

# BAB 1. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Tanah merupakan media yang mencakup mineral, cairan, gas dan komponen organik termasuk mikroba dan organisme lainnya (Al-Kaisi dkk., 2017). Tanah mendukung kehidupan serta menjadi fondasi utama bagi peradaban manusia. Seiring berjalannya waktu, pertumbuhan industrialisasi yang pesat, didorong oleh aktivitas manusia seperti agrikultur, memicu pencemaran pada lingkungan khususnya tanah. Proses agrikultur yang umum diterapkan seperti pemakaian pupuk sintetis, residu pestisida, limbah hewan ternak, serta erosi tanah akibat alat berat pertanian menjadi salah satu penyebab terbesar penurunan fungsi tanah. Polutan pada tanah dapat berupa organik seperti kontaminan biologis, dan anorganik seperti logam berat dan mineral berlebih dari pupuk, sehingga akan berdampak pada kesehatan manusia secara langsung maupun tidak (Amin, 2021). Salah satu unsur yang bisa dijumpai dalam jumlah berlebih dan dapat berdampak negatif di tanah adalah unsur *boron*.

*Boron* dapat ditemukan secara alami pada lapisan litosfer bumi, seperti pada batuan vulkanik yang dilepaskan akibat aktivitas gunung berapi atau melalui proses pelapukan batuan beku. Kedua hal ini dapat menjadi sumber alami unsur *boron* dalam tanah. Akan tetapi, karena adanya pengaruh dari penggunaan *boron* dalam pertanian, seperti pestisida dan pupuk sintetis yang digunakan secara tidak terkendali, kadar *boron* di dalam ekosistem tanah pun meningkat sehingga berdampak buruk terhadap hasil pertanian (Brdar-Jokanović, 2020). Di antara berbagai jenis kontaminan tanah, *boron* memiliki tantangan yang unik. Selain menunjukkan perilaku yang kompleks dalam tanah, unsur ini juga memiliki rentang konsentrasi defisiensi dan toksisitas yang sangat kecil sebagai *micronutrient* esensial bagi tanaman. Dengan kata lain, *boron* dapat berdampak negatif terhadap hasil pertanian apabila kadarnya kurang dari 0,5 mg/kg, dan bersifat toksik apabila melebihi 5 mg/kg tanah (Zhao dkk., 2024). Kontaminan unsur *boron* di tanah dapat meningkatkan kadar pH tanah, menekan nilai *relative humidity* (RH), mengganggu ketersediaan unsur hara serta berdampak buruk pada jumlah biota yang menjadi kunci utama bagi pertumbuhan tanaman (Atique-ur-Rehman dkk., 2018), sehingga

pendekatan remediasi tanah yang berkelanjutan menjadi kebutuhan utama dalam mengurangi dampaknya terhadap kesehatan tanah dan produktivitas tanaman.

Salah satu pendekatan yang efisien dan berkelanjutan adalah penggunaan *biochar* sebagai agen remediasi. *Biochar* telah dikenal luas sebagai material karbon berpori dari hasil pirolisis biomassa yang mampu mengikat kontaminan di tanah melalui mekanisme penyerapan dan pertukaran ion. Salah satu bahan baku *biochar* yang memiliki potensi besar dan terhitung limbah adalah *Cocoa Pod Husk* (CPH). CPH atau kulit buah kakao adalah limbah padat hasil industri pertanian kakao yang banyak ditemukan di negara-negara tropis seperti Indonesia. CPH memiliki kandungan karbon yang tinggi serta struktur biomassa yang sesuai untuk dimodifikasi menjadi *biochar*. Modifikasi permukaan CPH-*biochar* dapat meningkatkan kemampuan reaksi permukaan, kapasitas penyerapan, serta performa *biochar* dalam menyerap kontaminan seperti *boron*. Meskipun demikian, sebagian besar metode produksi dan aktivasi *biochar* konvensional, seperti pirolisis bersuhu tinggi atau aktivasi kimia menggunakan larutan basa atau asam kuat, memiliki tantangan tersendiri. Metode ini tidak hanya mengonsumsi energi dalam jumlah besar, tetapi juga berpotensi menghasilkan limbah sekunder yang berdampak negatif terhadap lingkungan. Oleh karena itu, dibutuhkan alternatif teknologi yang mampu memodifikasi permukaan *biochar* serta menawarkan pendekatan yang lebih efisien, cepat, hemat energi, dan ramah lingkungan seperti *low-pressure cold plasma* (LPCP) (Sharma, dkk., 2025).

Plasma adalah wujud materi keempat dalam rangkaian fase zat selain padat cair dan gas. Berdasarkan suhunya, plasma digolongkan menjadi *superheated plasma* dengan suhu jutaan derajat Celsius dan *low temperature plasma* yang bekerja pada suhu rendah (Khan, dkk., 2024). *Low temperature plasma* atau *Cold Plasma* (CP) dapat digunakan untuk memodifikasi permukaan material, termasuk *biochar* tanpa merusak struktur karbon utamanya. Beragam jenis teknologi CP telah dikembangkan dan digunakan dalam bidang *material science*, antara lain teknologi *Dielectric Barrier Discharge* (DBD), *Plasma Jet*, *Glow Discharge*, dan di antara berbagai jenis teknologi plasma, LPCP menawarkan keunggulan berupa operasi dalam tekanan rendah dengan memanfaatkan gas di lingkungan sekitar. Dalam

kondisi ini, gas-gas seperti oksigen atau argon akan terionisasi akibat pelepasan muatan listrik dan membentuk plasma dingin yang terdiri atas elektron berenergi tinggi, ion-ion, foton *ultraviolet* (UV), radikal bebas, serta senyawa reaktif seperti *Reactive Oxygen and Nitrogen Species* (RONS) (Wijaya, dkk., 2025). Komponen-komponen plasma ini akan berinteraksi dengan permukaan *biochar* dan menyebabkan perubahan sifat fisikokimia seperti peningkatan luas permukaan spesifik, pembentukan gugus fungsi aktif, dan peningkatan daya adsorpsi terhadap kontaminan *boron*.

Teknologi modifikasi dengan LPCP tidak hanya menawarkan proses yang lebih bersih dan efisien, tetapi juga memiliki korelasi langsung terhadap hasil yang diperoleh pada *biochar*, terutama dalam konteks peningkatan kapasitas adsorpsi terhadap unsur *boron*. Untuk mendukung pemanfaatannya secara aplikatif, studi kuantitatif terhadap konsumsi energi menjadi penting untuk dilakukan. Parameter seperti input energi terhadap perubahan karakteristik permukaan *biochar* menjadi bagian yang harus dianalisis secara komprehensif. Penelitian-penelitian sebelumnya sebagian besar mengabaikan input energi sebagai variabel perlakuan yang bersifat kuantitatif, padahal parameter ini berpotensi penting dalam menjelaskan perubahan sifat, parameter fisikokimia, serta karakteristik permukaan *biochar* akibat dosis paparan plasma.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjabaran dari latar belakang, berikut merupakan rumusan masalah pada penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penggunaan input energi LPCP dalam memodifikasi karakteristik *biochar*?
2. Bagaimana efektivitas *biochar* termodifikasi LPCP dalam kemanfaatannya pada remediasi tanah tercemar *boron*?

## 1.3 Tujuan

Berikut adalah tujuan yang ingin dicapai dari rumusan masalah di atas:

1. Menganalisis hubungan kuantitatif antara input energi LPCP dengan perubahan karakteristik fisikokimia *biochar* dan sifat permukaan lainnya.

2. Mengevaluasi efektivitas *biochar* termodifikasi LPCP dalam menurunkan kadar *boron* dan memperbaiki sifat-sifat kesuburan tanah.