis tersebut dibagi dalam beberapa tahapan yaitu melalui studi literatur yang terkait dengan penelitian ini, pengumpulan data, dan analisis dari data yang dikumpulkan. Data yang dikumpulkan meliputi data primer dan sekunder. Data primer diperoleh dengan survey lapangan dan pengamatan langsung di lapangan. Data sekunder merupakan hasil studi dari berbagai penelitian terdahulu terkait perhitungan emisi dari pembangkit listrik dan data kemampuan serapan CO₂ tanaman.

Data yang telah diperoleh, kemudian dianalisa menggunakan metode perhitungan matematis dengan menggunakan persamaan dari beberapa literatur. Emisi karbon dari aktifitas pembangkit listrik menggunakan pendekatan Pedoman *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* tahun 2006. Pedoman IPCC 2006 merupakan metode yang dapat diterapkan untuk semua Negara dan metode perhitungan untuk mengatasi ketersediaan data dengan menggunakan faktor emisi yang sudah ditentukan oleh IPCC. (Fahri Ihsan, 2018). Data Aktifitas dalam perhitungan emisi dari sektor pembangkit listrik adalah volume dan kualitas bahan bakar.

Penentuan potensi besaran emisi PLTU *Co-Firing* dengan menggunakan asumsi persentase bahan bakar batubara hasil proyeksi data historis unit dan

menggunakan faktor emisi dari literatur terkait pellet sampah. Proyeksi dilakukan sampai tahun 2030 untuk menyesuaikan dengan kebijakan pemerintah yang akan mempersiapkan PLTU batubara.

Kemudian dilanjutkan dengan melakukan analisis penyerapan karbon oleh kegiatan penghijauan di area kerja PLTU dengan kemampuan serapan karbon berdasarkan pendekatan kemampuan jenis tanaman dalam menyerap emisi.



Gambar 1. Kerangka Penelitian

Analisis Emisi GRK PLTU Batubara dan Co-firing

Dengan menggunakan data konsumsi bahan bakar metode rumus penghitungan emisi CO₂ dengan persamaan 1 sebagai berikut:

$$E_{CO} = DA \times FE \tag{1}$$

dimana:

- E_{CO} : Total emisi CO₂ (ton CO₂)
- DA : Data Aktivitas (TJ)
- FE : Faktor Emisi (ton/TJ)

Analisis Potensi Beban Emisi pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) *Co-Firing* dan Kemampuan Serapan Tanaman Penghijauan di Area Kerja terhadap Emisi CO₂ PT Makmur Sejahtera Wisesa Kabupaten Tabalong Provinsi Kalimantan Selatan (**Joko A. P. W., Suyanto, Gusti R. dan Abdul G.**)

Data aktivitas bahan bakar batubara

$$DABB = FBB \times NCV \quad (2)$$

dimana:

DABB : Data aktivitas batubara (TJ)

FBB : Konsumsi batubara dalam setahun (ton)

NCV : Nilai kalor bersih batubara (TJ/Gg), nilai NCV batubara spesifik unit pembangkit atau default nasional

Data aktivitas bahan bakar biomassa padat

$$DABm = FBm \times NCV \times 3 \quad (3)$$

dimana:

DAB : Data Aktivitas Biomassa (TJ)

Bm : Jumlah Konsumsi biomassa dalam setahun (ton)

NCV : Nilai kalor bersih biomassa padat (TJ/Gg), nilai NCV default IPCC

Tabel 1. NCV dan Faktor Emisi Batubara Nasional (Tier-2)

Kualitas Batubara (nilai kalor)	Kg/TJ			NCV TJ/Gg	Kandungan Karbon	
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O		Kg C/TJ	%
Rendah (<5100)	106,476	N/A	N/A	14,8	29,0	42,92
Sedang (5100-6100)	100,575	N/A	N/A	18,7	27,4	51,24
Tinggi (6100-7100)	94,715	N/A	N/A	24,1	25,8	62,18
Tinggi Sekali (>7100)	95,062	N/A	N/A	28,5	25,9	73,82

Sumber : Penilaian Kinerja KESDM 2016

Tabel 2. NCV dan Faktor Emisi IPCC (Tier-1)

Jenis Bahan Bakar	Kg/TJ			NCV TJ/Gg	Kandungan Karbon	
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O		Kg C/TJ	%
Gas oil	74,100	3	0,6	43,0	20,2	87
Diesel oil	74,100	3	0,6	43,0	20,2	87
Residual fuel oil	77,400	3	0,6	40,4	21,1	86
Natural Gas	56,100	1	0,1	48,0	15,3	73
Coking Coal	94,600	1	1,5	28,2	25,8	67
Other Bituminous	94,600	1	1,5	25,8	25,8	73
Sub Bituminous	96,100	1	1,5	18,9	26,2	50
Lignite	101,000	1	1,5	11,9	27,6	33
Peat	106,00	1	1,5	9,76	28,9	28
Biodiesel	70,800	3	0,6	27,0	19,3	52
Landfill gas	54,600	1	0,1	50,4	14,9	75
Other Biogas	54,600	1	0,1	50,4	14,9	75
Wood/ Wood Waste	112,000	30	4	15,6	30,5	48
Other primary solid Biomass	100,000	30	4	11,6	27,3	32

Sumber: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

Kemudian untuk perhitungan GRK dari pellet sampah menggunakan faktor emisi dan NCV referensi dari penelitian pellet sampah yang dilakukan di Provinsi Bali oleh I Wayan Koko Suryawan. Faktor Emisi pellet sampah: 94.8 kg CO₂/TJ (Yun et al., 2007) Nilai Kalor (NCV) pellet sampah: 14,64 MJ/Kg (Suryawan I.W et al. 2021). Hal ini digunakan karena pihak perusahaan dalam melakukan inovasi *Co-firing* menggunakan referensi yang sama dengan penelitian tersebut. Sehingga produksi pellet sampah untuk bahan bakar PLTU nya melakukan duplikasi kegiatan dengan kondisi yang dilakukan dalam penelitian di Provinsi Bali tersebut.

Proyeksi Emisi PLTU

Setelah dilakukan perhitungan emisi PLTU Batubara dan *Co-Firing* dengan data bahan bakar historis unit dilanjutkan dengan proyeksi data hasil perhitungan. Adapun skenario yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Data Pengoperasian PLTU dari Beberapa Skenario

No	Skenario	Data Aktivitas dan Pengelolaan
1	Skenario 1 (BAU- Business As Usual) (tahun 2013-2030)	Bahan bakar PLTU menggunakan 100% batubara
2	Skenario 2 (Co-Firing 5%) (tahun 2021-2030)	Bahan bakar PLTU menggunakan 95% batubara dan 5% pellet sampah
3	Skenario 3 (Co-Firing 10%) (tahun 2021-2030)	Bahan bakar PLTU menggunakan 90% batubara dan 10% pellet sampah

Pada penelitian ini proyeksi akan menggunakan metode Auto-Regressive Moving Average (ARIMA). Metode ARIMA menggunakan pendekatan iteratif dalam mengidentifikasi suatu model yang paling tepat dari berbagai model yang ada. Metode ARIMA dapat diaplikasikan sebagai metode untuk melakukan identifikasi model, estimasi parameter model, diagnostic checking, dan peramalan (forecasting). ARIMA hanya dapat diterapkan untuk deret waktu yang stasioner. Berdasarkan persamaan umum ARIMA, maka pada penelitian ini digunakannya persamaan 4 sebagai operasi dalam melakukan peramalan emisi gas.

$$Y_t = + b_1 Y_{t-1} + \dots + b_n Y_{t-n} - a_1 e_{t-1} - \dots - a_n e_{t-n} + e_t \quad (4)$$

dimana:

- Y_t : nilai emisi
- Y_{t-1}, Y_{t-2} : nilai lampau emisi
- e_{t-1}, e_{t-2} : variabel bebas yang merupakan lag dari residual
- e_t : residual
- b_0 : nilai emisi pertama
- b_1, b_n, a_1, a_n : koefisien model

Persamaan diatas telah dirancang kedalam bentuk application tools pada Minitab. Sehingga pada proses peramalan yang akan dilakukan pada penelitian ini, metode prediksi ARIMA dilakukan dengan aplikasi dari software MiniTab. Application Tools tersebut ternyata membutuhkan nilai parameter ARIMA yaitu parameter p, d, q dengan p menunjukkan ordo/derajat moving average (MA), d adalah tingkat proses

differencing, dan q menunjukkan ordo/derajat autoregressive (AR).

Dengan menggunakan software Minitab, parameter p,d,q bisa didapatkan dengan cara memasukkan nilai data yang akan menjadi dasar prediksi. Data tersebut yang dimaksud adalah data emisi dari tahun 2013 hingga tahun 2021. Kemudian pada Tool Option yang ada pada software Minitab, dapat diketahui nilai parameter-parameter tersebut. Dimana berdasarkan proses yang dilakukan pada Minitab didapatkan parameter terbaik berdasarkan data emisi tersebut adalah dengan menggunakan ARIMA (1,0,1).

Perhitungan Daya Serap CO2 oleh Area Penghijauan di PLTU

Perhitungan daya serap Area Penghijauan berdasarkan pada data hasil pengumpulan sampel terhadap luasan dari berbagai jenis pohon pada Area Penghijauan. Jumlah dan jenis pohon dalam Area Penghijauan didapatkan dari pengumpulan hasil penelitian, kemudian sampel dianalisis kemampuan masing-masing dalam menyerap CO2 sesuai dengan Tabel 2.3. Perhitungan daya serap menggunakan persamaan 3.5 (Roshinta, 2016) yang dapat dilihat sebagai berikut.

$$\text{Kemampuan penyerapan} = \text{daya serap CO}_2 \times \text{jumlah pohon} \quad (5)$$

Selain melalui persamaan 5, dilakukan juga perhitungan serapan pohon dengan menduga biomassa dan karbon tumbuhan berkayu. Melalui persamaan 6 (Ketterings, 2001) atau persamaan allometrik untuk tanaman pohon bercabang, yang dapat dilihat sebagai berikut.

$$BK = D \times \rho \times \quad (6)$$

Dimana:

- BK : Biomasa Pohon (kg/pohon)
- D : Diameter pohon setinggi dada/ 1,3 meter (cm)

Analisis Potensi Beban Emisi pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) *Co-Firing* dan Kemampuan Serapan Tanaman Penghijauan di Area Kerja terhadap Emisi CO₂ PT Makmur Sejahtera Wisesa Kabupaten Tabalong Provinsi Kalimantan Selatan (**Joko A. P. W., Suyanto, Gusti R. dan Abdul G.**)

ρ : Kerapatan Kayu (gr/cm³) sebesar 0,6 (Rahayu, 2007)

Kemudian menurut Hardiansyah (2011) dalam SNI 7724:2011 besaran persentase karbon dalam kayu, serasah dan kayu mati sebesar 47%, Maka untuk menduga karbon dalam kayu dapat digunakan persamaan 7, sebagai berikut:

$$C = 47\% \times BK \quad (7)$$

Dimana:

C : Karbon pohon (kg)
 BK : Biomasa Pohon (kg/pohon)
 47% : Konstanta Karbon menurut SNI 7724:2011

Evaluasi Kemampuan Daya Serap CO₂ oleh Area Penghijauan di PLTU

Evaluasi Area Penghijauan ini dilakukan dengan melakukan perhitungan sisa emisi pada tiap zona dengan persamaan 7 (Roshinta, 2016).

$$\text{Sisa emisi CO}_2 = A - B \quad (8)$$

Keterangan:

A : Total emisi CO₂ aktual (g/jam)
 B : Total daya serap CO₂ oleh Area Penghijauan (g/jam)

Evaluasi kemampuan serapan CO₂ Area Penghijauan. Evaluasi ini dilakukan dengan cara membandingkan hasil perhitungan emisi CO₂ dengan vegetasi eksisting. Jika hasil perhitungan daya serap vegetasi eksisting ini kurang dari emisi yang dikeluarkan maka perlu adanya kegiatan perencanaan Area Penghijauan pada kawasan PLTU.

Tabel 4. Kemampuan Pohon Menyerap Karbondioksida

No	Nama Jenis Tumbuhan	Nama Ilmiah	Daya Serap CO ₂ (kg/pohon/tahun)
1	Trembesi	<i>Samanea saman</i>	28.488,39 (6)
2	Cassia	<i>Cassia sp</i>	5.295,47 (6)
3	Kenanga	<i>Canangium odoratum</i>	756,59(6)
4	Pingku	<i>Dysoxylum excelsum</i>	756,59(6)
5	Beringin	<i>Ficus benyamina</i>	535,90(6)
6	Krey payung	<i>Fellcium decipiens</i>	404,83(6)
7	Matoa	<i>Pornetia pinnata</i>	329,76(6)
8	Mahoni	<i>Sweettiana mahagoni</i>	3.112,43 (1)
9	Saga	<i>Adenanthera pavoniana</i>	221,18(6)
10	Bungkur	<i>Lagerstroemia speciosa</i>	160,14(6)
11	Jati	<i>Tectona grandis</i>	135,27(6)
12	Nangka	<i>Arthocarpus</i>	126,51 (6)
13	Johar	<i>Cassia grandis</i>	116,25(6)
14	Sirsak	<i>Annona muricata</i>	75,29 (4)
15	Puspa	<i>Schima wallichii</i>	63,31(6)
16	Akasia Daun Lebar	<i>Acacia auriculiformis</i>	165 (1)
17	Flamboyan	<i>Delonix regia</i>	42,2(6)
18	Sawo	<i>Manilkara zapota</i>	141 (2)
19	Tanjung	<i>Mimosops elengi</i>	67,8 (1)
20	Bunga merak	<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	30,95(6)
21	Sempur	<i>Dilena retusa</i>	24,24(6)
22	Khaya	<i>Khaya anthotheca</i>	21,9(6)
23	Merbau pantai	<i>Intsia bijuga</i>	19,25(6)
24	Tongke Hutan	<i>Acacia mangium</i>	165(1)
25	Angsana	<i>Pterocarpus indicus</i>	11,12(6)
26	Asam kranji	<i>Pithecelobium dulce</i>	8,48(6)
27	Sapu tangan	<i>Maniltoa grandiflora</i>	8,26(6)
28	Dadap merah	<i>Erythra cristagalli</i>	4,55(6)
29	Rambutan	<i>Nephelium lappaceum</i>	69 (2)
30	Asam	<i>Tamarindus indica</i>	1,49(6)
31	Kempas	<i>Coompasia excelsa</i>	0,2(6)
32	Jambu Biji	<i>Psidium guajava</i>	44,59 (1)
33	Bunga Kupu-Kupu	<i>Bauhinia purpurea</i>	11.662,89 (7)
34	Kersen	<i>Muntingia calabura</i>	5,26(8)
35	Sukun	<i>Artocarpus altilis</i>	192,72(8)
36	Ketapang Kencana	<i>Terminalia mantaly</i>	24,16 (1)
37	Kiacret	<i>Spathodea campanulata</i>	211,64(8)
38	Cemara Laut	<i>Casuarina equisetifolia</i>	394,2 (8)
39	Bintaro	<i>Cerbera manghas</i>	96,9 (1)
40	Jati Putih	<i>Gmelina arborea</i>	108,71(9)
41	Mangga	<i>Mangifera indica</i>	51,96 (1)
42	Glodokan Tiang	<i>Polyalthia longifolia</i>	719,74 (1)
43	Pucuk Merah	<i>Syzygium oleina</i>	155,58 (1)
44	Cemara Papua	<i>Casuarina equisetifolia</i>	394,20 (3)
45	Jambu Air	<i>Syzygium aqueum</i>	86 (2)
46	Belimbing Manis	<i>Averrhoa carambola</i>	72,31 (5)
47	Kamboja	<i>Plumeria sp</i>	16,43 (4)
48	Palem	<i>Arecaceae</i>	0,39 (1)

Sumber: (1) Roshinta R.R., 2016 (2) Prasetyo et al., 2018 (3) Gracia A.S., 2016 (4) Kondodura C.F., 2018 (5) Kristiawan, 2020 (6) Dahlan, 2007. (7) Gratiimah, 2009. (8) Purwaningsih 2007. (9) Karyadi, 2005. (10) Yusuf 2015.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Emisi GRK Bahan Bakar *Co-firing* Batubara dan Pellet Sampah

Data konsumsi batubara diperoleh melalui data perusahaan yang diperoleh saat melakukan penelitian maupun melalui laporan-laporan yang disampaikan ke instansi pemerintahan. Berikut data Produksi dan kebutuhan batubara di PLTU yang digunakan sejak 2013 sampai dengan 2021.

Tabel 5. Konsumsi Batubara PLTU PT MSW

Tahun	Total Produksi Energi (MWh)	Konsumsi Batubara (Ton)	Kualitas Batubara (kCal/kg)
2013	105.617,00	106.981,00	3.786
2014	396.682,00	333.164,00	3.786
2015	395.662,00	319.727,00	3.786
2016	303.562,00	235.243,00	3.786
2017	382.866,00	317.444,00	3.784
2018	422.600,30	341.977,27	3.788
2019	329.162,20	278.326,80	3.931
2020	148.427,70	143.570,69	3.740
2021	71.164,15	93.382,70	3.782

Penggunaan pellet sampah sebagai bahan bakar PLTU *Co-Firing* merupakan salah satu program inovasi pemanfaatan energi baru dan terbarukan dari PT MSW yang dimulai sejak bulan November 2021 bekerjasama dengan Pemerintah Daerah Kabupaten Tabalong Provinsi Kalimantan Selatan. Dimana peran pemerintah daerah dilibatkan sebagai penyedia produk pellet sampah, dan PT MSW sebagai konsumen pellet sampah.



Gambar 2. Produk Pellet Sampah PLTU *Co-Firing*



Gambar 3. Hooper Pellet Sampah di PLTU

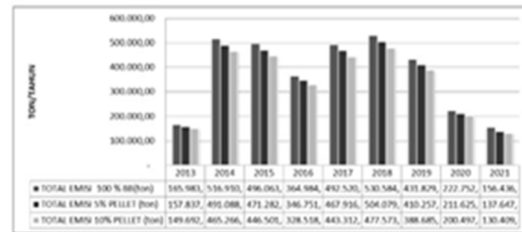
Dalam implementasinya kapasitas produksi pellet sampah belum memenuhi target produksi yang diharapkan, berdasarkan hasil wawancara dengan perusahaan dan operator produksi pellet sampah. Dalam kurun waktu November 2021 sampai dengan Maret 2022 rata-rata produksi pellet sampah perbulan sebesar 1 ton/ bulan pellet sampah. Maka perlu penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan kapasitas produksi pellet sampah.

Sehingga peneliti melakukan asumsi (simulasi) dalam perhitungan emisi PLTU *Co-Firing* ini dengan menggunakan data konsumsi bahan bakar yang tersedia dari tahun 2013 sampai dengan 2021. Dengan hasil perhitungan asumsi konsumsi batubara 95% batubara dan pellet sampah 5% sebagai berikut:

Tabel 5. Simulasi bahan bakar *Co-Firing* Batubara dan Pellet Sampah

Tahun	Batubara 100% (ton)	Pellet Sampah 5% (ton)	Batubara 95% (ton)	Pellet Sampah 10% (ton)	Batubara 90% (ton)
2013	106.981,00	5.349,05	101.631,95	96.282,90	10.698,10
2014	333.164,00	16.658,20	316.505,80	299.847,60	33.316,40
2015	319.727,00	15.986,35	303.740,65	287.754,30	31.972,70
2016	235.243,00	11.762,15	223.480,85	211.718,70	23.524,30
2017	317.444,00	15.872,20	301.571,80	285.699,60	31.744,40
2018	341.977,27	17.098,86	324.878,41	307.779,54	34.197,73
2019	278.326,80	13.916,34	264.410,46	250.494,12	27.832,68
2020	143.570,69	7.178,53	136.392,16	129.213,62	14.357,07
2021	93.382,70	4.669,13	88.713,56	84.044,43	9.338,27

Dari data tersebut dapat dilakukan perhitungan emisi GRK pertahunnya.



Gambar 4. Grafik Hasil Perhitungan Emisi GRK PLTU PT MSW

Emisi GRK PLTU PT MSW pada tahun 2021 sebesar 156.436 ton/tahun, lebih rendah dibandingkan tahun sebelumnya. Dikarenakan permintaan listrik yang menurun dari konsumen. Jika menggunakan pellet sampah, semakin tinggi presentase

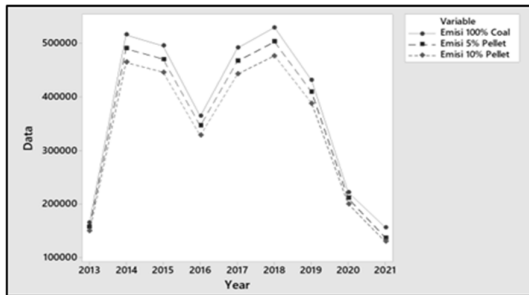
Analisis Potensi Beban Emisi pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) *Co-Firing* dan Kemampuan Serapan Tanaman Penghijauan di Area Kerja terhadap Emisi CO₂ PT Makmur Sejahtera Wisesa Kabupaten Tabalong Provinsi Kalimantan Selatan (Joko A. P. W., Suyanto, Gusti R. dan Abdul G.)

penggunaan pellet sampah semakin rendah Emisi GRK yang dihasilkan.

Proyeksi Emisi GRK PLTU PT MSW 2013 – 2030

Adapun data yang digunakan dalam pembahasan ini merupakan data sekunder, yaitu data perhitungan Emisi GRK (Gas Rumah Kaca) PLTU dari tahun 2013 sampai dengan tahun 2021 dengan beberapa kondisi. Kondisi pertama yaitu dengan bahanbakar 100% batubara, kondisi kedua yaitu dengan bahanbakar 5% pellet sampah 95% batubara dan kondisi ketiga bahanbakar 10% pellet sampah 90% batubara. Adapun langkah-langkah pada analisis runtun waktu dengan model ARIMA (p,d,q) adalah sebagai berikut:

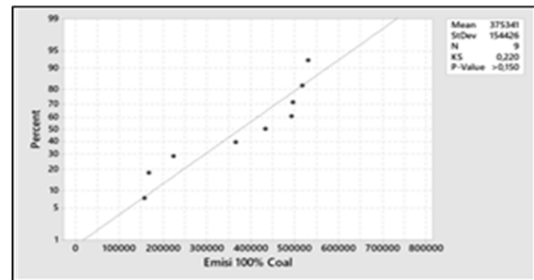
1. Identifikasi data



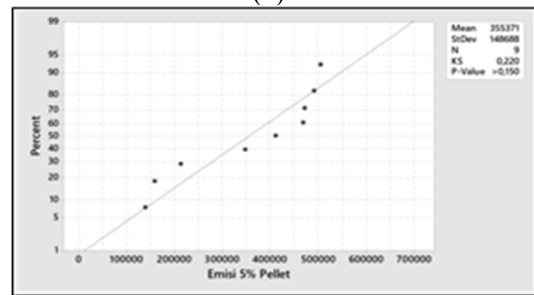
Gambar 5. Times Series Plot dari Ketiga Data Emisi PLTU

Dari times series plot data diatas diketahui data tidak memiliki trend naik maupun turun, walaupun terlihat dari tahun 2018 hingga 2021 emisi mengalami penurunan, namun dari 2013-2014 dan 2016-2018 emisi sempat mengalami kenaikan yang cukup tinggi. Dari gambar diatas juga terlihat jika data tidak memiliki noise, walaupun pada tahun 2013 gas emisi sempat berada dibawah 200.000 dan tahun berikutnya mengalami kenaikan yang besar diatas 300.000, namun pada beberapa tahun berikutnya yaitu tahun 2020 besaran gas emisi mengalami penurunan hingga mendekati 200.000 lagi.

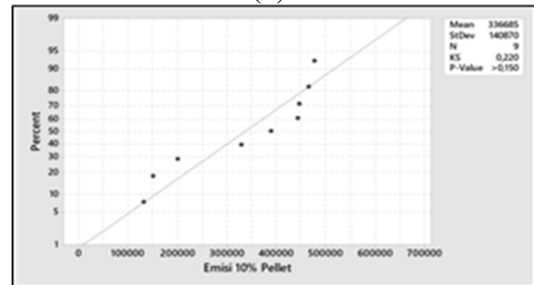
Selanjutnya dilakukan identifikasi data apakah data stasioner baik dalam varians ataupun mean. Pengecekan data stasioner dalam varians dapat dilihat dari times series plot dan uji normalitas. Dikarenakan times series plot kurang dapat menggambarkan bentuk data, maka pengecekan akan dilakukan menggunakan uji normalitas. Hasil uji normalitas untuk ketiga data jenis emisi adalah sebagai berikut:



(a)



(b)



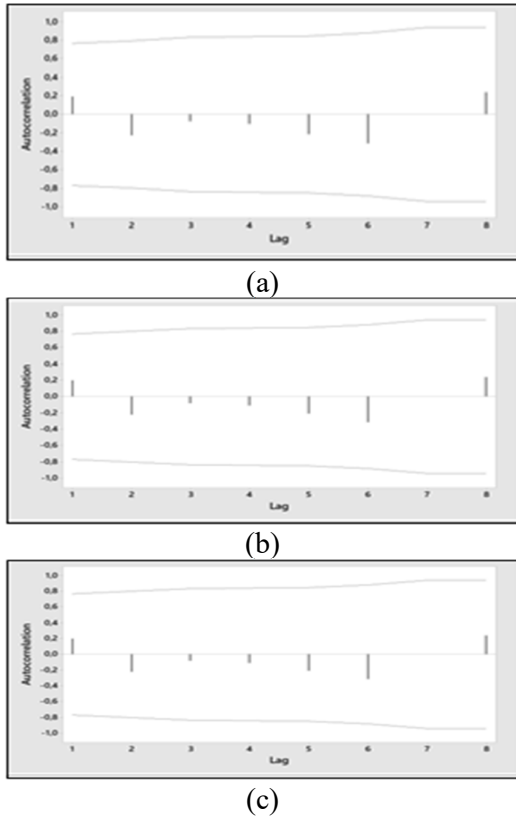
(c)

Gambar 6. Hasil Uji Normalitas Data Emisi (a) 100% Batubara (b) 5% Pellet (c) 10% Pellet

Dari grafik diatas dapat dilihat jika kumpulan titik-titik data sudah tersebar diantara garis normalitas yang dapat diartikan data telah stasioner dalam ragam. Hal ini juga diperkuat dengan nilai p-value di setiap uji normalitas untuk ketiga data, yaitu nilai p-value > nilai alpha (0,05) yang

berarti data stasioner terhadap ragam. Hal ini berarti data tidak perlu ditransformasi.

Selanjutnya akan dicek apakah ketiga data jenis emisi ini stasioner terhadap rata-rata dengan menggunakan plot ACF. Hasil plot ACF dari ketiga data adalah sebagai berikut:



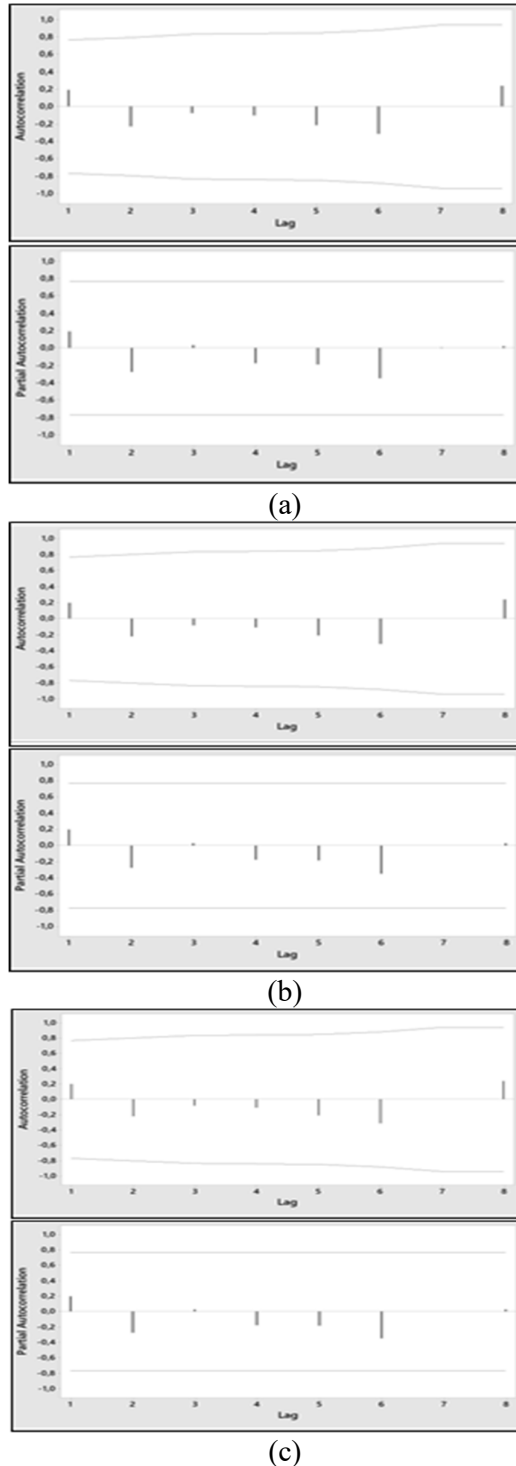
Gambar 7. Plot ACF Data Emisi (a) 100% Coal (b) 5% Pellet (c) 10% Pellet

Dari ketiga grafik diatas dapat dilihat jika lag (garis berwarna biru) yang keluar dari confidence interval (garis berwarna merah) yang dapat diartikan jika ketiga data telah stasioner dalam mean atau rata-rata. Hal ini berarti data tidak perlu dilakukan differencing.

2. Identifikasi model

Apabila data sudah stasioner maka asumsi metode ARIMA telah terpenuhi. Langkah selanjutnya adalah membuat plot ACF (*autocorrelation function*) dan PACF (*partial autocorrelation function*). Plot ACF dan PACF digunakan untuk mengidentifikasi model ARIMA(p,d,q)

yang nanti dapat digunakan yaitu untuk menentukan nilai p dan q pada model. Plot ACF dan PACF untuk ketiga data adalah sebagai berikut:



Gambar 8. Plot ACF dan PACF Data Emisi (a) 100% Coal (b) 5% Pellet (c) 10% Pellet

Dari hasil ACF dan PACF untuk ketiga data diatas didapatkan bahwa tidak ada lag yang keluar dari confidence interval dan dari plot ACF dan PACF dilihat bahwa lag mengalami *cut off* setelah lag ke 1. Dari hal tersebut dapat disimpulkan bahwa model ARIMA yang dapat dibentuk adalah sebagai berikut:

- a. AR (1,0,0)
- b. MA (0,0,1)
- c. ARIMA (1,0,1)

Setelah didapatkan model-model ARIMA yang mungkin, langkah selanjutnya adalah mengestimasi parameternya. Langkah estimasi parameter dari model-model di atas adalah dengan melakukan uji hipotesis untuk setiap parameter koefisien yang dimiliki setiap model.

3. Estimasi model

Tabel 6. Model AR (1,0,0)

• Emisi 100% Batubara				
Type	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
AR 1	0,942	0,134	7,04	0,000

• Emisi 5% Pellet				
Type	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
AR 1	0,940	0,134	7,01	0,000

• Emisi 10% Pellet				
Type	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
AR 1	0,940	0,134	7,01	0,000

Tabel 7. Model MA (0,0,1)

• Emisi 100% Batubara				
Type	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
MA 1	-0,991	0,396	-2,50	0,037

• Emisi 5% Pellet				
Type	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
MA 1	-0,992	0,388	-2,55	0,034

• Emisi 10% Pellet				
Type	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
MA 1	-0,992	0,388	-2,55	0,034

Tabel 8. Model ARIMA (1,0,1)

• Emisi 100% Batubara				
Type	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
AR 1	0,818	0,220	3,72	0,007
MA 1	-0,936	0,238	-3,93	0,006

• Emisi 5% Pellet				
Type	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
AR 1	0,814	0,219	3,72	0,007
MA 1	-0,950	0,230	-4,13	0,004

• Emisi 10% Pellet				
Type	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
AR 1	0,814	0,219	3,72	0,007
MA 1	-0,950	0,230	-4,13	0,004

Dari data di atas dapat dilihat semua model ARIMA mempunyai nilai *p-value* dibawah dan mendekati nol sehingga dapat dikatakan semua model signifikan.

4. Uji asumsi residual (*diagnostic checking*)

Pengujian diagnostik residual dilakukan setelah pengujian signifikansi parameter model ARIMA, untuk membuktikan kecukupan model. Pemeriksaan diagnostik residual meliputi uji asumsi *white noise* dan berdistribusi normal.

Tabel 9. Hasil Pengujian Diagnostik Residual pada Ketiga Model

Model	Kondisi	Uji White Noise	Uji Asumsi Normal	MSE
AR(1)	Batubara 100%	white noise	Normal	2,61,E+10
	Pellet 5%	white noise	Normal	2,37,E+10
	Pellet 10%	white noise	Normal	2,13,E+10
MA(1)	Batubara 100%	white noise	Normal	5,32,E+10
	Pellet 5%	white noise	Normal	4,76,E+10
ARIMA(1,0,1)	Pellet 10%	white noise	Normal	4,27,E+10
	Batubara 100%	white noise	Normal	1,99,E+10
	Pellet 5%	white noise	Normal	1,75,E+10
	Pellet 10%	white noise	Normal	1,57,E+10

5. Pemilihan model terbaik

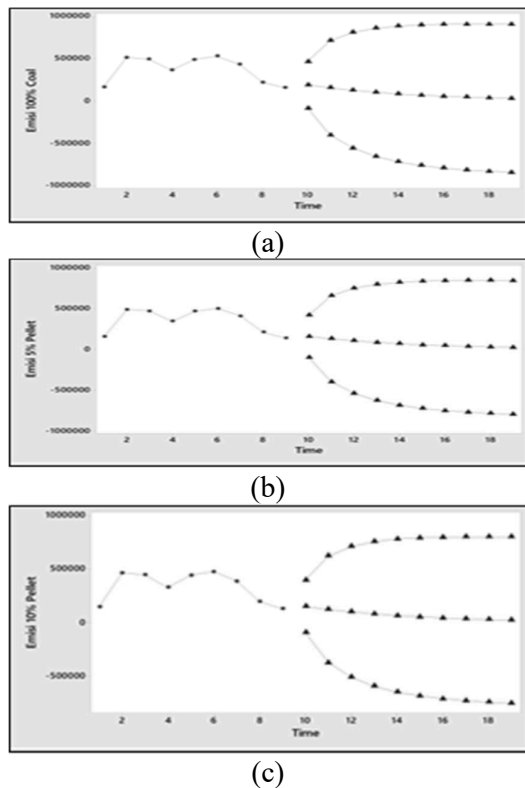
Setelah melakukan estimasi parameter untuk masing-masing model, maka dapat melakukan pemilihan model terbaik dari semua kemungkinan model dengan cara melihat ukuran-ukuran standar ketepatan peramalan.

Dari Tabel 4.7 terlihat bahwa model ARIMA (1,0,1) memenuhi semua asumsi pengujian dan mempunyai nilai MSE yang terkecil. Sehingga dapat disimpulkan bahwa model terbaik untuk perhitungan emisi gas dari ketiga kondisi adalah ARIMA (1,0,1).

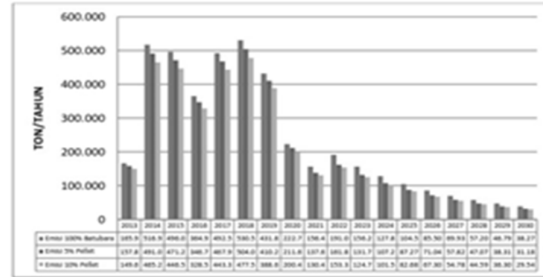
Pada model ARIMA (1,0,1), terlihat angka p-value untuk koefisien, baik itu AR (1) ataupun MA (1), semua di bawah angka $\alpha = .5$. Hal ini menunjukkan model (di atas dapat digunakan untuk prediksi serta asumsi-asumsi yang mendukung dari uji white noise Ljung-Box dan uji asumsi residual yang berdistribusi normal.

6. Proyeksi

Langkah akhir dalam analisis time series ini adalah menentukan proyeksi atau peramalan untuk tahun selanjutnya. Dalam pembahasan ini akan diproyeksikan perhitungan gas emisi dari ketiga jenis kondisi untuk 9 tahun yang akan datang. Hasil proyeksi dengan model ARIMA (1,0,1) pada ketiga data jenis emisi adalah sebagai berikut:



Gambar 9. Hasil Proyeksi Data Emisi (a) 100% Coal (b) 5% Pellet (c) 10% Pellet dari tahun 2022-2030



Gambar 10. Grafik Perbandingan Hasil Proyeksi Data Ketiga Jenis Emisi (2022-2030)

Dari hasil proyeksi data dapat dilihat jika untuk 9 tahun kedepan hasil emisi gas akan semakin turun setiap tahunnya. Hal ini dikarenakan melihat data 2018 hingga 2021 terlihat pola penurunan data. Pola penurunan data ini berakibat hasil proyeksi yang juga akan mengalami penurunan

Analisa Serapan CO₂ oleh Pohon di Area Penghijauan PLTU PT MSW

Penanaman pohon di area penghijauan PLTU merupakan salah satu upaya yang telah dilakukan dalam pengelolaan emisi GRK yang telah dihasilkan oleh pembangkit listrik, selain pemanfaatan bahan bakar energi baru terbarukan dalam hal ini adalah pellet sampah. Namun karena saat ini pemanfaatan bahan bakar masih belum optimal, maka keberadaan pohon di area penghijauan ini lah yang menjadi satu-satunya upaya pengelolaan emisi GRK yang masih dapat dioptimalkan lagi dimasa mendatang oleh PT MSW.

Dalam penelitian ini diperoleh data luasan area penghijauan yang dilakukan penanaman pohon oleh PT MSW sejak tahun 2013 sampai dengan 2022 adalah seluas 30.535,12 m².

Indikator keberhasilan dalam melakukan penghijauan sangat diperlukan oleh suatu perusahaan sebagai salah satu tolak ukur keberhasilan perusahaan tersebut melakukan upaya pengelolaan sumber daya alam dan lingkungan.

Dalam penelitian ini tanaman pohon yang dapat dilakukan inventarisasi yang tersebar secara acak di area penghijauan PLTU adalah sebagai berikut:

Analisis Potensi Beban Emisi pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) *Co-Firing* dan Kemampuan Serapan Tanaman Penghijauan di Area Kerja terhadap Emisi CO₂ PT Makmur Sejahtera Wisesa Kabupaten Tabalong Provinsi Kalimantan Selatan (Joko A. P. W., Suyanto, Gusti R. dan Abdul G.)

Tabel. 10. Hasil Perhitungan Kemampuan Serapan Tanaman Pohon Area Penghijauan PLTU PT MSW

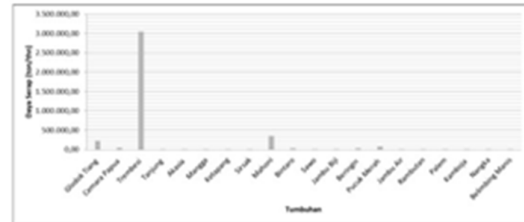
No	Nama Tumbuhan	Nama Ilmiah	Jumlah Pohon	Daya Serap CO ₂ (kg/pohon/tahun)	Daya Serap CO ₂ (kg/tahun)
1	Glodok Tiang	<i>Polyalthia longifolia</i>	320	719,74	230.316,80
2	Cemara Papua	<i>Casuarina equisetifolia</i>	119	394,20	46.909,80
3	Trembesi	<i>Samanea saman</i>	107	28.488,39	3.048.257,73
4	Tanjung	<i>Mimosa elengi</i>	40	67,80	2.712,00
5	Akasia	<i>Acacia mangium</i>	3	165,00	495,00
6	Mangga	<i>Mangifera indica</i>	93	51,96	4.832,28
7	Ketapang	<i>Terminalia mantaly</i>	1	24,16	24,16
8	Sirsak	<i>Annona muricata</i>	3	75,29	225,87
9	Mahoni	<i>Svetzniana mahagoni</i>	113	3.112,43	351.704,59
10	Bintaro	<i>Cerbera manghas</i>	285	96,90	27.616,50
11	Sawo	<i>Manillara kauli</i>	1	141,00	141,00
12	Jambu Biji	<i>Psidium guajava</i>	5	44,59	222,95
13	Beringin	<i>Ficus benyamina</i>	60	535,90	32.154,00
14	Pucuk Merah	<i>Syzygium oleina</i>	442	155,58	68.766,36
15	Jambu Air	<i>Syzygium aqueum</i>	38	86,00	3.268,00
16	Rambutan	<i>Nephelium lappaceum</i>	1	69,00	69,00
17	Palem	<i>Roystonea regia</i>	10	0,39	3,90
18	Kamboja	<i>Plumeria acuminata</i>	12	16,43	197,16
19	Nangka	<i>Artocarpus heterophyllus</i>	1	126,51	126,51
20	Belimbing	<i>Averrhoa carambola</i>	34	72,31	2.458,54
21	Manis	<i>Saraca asoca</i>	125		
22	Jeruk	<i>Citrus sinensis</i>	36		
23	Kelengkeng	<i>Dimocarpus longan</i>	48		
24	Buah Naga	<i>Selenicereus undatus</i>	67		
25	Roembusa	<i>Tabernaemontana corymbosa</i>	191		
26	Bunga pot		122		
27	Tanaman Lainnya		487		
TOTAL			2.764		3.820.502,15

Potensi hasil pengamatan tanaman di dalam area PLTU menunjukkan bahwa sebagian besar tanaman yang ada merupakan hasil penanaman dan bukan tumbuh alami. Meskipun ditanam akan tetapi tanaman yang ada bisa tumbuh dengan baik.



Gambar 11. Kondisi Tanaman Pohon yang Dilakukan Inventarisasi

Dari perhitungan tersebut estimasi kemampuan serapan pohon Area Penghijauan PLTU PT MSW sebesar 3.820.502,15 kg/tahun atau 3.820, 50 ton/tahun.



Gambar 12. Estimasi Kemampuan Serapan Pohon di PLTU PT MSW

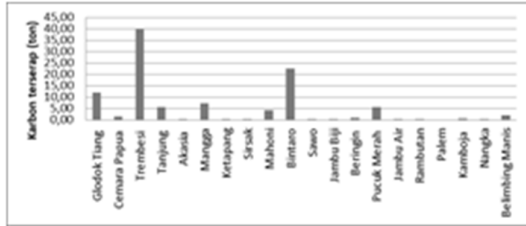
Mahoni, Trambesi dan Glodok Tiang merupakan jenis tanaman tertinggi dalam melakukan serapan emisi GRK di Area Penghijauan PLTU PT MSW.

Kemudian dengan menggunakan persamaan allometrik (persamaan 3.6) untuk menghitung biomassa, ukuran pohon yang dilakukan perhitungan adalah tanaman yang berukuran tinggi diatas 1 meter dan diameter diatas 10 centimeter.

Karbon yang telah diserap pada pohon di area penghijauan sebesar 103.858,01 kg Karbon atau 103,86 ton Karbon. Dimana Trambesi dan Bintaro adalah tanaman yang telah menyerap karbon cukup tinggi di area tersebut.

Tabel 11. Hasil Perhitungan Serapan Karbon dengan Persamaan Allometrik

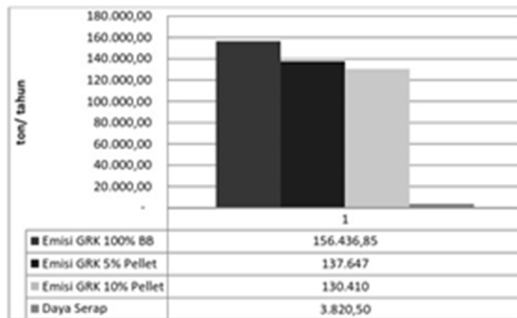
No	Nama Tumbuhan	Jumlah Pohon	rata-rata (cm)	rata-rata (m)	biomassa (kg)	C (kg)	C total (kg)
1	Glodok Tiang	320	15	3	79,60	37,41	11.971,56
2	Cemara Papua	119	10	2	27,51	12,93	1.538,82
3	Trembesi	107	36	5	788,96	370,81	39.676,94
4	Tanjung	40	25	3	303,49	142,64	5.705,64
5	Akasia	3	22	3	217,12	102,04	306,13
6	Mangga	93	20	3	169,14	79,50	7.393,04
7	Ketapang	1	30	3,5	489,33	229,98	229,98
8	Sirsak	3	20	3	169,14	79,50	238,49
9	Mahoni	113	15	3	79,60	37,41	4.227,46
10	Bintaro	285	20	5	169,14	79,50	22.656,10
11	Sawo	1	14	4	66,44	31,22	31,22
12	Jambu Biji	5	15	3	79,60	37,41	187,06
13	Beringin	60	10	2	27,51	12,93	775,88
14	Pucuk Merah	442	10	2	27,51	12,93	5.715,63
15	Jambu Air	38	10	2	27,51	12,93	491,39
16	Rambutan	1	13	3	54,71	25,71	25,71
17	Palem	10	<1	<10	0,00	0,00	0,00
18	Kamboja	12	17	3	110,49	51,93	623,16
19	Nangka Belimbing	1	10	3	27,51	12,93	12,93



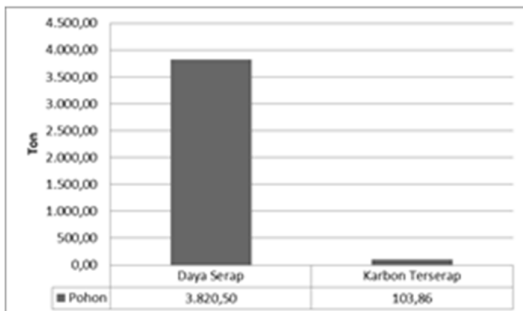
Gambar 13. Estimasi Karbon Tersedap oleh Pohon di PLTU PT MSW

Berdasarkan hasil perhitungan produksi emisi GRK PLTU PT MSW pada tahun 2021, yaitu sebesar = 156.436,85 ton/ tahun. Kemudian hasil inventarisasi dan estimasi kemampuan daya serap tanaman yang berada di area penghijauan PLTU PT MSW adalah 3.820,50 ton/ tahun.

$$\begin{aligned} \text{Sisa emisi CO}_2 &= A - B \\ &= 156.436,85 - 3.820,50 \\ &= 152.616,35 \text{ ton/ tahun} \end{aligned}$$



Gambar 14. Perbandingan Emisi GRK Bahan Bakat Batubara Pellet Sampah dan Daya



Gambar 15. Perbandingan Daya Serap dan Karbon Tersedap oleh Pohon Area Penghijauan PT MSW

Dari hasil evaluasi bahwa kemampuan daya serap area penghijauan masih perlu dilakukan peningkatan. Upaya peningkatan daya serap dapat dilakukan dengan meningkatkan lagi jumlah pohon yang memiliki daya serap CO₂ yang tinggi. Misalnya Trembesi atau Mahoni, karena kedua jenis tanaman ini terbukti dapat tumbuh dengan baik di lingkungan PLTU dan memiliki daya serap yang tinggi untuk tiap pohonnya. Luasan area penghijauan juga perlu ditingkatkan, karena masih banyak area di PLTU yang hanya ditumbuhi semak belukar saja.

Selain upaya penanaman di area penghijauan, perlu juga dilakukan penurunan emisi GRK dengan pemanfaatan energi baru terbarukan dalam proses produksi listrik PT MSW, seperti pemanfaatan pellet sampah atau biomassa padat lain yang memiliki faktor emisi lebih rendah dibandingkan bahan bakar batubara. Kemudian secara bertahap beralih memanfaatkan pembangkit listrik tenaga surya untuk menghasilkan listrik yang lebih ramah lingkungan.

Estimasi Luasan dan Jumlah Pohon di Area Penghijauan Tahun 2030

Jika dilihat data proyeksi emisi gas dari PLTU pada tahun 2030 sebesar 38.270 ton dengan memanfaatkan 100% bahan bakar batubara maka dapat dilakukan estimasi jumlah pohon yang harus ditanam dengan asumsi penambahan jumlah pohon trambesi saja untuk meningkatkan daya serap area penghijauan diperlukan pohon trambesi (daya serap/pohon= 28,48 ton/tahun) sebanyak:

$$\begin{aligned} 28,48x + 3.820,50 &= 38.270 \\ x &= (38.270 - 3.820,5)/28,48 \\ x &= 1.210 \text{ pohon trambesi} \end{aligned}$$

Jika dilihat dari luasan area tanam dengan luas lahan yang baru dilakukan penanaman seluas 3,5 ha ditahun 2021 memiliki estimasi daya serap 3.820,5 ton/tahun, di tahun 2030 dengan proyeksi emisi gas sebesar 38.270 ton dengan

memanfaatkan bahan bakar 100% batubara dengan asumsi perlakuan penanaman pohon sama dengan di tahun 2021 maka dapat dilakukan perhitungan dengan persamaan sebagai berikut:

$$3,5/3.820,5 = x/38.270$$

$$3.820,5 x = 133.945$$

$$x = 133.945/3.820,5 = 35 \text{ ha}$$

Dari kedua perhitungan estimasi jumlah pohon dan luas area penanaman, maka pada tahun 2030 dengan PLTU 100% batubara maka emisi gas dapat diimbangi dengan penambahan penanaman pohon sebanyak 1.210 pohon trambesi sehingga total pohon di 2030 menjadi 3.974 pohon atau dengan menambah luasan area penanaman menjadi luas 35 hektare. Sehingga jika diperlakukan juga pada bahan bakar pellet sampah dapat dikalkulasikan sebagai berikut.

Tabel 12. Estimasi Penanaman Pohon dan Luas Area Penghijauan Tahun 2030

Bahan Bakar	Emisi GRK(ton)	Jumlah Pohon	Luas Area (ha)
100% Batubara	38.270	3.974	35
5% pellet sampah	31.188	3.725	28,6
10% pellet sampah	29.548	3.667	27,07

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Emisi GRK PLTU PT MSW pada tahun 2021 sebesar 156.436 ton/tahun, pada tahun 2020 sebesar 222.752 ton/tahun, tahun 2019 sebesar 431.829 ton/tahun, tahun 2018 sebesar 530.584 ton/tahun, tahun 2017 sebesar 492.520 ton/tahun, tahun 2016 sebesar 364.984 ton/tahun, tahun 2015 sebesar 496.063 ton/tahun, tahun 2014 sebesar 516.910 ton/ tahun dan tahun 2013 sebesar 165.983 ton/tahun. Jika menggunakan pellet sampah, dengan semakin tinggi presentase penggunaan pellet sampah maka semakin rendah Emisi GRK yang dihasilkan. Dari hasil proyeksi

data untuk 9 tahun kedepan (sampai tahun 2030) hasil emisi gas akan semakin turun setiap tahunnya. Hasil estimasi kemampuan daya serap tanaman pohon yang berada di area penghijauan PLTU PT MSW dengan luasan 30.535,12 m², adalah 3.820,5 ton/tahun.

Saran

Peningkatan produksi pellet sampah perlu dilakukan agar implementasi PLTU *Co-Firing* dapat berjalan optimal. Penurunan produksi listrik sampai di tahun 2030 dapat dijadikan momen inovasi perusahaan untuk beralih ke pembangkit listrik yang lebih ramah lingkungan. Lahan kosong untuk dilakukan penanaman intensif. Sebagai upaya peningkatan daya serap dapat dilakukan dengan meningkatkan lagi jumlah pohon yang memiliki daya serap CO₂ yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Dahlan. (2007). Analisis Kebutuhan Hutan Kota sebagai Sink Gas CO₂ Antropogenik dari Bahan Bakar.
- Fadli Muhammad, Kamal Dianta Mustofa, Adhi Pribadi Mumpuni. (2019). Analisis SWOT untuk Direct *Co-Firing* Batubara dengan Pelet Sampah pada Boiler Tipe CFBC. Jakarta: Politeknologi Vol. 18 No. 3.
- Fahri, Ihsan. Kurnain, Ahmad. Mahyudin, Rizqi Putri. Ferrianto, Yudi. (2019). Analisa Reduksi Emisi Gas Rumah Kaca dari Peengelolaan Sampah Padat di Kecamatan Marabahan Kabupaten Barito Kuala Provinsi Kalimantan Selatan. *EnviroScientae*. 15(1). 43-49.
- Gracia A. (2016). Kajian Kecukupan Ruang Terbuka Hijau Untuk Menyerap Gas Karbon Dioksida (CO₂) Dari Kendaraan Bermotor di Jalan DR. Ir. H. Soekarno Surabaya (MERR IIC). [Tugas Akhir]. Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Gratimah, R. (2009). Analisis Kebutuhan Hutan Kota sebagai Penyerap Gas CO₂ Antropogenik di Pusat Kota Medan. [Tesis]. Medan: Universitas Sumatera.
- Hairiah, K. & S. Rahayu. (2007). Pengukuran 'Karbon Tersimpan' di Berbagai Macam Penggunaan Lahan. Malang: World Agroforestry Centre.
- Hendra Yudisaputro. (2015). Proses Kimia Pembakaran Batubara. Diambil kembali dari <https://berbagienergi.com/2015/09/16/proses-kimia-pembakaran-batubara/>
- Karyadi, A. (2005). Pengukuran Daya Serap Karbon Dioksida Lima Jenis Tanaman Hutan Kota. [Skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Kementerian ESDM Direktorat Ketenagalistrikan. (2018). Pedoman Perhitungan dan Pelaporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Bidang Energi-Sub Bidang Ketenagalistrikan. Direktorat Ketenagalistrikan. Jakarta.
- Kondorura C. (2018). Analisis Kapasitas Ruang Terbuka Hijau Balai Kota Makasar Dalam Mereduksi Emisi Kendaraan Bermotor. [Tugas Akhir]. Makasar. Universitas Hasanuddin.
- Kristiawan, Maimunah. (2020). Kajian Karbon Pada Pengembangan Produk Unggulan Buah-Buahan Ramah Lingkungan di Kabupaten Tuban Jawa Timur. Jurnal Viabel Pertanian Vol. 14 No. 1
- Lintangrino, Manggar C. Boedisantoso, Rachmat. (2016). Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca Pada Sektor Pertanian dan Peternakan di Kota Surabaya. Jurnal Teknik ITS. 5(2).
- Masripatin N, Kirsfianti G, Ari W, Wayan SD, Chairil AS, Mega L, Indartik, Wening W, Niken S, dan Retno M. (2010). Pedoman Pengukuran Karbon untuk Mendukung Penerapan REDD+ di Indonesia. Bogor (ID): Pusat Penelitian dan Pengembangan Perubahan Iklim dan Kebijakan.
- Mawazin & H. Suhaendi. (2008). "Pengaruh Jarak Tanam Terhadap Pertumbuhan Diameter Shorea parvifolia Dyer". Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam, 5(4):381-388.
- Murti Izzati Winda. (2015). Inventarisasi dan Penentuan Serapan Emisi CO₂ Oleh Ruang Terbuka Hijau di Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. [Tesis] Surabaya.: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Prananda J. (2014). Analisa dan Prediksi Emisi Gas Karbondioksida untuk Mendukung Pengembangan Energi Hijau di Kota Surabaya. [Tesis] Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Prasety H, Riduan R, Annisa N. (2018). Variasi Kemampuan Beberapa Jenis Pohon Dalam Menyerap CO₂ Pada Taman Kota Banjarbaru. Jukung Jurnal Teknik Lingkungan ULM, 4 (2): 72-76
- PT MSW. (2011). Dokumen Upaya Pengelolaan Lingkungan (UKL) dan Upaya Pemantauan Lingkungan PT Makmur Sejahtera Wisesa. Tanjung.
- PT MSW. (2020). Dokumen Rencana Umum Penyediaan Listrik PT Makmur Sejahtera Wisesa Tahun 2020 sampai dengan 2029. Tanjung.
- PT MSW. (2021). Laporan Pelaksanaan Pengelolaan dan Pemantauan Lingkungan Triwulan II Tahun 2021. Tanjung.

- Analisis Potensi Beban Emisi pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) *Co-Firing* dan Kemampuan Serapan Tanaman Penghijauan di Area Kerja terhadap Emisi CO₂ PT Makmur Sejahtera Wisesa Kabupaten Tabalong Provinsi Kalimantan Selatan (**Joko A. P. W., Suyanto, Gusti R. dan Abdul G.**)
- PT MSW. (2022). Laporan Pelaksanaan Pengelolaan dan Pemantauan Lingkungan Triwulan I Tahun 2022. Tanjung.
- Purwaningsih, S. (2007). Kemampuan Serapan Karbon Dioksida pada Tanaman Hutan Kota di Kebun Raya Bogor. [Skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Roshintha Ribka, Mangkoedihardjo. (2016).
- Analisis Kecukupan Ruang Terbuka Hijau Sebagai Penyerap Emisi Gas Karbon Dioksida (CO₂) pada Kawasan Kampus ITS Sukolilo, Surabaya. *Jurnal Teknik ITS* Vol. 5 No. 2
- Sa'iedah A. (2018). Korelasi Antara Ruang Terbuka Hijau dengan Konsentrasi Karbon Dioksida (CO₂) dan Oksigen (O₂) di Kampus UIN Sunan Ampel Surabaya. [Tugas Akhir] Universitas Islam Energi Sunan Ampel Surabaya.
- Suryawan I. W, Wijaya I. M, Sari N.K, Septiariva, Zahra . (2021). Potential of Energy Municipal Solid Waste (MSW) to Become Refuse Derived Fuel (RDF) in Bali Province, Indonesia. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*. *JBAT* 10(1) (2021) 9 – 15.
- Ujwala G, Noor Rijali, Annisa N, Riduan R. (2018). Pemetaan Indeks Kenyamanan Universitas Lambung Mangkurat Banjarbaru. *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan* 4(2):77-87.
- Widyasari, N.A.E., Saharjo, B.H., Solichin dan Istomo. (2010). Pendugaan Biomassa dan Potensi Karbon Terikat di Atas Permukaan Tanah pada Hutan Rawa Gambut Bekas Terbakar di Sumatera Selatan. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia* ((15):1 hal.41-49.
- Yusup Setiawan, Aep Surahman, Zubaidi Kailani. (2012). Pencemaran Emisi Boiler Menggunakan Batubara pada Industri Tekstil serta Kontribusinya terhadap Gas Rumah Kaca (GRK) *Jurnal Ilmiah Arena Tekstil* Volume 27 No.2 – Desember 2012 : 55-101
- Yusuf, M., (2015). Kemampuan Penyerapan Gas CO₂ Beberapa Jenis Tanaman pada Ruang Terbuka Hijau di Kota Makassar. [Tesis]. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Yun, S.K. (2007). Development of GHG emission factors for alternative fuels with assessment of emission reduction in cement industry, Graduate student good articles for United Nations Framework Convention on Climate Change, the Korea Energy Management Corporation, 42-43.