II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengaruh residu biochar terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman pada musim tanam kedua

Residu biochar, yaitu biochar yang telah digunakan pada musim tanam pertama dan dibiarkan dalam tanah, menunjukkan pengaruh jangka panjang terhadap kesuburan tanah, ketersediaan hara, dan hasil tanaman. Dalam musim tanam kedua, efek residual ini sangat tergantung pada jenis biochar, dosis awal aplikasi, jenis tanaman, serta kondisi agroklimat. Banyak studi melaporkan peningkatan hasil dan pertumbuhan tanaman karena sifat biochar yang mampu meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK), aerasi tanah, dan kelembaban tanah yang tersimpan. Biochar dikenal sangat stabil di lingkungan tanah, dan kemampuannya dalam meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK), retensi air, serta ketersediaan hara seperti nitrogen dan fosfor masih bertahan meski telah melewati satu siklus tanam. Biochar adalah material kaya karbon yang berasal dari biomassa seperti sekam padi, kayu, tempurung kelapa, atau sisa tanaman yang dipanaskan dalam kondisi minim atau tanpa oksigen (Tampubolon et al., 2020). Lehmann (2007) menyatakan bahwa biochar umumnya bersifat basa, memiliki kemampuan tukar kation (KTK) yang tinggi, serta mengandung karbon organik dengan luas permukaan yang besar. Biochar juga mampu menyerap air dalam jumlah besar dan lebih tahan terhadap dekomposisi oleh mikroorganisme. Karakteristik ini membuat biochar efektif dalam menahan nutrisi, sehingga dapat mengurangi kehilangan . unsur hara dalam tanah (Laird et al., 2010). Selain itu, menurut Chan & Xu (2009), biochar tidak hanya memiliki daya simpan air yang tinggi, tetapi juga mengandung unsur hara penting seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman.

Menurut penelitian Sitohang dan Utomo (2019), Pembuatan biochar dapat dilakukan dengan pyrolisis tongkol jagung dengan suhu sebesar 600°C. Tongkol jagung dibersihkan dan dicacah kemudian dimasukkan dalam reaktor pyrolysis, dipanasi dengan suhu 600°C Hasil pembakaran dalam reaktor pyrolysis berbentuk arang hayati yang kemudian diaplikasikan ke tanah. Pemberian biochar diketahui dapat memperbaiki kualitas tanah berupa sifat kimia tanah, fisika tanah dan biologi tanah, selain itu biochar juga dapat meningkatkan hasil beberapa tanaman pertanian seperti jagung, padi dan ubi kayu (Utomo dan Islami, 2016).

Hasil analisis biochar secara kuantitatif (Permata, 2017) biochar tongkol jagung memulikı kandungan C-organik 21,77%, N sebesar 0,78%, P sebesar 0,99%, K sebesar 4,29% dan pH 8,7. Biochar tongkol jagung yang diperkaya amonium sulfat memiliki kandungan C-organik 17,60%, N 1.18% P 0,09%, K. 1,29% dan pH 6,02 Biochar dengan kandungan hara yang cukup tinggi dapat

memperbaiki sifat kimia tanah. Pemberian biochar memberikan bahan organik yang dapat peningkatan pH, peningkatan karbon, peningkatan KTK (Yamato et al., 2006) dan mengandung N total tinggi (Sitohang dan Utomo, 2018). Peningkatan terjadi karena dekomposisi biochar secara perlahan memberikan tambahan bahan organik dan peningatan KTK tanah. KTK tanah meningkat akibat terjadinya pelepasan anion dari proses dekomposisi sehingga kemampuan dalam mengikat dan mempertukarkan kation juga meningkat Peningkatan persentase bahan organik dan KTK tersebut menunjukkan bahwa biochar masih memberikan kontribusi bahan organik dan KTK terhadan tanah residu (Ompusuncu dan Nuraini. 2018). Residu biochar dapat memberikan efek jangka panjang terhadap kesuburan tanah, ketersediaan nutrisi, serta aktivitas mikroorganisme tanah (Joseph et al., 2010). Residu biochar yang ditambahkan ke tanah dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara, terutama nitrogen, fosfor, dan kalium, yang penting untuk pertumbuhan tanaman (Rondon et al., 2007). Efek residu biochar berkaitan erat dengan kemampuannya dalam meningkatkan dan mempertahankan kesuburan tanah. Biochar meningkatkan ketersediaan N-total dan P tersedia di tanah ultisol, yang sangat penting untuk pertumbuhan tanaman. Menurut Bommayasamy et al. (2025) meyatakan tambahan dengan mengevaluasi biochar berisi herbisida yang diaplikasikan pada musim pertama dan tetap memberikan pengaruh pengendalian gulma dan peningkatan hasil pada tanaman kacang hitam di musim kedua. Selain itu, penelitian Yahya et al. (2025) menemukan bahwa kombinasi biochar dengan kompos memperkuat efek residual biochar karena sinergi antar bahan organik dalam memperbaiki kesehatan tanah jangka panjang.

2.2 Pengaruh irigasi tetes terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman

Irigasi merupakan aspek krusial dalam kegiatan pertanian, terutama dalam mendukung ketersediaan air bagi tanaman secara tepat waktu dan jumlah. Di berbagai belahan dunia, irigasi telah berkembang dari sistem tradisional berbasis gravitasi hingga ke sistem modern berbasis teknologi presisi. Dalam konteks pertanian tropis seperti di Indonesia, dua metode irigasi yang umum digunakan adalah irigasi konvensional dan irigasi tetes. Keduanya memiliki keunggulan dan keterbatasan masing-masing dalam hal efisiensi penggunaan air, produktivitas tanaman, serta biaya operasional.

Irigasi konvensional umumnya merujuk pada penggunaan sistem pengairan gravitasi, seperti irigasi permukaan, irigasi alur (furrow irrigation), dan sistem genangan (flooding), yang banyak diterapkan pada lahan sawah dan tanaman pangan. Dalam metode ini, air dialirkan melalui saluran terbuka dan disebarkan secara merata di permukaan tanah. Efisiensi penggunaan air dalam irigasi konvensional hanya berkisar 30–50%, yang berarti separuh dari air yang diberikan tidak diserap oleh tanaman secara optimal (Sutrisno & Hamdani, 2019). Sebaliknya, irigasi tetes (drip irrigation) merupakan inovasi dalam

teknik pengairan yang dirancang untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air. Sistem ini bekerja dengan menyalurkan air secara langsung ke zona perakaran tanaman melalui jaringan pipa, selang, dan emitor yang meneteskan air secara perlahan. Keunggulan utama dari metode ini adalah efisiensinya yang sangat tinggi, mencapai 90–95%, karena air diberikan tepat sasaran dan dalam volume yang sangat terkendali (Fuadi et al., 2016). Selain itu, irigasi tetes juga mengurangi pertumbuhan gulma karena permukaan tanah tetap relatif kering di luar zona basah tanaman, dan sangat cocok digunakan pada lahan kering atau di wilayah yang memiliki sumber air terbatas. Metode ini juga memungkinkan penggabungan dengan sistem fertigasi, yaitu pemberian pupuk cair bersamaan dengan air irigasi, sehingga efisiensi pemupukan juga meningkat.

Beberapa penelitian membandingkan efektivitas kedua sistem irigasi ini secara langsung. Menurut Joubert et al. (2017), irigasi tetes mampu meningkatkan produktivitas tanaman hingga 20–30% lebih tinggi dibandingkan metode konvensional, sambil menghemat air hingga setengahnya. Menurut Rusmayadi et al. (2023) juga mengatakan sistem irigasi modern berbasis pipa dan tetes memberikan hasil panen cabai merah lebih tinggi dengan penggunaan air yang jauh lebih hemat, dibandingkan irigasi alur tradisional. Dari aspek keberlanjutan, irigasi tetes juga dianggap lebih ramah lingkungan karena mengurangi kebutuhan air dan menekan risiko erosi serta pencucian unsur hara.

Secara keseluruhan, pemilihan metode irigasi sangat tergantung pada kondisi agroekologi, ketersediaan teknologi, jenis tanaman, dan sumber daya ekonomi petani. Irigasi konvensional tetap relevan pada kondisi lahan luas dan sumber air melimpah, namun untuk efisiensi dan keberlanjutan jangka panjang, irigasi tetes menawarkan solusi yang lebih tepat, terutama dalam menghadapi tantangan perubahan iklim dan keterbatasan sumber daya air.

2.3 Pengaruh irigasi konvensional terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman.

Irigasi konvensional, atau sistem irigasi permukaan (biasanya penggenangan atau aliran gravitasi), merupakan metode yang paling banyak digunakan di Indonesia, terutama pada budidaya tanaman padi. Sistem ini memberikan kelembaban yang merata, tetapi juga memiliki kelemahan seperti kehilangan air yang besar karena evaporasi, infiltrasi berlebihan, dan kurang efisien pada musim kemarau. Seiring meningkatnya kebutuhan air dan keterbatasan lahan, efektivitas irigasi konvensional terhadap hasil tanaman menjadi penting untuk dikaji secara ilmiah. Rahimah (2024) menyatakan bahwa penggunaan irigasi konvensional dalam budidaya wortel memberikan hasil yang kurang optimal dibandingkan dengan sistem irigasi tetes. Tanaman wortel yang diirigasi secara konvensional menunjukkan tingkat pertumbuhan akar dan pembentukan umbi yang lebih kecil, karena distribusi air yang tidak merata.

2.4. Tanah Lempung

Tanah berlempung merupakan salah satu jenis tanah yang umum dijumpai di berbagai lahan pertanian, termasuk di Indonesia. Tanah ini memiliki komposisi partikel tanah yang seimbang, terdiri dari fraksi pasir, debu, dan lempung, di mana fraksi lempung memberikan kemampuan menahan air dan unsur hara lebih baik dibandingkan dengan tanah berpasir (Brady & Weil, 2008). Tekstur tanah yang halus menjadikannya subur dan mampu mendukung pertumbuhan tanaman hortikultura, termasuk cabai. Namun demikian, tanah berlempung juga memiliki sejumlah tantangan agronomis. Kandungan lempung yang tinggi cenderung membuat tanah menjadi berat, memiliki drainase yang buruk, dan mudah menjadi jenuh air saat hujan deras (Hardjowigeno, 2003). Tanah jenis ini cenderung memiliki porositas rendah dan aerasi yang terbatas, sehingga bisa menghambat perkembangan akar tanaman jika tidak dikelola dengan baik (Lal, 2017).

Untuk memperbaiki kondisi fisik dan kimia tanah berlempung, aplikasi bahan organik seperti kompos, pupuk kandang, maupun biochar telah banyak diteliti. Biochar diketahui dapat meningkatkan porositas tanah, menurunkan kerapatan massa, serta meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) dan retensi air tanah (Lehmann & Joseph, 2015). Dalam konteks tanah berlempung, biochar dapat memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan aerasi, sekaligus membantu dalam penyimpanan air selama musim kering (Ghorbani et al., 2019).

Menurut Liu et al. (2021) menunjukkan bahwa aplikasi biochar pada tanah berlempung berpasir mampu meningkatkan kapasitas retensi air sebesar 30%, biochar juga membantu dalam menstabilkan pH tanah dan meningkatkan aktivitas mikrobiologi yang menguntungkan bagi pertumbuhan tanaman (Kandeler et al., 2020). Menurut Widowati et al. (2025), tanah berlempung dengan kandungan pasir tinggi (Entisol lempung berpasir) menunjukkan peningkatan pertumbuhan tanaman cabai secara signifikan setelah diberi perlakuan biochar dan irigasi tetes. Hal ini menunjukkan bahwa pengelolaan tanah berlempung melalui aplikasi biochar dan teknologi irigasi yang tepat dapat mengatasi keterbatasan alami tanah jenis ini, terutama dalam konteks perubahan iklim dan keterbatasan air.

2.5 Kombinasi Biochar dan Metode Irigasi

Penggunaan biochar sebagai bahan pembenah tanah, jika dikombinasikan dengan metode irigasi yang efisien seperti irigasi tetes, telah terbukti mampu meningkatkan produktivitas lahan, efisiensi penggunaan air, serta kualitas tanah pada berbagai jenis budidaya pertanian. Biochar bekerja dengan meningkatkan kapasitas tukar kation tanah, memperbaiki struktur agregat, dan meningkatkan kemampuan tanah menahan air. Menurut Suwardji et al. (2021)

aplikasi biochar pada lahan kering dengan sistem irigasi memberikan pengaruh signifikan terhadap hasil tanaman sorgum dan efisiensi irigasi di tanah pasir suboptimal. Selain itu, menurut Susilowati et al. (2023), mengatakan bahwa irigasi tetes sederhana yang dikombinasikan dengan biochar sekam padi dapat menghemat air hingga 70% dibandingkan irigasi tradisional pada budidaya Pakcoy.

Selain meningkatkan efisiensi air, kombinasi biochar dan metode irigasi juga memberikan efek positif pada ketersediaan unsur hara. Tuas dan Pareira (2023), mengatakan bahwa penggunaan biochar dan pupuk kandang dengan irigasi tetes meningkatkan kadar Ca, Mg, dan K tanah secara signifikan. Apriani et al. (2023) mengatakan bahwa kombinasi biochar dan vermikompos meningkatkan populasi bakteri penambat nitrogen serta serapan N tanaman jagung. Kombinasi bahan organik dengan biochar juga terbukti meningkatkan hasil tanaman di berbagai kondisi lahan. Aplikasi biochar 5 ton/ha dan pupuk kandang 5 ton/ha pada sistem irigasi tetes secara optimal meningkatkan serapan fosfor dan pertumbuhan tanaman jagung (Lorinanggarani et al., 2024). Sepriani et al. (2024) mengatakan bahwa biochar mampu meningkatkan kesuburan tanah Ultisol dan pertumbuhan bayam dalam sistem irigasi alami maupun buatan. kombinasi biochar dan sistem irigasi modern seperti tetes mampu menjadi solusi berkelanjutan untuk meningkatkan hasil pertanian, menjaga kualitas tanah, dan menghemat air, khususnya pada lahan marginal atau kering.