



Research Article

DOI : 10.36728/afp.v22i2.2809

UTILIZATION OF SOIL AMELIORANT TO CONTROL EMISSION IN OIL PALM PLANTATION ON TROPICAL PEAT SOIL

Joko Tandiono*¹⁾ Thamrin¹⁾ Hapsoh¹⁾ Trisla Warningsih¹⁾

¹ Program Studi Ilmu Lingkungan, Universitas Riau, Jl Pattimura No 9, Gobah, Pekanbaru, Riau

* Email: joko.tandiono@simedarbyplantation.com

ABSTRACT

Development of oil palm plantation areas today is increasingly leading to marginal areas, particularly on peatlands. However, development of peatland as agricultural land or as oil palm plantation has the potential to cause peatland to change from a carbon sink into a source of carbon emission. This objective of this research to determine the effect of utilization soil ameliorant to oil palm yield production and in controlling carbon emission and its impact to soil peat chemical properties. The research was conducted in Rokan Hilir district, Riau. The study was carried out in a randomized block design with three replications and three levels of soil ameliorant. The results show that application of high rate soil ameliorant significantly increase FFB yield relatively from control plot. Based on observational data for two months after first application of boiler ash, the CO₂ emission was tends to decrease in plot that get the application of soil ameliorant compared to the control plot. Application of 1.5 tonne/ha/yr of ameliorant give the lowest CO₂ emission value. Improvement of soil peat chemical properties by application of boiler ash as soil ameliorant also observed in this study, where the high rate of soil ameliorant significantly improves soil pH and also tends to increase total Potassium and Cation Exchange Capacity (CEC).

KEYWORD

Ameliorant, Peat, Emission, Oil Palm

INFORMATION

Received : 30 Oktober 2023
Revised : 28 November 2023
Accepted : 18 Desember 2023

Volume: 24
Number: 1
Year: 2024

Copyright © 2024



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International Licence

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan produsen CPO terbesar dengan produksi 46,7 juta ton CPO pada tahun 2022 (Data Indonesia, 2023) dengan total luas lahan kelapa sawit mencapai 14,9 juta hektar dimana Riau merupakan provinsi dengan luas perkebunan kelapa sawit terluas. di Indonesia dengan luas total 2,9 juta hektar (BPS, 2023). Riau sendiri mempunyai luas lahan gambut yang mencapai 4,9 juta hektar atau mencapai 55% dari total luas daratan provinsi Riau (BRGM,2023). Luas lahan gambut yang dijadikan perkebunan kelapa sawit baik di Pulau

Kalimantan maupun Pulau Sumatera telah mencapai lebih dari 2 juta hektar pada tahun 2015. Namun produktivitas tanaman kelapa sawit di lahan gambut sangat bervariasi tergantung pada dekomposisi gambut, pengelolaan air, dan lapisan substratnya. berada di bawah bahan organik, sehingga mempengaruhi kesuburan tanah gambut. Pada lahan gambut Saprik yang sudah terdekomposisi lebih lanjut, produksi kelapa sawit bisa mencapai 19 – 22 t/ha/tahun (Soewandita, 2018).

Pemanfaatan lahan gambut sebagai kawasan pertanian memerlukan drainase untuk membuang kelebihan air dari lahan, hal ini akan menyebabkan peningkatan kandungan oksigen dalam tanah gambut dan akan meningkatkan laju dekomposisi lahan gambut yang pada akhirnya meningkatkan emisi CO₂ (Cooper, et al., 2020; Manning, et al., 2019). Lahan gambut sendiri merupakan lahan marginal yang memiliki tingkat kesuburan rendah (Maftu'ah dan Nursyamsi, 2019). Rendahnya tingkat kesuburan tanah gambut menyebabkan penggunaan pupuk secara intensif pada perkebunan kelapa sawit untuk mencapai produktivitas yang maksimal. Penggunaan pupuk dalam jangka waktu lama mengakibatkan peningkatan emisi gas rumah kaca, khususnya CO₂, mencapai 68,38 ton/ha/tahun (Stephanie, et al., 2021).

Pemanfaatan bahan organik untuk meningkatkan kesuburan tanah telah lama dilakukan dalam sistem pertanian di Indonesia, namun seiring dengan berkembangnya areal pertanian khususnya perkebunan kelapa sawit, memaksa penggunaan pupuk kimia sebagai sumber utama unsur hara bagi tanaman. Penggunaan bahan pembenah tanah merupakan salah satu upaya untuk meningkatkan kesuburan tanah (Ichriani, et al., 2021). Abu boiler merupakan salah satu limbah pengolahan kelapa sawit yang berasal dari pembakaran boiler kelapa sawit. Abu boiler mempunyai potensi yang besar sebagai bahan pembenah tanah karena kandungan unsur hara yang tinggi (Rosyidi, et al., 2022), selain itu abu boiler mempunyai pH yang tinggi (Hamzah, et al., 2019) sehingga menjadikannya cocok digunakan sebagai amelioran pada tanah gambut yang mempunyai pH rendah.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dampak penggunaan abu boiler sebagai amelioran tanah terhadap emisi CO₂ pada tanah gambut serta pengaruhnya terhadap produksi tanaman kelapa sawit dan perubahan sifat kimia tanah gambut.

2. METODE

Penelitian dilakukan di perkebunan kelapa sawit perkebunan PT Tunggal Mitra, Kabupaten Rokan Hilir, Provinsi Riau. Daerah ini mempunyai topografi datar dengan kemiringan 0-4%, curah hujan 2.182 mm/tahun dengan iklim basah tipe B menurut klasifikasi Schmidt-Fergusson. Jenis tanahnya adalah Typic Haplohemist berdasarkan taksonomi tanah USDA.

Penelitian dilakukan dengan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan perlakuan abu boiler sebagai pembenah tanah dengan tiga taraf (0, 1,5 MT/ha/thn dan 3 MT/ha/thn) dengan 3 ulangan. Tiap plot terdiri dari 16 pohon kelapa sawit dimana 4 pohon dijadikan pokok pengamatan dan 12 pohon sebagai pokok pembatas antar plot.

Fluks CO₂ diukur dengan metode ruang tertutup dan dilakukan di seluruh plot. Pengukuran dilakukan setiap hari pada pagi hari pukul 08.00 – 11.00 dalam waktu 2 minggu setelah penerapan pengobatan pertama. Ruangnya terbuat dari pipa PVC. Pipa sepanjang 80 cm tersebut ditanam 60 cm di dalam gambut dan 20 cm di atas gambut untuk menampung CO₂ yang dilepaskan ke udara. Pengukuran dilakukan setiap hari selama satu minggu setelah

perlakuan abu boiler dan pemupukan. Alat analisa CO₂ Inframerah Portabel Merek mengukur emisi CO₂: BIOEVOPEAK Model: CO₂A – 3010E.

Pengukuran emisi CO₂ dilakukan selama 2 menit dan setiap 10 detik dilakukan pencatatan, dilakukan perhitungan fluks CO₂ menurut [Sano et al. \(2010\)](#) menggunakan rumus:

$$F = \frac{V}{A} \times \frac{1}{22,4 \times \frac{273,15 + T}{273,15} \times 10^{-3}} \times \frac{dc}{dt}$$

Dengan notasi simbol:

F = Flux CO₂ (μmol m⁻² s⁻¹)

V = Volume of tabung (m³)

22,4 = volume molar gas pada kondisi stp (suhu dan tekanan standar) yaitu 22,4 liter mol⁻¹ atau 0,0224 m³ mol⁻¹ pada 0°C (273° K) dan tekanan 1 atm

T = Suhu rata-rata di dalam tabung (°C)

dc/dt = Perubahan konsentrasi CO₂ seiring waktu (ppm / detik)

Contoh tanah untuk analisis sifat kimia diambil dari antar barisan dan piringan pokok kelapa sawit, masing-masing pada empat titik pada antar barisan dan empat titik pada piringan. Semua sampel tanah akan dikomposisikan untuk mewakili setiap plot. Sampel tanah diambil pada kedalaman 0-20 cm dari permukaan ([Batubara, et al., 2019](#)).

Analisis statistik terhadap data observasi akan dilakukan dengan menggunakan analisis varians (ANOVA) dengan uji F pada taraf signifikansi 5% menggunakan Statistic 8.0. Uji statistik selanjutnya dilakukan dengan menggunakan Beda Nyata Terkecil (BNT) pada uji probabilitas 5% jika perlakuan menunjukkan perbedaan nyata.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Produksi Tandan Buah Segar (TBS) dan Komponen Hasil

Data pencatatan hasil produksi kelapa sawit disajikan pada Tabel 1. Data produksi diperoleh selama 1 tahun pengamatan dan dimulai 1 tahun setelah pemberian abu boiler pertama kali. Penggunaan abu boiler sebagai bahan pembenah tanah (amelioran tanah) secara nyata meningkatkan produktivitas tanaman kelapa sawit seperti yang ditampilkan dalam Tabel 1.

Abu boiler merupakan limbah yang dihasilkan oleh pabrik kelapa sawit sebagai hasil pembakaran cangkang dan serat kelapa sawit. Sejauh ini abu boiler belum banyak dimanfaatkan sebagai salah satu sumber unsur hara di dalam perkebunan kelapa sawit, penggunaan abu boiler masih terbatas untuk menimbun jalan panen di dalam blok tanaman kelapa sawit terutama pada areal gambut. [Yahya, et al., \(2013\)](#) menyebutkan bahwa abu boiler memiliki potensi sebagai sumber hara terutama sekali kalium dimana kandungan kalium dalam abu boiler dapat mencapai 13,80%, selain itu abu boiler juga memiliki kandungan P₂O₅ sebesar 2,73%, kandungan MgO sebesar 1,3%, kandungan CaO 19,60% serta Fe₂O₃ sebesar 15,75%.

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan abu boiler sebagai amelioran tanah menunjukkan beda nyata terhadap parameter produksi tandan buah segar (TBS dan jumlah tandan/ha/tahun. Aplikasi abu boiler dengan dosis optimum memberikan produksi TBS tertinggi dibandingkan pada perlakuan lainnya yaitu sebesar 29,13 ton/ha/tahun, atau

meningkat sebanyak 10,51 ton/ha/tahun dibandingkan plot control. Aplikasi abu boiler dengan dosis yang lebih rendah yaitu 1,5 ton/ha/tahun memberikan produksi TBS sebesar 22,44 ton/ha/tahun atau meningkat sebesar 3,82 ton/ha/tahun dibandingkan dengan plot kontrol. Peningkatan produksi TBS akibat penerapan abu boiler terutama disebabkan oleh peningkatan jumlah tandan/hektar/tahun, dimana penerapan abu boiler sebesar 1,5 ton/ha/thn dan abu boiler sebesar 3 ton/ha/ tahun masing-masing meningkatkan jumlah tandan sebesar 5,4% dan 43% dibandingkan plot kontrol.

Tabel 1. Pengaruh Abu Boiler terhadap Produksi TBS dan Komponen Hasil

Dosis Abu boiler (t/ha/tahun)	Emisi CO ₂ (gr/m ² /jam)	Produksi TBS dan Komponen Hasil		
		Produksi TBS (t/ha/tahun)	Rata-rata Berat Tandan (Kg)	Jumlah Tandan/ha/tahun
0	0.70 a	18,62 b	13,40 a	1.400 b
1.5	0.45 a	22,44 ab	15,21 a	1.476 b
3	0.63 a	29,13 a	14,36 a	2.012 a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf kecil yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan nyata menurut uji BNT pada taraf 5%.

Pengaruh positif penggunaan abu boiler terhadap hasil TBS dijelaskan oleh mekanisme penambahan unsur hara K₂O di lokasi penelitian. Penggunaan 1,5 ton abu boiler dan 3 ton abu boiler masing-masing setara dengan 52,5 kg MOP dan 105 kg MOP per hektar. Di tanah gambut, unsur hara Kalium merupakan faktor pembatas utama bagi tanaman sawit karena tanah gambut tidak mempunyai sumber Kalium. Budidaya tanaman kelapa sawit di lahan gambut tropis dihadapkan pada permasalahan ketersediaan unsur hara, dimana hilangnya unsur hara makro seperti nitrogen, fosfor dan kalium cenderung tidak tersedia akibat pencucian akibat fluktuasi ketinggian air (Hashim, et al., 2019)

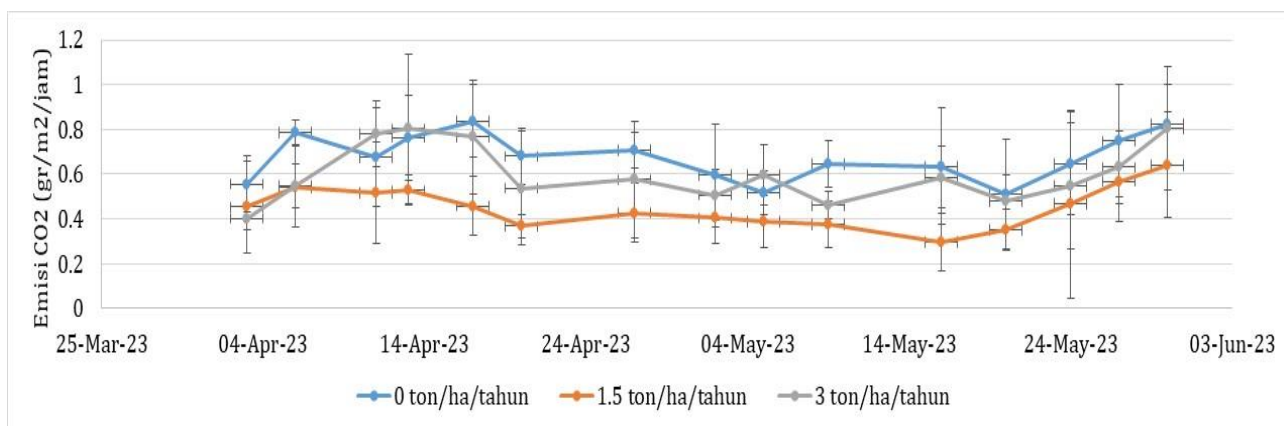
3.2. Emisi CO₂

Ekosistem gambut tropis merupakan penyimpan karbon dalam jumlah yang sangat besar, akan tetapi perubahan fungsi penyimpanan karbon lahan gambut tropis menjadi areal pertanian dan perkebunan mengakibatkan meningkatnya emisi gas rumah kaca (Astiani et al., 2022; Pratiwi dan Yuwati, 2022). IPCC (2022) melaporkan bahwa Selama periode 2010-2019 telah terjadi peningkatan total emisi gas rumah kaca, serta peningkatan emisi CO₂ kumulatif sejak tahun 1850. Pada dekade 2010-2019, rerata emisi gas rumah kaca jauh lebih tinggi dibandingkan dengan dekade sebelumnya. Walau demikian, laju pertumbuhan antara 2010 dan 2019 masih lebih rendah dari antara tahun 2000 dan 2009. Pada tahun 2019, sekitar 34% dari total emisi GRK berasal dari sector pasokan energi. Adapun sector pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan lainnya menyumbangkan 22% dari total emisi GRK.

Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan abu boiler tidak berpengaruh nyata terhadap emisi CO₂ di tanah gambut (Tabel 1). Pengaruh aplikasi abu boiler yang tidak nyata menurunkan emisi CO₂ diperkirakan karena lokasi penelitian yang berada pada gambut dengan dekomposisi sedang (hemik). Hasil penelitian Suratman et al., (2013) yang menguji beberapa dosis amelioran pada berbagai tingkat dekomposisi tanah gambut menyebutkan

bahwa pemberian amelioran lebih efektif untuk menurunkan emisi CO₂ pada gambut hemik dibandingkan dengan gambut sapric. Gambut sapric memiliki potensi kandungan asam-asam fenolat yang lebih rendah dibandingkan gambut hemik, hal ini dikarenakan kandungan cadangan bahan lignin yang juga lebih rendah dibandingkan gambut hemik. Kondisi ini menyebabkan proses dekomposisi asam-asam organik dengan gugus karboksil dan hidroksil jauh lebih rendah dari gambut hemik sehingga emisi CO₂ yang dihasilkan gambut sapric lebih rendah dari gambut hemik.

Nilai emisi CO₂ dari berbagai perlakuan abu boiler ditunjukkan pada Gambar 1. Data rata-rata pengukuran emisi CO₂ periode April – Mei 2023 menunjukkan bahwa penerapan abu boiler dengan dosis 1,5 ton/ha/tahun secara konsisten memberikan nilai emisi terendah dibandingkan ke perawatan lain. Namun secara statistik tidak terdapat perbedaan yang nyata antar perlakuan yang diuji. Peningkatan fluktuasi emisi CO₂ mulai tercatat pada minggu ke 6 pengamatan di seluruh plot penelitian.



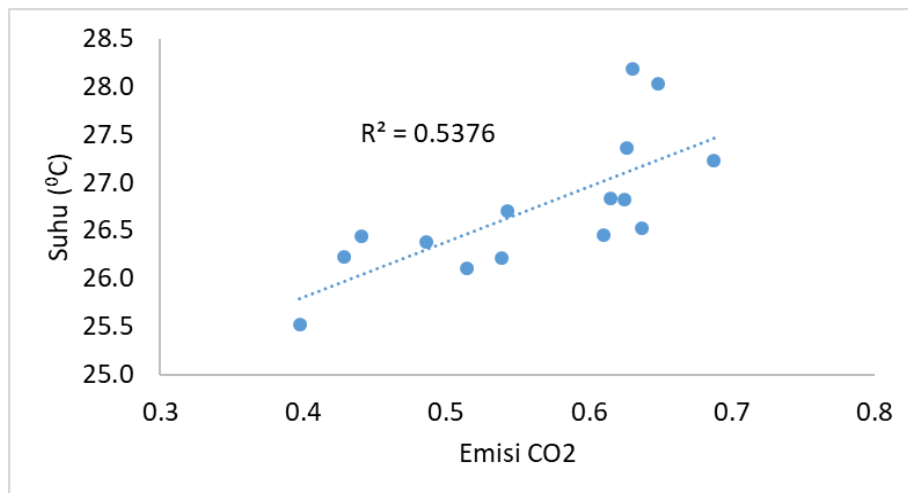
Gambar 1. Perbedaan Emisi CO₂ Akibat Penerapan Kadar Abu Boiler yang Berbeda

Penelitian ini menemukan bahwa emisi CO₂ berkisar antara 0,34 - 0,77 g/m²/jam atau setara dengan 30,35 - 67,68 ton/ha/tahun. Hasil ini sesuai dengan hasil yang dipublikasikan oleh [Riyani, et al., \(2021\)](#) yang menunjukkan rata-rata nilai emisi CO₂ pada tanaman kelapa sawit dewasa adalah $47,92 \pm 23,19$ ton CO₂/ha/tahun. Emisi yang lebih tinggi terjadi pada areal perkebunan kelapa sawit yang belum menghasilkan, dimana emisi dapat mencapai $61 \pm 0,33$ ton/ha/tahun.

Nilai emisi yang lebih tinggi pada lahan kelapa sawit belum menghasilkan disebabkan karena kanopi tanaman kelapa sawit belum menutupi permukaan tanah sehingga meningkatkan suhu tanah. [Cooper, et al., \(2020\)](#) mempublikasikan penelitian yang menyatakan bahwa emisi di lahan kelapa sawit belum menghasilkan dapat mencapai $54,41 \pm 13,35$ ton CO₂/ha/tahun. Hubungan antara suhu tanah dan emisi ditunjukkan pada Gambar 2. Peningkatan emisi CO₂ tercatat seiring dengan peningkatan suhu tanah.

Pada gambar 2 terlihat bahwa penerapan abu boiler mengurangi emisi CO₂ pada tanah gambut. Penerapan abu boiler sebanyak 1,5 ton dan abu boiler sebanyak 3 ton sebagai amelioran masing-masing mengurangi emisi CO₂ sebesar 10% dan 35% dari plot kontrol. Pemanfaatan amelioran sebagai upaya penurunan emisi CO₂ juga pernah dilaporkan oleh [Susilawati et al., \(2021\)](#) yang menyatakan bahwa penggunaan beberapa jenis amelioran yaitu: kompos tandan kosong kelapa sawit, tanah laterik, pemupukan, pugam (pupuk khusus lahan gambut) menunjukkan hasil bahwa amelioran mampu menurunkan emisi. Emisi tanah gambut dapat dikurangi sebesar 9,8% dengan penggunaan kompos tandan kosong dan 26,5% dengan penggunaan tanah laterik. Penurunan emisi melalui aplikasi amelioran tanah

berkaitan dengan kandungan kation polivalen yang terkandung dalam amelioran tersebut berpotensi menurunkan emisi CO₂ dalam pengelolaan tanah gambut.



Gambar 2. Hubungan antara suhu dan emisi CO₂

Pengukuran emisi CO₂ pada penelitian ini dilakukan pada pagi hari dengan waktu pengukuran berada pada rentang waktu 07.00 – 10.00 waktu Indonesia bagian barat. Fluktuasi harian emisi CO₂ yang ditampilkan pada Gambar 1 terutama sekali disebabkan oleh faktor iklim pada lokasi penelitian yaitu suhu udara. Hal ini di konfirmasi oleh Gambar 2 yang memperlihatkan bahwa suhu memiliki hubungan dengan emisi CO₂ ($R^2 = 0,5376$). Hal ini sesuai dengan penelitian [Zheng et al., \(2009\)](#) yang menyebutkan bahwa peningkatan suhu tanah akan memicu aktivitas mikroba serta perkembangan akar. Selain itu suhu juga menjadi komponen iklim yang penting dikarenakan seluruh reaksi biologi terpengaruh oleh suhu ([Mohammed et al., 2004](#)).

3.3. Sifat Kimia Tanah

Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan abu boiler signifikan menaikkan pH tanah tetapi tidak signifikan menaikkan sifat kimia tanah lainnya. pH tanah merupakan sifat kimia tanah yang penting untuk diketahui karena dapat digunakan sebagai indikator tingkat kesuburan kimiawi tanah.

Tabel 2. Pengaruh Abu Boiler Terhadap Sifat Kimia Tanah

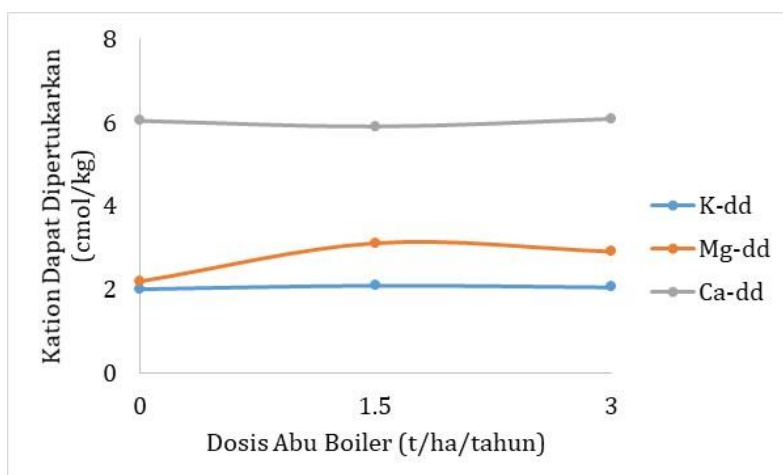
Dosis abu Boiler (t/ha/tahun)	pH Tanah	C Organik (%)	N Total (%)	P Total (ppm)	P Tersedia (ppm)	K Total (cmol/kg)	Kejenuhan Basa (%)	KTK cmol/100g
0	3,42 b	24,58 a	1,12 a	3.776 a	126,94 a	4,09 a	12,41 a	85,06 a
1.5	4,43 a	23,67 a	1,21 a	4.173 a	107,98 a	4,79 a	12,30 a	94,15 a
3	4,33 a	22,11 a	1,12 a	4.145 a	95,25 a	7,39 a	10,76 a	117,31 a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf kecil yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan nyata menurut uji BNT pada taraf 5%.

Nilai pH tanah pada petak penelitian berada pada kategori sangat asam. Tingkat keasaman tanah gambut dipengaruhi oleh kandungan asam organik (asam humat dan asam fulvat). Pemberian abu boiler meningkatkan pH tanah dibandingkan dengan plot kontrol yang tidak mendapat amelioran. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian [Manurung, et al., \(2021\)](#) yang menjelaskan penerapan amelioran memperbaiki pH tanah. Kandungan asam organik dalam tanah dengan segala sifat toksiknya dapat dikurangi dengan pemberian bahan amelioran. Penggunaan abu boiler dengan kandungan pH yang sangat tinggi efektif dalam meningkatkan pH tanah gambut.

Peningkatan pH disebabkan oleh reaksi penyangga tanah akibat penggunaan bahan amelioran. Senyawa organik pada tanah gambut berasal dari hasil penguraian bahan organik dan mempunyai kandungan lignin yang tinggi. Lignin mengalami proses degradasi pada kondisi anaerobik, yang selanjutnya akan terurai menjadi senyawa humus dan fenolik. Asam fenolik inilah yang menjadi salah satu penyebab rendahnya pH tanah gambut ([Ichriani, et al., 2021](#)).

Kandungan C organik pada lokasi penelitian tergolong dalam kategori sangat tinggi. Meskipun demikian plot tanpa aplikasi abu boiler memiliki Nilai C organik yang paling tinggi yaitu sebesar 24,48%, dan plot dengan aplikasi abu boiler cenderung memiliki kandungan C organik yang lebih rendah. Kandungan C organik pada tanah gambut tidak dipengaruhi oleh aplikasi bahan amelioran tanah maupun aplikasi pupuk, hal ini dikarenakan bahwa Nilai C organik pada tanah gambut lebih dipengaruhi oleh tingkat dekomposisi gambut ([Handayani, 2009](#))



Gambar 3. Pengaruh Bahan pembenah tanah (Amelioran) terhadap K, Mg dan Ca tersedia

Hasil sidik ragam menunjukkan perlakuan abu boiler tidak signifikan meningkatkan Nilai kapasitas tukar kation (KTK). Pada lokasi penelitian, nilai KTK pada plot dengan aplikasi 3 ton abu boiler memberikan Nilai KTK sebesar 117 cmol/100 g, meskipun demikian perlakuan ini tidak berbeda nyata dengan perlakuan kontrol yang memiliki Nilai KTK sebesar 85 cmol/100 g. Meskipun demikian, tingginya Nilai KTK pada tanah gambut dilokasi penelitian tidak dibarengi dengan nilai saturasi basa yang tinggi. Hal ini disebabkan oleh reaksi tanah yang masam sehingga menurunkan kandungan Ca dan Mg pada tanah gambut (Gambar 3).

4. KESIMPULAN

Pemanfaatan boiler sebagai pembenah tanah meningkatkan produksi TBS lebih dari 55% dibandingkan petak kontrol. Penerapan abu boiler pada laju 1,5-t/ha/tahun juga cenderung mengurangi emisi CO₂ hingga 35% dibandingkan dengan plot kontrol. Dari pengukuran emisi CO₂ selama 2 bulan setelah pemberian amelioran, diketahui bahwa emisi CO₂ mempunyai hubungan yang lebih baik dengan suhu tanah dibandingkan dengan karakteristik lingkungan lainnya seperti kelembaban tanah, ketinggian air, kelembaban, dan pH tanah. Pemberian amelioran juga cenderung memperbaiki sifat kimia tanah gambut, meskipun pemberian amelioran hanya memperbaiki pH tanah secara signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Astiani, D., Widiastuti, T., Ekamawanti, H. A., Ekyastuti, W., Roslinda. E., Mujiman. (2022). The partial contribution of CO₂-emission losses from subsidence in small-holder oil palm plantation on a tropical peatland in West Kalimantan, Indonesia. *Journal of Biodiversitas*. DOI: 10.13057/biodiv/d231252
- Badan Pusat Statistika. (2023). <https://www.bps.go.id/publication/2023/02/28/18018f9896f09f03580a614b/statistik-indonesia-2023.html>
- BRGM. (2023). <https://brgm.go.id/bagaimana-upaya-restorasi-gambut-dan-mangrove-di-riau/#:~:text=Kepala%20Dinas%20Lingkungan%20Hidup%20dan,juta%20hektare%20ditetapkan%20sebagai%20daerah>
- Batubara, S.F., Agus, F., Rauf, A., Elfiati, D. (2019). Impact of soil collar insertion depth on microbial respiration measurements from tropical peat under an oil palm plantation. *Mires and Peat*, Volume 24 (2019), Article 06, 1–11, DOI: 10.19189/MaP.2018.DW.373
- Cooper, H.V., Evers, S., Aplin, P., Crout, N., Dahalan, M.P., Sjogersten, S. (2020). Greenhouse gas emissions resulting from conversion of peat swamp forest to oil palm plantation. *Nature Communication*. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-14298-w>
- Data Indonesia. (2023). <https://dataindonesia.id/sector-riil/detail/produksi-cpo-indonesia-turun-jadi-467-juta-ton-pada-2022>
- Hamzah, M. H., Muhammad. F., Ahmad. A, Hasfalina. C. M., Mohammed. A. (2019). Prospective Application of Palm Oil Mill Boiler Ash as a Biosorbent: Effect of Microwave Irradiation and Palm Oil Mill Effluent Decolorization by Adsorption. DOI: 10.3390/ijerph16183453. *International Journal of Environmental Research and Public Health*
- Handayani, E.P. (2009). Emisi Karbondioksida (CO₂) dan Metan (CH₄) pada Perkebunan Kelapa Sawit di Lahan Gambut yang Memiliki Keragaman dalam Ketebalan Gambut dan Umur Tanaman. [Disertasi]. Bogor: Prog Studi Ilmu Tanah Sekolah Pascasarjana IPB
- Hashim, S. A., Teh, C. B. S., Ahmed, O. H. (2019). Influence of Water Table Depths, Nutrients Leaching Losses, Subsidence of Tropical Peat Soil and Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) Seedling Growth. *Malaysian Journal of Soil Science*. Dec2019, Vol. 23,

p13-30. 18p.

- Ichriani, G.I., Sulistiyanto, Y., Chotimah, H.E.N.C. (2021). The use of ash and biochar derived oil palm bunch and coal fly ash for improvement of nutrient availability in peat soil of Central Kalimantan. *JOURNAL OF DEGRADED AND MINING LANDS MANAGEMENT* Volume 8, Number 3 (April 2021): 2703-2708, doi:10.15243/jdmlm.2021.083.2703
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022 Mitigation of Climate Change Working Group III Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2022 Intergovernmental Panel on Climate Change. ISBN 978-92-9169-160-9
- Matysek, M., Evers, S., Samuel, M.K., Sjogersten, S. (2018). High heterotrophic CO₂ emissions from a Malaysian oil palm plantation during dry-season. *Wetlands Ecol Manage* (2018) 26:415–424. <https://doi.org/10.1007/s11273-017-9583-6>
- Manurung, E. D., Ramija, K. E., Batubara, S. F. (2021). The effectiveness of aglime ameliorant to improve soil pH and maize (*Zea mays* L.) growth and production in Langkat Regency. *E3S Web of Conferences* 306, 04005 (2021) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130604005>
- Manning, F. C., Lip Khoo Kho, Hill, T. C., Cornulier. T., Yit Arn The. (2019). Carbon Emissions From Oil Palm Plantations on Peat Soil. *Front. For. Glob. Change* 2:37. doi: 10.3389/ffgc.2019.00037
- Maftu'ah, E., Nursyamsi, D. (2019). Effect of biochar on peat soil fertility and NPK uptake by corn. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, 41(1), 64-73. <https://doi.org/10.17503/agrivita.v41i1.854>
- Mohamed, M.A.A., Babiker, I.S., Chen, Z.M., Ikeda, K., Ohta, K., dan Kato, K. (2004). The role of climate variability in the inter-annual variation of terrestrial net primary production (NPP). *Sci. of the total env*, 332 : 123- 13
- Pratiwi, D and Yuwati, T.W. (2022). Paludiculture: peatland utilization to support climate change adaptation. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 1109 (2022) 012001. doi:10.1088/1755-1315/1109/1/012001
- Riyani, D., Gusmayanti, E., dan Pramulya, M. (2021). Dampak Pemberian Pupuk Hayati dan NPK Terhadap Emisi CO₂ Pada Perkebunan Kelapa Sawit Di Lahan Gambut. *Jurnal Ilmu Lingkungan* (2021), 19(2): 219-226, ISSN 1829-8907
- Rosyidi, S.A.P., Idiajir, B., Akhir, N.M., Rahmad, S., Lestari, N.P., Widoanindyawati, V., Al-Sabaei, A.M., Milad, A., Mashaan, N.S., Md Yusoff, N.I. (2022). Physical, Chemical and Thermal Properties of Palm Oil Boiler Ash/Rediset-Modified Asphalt Binder. *Sustainability* 2022, 14, 3016. <https://doi.org/10.3390/su14053016>
- Soewandita, H. (2018). Kajian Pengelolaan Tata Air dan Produktivitas Sawit di Lahan Gambut. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 19: 41–50. DOI:10.29122/jstmc.v19i1.3112
- Stephanie, M. C., Gusmayanti, E., Pramulya, M. (2021). Emisi CO₂ Pada Perkebunan kelapa Sawit di lahan Gambut yang telah mengalami pemupukan. Seminar nasional Penerapan Ilmu Pengetahuan dan teknologi. DOI: 10.26418/pipt.2021.8

- Sano, T., T. Hirano, R. Liang, Y., Fujinuma. (2010). Carbon dioxide exchange of a larch forest after a typhoon disturbance. *Forest Ecology and Management*. 260 (12): 2214-2223. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.09.026>
- Susilawati, H.L., Hendri, J., Setyanto, P. (2021). The potential of ameliorants to mitigate carbon dioxide emission from oil palm plantation on peat soil. *The 5th International Conference on Climate Change 2020*. doi:10.1088/1755-1315/724/1/012067
- Suratman, Sukarman dan Hariyadi. (2013). Peran Amelioran Tanah Mineral Dalam Mengendalikan Laju Emisi CO2 Pada Lahan Gambut. *Prosiding Seminar Nasional Pertanian Ramah Lingkungan*. Bogor, 29 Mei 2013
- Utami, S.W. (2018). Chemical characteristics of coal fly ash and its potential as an organic fertilizer. *Agrointek* 12(2): 108-112 (in Indonesian). DOI:10.21107/agrointek.v12i2.4048
- Yahya, Z., Abdullah, M.M.A., Hussin, K., Ismail, K. N., Sandu.A.V., Vizureani.P., Razak, A.A. (2013). Chemical and Physical Characterization of Boiler Ash from Palm Oil Industry Waste for Geopolymer Composite. in *Revista de Chimie -Bucharest- Original Edition-* · December 2013
- Zheng, Z.M., Yu, G.R., Fu, Y.L., Wang, Y.S., Sun, X.M., dan Wang, Y.H. (2009). Temperature sensitivity of soil respiration is affected by prevailing climatic conditions and soil organic carbon content: A trans-China based case study. *Soil Biol. Biochem.*, 41 : 1531-1540.