

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil kopi terbesar di dunia, dengan total produksi mencapai 774.960 ton menurut Badan Pusat Statistik pada tahun 2023. Besarnya produksi kopi ini berbanding lurus dengan volume limbah kulit kopi yang dihasilkan, mengingat jumlah limbah kulit kopi menyamai bahkan melebihi hasil panen biji kopi, yaitu sekitar 50–60%. Artinya, apabila panen kopi segar sejumlah 1.000 kg, maka sekitar 500–600 kg limbah kulit kopi turut dihasilkan (Wahyuni dkk., 2023). Kondisi ini menjadi persoalan serius karena kulit kopi yang tidak dikelola dengan baik dapat menimbulkan permasalahan lingkungan seperti pencemaran air dan bau yang tidak sedap (Tsani dkk., 2025). Sebagai respons atas kondisi ini, pemerintah Indonesia telah menetapkan regulasi perlindungan lingkungan. Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup menjadi acuan teknis pengelolaan limbah pertanian dan perkebunan di Indonesia, termasuk limbah biomassa seperti kulit kopi.

Salah satu solusi yang menjanjikan untuk menanggulangi masalah tersebut adalah konversi limbah kulit kopi menjadi biochar. Biochar merupakan material karbon padat hasil pirolisis biomassa pada suhu tinggi dengan kondisi oksigen terbatas. Biochar dikenal memiliki struktur yang sangat berpori dengan luas permukaan spesifik yang tinggi. Karakteristik fisik ini menjadikan biochar sebagai amendemen tanah yang banyak dikaji karena potensinya dalam meningkatkan kesuburan tanah, memperbaiki struktur tanah, serta menyerap dan menyimpan karbon dalam jangka panjang. Namun di sisi lain, struktur berpori biochar yang sama juga menjadikannya habitat yang ideal bagi komunitas mikroba tanah, termasuk bakteri dan fungi, untuk berkembang biak. Ketika biochar ditambahkan ke dalam tanah, komunitas mikroba mendapatkan ruang hidup baru sekaligus substrat organik yang dapat dimineralisasi, sehingga aktivitas dan populasi mikroba meningkat secara signifikan (Parasar & Agarwala, 2025). Proses respirasi dan

dekomposisi bahan organik oleh mikroba yang semakin intensif ini menghasilkan CO₂ dalam jumlah lebih besar. Fenomena ini dikenal sebagai *positive priming effect*, di mana masukan bahan organik eksogen seperti biochar justru memacu laju dekomposisi bahan organik tanah yang sudah ada sehingga fluks CO₂ meningkat (Al-huqail dkk., 2023).

Persoalan peningkatan emisi CO₂ akibat penambahan biochar ini menjadi semakin relevan mengingat besarnya kontribusi berbagai tipe tanah terhadap emisi gas rumah kaca. Emisi CO₂ dari lahan gambut di Indonesia saja berkisar antara 20 hingga 40 Mg CO₂/ha/tahun (Hafif & Sasmita, 2020), sementara tanah kopi dan tanah pesisir juga berkontribusi pada emisi gas rumah kaca melalui proses dekomposisi bahan organik dan aktivitas mikroba tanah. Berdasarkan hasil penelitian lintas berbagai studi, penambahan biochar secara umum terbukti meningkatkan emisi CO₂ tanah sebesar 1,9%, meskipun di sisi lain mampu menekan emisi N₂O dan CH₄ (Shrestha dkk., 2023). Kondisi ini menunjukkan bahwa aplikasi biochar murni tanpa modifikasi tidak serta-merta menjadi solusi mitigasi emisi yang optimal.

Oleh karena itu, modifikasi permukaan biochar diperlukan sebelum diaplikasikan ke tanah. Biochar murni umumnya memiliki keterbatasan dalam hal luas permukaan spesifik, struktur pori, dan gugus fungsi aktif pada permukaannya, sehingga kapasitas adsorpsinya terhadap CO₂ masih rendah (Guo dkk., 2022). Modifikasi bertujuan merekayasa sifat fisikokimia tersebut agar biochar tidak hanya menyediakan habitat bagi mikroba, tetapi juga mampu menekan CO₂ yang dihasilkan dari aktivitas mikroba sebelum terlepas ke atmosfer, sehingga dampak peningkatan emisi akibat *priming effect* dapat diminimalisasi.

Salah satu metode modifikasi yang inovatif adalah teknologi *low pressure cold plasma* (LPCP). Perlakuan plasma pada permukaan biochar terbukti mampu memperkenalkan gugus fungsi yang mengandung oksigen dan nitrogen, meningkatkan hidrofilitas, serta mendorong pembentukan defek permukaan dan situs aktif yang secara kolektif meningkatkan kapasitas adsorpsi terhadap polutan dan gas (Senadheera dkk., 2025). Bahkan pada dosis paparan plasma yang rendah sekalipun, densitas gugus fungsi yang mengandung oksigen dapat meningkat secara

signifikan, disertai peningkatan hidrofilitas dan afinitas biochar terhadap berbagai senyawa target (Zhou dkk., 2022). Selain itu, modifikasi dengan *cold plasma* terbukti mampu meningkatkan kadar gugus nitrogen fungsional pada material karbon yang berkorelasi dengan peningkatan porositas dan luas permukaan aktif (Huu dkk., 2023).

Berangkat dari kesenjangan pengetahuan tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh modifikasi biochar limbah kulit kopi menggunakan teknologi LPCP pada dua variasi daya (10 watt dan 20 watt) terhadap emisi CO₂ pada tiga jenis tanah dengan karakteristik berbeda, yaitu tanah perkebunan kopi, tanah gambut, dan tanah pantai. Pemilihan ketiga jenis tanah ini didasarkan pada perbedaan mendasar dalam kandungan bahan organik, dan pH tanah sehingga mampu memberikan gambaran yang komprehensif dan representatif mengenai respons emisi CO₂ terhadap penambahan biochar termodifikasi plasma. Sebagai pendukung interpretasi tersebut, penelitian ini juga melakukan karakterisasi biochar meliputi nilai pH, analisis proksimat (zat terbang, abu, dan karbon tetap), serta identifikasi gugus fungsi permukaan menggunakan spektroskopi FTIR guna menjelaskan perubahan sifat fisikokimia biochar akibat perlakuan plasma.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana karakteristik biochar limbah kulit kopi termodifikasi *cold plasma* berdasarkan uji pH, FTIR, zat terbang, kadar abu, dan karbon tetap.
2. Bagaimana pengaruh penambahan biochar limbah kulit kopi termodifikasi *cold plasma* terhadap emisi gas CO₂ pada tanah kopi, tanah gambut, dan tanah pantai.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Limbah kulit kopi didapatkan dari sisa hasil pengolahan kopi di Kecamatan Kalibaru, Kabupaten Banyuwangi.

2. Parameter uji biochar pada penelitian ini meliputi pH, analisis proksimat, FTIR, dan kemampuan biochar dalam menekan emisi CO₂ tanah.
3. Identifikasi gugus fungsi kimia penyusun permukaan biochar tidak dilakukan secara mendalam.
4. Analisis terbatas pada lingkup laboratorium.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisis karakteristik biochar limbah kulit kopi termodifikasi *cold plasma* berdasarkan uji pH, zat terbang, kadar abu, karbon tetap, dan FTIR.
2. Menganalisis pengaruh penambahan biochar limbah kulit kopi termodifikasi *cold plasma* terhadap emisi gas CO₂ pada tanah kopi, tanah gambut, dan tanah pantai.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin dicapai penulis berdasarkan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Memberikan kontribusi ilmiah mengenai efektivitas teknologi *low pressure cold plasma* sebagai metode modifikasi permukaan biochar berbasis limbah biomassa pertanian, khususnya limbah kulit kopi.
2. Memperkaya referensi ilmiah mengenai hubungan antara karakteristik fisikokimia biochar yang telah dimodifikasi plasma dengan kemampuannya dalam menekan emisi CO₂ pada berbagai jenis tanah.
3. Menghasilkan rekomendasi teknologi sederhana dan ramah lingkungan yang dapat diterapkan oleh petani kopi dalam memanfaatkan limbah perkebunan menjadi produk bernilai tinggi berupa biochar fungsional.
4. Berkontribusi pada upaya mitigasi emisi gas rumah kaca dari sektor pertanian, khususnya dalam menekan emisi CO₂ dari tanah perkebunan kopi, tanah gambut, dan tanah pantai di Indonesia.