

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pemanasan Global

Peningkatan gas CO₂ terjadi karena lebih banyak gas yang dihasilkan daripada yang diserap. Hal ini mengakibatkan penumpukan gas CO₂ di atmosfer dapat menyebabkan efek gas rumah kaca (GRK) yang ditandai dengan adanya peningkatan temperatur bumi atau yang biasa dikenal sebagai pemanasan global. Pemanasan global akan terus meningkat seiring dengan kenaikan konsentrasi GRK. Kenaikan temperatur satu abad yang lalu sebesar 1 °C, namun *World Meteorological Organisation* (WMO) mencatat bahwa tahun 2015 merupakan tahun terpanas yang pernah terjadi. Ada yang memprediksi bahwa kenaikan temperatur bisa mencapai 0,3 sampai 4,8 °C pada akhir abad ini (Sarwono, 2016). Faktor-faktor yang mengakibatkan meningkatnya konsentrasi GRK sebagai berikut:

1. Energi, pemanfaatan berbagai macam bahan bakar fosil atau BBM berkontribusi terhadap naiknya konsentrasi gas rumah kaca, terutama CO₂.
2. Kehutanan, salah satu fungsi hutan adalah sebagai penyerap emisi gas rumah kaca, karena hutan dapat mengubah CO₂ menjadi O₂. Sehingga pengrusakan hutan akan berdampak terhadap naiknya emisi gas rumah kaca .
3. Peternakan dan pertanian, di sektor ini emisi gas rumah kaca dihasilkan dari pemanfaatan pupuk, pembusukan sisa-sisa pertanian dan pembusukan kotoran-kotoran ternak, serta pembakaran sabana . Pada sektor pertanian, gas metan (CH₄) yang paling banyak dihasilkan.
4. Sampah, sampah sebagai salah satu kontributor terbesar bagi terbentuknya gas metan (CH₄), karena aktifitas manusia sehari-hari (Pratama, 2019).

Menurut *World Meteorological Organization* (2020), konsentrasi karbon dioksida mencapai 407,8 ppm pada tahun 2018. Pada tahun 2015, Indonesia merupakan negara penghasil emisi gas rumah kaca terbesar nomor empat di dunia (Sasmita et al., 2022). Dampak dari adanya pemanasan global adalah mencairnya lapisan es yang ditandai dengan adanya penurunan ketebalan

lapisan es di kutub dan adanya pecahan gunung es, yang terpantau di akhir abad 20 yang lalu. Dampak lain dari pemanasan global yang terjadi adalah naiknya muka air laut sebagai akibat dari mencairnya es di kutub dan pemuain masa air laut. Hal ini dapat ditunjukkan oleh laporan IPPC bahwa selama 100 tahun terakhir air laut mengalami kenaikan sebesar 10 – 25 cm (Suwedi, 2005).

Pemanasan global juga akan berpengaruh pada meningkatnya suhu air laut. Implikasi negatif dari peningkatan suhu dan naiknya muka air laut adalah rusak atau matinya terumbu karang. Akibat lanjutan dari kematian terumbu karang adalah hilangnya daerah potensi ikan dan daerah penahan energi gelombang yang bisa mengakibatkan abrasi pantai di suatu wilayah. Dampak lain yang muncul sebagai akibat dari pemanasan global adalah adanya perubahan siklus/ pola serta intensitas curah hujan di berbagai wilayah. Implikasi dari perubahan ini antara lain pada persediaan/ cadangan air suatu wilayah, air tanah, air permukaan/ limpasan, air tanah, dan reservoir, sehingga pada beberapa wilayah dimungkinkan akan terjadi kelebihan air dan beberapa wilayah yang lain akan kekurangan air, beberapa wilayah terjadi banjir dan beberapa wilayah kekeringan. Kondisi akan semakin parah apabila kondisi drainase atau daya tampung sungai dan waduk tidak terjaga akibat adanya pendangkalan akibat erosi dan sedimentasi (Suwedi, 2005).

Selain itu, implikasi lain yang tak kalah penting adalah adanya perubahan produktivitas lahan yang akhirnya berpengaruh pada ketahanan pangan. kebakaran hutan bisa juga diakibatkan oleh bergesernya pola hujan di suatu wilayah dimana hutan yang biasanya basah tiba-tiba menjadi kering karena kekurangan hujan. Munculnya lahan kritis sebagai akibat adanya kebakaran hutan dan erosi tanah oleh hujan yang lebih dari biasanya. Banjir dan kekeringan bisa pula mendatangkan wabah penyakit pada daerah yang terkena banjir atau kekeringan (Suwedi, 2005).

2.2 Lahan Pertanian

Tanah berperan penting dalam siklus karbon yang secara langsung mempengaruhi perubahan iklim. Pertanian melepaskan sejumlah besar gas

rumah kaca (GRK) ke atmosfer, hal ini meningkatkan kekhawatiran pemanasan global di seluruh dunia. GRK dalam urutan menurun, berupa: karbon dioksida atmosfer (CO_2), metana (CH_4), dan dinitrogen oksida (N_2O). Menurut laporan ICCP menyatakan bahwa pertanian menyumbang sekitar 24% dari total sumber GRK antropogenik global pada tahun 2010 dan menyumbang 52 dan 84% dari total emisi metana dan dinitrogen oksida antropogenik global. Pengaruh penggabungan biochar ke dalam siklus C tanah dan emisi CO_2 , CH_4 , dan N_2O sejauh ini tidak konsisten dan mungkin positif atau negatif, tergantung pada jenis biochar dan sifat tanah (Herlambang et al., 2021).

Besarnya nilai emisi CO_2 di lahan pertanian jagung, sawit dan sayuran disebabkan oleh pengaruh penggunaan pupuk pada lahan tersebut. Pemupukan dengan Nitrogen mengakibatkan akar tanaman melakukan respirasi lebih cepat sehingga produksi karbon yang dihasilkan oleh tanaman tersebut akan meningkat. Pemupukan Nitrogen secara umum meningkatkan total emisi CO_2 pada tanaman, hal ini disebabkan karena meningkatnya respirasi akar akibat meningkatnya pertumbuhan tanaman karena pemupukan Nitrogen (Putra et al., 2020). Berdasarkan hasil penelitian yang dilaksanakan oleh (Prayitno et al., 2022) menunjukkan bahwa penambahan urea secara signifikan dapat meningkatkan emisi CO_2 . Penambahan urea juga dapat memicu meningkatkan emisi CO_2 akibat aktivitas mikroba tanah meningkat dan hidrolisis urea juga menghasilkan CO_2 .

Urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) yang bereaksi dengan air akan terurai menjadi ammonium (NH_4^+), ion (OH^-), dan ion (HCO_3^-). Ion Bikarbonat akan terurai menjadi CO_2 dan H_2O . Emisi CO_2 akan meningkat dengan penggunaan pupuk urea yang lebih banyak dalam sektor pertanian (Prayitno et al., 2022).

2.3 Biochar

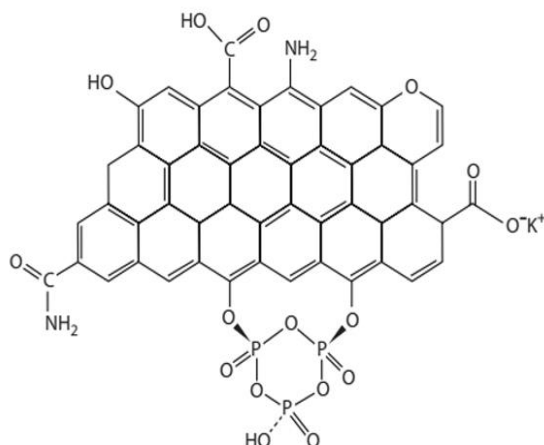
Biochar merupakan substansi arang kayu yang berpori (porous), sering juga disebut charcoal atau agri-char. Karena berasal dari makhluk hidup, kita sebut arang-hayati. Karbon hitam (C), disebut sebagai arang hayati/*biochar* (A. Ghani, 2009). Biochar merupakan hasil pembakaran tanpa oksigen dari

limbah pertanian dan kehutanan seperti potongan-potongan kayu, tunggul, tempurung kelapa, tandan kosong kelapa sawit, tongkol jagung, sekam padi, kulit biji kacang-kacangan, kulit kayu, sisa usaha perkayuan, dan bahan organik daur ulang lainnya (Saputra & Ardika, 2012). Biochar berfungsi sebagai:

1. Adsorben polutan, remediasi tanah
2. Meningkatkan kualitas tanah dengan mempengaruhi: pH, kapasitas menahan air (WHC), kapasitas tukar kation (KTK), meningkatkan stabilitas agregat tanah, struktur komunitas mikroba, dan sifat tanah lainnya yang penting dalam pertanian
3. Mengimobilisasi karbon dalam tanah untuk waktu yang lama, yang berkontribusi terhadap penurunan konsentrasi karbon dioksida (CO_2) di atmosfer, pengurangan gas rumah kaca
4. Pendukung katalis
5. Produksi energi.

Biochar dibuat dengan memanfaatkan proses termokimia seperti gasifikasi, pirolisis dan karbonasi. Perbedaan perlakuan pada pembuatan biochar berbahan biomasa adalah temperatur yang digunakan pada saat proses pirolisis berlangsung. Aplikasi biochar pada tanah dilaporkan sebagai upaya mitigasi paling sederhana dan efektif dalam mencegah perubahan iklim dan perlindungan lingkungan, biochar juga mampu menyerap karbon, sebagai mitigasi emisi GRK, remediasi dan konservasi tanah serta mampu meningkatkan hasil panen pertanian. Biochar merupakan material kaya karbon yang dapat dibuat dari seluruh material dengan bahan dasar karbon. Pembuatan biochar dengan menggunakan limbah padat kaya karbon pada industri yang memanfaatkan tumbuhan merupakan Langkah yang sangat baik untuk menurunkan emisi karbon (Sudibya et al., 2022).

Karbon dalam biochar memiliki struktur yang berbeda dengan bahan organik yang ada di tanah. Struktur karbon biochar terdiri dari cincin aromatik yang lebih stabil dan tahan lama. Jika karbon dapat diambil dari atmosfer oleh tanaman dan diubah menjadi biochar, dan dijadikan amandemen tanah yang stabil, maka ada potensi yang sangat besar untuk penyerapan karbon di tanah sembari juga berguna bagi produktifitas tanah (Mukhlis et al., 2023).



Gambar 2. 1 Struktur biochar dengan beberapa gugus fungsional (Muklish *et al.*, 2023)

2.3.1 Daya Adsorpsi

Daya adsorpsi atau kapasitas adsorpsi biochar berhubungan dengan porositas (pori-pori), luas permukaan biochar, gugus fungsi dan pH. Daya adsorpsi umumnya dikaitkan dengan penyisihan polutan di dalam tanah dan air (Herlambang *et al.*, 2021). Semua biochar tidak memiliki sifat yang sama karena karakteristiknya dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti jenis bahan baku, kondisi pirolisis (suhu akhir pirolisis, laju pemanasan yaitu pirolisis lambat, dan pirolisis cepat), serta durasi pembakaran. Secara umum, banyaknya pori-pori dari berukuran kecil hingga sedang dapat meningkatkan luas permukaan biochar.

Luas permukaan biochar berperan penting dalam mengontrol penyimpanan air tanah karena dapat mengubah karakteristik pori. Ukuran partikel dapat mempengaruhi baik ruang pori antartartikel (interpori) maupun pori-pori dari biochar (intrapori) melalui proses yang berbeda, karena ukuran dan konektivitas partikel yang berbeda. Selain itu, ketika biochar diaplikasikan di lapangan, partikel biochar bisa saja memiliki ukuran dan bentuk yang berbeda dibandingkan dengan partikel tanah. Penambahan butiran biochar dengan bentuk dan ukuran yang berbeda akan mengubah karakteristik interpori (ukuran, bentuk, konektivitas, dan volume) tanah, sehingga biochar dapat digunakan sebagai aerasi,

hidrologi, dan penyediaan habitat bagi mikroba, sedangkan pori-pori yang lebih halus dapat terlibat dengan adsorpsi dan transportasi molekuler. Perbandingan hasil penelitian terdahulu terkait dengan hubungan luas permukaan jumlah pori-pori, dan daya adsorpsi disajikan pada tabel 2.1. dan tabel 2.2.

Tabel 2. 1 Hubungan luas permukaan dan jumlah pori-pori

Peneliti	Bahan Baku	Suhu Pirolisis (T°C)	<i>Surface Area</i> (m ² /g)	<i>Total Pore Volume</i> (cm ³ /g)	<i>Mean Pore Diameter</i> (nm)
(C. Yang et al., 2021)	Jerami	250	1,135	0,012	219,2
		350	2,900	0,024	162,5
		450	7,658	0,038	98,5
		550	13,273	0,035	52,8
		650	14,326	0,100	14,0
	Batang kanola	250	0,664	0,006	171,2
		350	1,151	0,005	93,7
		450	2,502	0,011	91,7
		550	4,375	0,011	50,6
		650	7,937	0,017	43,9
(Mukherjee et al., 2021)	Limbah industri bubur kertas	300	53,83	0,11	17,16
		600	86,43	0,17	11,27
(Anastasia, 2022)	Ampas Sagu	400	3,79841	0,00786	3,796

Tabel 2. 2 Variasi Suhu Pirolisis Terhadap Daya Adsorpsi CO₂ yang dialirkan ke sampel

Suhu Pirolisis Ampas Kopi (T°C)	<i>Spesific Surface Area</i> (m ² /g)	<i>Micropore Surface Area</i> (m ² /g)	<i>Total Pore Volume</i> (cm ³ /g)	<i>Average Pore Widht</i> (nm)	<i>Adsorption capacity at Ibar</i> (mmol/ g)
400	179	125	0,13	7,7	0,7
500	311	234	0,24	5,4	1,3
600	539	421	0,34	3,2	2,8

Menurut Ippolito *et al* (dalam Herlambang et al., 2021) Umumnya pH *biochar* bersifat basa (pH = 7,1 – 10,1). Meskipun perbedaan pH dapat disebabkan oleh jenis biomassa, namun suhu pirolisis diketahui sangat berdampak pada perubahan nilai pH *biochar*. Hal ini dikarenakan peningkatan suhu pirolisis akan menghilangkan gugus fungsi asam dan kadar abu meningkat, sehingga menyebabkan *biochar* menjadi lebih basa. Pada suhu pirolisis yang lebih tinggi, nutrisi dalam bentuk mineral, atau garam (seperti KOH, NaOH, MgCO₃, CaCO₃, garam logam organik) terpisah dari matriks organik padat, dan menghasilkan nilai pH yang meningkat. *Biochar* dari limbah tanaman, rumput lain, dan pupuk kandang/biosolid memiliki KPK (Kapasitas Pertukaran Kation) dan pH yang lebih besar dibandingkan dengan *biochar* berbasis kayu. Peningkatan KPK akibat permukaan biomassa teroksidasi dan gugus fungsi anorganik terbentuk selama pirolisis, juga dapat dikaitkan dengan peningkatan pH. Karena sifatnya yang basa, *biochar* dapat digunakan untuk memperbaiki kondisi tanah asam, sehingga dapat berfungsi sebagai bahan pengapuran.

2.4 Mitigasi Pemanasan Global

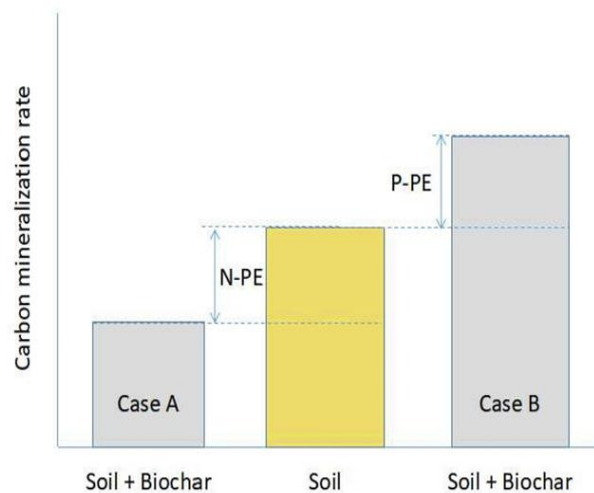
Salah satu cara terbaik mengurangi emisi CO₂ adalah dengan menggunakan kembali sisa tumbuhan yaitu limbah biomassa yang dikonversi menjadi *biochar* (Sarwono, 2016). Ketika limbah tanaman terurai, ia melepaskan karbon dioksida dan dinitrogen oksida ke atmosfer. Pembuatan *biochar* dari limbah tanaman melalui pirolisis mencegah gas-gas tersebut

keluar selama dekomposisi dan malah menjebakanya di dalam biochar. Jadi CO₂ tidak hanya dihilangkan, tetapi juga disimpan selama ratusan tahun di dalam tanah, menjadikan seluruh proses karbon negatif, artinya lebih banyak karbon dioksida yang hilang dari atmosfer daripada yang ditambahkan (Climate Action 101, 2021)

Menurut Woolf et al (2010) implementasi biochar berkelanjutan berpotensi mengurangi emisi karbon sebesar 12% dari total emisi CO₂ ekivalen yang dihasilkan dari kegiatan antropogenik yaitu 1,8 Gigaton/tahun dari 15,4 Gigaton emisi yang dilepas per tahun. Biochar bahkan dilaporkan sangat efektif untuk digunakan pada tanah yang bersifat asam maupun basa. Kemampuan *biochar* yang sangat baik dalam menurunkan laju emisi karbon disebabkan karena *biochar* memiliki rantai karbon yang sangat stabil, kondisi ini menyebabkan *biochar* mampu menahan lebih banyak karbon bahkan dalam kondisi cuaca ekstrem (Sudibya et al., 2022).

Di dalam tanah, biochar menyediakan habitat yang baik bagi mikroba tanah, tapi tidak dapat dikonsumsi mikroba seperti bahan organik lainnya. Semua tanah mengandung karbon. Ketika tanaman melakukan fotosintesis karbon dioksida, mereka menyimpan senyawa karbon yang tidak digunakan untuk pertumbuhan di dalam tanah. Karbon membantu tanah menyerap kelembapan dan menahan kekeringan, yang pada gilirannya membantu tanaman tumbuh. Ketika dikikis, diolah dan dipupuk secara berlebihan, karbon di dalam tanah akan teroksidasi, memasuki atmosfer dan menghabiskan unsur organik tanah. Karena kepadatan unsur hara dan kemampuannya membantu tanah memerangkap kelembapan, biochar dapat menjadi agen penting dalam perbaikan tanah, yaitu proses memperbaiki tanah yang kehilangan unsur hara karena diolah secara berlebihan (Climate Action 101, 2021)

Dalam jangka panjang biochar tidak mengganggu keseimbangan karbon-nitrogen, bahkan mampu menahan dan menjadikan air dan nutrisi lebih tersedia bagi tanaman. Di samping mengurangi emisi dan menambah pengikatan gas rumah kaca, kesuburan tanah dan produksi tanaman pertanian juga dapat ditingkatkan (Saputra & Ardika, 2012).



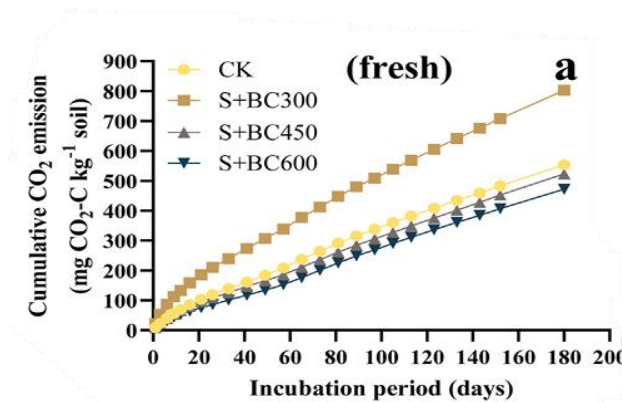
Gambar 2. 2 Diagram skema efek priming oleh biochar pada tanah.

Priming tanah adalah perubahan laju dekomposisi SOC (*soil organic carbon*) setelah penambahan amandemen organik segar ke dalam tanah dibandingkan dengan tanah tanpa penambahan amandemen. PE (*priming effect*) adalah istilah yang mengacu pada percepatan atau penghambatan laju mineralisasi bahan organik sebagai akibat dari penerapan amandemen tanah. Penerapan biochar pada tanah diketahui mempengaruhi mineralisasi SOC dalam jangka panjang, sehingga menghasilkan PE positif atau negatif di dalam tanah (El-Naggar et al., 2019).

Biochar menyebabkan PE positif atau negatif masih dalam perdebatan. Ada yang berhipotesis bahwa biochar menginduksi PE negatif ketika diterapkan pada tanah karena biochar bersifat sangat berpori, sehingga memberikan afinitas yang kuat terhadap bahan organik (Zimmerman et al., 2011). positif atau negatif di dalam tanah (El-Naggar et al., 2019). Biochar dapat menyerap bahan organik tanah asli dalam jaringan pori-porinya, sehingga mengurangi kemampuan penguraian bahan organik dalam tanah melalui dekomposisi mikroba atau disebut sebagai PE negatif (Zimmerman et al., 2011). Sebaliknya, biochar juga dapat merangsang mineralisasi C tanah, yang dikenal sebagai PE positif (Zimmerman et al., 2011).

Biochar menyediakan habitat yang cocok bagi mikroorganisme dengan menyediakan C, N, P dan mikronutrien yang labil, sehingga meningkatkan pertumbuhan dan proliferasi mikroba. Tindakan ini meningkatkan aktivitas mikroba dan menginduksi PE positif di dalam tanah. Faktor-faktor yang mempengaruhi PE yang diinduksi biochar di dalam tanah mencakup faktor abiotik, seperti kadar air tanah, tekstur, kandungan liat dan kandungan SOC, serta faktor biotik, seperti komposisi jamur/bakteri dan banyaknya jamur saprofit dan hewan tanah (Luo et al., 2017).

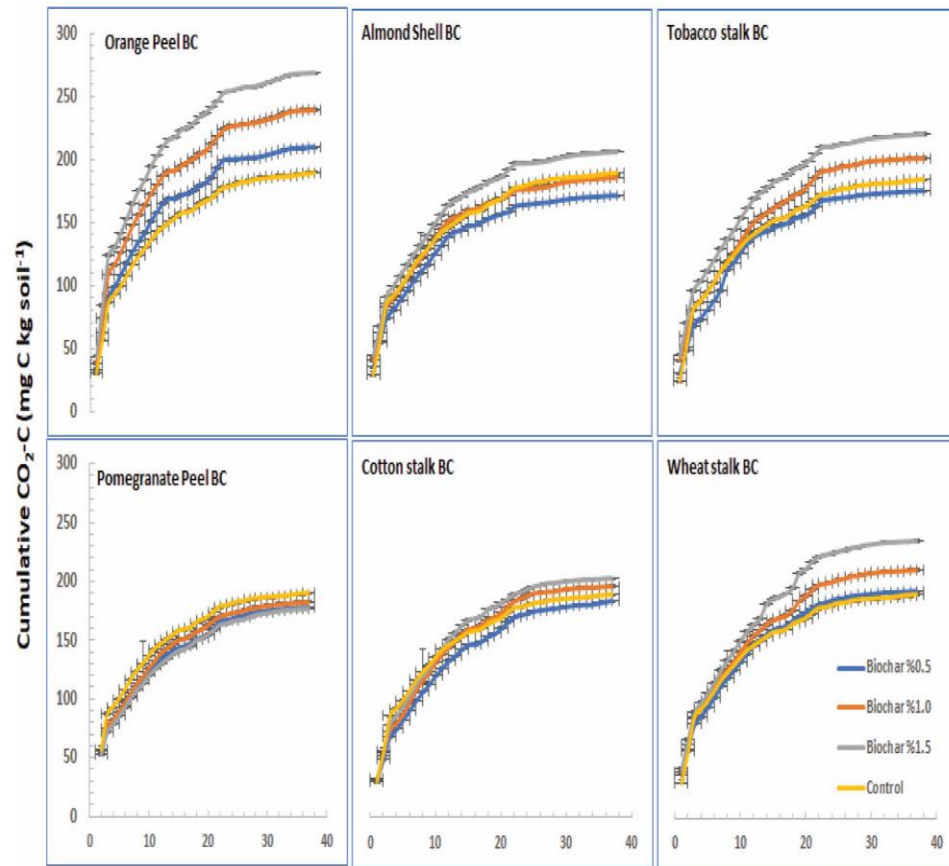
Penelitian yang dilakukan (Y. Yang et al., 2022) selama 180 hari inkubasi menunjukkan bahwa peningkatan emisi CO₂ paling banyak ada pada biochar yang dipirolisis pada suhu 300° C, sedangkan biochar yang dipirolisis pada suhu 450 dan 600 °C mulai mengalami penurunan di hari ke-30 inkubasi. Penurunan emisi CO₂ disebabkan berkurangnya kandungan organik tanah terutama kandungan DOC (*Dissolved Organic Carbon*) tanah.



Gambar 2. 3 Variasi suhu pirolisis terhadap fluks emisi CO₂ setelah penambahan biochar dari pohon jagung

Konsentrasi biochar juga dapat mempengaruhi fluks emisi CO₂. Sakin et al (2021) melaporkan emisi CO₂-C tertinggi dalam 1,5% biochar didapatkan pada biochar kulit jeruk (268,49 mg C kg⁻¹ tanah) dan terendah berasal dari biochar kulit delima (176,85 mg C kg⁻¹ tanah). Semua jenis biochar (kecuali kulit delima) menghasilkan emisi CO₂-C

lebih besar ketimbang kontrolnya. Berikut adalah grafik fluks emisi CO₂-C yang dihasilkan selama 40 hari inkubasi



Gambar 2. 4 Variasi penambahan dosis dan jenis biochar (Sakin *et al.*, 2021)