

BAB II

KAJIAN TEORI

A. Efektivitas

Kata efektif berasal dari bahasa Inggris yaitu *effective* yang artinya berhasil atau berhasil melakukan sesuatu dengan baik. Pendapat Emerson yang dikutip oleh Handayani, (1994, hlm. 16) menjelaskan bahwa “Efektivitas merupakan ukuran dalam artian tercapainya suatu tujuan yang telah ditentukan.” Hal ini sejalan dengan pandangan yang dikemukakan oleh Hidayat (2006, hlm. 15) menjelaskan bahwa “Efektivitas adalah ukuran yang menunjukkan sejauh mana tujuan (kualitas, kuantitas, dan waktu) tercapai. Semakin tinggi persentase tujuan yang dicapai, maka semakin tinggi efektivitasnya.”

Efektivitas merupakan istilah luas yang biasanya menunjukkan sejauh mana tujuan yang telah ditentukan sebelumnya telah tercapai. Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia, kata efektivitas berasal dari kata dasar “efektif” memiliki arti pengaruh, efek, sebab akibat atau dapat membawa hasil. Sehingga efektivitas dipandang sebagai suatu sebab dan akibat dari variabel lain (Palit *et al.*, 2018, hlm. 2)

Sedarmayanti (2006, hlm. 61) berpendapat bahwa efektivitas merupakan suatu ukuran ilustratif sejauh mana suatu tujuan dapat dicapai. Pernyataan tersebut memperjelas bahwa efektivitas adalah indikator yang menunjukkan sejauh mana lembaga berhasil mencapai tujuan yang telah ditetapkan sebelumnya. Peran ini penting dalam setiap lembaga karena membantu untuk mengukur perkembangan dan kemajuan yang telah dicapai (Palit *et al.*, 2018, hlm. 3)

Berdasarkan definisi-definisi tersebut, dapat disimpulkan bahwa efektivitas adalah sejauh mana sebuah program untuk mencapai tujuan yang diharapkan.

B. *Biochar Three In One*

Setiap tahun, emisi karbondioksida (CO₂) dari penggunaan energi di seluruh dunia terus meningkat. Ilmuwan iklim internasional menyatakan bahwa pada tahun 2023 dunia memproduksi sebanyak 36,8 miliar metrik ton CO₂, emisi ini sangat jauh meningkat dari tahun 2020 yang memproduksi CO₂ sebanyak 33,8 miliar metrik ton. Meskipun tahun lalu mencapai rekor tertinggi, total emisi CO₂ akan mencapai titik stabil pada tahun 2023 karena berkurangnya penggunaan lahan, seperti penggundulan hutan (deforestas) (U.S. Energy Information Administration, 2023, hlm. 3).

Namun, jumlah emisi CO₂ yang dihasilkan tiap tahun tidak hanya berasal dari sumber energi, tetapi juga dari kebakaran, siklus karbon alami dan penggundulan hutan. Seiring berjalannya waktu, gas rumah kaca telah mempengaruhi atmosfer dan pemanasan global (Herlambang *et al.*, 2020, hlm. 14).

Dalam hal ini, produksi *biochar* dan penerapan *biochar* pada tanah khususnya untuk pengelolaan limbah, remediasi tanah, penyerapan karbon (*C-sequestration*), dan pengurangan gas rumah kaca telah menjadikan *biochar* sebagai studi dan penelitian yang menarik di seluruh dunia.

1. Pengertian *Biochar*

Biochar adalah pengkondisi tanah alami yang dihasilkan dari pembakaran tidak sempurna (*pyrolysis*) limbah pertanian atau limbah yang sulit terurai (Herhandini *et al.*, 2021, hlm. 386). *Biochar* atau arang hayati merupakan salah satu jenis arang yang mengandung karbon hitam diperoleh dari biomassa. Proses pembuatan *biochar* menggunakan alat pembakaran dikenal dengan pirolisator dilakukan secara *pyrolysis* dengan suhu sekitar 2500° – 3500° C selama 2 hingga 3,5 jam. Proses ini menghasilkan arang dengan kandungan karbon tinggi yang dapat digunakan sebagai pembenah tanah (Nurida, 2014, hlm. 59). Bahan *biochar* bervariasi, semakin padat bahan *biochar* maka akan memerlukan suhu dan waktu yang lebih lama dibanding dengan bahan *biochar* yang lebih lunak. Sebagai sumber bahan organik tanah, *biochar* sekam padi

merupakan salah satu jenis bahan pembenah tanah (Nafi'ah *et al.*, 2021, hlm. 395).

Pembuatan *biochar* merupakan salah satu alternatif pengelolaan limbah pertanian yang dapat dikembangkan karena sumber bahan bakunya cukup melimpah dan mudah didapat. Pemanfaatan limbah pertanian yang ada dipandang sebagai pilihan yang tepat untuk memulihkan kondisi tanah yang kurang ideal dan rusak (Nurida, 2014, hlm. 58). Secara khusus, sumber *biochar* terbaik limbah pertanian seperti, tempurung kelapa, sekam padi, potongan kayu, tongkol jagung, serta bahan organik dari sampah maupun limbah dan kotoran hewan (Herlambang *et al.*, 2020, hlm. 16).

Aplikasi *biochar* pada tanah memiliki banyak manfaat, baik sebagai sumber energi maupun pembenah tanah. Perlu dikembangkan lebih luas untuk meningkatkan kesuburan tanah melalui peningkatan kapasitas tukar kation (KTK) (Pangaribuan *et al.*, 2020, hlm. 72) dan retensi unsur hara sehingga dapat peningkatan produktivitas tanah (Hasibuan, 2017, hlm. 44)

Penerapan *biochar* lebih efektif dengan menggabungkan bahan lain yaitu *biochar* sekam padi ditambah pupuk organik yang diolah dengan EM4 sebagai agen hayati diperkaya konsorsium mikroba sebagai material “*three in one*” sehingga campuran tersebut dikenal sebagai *biochar three in one*. Berikut campuran komponen *biochar three in one* yang meliputi tiga komponen diantaranya :

a. Arang Sekam Padi

Sekam padi merupakan salah satu sumber karbon hasil dari pengolahan padi yang perlu dimanfaatkan kembali (Husaini, 2022, hlm. 1). Menurut Listiana (2021, hlm. 2), hampir seluruh sekam padi yang diproduksi di negara-negara ASEAN dibuang. Pemanfaatan limbah sekam untuk mengurangi dampak padi terhadap lingkungan masih relatif rendah. Dalam pengolahannya secara alami, limbah pertanian membutuhkan waktu yang lama sehingga mencemari lingkungan dan berdampak pada kesehatan manusia. Salah satu pemanfaatannya diolah menjadi arang sekam yang kaya akan silika. Kandungan silika yang tinggi dalam bentuk serabut yang keras menjadikannya

bahan baku yang ideal untuk pembuatan arang sekam (Solihudin *et al.*, 2015, hlm. 11).

Menurut Nurida *et al.*, (2014, hlm. 60), menyatakan arang sekam padi memiliki pH antara 7,5 hingga 9 dan kandungan C-organik 30,76%, sehingga *biochar* dapat bertahan cukup lama di dalam tanah dan mampu mengubah fisik, kimia, dan biologi tanah.



Gambar 2.1 Arang Sekam Padi
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Arang sekam diproses dengan cara pembakaran tak sempurna dari sekam padi. Pemanfaatan limbah arang sekam padi memiliki keunggulan salah satunya dapat meningkatkan produktivitas tanah dan menjaga pelestarian lingkungan (Musdi *et al.*, 2022, hlm. 279). Kandungan arang sekam tersaji pada **Tabel 2.1**

Komponen	Kandungan (%)
SiO ₂	52
K	0,3
C	31
N	0,18
P	0,08

(Sumber : Tanjung, 2021)

b. Pupuk Organik

Pupuk merupakan nutrisi untuk tanaman yang berperan penting dalam menjaga kesuburan tanah dan dapat meningkatkan hasil produksi (Hanifah, 2020, hlm. 1). Umumnya pupuk diklasifikasikan menjadi pupuk organik dan

pupuk anorganik. Penggunaan pupuk organik merupakan langkah penting untuk menuju pertanian berkelanjutan, karena banyaknya keunggulan dibandingkan dari pupuk anorganik, pupuk organik menjadi jenis pupuk yang paling populer digunakan saat ini.



Gambar 2.2 Purpuk Kompos
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Istilah pupuk organik disebut juga pupuk alami, dapat merujuk pada berbagai macam produk antara lain pupuk kompos, pupuk hijau, dan kotoran hewan yang mengalami proses pelapukan akibat interaksi antara mikroba (bakteri pengurai makanan) yang beraktivitas di dalamnya (Bachtiar *et al.*, 2019, hlm. 69). Sedangkan pupuk anorganik yang meliputi pupuk tunggal, pupuk padat, pupuk lengkap dan lainnya dikenal dengan pupuk buatan karena dibuat dari bahan-bahan kimia yang diproses di pabrik (Hanifah, 2020, hlm. 2).

Pupuk kompos mempunyai pengaruh dalam jangka waktu yang lama dan merupakan penyimpanan makanan bagi tanaman sehingga melengkapi unsur makro pupuk organik seperti N, P dan K, dengan unsur mikro seperti Ca, Mg, dan Mn (Majid, 2021, hlm. 15). Unsur-unsur ini penting bagi tanaman dan membantu menjaga keseimbangan unsur hara tanah.

Pembuatan kompos memerlukan kombinasi bahan organik, dilakukan dengan mengatur dan mengontrol bahan secara seimbang, aerasi yang cukup, pengaturan aerasi yang terkontrol, dan aktivator pengomposan. Pupuk kompos sangat bermanfaat karena mudah dibuat, tidak merusak lingkungan, tidak memerlukan biaya yang besar, dan sumber yang tersedia (Nur *et al.*, 2016, hlm.

6). Selain memperkaya tanah dengan unsur hara, pupuk organik juga bermanfaat meningkatkan kualitas sifat fisik tanah serta dapat meningkatkan porositas tanah (Purba *et al.*, 2021, hlm. 312).

c. Agen Hayati

Agen hayati adalah organisme berupa bakteri, virus atau hewan lainnya yang dapat dimanfaatkan sebagai pengendali hama, organisme pengganggu tanaman (OPT) akan mati (Nur *et al.*, 2016, hlm. 6). Menambahkan agen hayati ke dalam pupuk organik dapat membunuh serangan serangga dan hama secara efektif, mudah, dan ramah lingkungan sehingga menghasilkan produktivitas yang berkelanjutan.

Agen hayati yang digunakan adalah EM₄. Penggunaan EM₄ merupakan bahan yang dapat meningkatkan efisiensi dan kualitas produksi pupuk organik yang optimal (Meriatna *et al.*, 2019, hlm. 20). Selain itu, EM₄ membantu tanaman dengan meningkatkan ketersediaan unsur hara tanah serta memperbaiki struktur dan tekstur tanah menjadi lebih baik. Dari banyaknya mikroorganisme, terdapat lima golongan utama yaitu bakteri *fotosintetik*, *Lactobacillus sp*, *Streptomices sp*, ragi (*yeast*), dan *actinomycetes*. EM₄ juga dapat meningkatkan kesuburan, kesehatan, dan ketahanan tanaman terhadap serangan hama dan penyakit (Nur *et al.*, 2016, hlm. 7).

Menurut Nur *et al.*, (2016, hlm. 7) banyaknya manfaat EM₄ bagi tanah dan tanaman diantaranya: 1) Membantu meningkatkan kemampuan fotosintesis tanaman; 2) Peningkatkan bahan organik yang dapat dijadikan kompos; 3) Menghambat penyebaran hama dan penyakit tanaman dalam tanah; 4) Peningkatkan perkembangan vegetatif dan generatif tanaman.

2. Manfaat *Biochar Three In One*

Pengaplikasian *biochar three in one* di dalam tanah memiliki berbagai macam manfaat juga berkaitan dengan perbaikan kualitas tanah. Menurut Herlambang *et al.*, (2020, hlm. 33) manfaat yang dimiliki *biochar three in one* tersebut diantaranya:

- a) Meningkatkan efisiensi pemupukan;
- b) Meningkatkan struktur tanah;

- c) Meningkatkan biomassa dan respirasi mikroba tanah;
- d) Menurunkan emisi gas CH₄ dan N₂O yang terlepas ke udara;
- e) Menurunkan kemasaman tanah;
- f) Meningkatkan hasil panen;
- g) Membantu menetralkan pH tanah
- h) Meningkatkan kemampuan tanah untuk menyimpan air

3. Pengaruh Pemberian *Biochar Three In One* pada Pertumbuhan Tanaman

Dengan adanya bahan organik yang mampu meningkatkan kualitas kimia, fisika, dan biologi tanah, maka pemberian *biochar three in one* memiliki pengaruh signifikan terhadap pertumbuhan tanaman serta dapat menjadi alternatif untuk meminimalisir penggunaan pupuk anorganik yang berlebih. *Biochar three in one* mengandung berbagai komponen nutrisi di dalamnya dapat meningkatkan kandungan karbon organik tanah yang merupakan faktor penting dalam meningkatkan kualitas tanah dan produktivitas tanaman meningkat. Selain menyediakan unsur hara seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), kompos juga dapat memberikan unsur hara mikro pada tanah yang tidak seimbang dengan pemupukan. Hasil penelitian terdahulu yang dilakukan oleh hasil penelitian Zahanis *et al.*, (2019, hlm. 14) menunjukkan bahwa interaksi dosis arang sekam padi berpengaruh yang signifikan terhadap tinggi tanaman, jumlah daun, waktu berbunga, waktu panen, jumlah buah, panjang buah dan berat buah.

C. Pertumbuhan Tanaman

1. Definisi Pertumbuhan

Menurut Zuhaida, (2018, hlm. 65) pertumbuhan adalah proses peningkatan ukuran, baik volume, berat maupun jumlah sel yang bersifat *irreversible* atau tidak dapat kembali ke bentuk aslinya. Semua bentuk kehidupan mengalami pertumbuhan pada makhluk hidup yaitu manusia, hewan, maupun tumbuhan. Selain itu, perubahan bentuk merupakan indikator pertumbuhan dinyatakan secara kuantitatif (terukur) (Rachmawati, 2009, hlm. 12) .

Pertumbuhan tanaman merupakan suatu proses yang kompleks dan dipengaruhi oleh faktor-faktor dari dalam tanaman yang dikenal faktor genetik serta faktor-faktor dari luar tanaman dikenal sebagai faktor lingkungan (Sufardi, 2020, hlm. 1). Pertumbuhan terjadi sepanjang siklus hidup hingga tanaman tumbuh lebih tinggi. Titik berkembang atau daerah meristem suatu tumbuhan terletak pada ujung batang, pada ujung akar, dan pada epitel tempat meristem tumbuhan berada (Arimbawa, 2016, hlm. 5). Menurut Wulandari *et al.*, (2019, hlm. 55) pertumbuhan dan perkembangan tanaman terbagi menjadi empat tahapan yang berbeda, yaitu: 1). Tahap embrio, 2). Tahap muda (vegetatif), 3). Tahap dewasa (reproduktif), dan 4). Tahap penuaan.

2. Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan

Pertumbuhan tanaman disebabkan oleh beberapa faktor, menurut Paiman (2022, hlm. 51) faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman terdiri dari dua jenis yaitu faktor internal dan faktor eksternal. Berikut ini adalah penjelasan mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman:

a. Faktor Internal

Faktor-faktor dalam tumbuhan yang mempengaruhi perkembangan dan pertumbuhannya antara lain gen, enzim, dan zat pengatur tumbuh (hormon) (Handoko *et al.*, 2020, hlm. 79). Tumbuhan dapat menghasilkan banyak jenis hormon. Hormon-hormon ini diproduksi secara internal dan dipengaruhi oleh pengaruh lingkungan (faktor luar).

1) Auksin

Auksin merupakan hormon yang terdapat di ujung batang atau titik tumbuh batang (*koleoptil*) dan di ujung akar (*coleoriza*) (Paiman, 2022, hlm. 53). Tumbuhan menghasilkan hormon auksin pada daerah meristem, akan tetapi jika intensitas cahaya matahari berlebih aktivitas auksin berkurang sehingga terhambat (Debitama *et al.*, 2022, hlm. 122).

Menurut Paiman (2022, hlm. 53) berbagai fungsi dari auksin meliputi: a) Membantu pembelahan dan pemanjangan sel; b) Mendorong pertumbuhan bunga dan buah; c) Berpotensi merangsang pembentukan akar lateral; d)

Menghasilkan buah tanpa biji; e) Mencegah gugurnya bunga, buah, dan daun;
f) Menghambat pematangan buah dan penuaan daun.

2) Giberelin Acid

Giberelin merupakan hormon tumbuhan yang berperan penting mempercepat proses perkecambahan dan pembelahan sel melalui pemanfaatan sinar matahari (Triani *et al.*, 2020, hlm. 145). Beberapa tumbuhan dan jamur mampu menghasilkan giberelin, dapat dijumpai hampir di semua bagian tumbuhan, baik akar, batang, daun, bunga, dan buah (Paiman, 2022, hlm. 54).

Paiman, (2022, hlm. 55) menjelaskan fungsi hormon giberelin bagi tumbuhan diantaranya: a) Mendorong pembelahan dan pertumbuhan sel; b) Meningkatkan perkembangan batang dan daun; c) Menghilangkan tanaman yang kerdil; d) Mempercepat perkecambahan, bunga dan pembuahan sebelum waktunya.

3) Etilen

Gas etilen adalah hormon tanaman yang berbentuk gas dan tidak berwarna. Paiman (2022, hlm. 55) menjelaskan fungsi utama hormon etilen sebagai zat pengatur tumbuh organ tanaman diantaranya: a) Merangsang pengguguran daun; b) Pertumbuhan batang; c) Mempercepat pemasakan buah; d) Merangsang penuaan daun.

4) Sitokinin

Sitokinin adalah hormon pertumbuhan yang ditemukan pada tanaman. Hormon sitokinin merupakan hasil transformasi dari adenin, senyawa turunan yang berperan penting dapat mendorong terbentuknya tunas, mempengaruhi metabolisme sel, dan merangsang sel dorman (Saefas *et al.*, 2017, hlm. 369). Terdapat sejumlah sitokinin yang sering digunakan dalam pengatur pertumbuhan tanaman antara lain kinetin, zeatin (pada jagung) dan Benzil Amino Purin (BAP) (Paiman, 2022, hlm. 55).

5) Asam Absisat (ABA)

Asam absisat adalah bahan kimia sering dikenal '*hormone stress*' adalah hormon yang menghambat perkembangan dan pertumbuhan tanaman (Paiman, 2022, hlm. 55). Jaringan pengangkut membawa hormon absisat yang

dihasilkan dari daun, ujung akar, dan batang tanaman (Roswanjaya *et al.*, 2020, hlm. 80).

Hormon ini berperan dalam proses absisi pada tanaman. Absisi merupakan suatu proses alami dimana bagian tanaman dipisahkan antara batang, daun, buah, dan bunga. Proses tersebut dipengaruhi dengan berbagai faktor seperti panas, dingin, dan lain-lain. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa asam absisat dapat membantu tanaman mempersiapkan pertumbuhan selama musim dingin dengan cara menghambat pertumbuhan sekunder dan primer. Kandungan asam absisat pada tumbuhan meningkat pada kondisi stress fisik dan kimia dan menurun kembali ketika stress dihilangkan.

Menurut Asra *et al.*, (2020, hlm. 10) peranan utama dari asam absisat yaitu: a) Menghambat pertumbuhan; b) Membantu pengguguran bunga dan daun; c) Mengurangi laju pembelahan dan pemanjangan di titik tumbuh; d) Mempertahankan dormansi biji; e) Merangsang penutupan stomata pada kondisi daun kekurangan air.

b. Faktor Eksternal

Faktor eksternal memiliki pengaruh yang besar terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman, terutama terhadap proses fisiologis tubuh tanaman. Paiman, (2022, hlm. 56) menjelaskan beberapa faktor eksternal antara lain :

1) Cahaya

Cahaya mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan makhluk hidup. Tumbuhan sangat memerlukan cahaya matahari untuk proses fotosintesis karena tanpa adanya cahaya matahari proses fotosintesis tidak akan berlangsung dengan sempurna (Paiman, 2022, hlm. 57). Proses fotosintesis tidak hanya menghasilkan oksigen, tapi juga glukosa ($C_6H_{12}O_6$) yang menjadi sumber energi utama bagi tumbuhan (Pertamawati, 2012, hlm. 32).

Kualitas sinar matahari mempengaruhi proses fisiologi tanaman. Ketut Mahardika *et al.*, (2023, hlm. 312) mengatakan setiap jenis tanaman memerlukan intensitas cahaya yang berbeda-beda agar pertumbuhannya optimal, kebutuhan ini bervariasi tergantung jenis tanamannya. Tanaman C4 memiliki jumlah kloroplas yang lebih banyak pada seludang pembuluh dibandingkan dengan tanaman C3. Hal ini mengakibatkan tanaman C4

membutuhkan intensitas cahaya matahari yang lebih tinggi untuk fotosintesis secara efektif. Maka dari itu, fotosintesis paling efektif setelah siang hari (Paiman, 2022, hlm. 58).

2) Unsur Hara

Unsur hara merupakan elemen penting bagi kehidupan tumbuhan. Unsur hara menyediakan energi dan bahan baku bagi tanaman untuk membangun komponen-komponen sel yang akan mendorong pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Najib *et al.*, 2020, hlm. 239). Secara umum, kategori utama nutrisi dibagi menjadi dua kategori, yaitu unsur hara makro dan unsur hara mikro. Unsur karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, belerang, fosfor, kalium, dan magnesium dikenal sebagai unsur hara makro yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah banyak. Unsur hara mikro merupakan nutrisi yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah kecil, seperti besi, tembaga, seng, mangan, kobalt, natrium, boron, klor, dan molibdenum (Paiman, 2020, hlm. 56).

Jika suatu tumbuhan kekurangan salah satu unsur di atas, maka tumbuhan akan menunjukkan gejala defisiensi dan menyebabkan pertumbuhan terhambat. Peranan unsur hara bagi tumbuhan antara lain mendorong perkembangan tunas, meningkatkan kesuburan tanah, dan meningkatkan ketahanan tumbuhan terhadap hama dan penyakit (Handoko *et al.*, 2020, hlm. 80).

3) Suhu

Pengaruh suhu yang signifikan terhadap aktivitas enzim menunjukkan bahwa perannya sangat penting dalam berbagai proses metabolisme tanaman, suhu yang optimal dapat mendukung aktivitas enzim secara efektif (Noviyanti *et al.*, 2013, hlm. 31). Jika suhu naik melebihi suhu optimum, maka aktivitas enzim akan menurun. Sebaliknya jika suhu yang terlalu rendah dapat memperlambat reaksi kimia di dalam sel sehingga fungsi sel terganggu. Tinggi rendahnya suhu merupakan salah satu faktor yang menentukan pertumbuhan dan perkembangan, reproduksi, dan juga kelangsungan hidup dari tanaman (Paiman, 2022, hlm. 59).

4) Kelembapan

Kelembapan sangat menunjang pertumbuhan terutama jika kondisi tanah

lembap cocok untuk proses perkecambahan (Paiman, 2022, hlm. 59). Tanah yang lembap memiliki kadar air yang cukup membantu mengaktifkan enzim dalam biji, dan kemudian memfasilitasi pelarutan makanan dalam jaringan endosperm. Namun pada umumnya tingkat kelembapan tanah yang ideal untuk tanaman sayur adalah 80%. Bila kelembapan lebih dari 80%, tanaman akan rentan terserang hama (Mabakotawasi *et al.*, 2022, hlm. 15).

Paiman, (2022, hlm. 59) menyatakan kelembapan mempengaruhi tingkat transpirasi atau penguapan. Apabila kelembapan rendah, tingkat transpirasi meningkat sehingga menyebabkan peningkatan dalam penyerapan air dan nutrisi. Sebaliknya, kelembapan tinggi akan memperlambat laju transpirasi dan penyerapan unsur hara pada tanaman terhambat pertumbuhannya. Hal ini akan mengurangi kemampuan tanaman untuk tumbuh karena ketersediaan unsur hara yang berkurang.

5) Air

Pertumbuhan tanaman berbanding lurus dengan ketersediaan air. Ketersediaan air yang seimbang sangat penting untuk pertumbuhan tanaman yang optimal (Paiman, 2022, hlm. 61). Tanaman membutuhkan air untuk membentuk karbohidrat dan alat untuk translokasi tanaman nutrisi. Semakin banyak air dalam tanah, maka semakin baik tanaman menyerap unsur hara. Bila persediaan air tanah memadai, pemberian unsur hara dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air oleh tanaman (Sufardi, 2020, hlm. 5).

Menurut Paiman (2022, hlm. 61) air merupakan komponen utama dalam sel tanaman yang berperan dalam fungsi vital, yaitu: a) Memfasilitasi fotosintesis; b) Membantu proses perkecambahan biji; c) Menjaga kelembapan; d) Meningkatkan tekanan turgor untuk memicu pembelahan sel; e) Mengurangi konsentrasi asam absisat (ABA); f) Sebagai pelarut dalam proses kimia seluler.

D. Tanaman Pakcoy (*Brassica rapa* L.)

Lembang merupakan salah satu pusat pertanian yang ada di Kota Bandung. Tanaman yang ditanam pada lahan pertanian juga beragam, mulai dari pangan, buah dan sayuran. Sayuran yang banyak ditanam di dataran tinggi ialah pakcoy.



Gambar 2.3 Tanaman Pakcoy
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Pakcoy merupakan salah satu sayuran yang banyak ditanam secara luas (Nurawalia, 2022, hlm. 5) . Adapun klasifikasinya sebagai berikut :

Kingdom	: Plantae
Divisio	: Spermatophyta
Class	: Dicotyledonae
Ordo	: Rhoadales
Famili	: Brassicaceae
Genus	: Brassica
Spesies	: <i>Brassica rapa</i> L.

Tanaman sawi merupakan salah satu sayuran yang banyak digemari di Indonesia, karena memiliki nilai ekonomi tinggi dan kandungan gizi yang baik. Ada beberapa jenis varietas sawi yang umumnya serupa, seperti sawi asin (sawi hijau), sawi putih (sawi sendok), dan pakcoy (sawi daging) (Nurawalia, 2022, hlm. 9). Pakcoy (*Brassicca rapa* L.) adalah tanaman sejenis sayuran yang termasuk dalam famili *Brassicaceae*. Tanaman pakcoy asalnya dari China dan telah dibudidayakan luas di beberapa negara termasuk Indonesia. Sawi pakcoy merupakan sayuran yang sangat dibutuhkan oleh masyarakat untuk memenuhi kelangsungan hidupnya. Hal ini disebabkan oleh nilai gizi pakcoy mengandung vitamin dan mineral yang esensial untuk menjaga kesehatan dan mencegah penyakit (Aprianto, 2021, hlm. 6).

1. Morfologi Tanaman Pakcoy

Tanaman pakcoy mempunyai sistem perakaran tunggang dengan akar yang

tumbuh menyebar sedalam 30 hingga 40 cm di dalam tanah. Akar tanaman berfungsi menyerap air atau unsur hara, dan akar dapat berguna dalam memperkuat berdirinya tanaman (Nurawalia, 2022, hlm. 10).

Batang tanaman pakcoy berwarna hijau muda dikenal dengan batang semu karena hampir tidak terlihat karena letak pelepah daun tersusun teratur, rapat, dan saling menempel yang berfungsi sebagai pembentuk dan menopang daun. (Aprianto, 2021, hlm. 6).

Permukaan daun pakcoy tidak berbulu dan halus menyerupai sawi hijau, namun daun pakcoy bentuknya oval yang mempunyai daun lebih tebal tumbuh menempel pada batang. Tangkai daunnya gemuk dan berdaging, lebar dan kokoh memiliki warna hijau muda atau putih (Herlambang *et al.*, 2020, hlm. 51).

Struktur bunga pakcoy tumbuh memanjang (tinggi) dengan banyak cabang tersusun pada tangkai bunga yang panjang. Setiap bunga terdiri dari empat helai kelopak daun, empat helai mahkota bunga, empat benang sari dan satu putik dengan dua putik berlubang. Proses penyerbukan bunga pakcoy dilakukan dengan bantuan serangga atau manusia. Buah pakcoy yang dihasilkan berbentuk polong memanjang dan berongga, dengan biji bulat kecil berwarna coklat tua (Herianto, 2021, hlm. 6).

2. Kandungan Tanaman Pakcoy

Tanaman pakcoy banyak mengandung vitamin dan nutrisi yang diperlukan tubuh manusia. Mengingat nilai ekonomi pakcoy yang relatif tinggi, manfaat kesehatan dari kandungan vitamin dan mineralnya yang cukup besar, serta meningkatnya pakcoy, maka wajar jika upaya peningkatan produksi pakcoy terus dilakukan (Damayanti *et al.*, 2019, hlm. 143).

Tabel 2.2 Kandungan Gizi per 100 gram pakcoy

No.	Komposisi	Jumlah
1	Kalori	22 k
2	Protein	2,30 g
3	Lemak	0,30 g
4	Karbohidrat	4,00 g
5	Serat	1,20 g
6	Kalsium	220,50 mg

No.	Komposisi	Jumlah
7	Fosfor	38,40 SI
8	Besi	2,90 mg
9	Vitamin A	969,00 mg
10	Vitamin B1	0,09 mg
11	Vitamin B2	0,10 mg
12	Vitamin B3	0,70 mg
13	Vitamin C	102,00 mg

Sumber: Majid (2020)

3. Manfaat Tanaman Pakcoy

Menurut Lisdiyani *et al.*, (2019, hlm. 222), manfaat pakcoy sangat baik dalam meredakan rasa gatal pada tenggorokan para penderita batuk, menyembuhkan sakit kepala, dapat memurnikan darah, meningkatkan fungsi ginjal, melancarkan proses pencernaan, bijinya dimanfaatkan sebagai minyak dan sebagai pelezat masakan.

Kandungan rahasia yang jarang diketahui masyarakat hanya dimiliki oleh tanaman yang dikenal dengan sawi daging. Sutrisno, (2021, hlm. 31) menjelaskan kandungan vitamin A yang tinggi dalam tanaman ini dapat menjaga kesehatan kornea mata. Mata normal secara alami menghasilkan lendir, sebuah cairan kental, berlemak, berminyak yang dihasilkan oleh sel epitel membran mukosa, membantu melindungi dari infeksi. Vitamin E dalam pakcoy berperan sebagai antioksidan pada sel dan membantu mencegah penuaan. Pakcoy juga mengandung kadar vitamin K yang tinggi, berperan penting dalam pembekuan darah, pencegahan stroke dan menjaga kesehatan jantung. Selain itu, tanaman ini kaya akan folat yang sangat diperlukan oleh ibu hamil untuk mencegah kerusakan tabung saraf, gangguan pembentukan otak atau kelainan pada tulang belakang pada janin (Herlambang *et al.*, 2020, hlm. 50).

4. Syarat Tumbuh Tanaman Pakcoy

Menurut Sutirman (2011 dalam Tiara *et al.*, 2023, hlm. 7), pakcoy berasal dari Asia Timur dan tumbuh optimal di Indonesia karena kondisi cuaca, iklim, dan tanah yang memenuhi kebutuhan tanaman ini. Tanaman pakcoy dapat dibudidayakan di berbagai ketinggian, baik dataran rendah maupun dataran

tinggi, mulai dari 5 hingga 1.200 meter di atas permukaan laut (mdpl). Secara umum, pakcoy biasanya ditanam di daerah dengan ketinggian antara 100 hingga 500 meter di atas permukaan laut (Haryanto *et al.*, 2007 dalam Majid, 2020, hlm. 8).

Pakcoy dapat tumbuh optimal di dataran rendah atau tinggi asalkan mendapatkan sinar matahari yang cukup dan tanah dengan aerasi yang baik. Tanaman yang ditanam di dataran tinggi umumnya akan berbunga lebih cepat karena kondisi udara yang sejuk atau lembab mendukung pertumbuhannya. (Safitri, 2019, hlm. 2). Akan tetapi bila ditanam pada musim kemarau sebaiknya dilakukan perawatan secara teratur seperti penyiraman diperlukan untuk memenuhi kebutuhan air dan menjaga kelembapan tanaman pakcoy. Meskipun demikian, hasil panen yang lebih baik biasanya diperoleh di daerah dataran tinggi. Oleh karena itu, tanaman ini tumbuh paling optimal jika ditanam menjelang akhir musim hujan. (Damayanti *et al.*, 2019, hlm. 143).

Tanaman pakcoy memiliki ketahanan terhadap curah hujan sehingga bisa tumbuh sepanjang tahun. Pertumbuhan tanaman pakcoy dapat tumbuh optimal jika ditanam pada tanah yang kaya akan unsur hara makro dan mikro serta memiliki tekstur tanah yang gembur. Tanaman pakcoy sebenarnya sangat membutuhkan nitorgen, karena nitrogen adalah nutrisi utama pembentuk klorofil, protein, dan asam nukleat yang berfungsi dalam proses fotosintesis. Pemupukan dengan kandungan nitrogen yang mencukupi sangat diperlukan agar pertumbuhan tanaman sayuran dapat mencapai hasil yang optimal (Endrizal *et al.*, 2010, hlm. 2). Pakcoy dapat ditanam di daerah tropis dan subtropis dengan kisaran suhu optimal 15° hingga 33°C dan sinar matahari antara 10 hingga 13 jam per hari serta kelembapan 60 hingga 100 % (Lestari, 2021, hlm. 31).

E. Hasil Penelitian Terdahulu

Hasil penelitian relevan yang dapat dijadikan referensi dalam penelitian ini adalah, pertama oleh Dwie Retna Surjaningsih pada tahun 2021 yang berjudul “Pengaruh Pemberian Biochar dan Kompos Terhadap Pertumbuhan Tanaman Pakcoy (*Brassica rappa* L.) Pada Tanah Vertisol”. Penelitian dilakukan di Desa

Pengampon, Kecamatan Menganti Kabupaten Gresik. Metode yang digunakan menggunakan rancangan acak lengkap (RAL), pengulangan dilakukan sebanyak 3 kali dengan 7 perlakuan tersebut, sehingga terdapat 21 pot percobaan. Berdasarkan hasil analisis diperoleh bahwa perlakuan kandungan biochar 6% merupakan perlakuan terbaik terhadap parameter tinggi tanaman. Sedangkan perlakuan kandungan kompos 6% merupakan perlakuan terbaik terhadap parameter jumlah daun. Adapun persamaan penelitian ini menggunakan pupuk kompos, dan tanaman pakcoy, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh pemberian *biochar* dan kompos terhadap pertumbuhan tanaman. Perbedaan penelitian ini menggunakan tanah vertisol

Rujukan yang kedua yaitu oleh Rohmania, E., R. Sri Tejowulan, dan Sutriopada pada tahun 2023 dengan judul “Uji Efektivitas Biochar Plus Terhadap Pertumbuhan, Hasil, dan Serapan Unsur Hara N dan P pada Tanaman Jagung Manis (*Zea mays saccharata* Strut)”. Penelitian dilakukan di Rumah Kaca Fakultas Pertanian Universitas Mataram. Penelitian ini dilakukan dengan menerapkan Rancangan Acak Lengkap (RAL), pengulangan dilakukan sebanyak 3 kali dengan 7 perlakuan tersebut, sehingga terdapat 21 pot percobaan. Berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa pengaruh pemberian biochar plus menghasilkan tinggi tanaman dan hasil kelembapan tanaman yang lebih baik dibandingkan dengan perlakuan pemberian pupuk phonska saja atau tanpa phonska. Adapun persamaan penelitian : 1) Menggunakan biochar sekam padi; 2) Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh pemberian biochar dan kompos terhadap pertumbuhan tanaman. Perbedaan penelitian ini tanaman yang diteliti Jagung Manis *Zea mays saccharata* Strut.

Rujukan yang ketiga yaitu oleh Lince Romauli Panataria, Parsaoran S., dan Boyma S. pada tahun 2020 dengan judul “Pengaruh Pemberian Biochar Dan Poc Terhadap Pertumbuhan Dan Produksi Tanaman Pakcoy (*Brassica rappa* L.) Pada Tanah Ultisol”. Penelitian dilakukan di Lahan praktikum Fakultas Pertanian, Universitas Methodist Indonesia, Jl. Harmonika Baru, Tj. Sari. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan 2 faktor. Berdasarkan hasil analisis diperoleh bahwa biochar berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman, jumlah daun, bobot segar per plot dan panjang akar

namun berpengaruh tidak nyata terhadap bobot segar per sampel. Perlakuan POC berpengaruh nyata terhadap jumlah daun dan bobot segar per plot namun tidak berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman, bobot segar per sampel dan panjang akar. Adapun persamaan penelitian: 1) Menggunakan biochar sekam padi; 2) Tanaman yang digunakan tanaman pakcoy. Perbedaan penelitian ini: 1) Menggunakan tanah ultisol; 2) Pupuk yang digunakan POC.

Rujukan yang ke empat yaitu oleh Zahanis, Welly Herman pada tahun 2019 dengan judul “Pengaruh Dosis Arang Sekam Padi terhadap Pertumbuhan dan Hasil Varietas Cabai Rawit (*Capsicum frutescens* L.) pada Ultisol”. Penelitian dilakukan di Rumah kaca Fakultas Pertanian, Universitas Tamansiswa Padang. Percobaan menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) faktorial. Sehingga terdapat 12 kombinasi perlakuan, 3 kali pengulangan. Kombinasi dari kedua faktor tersebut adalah 36. Berdasarkan penelitian tersebut didapatkan informasi bahwa pemberian dosis arang sekam padi dengan varietas pada ultisol berbeda nyata terhadap tinggi tanaman, jumlah cabang, umur berbunga, umur panen, jumlah buah per tanaman, panjang buah dan bobot buah. Dosis arang sekam padi yang terbaik untuk pertumbuhan dan hasil varietas cabai rawit pada ultisol adalah dengan pemberian dosis arang sekam padi 45 g/polybag dengan tinggi tanaman yaitu 41,97. Adapun persamaan penelitian ini menggunakan biochar sekam padi. Perbedaan penelitian ini: 1) Menggunakan tanah ultisol; 2) Tanaman yang digunakan tanaman cabai rawit.

Rujukan yang ke lima yaitu oleh Diva Ariella Herhandini, Retno Suntari, A Citraresmini pada tahun 2020 dengan judul “Pengaruh Aplikasi Biochar Sekam Padi Dan Kompos Terhadap Sifat Kimia Tanah, Pertumbuhan, dan Serapan Fosfor Tanaman Jagung pada Ultisol”. Penelitian dilakukan di Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional (PAIR BATAN), Jakarta Selatan. Percobaan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK). Penelitian terdiri dari 6 perlakuan. Berdasarkan penelitian tersebut didapatkan informasi bahwa berpengaruh nyata terhadap pH tanah inkubasi 7 MSI dan tanah tanaman jagung 7 MST. Kombinasi biochar sekam padi dan kompos mampu meningkatkan pH tanah. Akan tetapi, perbedaan dosis kombinasi biochar sekam padi dan kompos memberikan respon yang sama terhadap pH

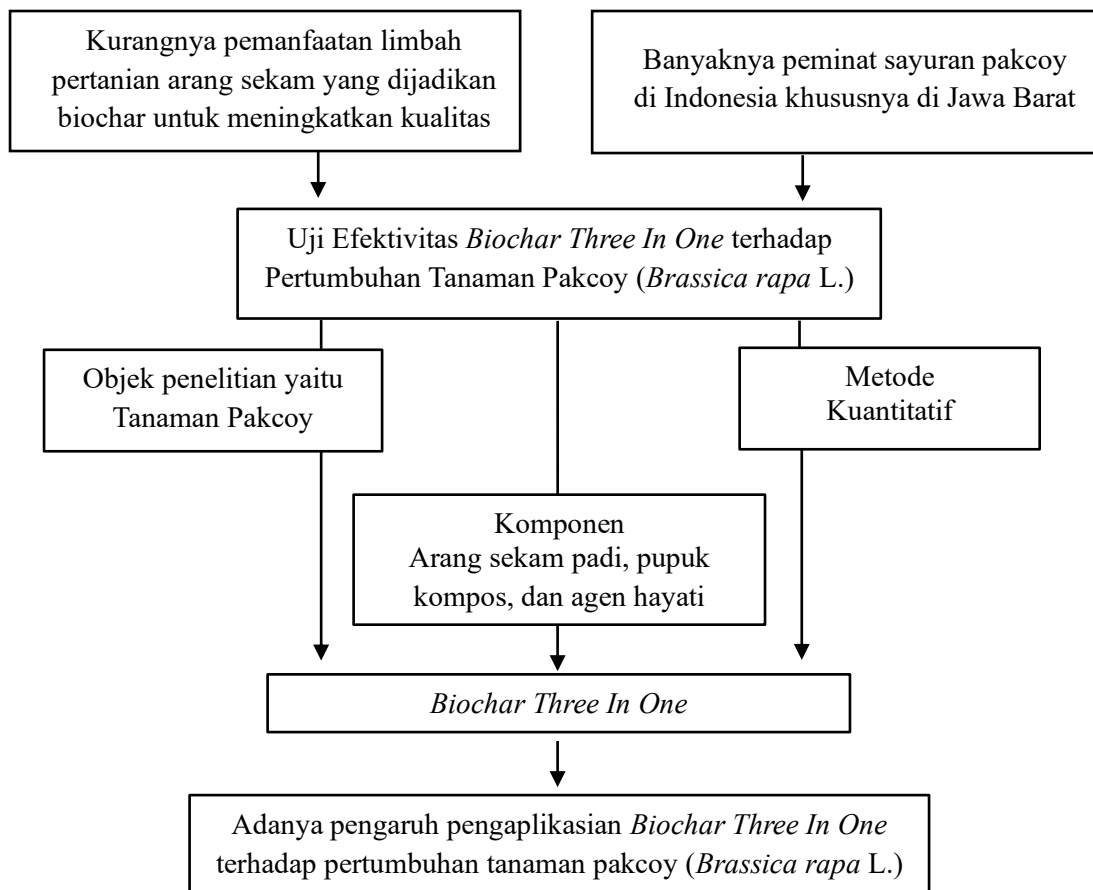
tanah. Peningkatan pH ini disebabkan karena biochar sekam padi dan kompos mampu meningkatkan konsentrasi ion OH⁻ di dalam tanah. Persamaan penelitian ini menggunakan biochar sekam padi dan pupuk kompos. Perbedaan penelitian ini: 1) Tanaman yang digunakan tanaman jagung; 2) Tanah yang dipakai tanah ultisol

F. Kerangka Pemikiran

Zaman sekarang banyak limbah pertanian baik di lahan kering ataupun di lahan basah yang belum dimanfaatkan dengan baik oleh masyarakat untuk meningkatkan kualitas tanah. Salah satu limbah pertanian yang sulit terurai yaitu sekam padi. Bahan organik *biochar* sekam padi dapat mengatasi kerusakan tanah, jika dimanfaatkan dengan baik maka dapat meningkatkan kualitas tanah.

Berdasarkan data yang dikutip dari (Pangaribuan *et al.*, 2020) *Biochar* merupakan bahan padat yang kaya akan karbon terbuat dari limbah organik pertanian yang diproses melalui suatu proses pembakaran dengan suplai oksigen terbatas atau tanpa oksigen. Penambahan *biochar* pada lapisan tanah kering maupun basah dapat memperbaiki struktur tanah, menambah karbon organik, meningkatkan kemampuan tanah, menyimpan air dan unsur hara, serta dapat memperbaiki pertumbuhan tanaman. Penerapan *biochar* lebih efektif dengan menggabungkan bahan lain yaitu sekam padi ditambah pupuk organik yang diolah dengan EM4 sebagai agen hayati diperkaya konsorsium mikroba sebagai material “*three in one*” sehingga campuran tersebut dikenal sebagai *Biochar Three In One*. Kolaborasi *biochar* dapat digunakan sebagai pendamping pupuk dan berpotensi meningkatkan kadar retensi air. Keunggulan pemberian *biochar* sekam padi mempunyai kandungan C-organik yang tinggi, sehingga *biochar* tersebut bersifat stabil dan dapat disimpan di dalam tanah selama ribuan tahun. Penggunaan *biochar* sebagai pembenah tanah akan mampu mengubah sifat fisika, kimia, biologi tanah, dan kemampuan tanah mengikat air.

Berdasarkan uraian di atas, maka dapat digambarkan kerangka pemikiran pada penelitian ini sebagai berikut:



Gambar 2.4 Kerangka Pemikiran
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

G. Asumsi dan Hipotesis

1. Asumsi

Penggunaan *biochar three in one* dari arang sekam padi, agen hayati serta pupuk kompos yang mengandung nutrisi unsur hara mikro dan makro senyawa mempengaruhi pertumbuhan tanaman dapat tumbuh dengan baik dan sempurna.

2. Hipotesis

- H0 : Tidak terdapat pengaruh pengaplikasian *biochar three in one* terhadap pertumbuhan tanaman pakcoy (*Brassica rapa L.*)
- H1 : Terdapat pengaruh pengaplikasian *biochar three in one* terhadap pertumbuhan tanaman pakcoy (*Brassica rapa L.*)

H. Keterkaitan Hasil Penelitian dengan Pembelajaran Biologi

Penelitian ini fokus menjelaskan mengenai Uji Efektivitas *Biochar Three In One* terhadap Pertumbuhan Tanaman Pakcoy (*Brassica rappa L.*). Penelitian ini memiliki keterkaitan dengan pembelajaran biologi yang menyajikan data faktual terkait proses pertumbuhan dan perkembangan yang diamati pada tumbuhan. Penelitian ini dapat menjadi contoh praktis bagi peserta didik yang sedang menempuh di bangku sekolah menengah atas. Kompetensi awal yang membahas tentang proses pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan terdapat fase F kelas XII dengan kurikulum merdeka yang secara khusus menjelaskan pengaruh faktor internal dan faktor eksternal terhadap pertumbuhan dan perkembangan makhluk hidup. Menyusun laporan hasil percobaan tentang pengaruh faktor eksternal terhadap proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Penerapan hasil penelitian dalam kegiatan pembelajaran dirumuskan dalam bentuk Modul