

BAB II

KAJIAN DAN TEORI

A. Nutrisi Tanaman

Menurut Damanhuri (2022, hlm. 11) nutrisi tanaman adalah zat yang dibutuhkan oleh tanaman untuk melakukan proses pertumbuhan. Berdasarkan peranannya dalam metabolisme dan pertumbuhan, unsur hara dibagi menjadi dua yaitu, unsur hara esensial (penting) dan unsur hara fungsional (pendukung). Setiap nutrisi atau unsur hara pada tanaman memiliki fungsi yang berbeda dan jumlahnya berbeda pada setiap tanaman.

Berdasarkan jumlah yang dibutuhkan tanaman, unsur hara dibagi menjadi dua kelompok yaitu unsur hara makro dan unsur hara mikro. Unsur hara makro merupakan unsur hara yang dibutuhkan dalam jumlah yang banyak oleh tanaman yaitu, Nitrogen (N), Magnesium (Mg), Kalsium (Ca), Kalium (K), Fosfor (P), dan belerang (S) (Damanhuri dkk., 2022, hlm. 11). Unsur hara makro terbagi menjadi dua bagian yaitu, unsur hara primer yang paling banyak dibutuhkan selama siklus hidupnya sebagai faktor pembatas pertumbuhan tanaman seperti Nitrogen (N), Fosfor (P) dan Kalium (K), sedangkan unsur hara sekunder merupakan unsur hara yang berada di dalam tanah dan dapat mencukupi kebutuhan tanaman seperti Belerang (S), Kalsium (Ca), dan Magnesium (Mg). Unsur hara mikro merupakan unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah sedikit, seperti Boron (B), Besi (Fe), Tembaga (Cu), Mangan (Mn), Molybdenum (Mo), dan Seng (Zn). Walaupun unsur hara mikro dibutuhkan dalam jumlah sedikit tetapi memiliki peran penting dalam proses metabolisme tanaman.

Kekurangan unsur hara dapat mengganggu proses pertumbuhan dan proses reproduksi. Defisiensi unsur hara pada tanaman akan berpengaruh pada bentuk daun, produksi buah dan usia tanaman yang mengakibatkan tanaman tumbuh kerdil dan lekas mati, pada produksi buah akan terjadi kerontokan pada bunga atau bakal buah sehingga hasil produksi akan mengalami penurunan (Qur'ania dkk., 2023, hlm. 62). Untuk menjaga produktivitas tanaman yang optimal, unsur hara harus diberikan secara seimbang. Salah satu contohnya adalah pemberian unsur hara nitrogen. Kekurangan nitrogen akan menghambat pertumbuhan tanaman karena

peran pentingnya dalam pembentukan klorofil dan jaringan vegetatif, sedangkan kelebihan nitrogen menyebabkan tunas muda menjadi lembek dan lemah, menurunkan pH tanah, dan menghambat penyerapan unsur hara lainnya (Hadid dkk., 2015, hlm. 589). Selain itu, kekurangan unsur hara dapat menurunkan daya tahan tanaman terhadap hama dan penyakit, maka pemberian unsur hara yang seimbang diperlukan untuk produktivitas tanaman secara optimal.

B. Pupuk dan Pemupukan

1. Pupuk

Pupuk merupakan bahan yang penting untuk tanaman. Pupuk merupakan material yang ditambahkan pada media tanam atau tanaman untuk mencukupi kebutuhan hara yang diperlukan oleh tanaman sehingga mampu bereproduksi dengan baik (Fitri dkk., 2019, hlm. 25). Pupuk dapat diberikan dengan cara menambahkannya secara langsung pada media tanam dengan menentukan jenis pupuk, dosis pupuk, metode pemupukan, dan frekuensi pemupukan yang sesuai. Berdasarkan sumber pembuatannya, pupuk dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

a. Pupuk Organik

Pupuk organik adalah pupuk yang berasal dari materi makhluk hidup. Menurut peraturan permentan, NO. 70/Permentan/SR.140/10/2011 Pupuk organik adalah pupuk yang berasal dari tumbuhan mati, kotoran hewan dan/atau bagian hewan dan/atau limbah organik lainnya yang telah melalui proses rekayasa, berbentuk padat atau cair, dapat diperkaya dengan bahan mineral dan/atau mikroba, yang bermanfaat untuk meningkatkan kandungan hara dan bahan organik tanah serta memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah. Sumber pupuk organik berupa pupuk kandang

b. Pupuk Kandang

Pupuk kandang merupakan pupuk yang berasal dari kotoran hewan ternak. Contoh hewan yang dapat dimanfaatkan seperti kambing, ayam, dan sapi. Kandungan hara yang terkandung dalam pupuk kandang berbeda tergantung dengan jenis hewan, makanan, dan umurnya (Prasetyo, R. 2014, hlm. 126). Makanan yang dikonsumsi hewan ternak berbeda sehingga mempengaruhi kadar unsur hara dalam pupuk kandang.

c. Pupuk Hijau

Pupuk hijau merupakan pupuk organik yang berasal dari tumbuhan hijau. Pupuk hijau organik yang berasal dari tanaman memiliki kemampuan untuk memperbaiki sifat fisika, kimia, dan biologi tanah, selain itu pupuk hijau organik yang diberikan pada lahan pertanian tidak memiliki dampak negatif artinya tidak meninggalkan residu anorganik (Dahlinah, I. 2014, hlm. 54). Pupuk hijau dapat meningkatkan nutrisi yang berada didalam tanah, merupakan makanan bagi mikroorganisme, dan menambahkan unsur nitrogen ke tanah.

d. Kompos

Pupuk kompos merupakan pupuk organik ramah lingkungan. Kompos berasal dari hasil fermentasi (Dahlinah, I. 2015, hlm. 10). Bahan pembuatan kompos dapat berasal dari bahan organik tumbuhan ataupun hewan sehingga mengurangi volume sampah di lingkungan.

e. Pupuk Kimia

Pupuk anorganik banyak digunakan karena kandungan hara yang tinggi dan mudah ditemukan di pasaran. Pupuk kimia merupakan pupuk yang dibuat dengan cara mencampur bahan kimia (Wiyantoko dkk., 2017, hlm. 52). Keunggulan pupuk kimia yaitu cepat terurai dan diserap langsung oleh tumbuhan dan tanaman akan tumbuh subur. Kelemahan pupuk kimia yaitu harganya cukup tinggi, menyebabkan kerusakan fisik dan biologis tanah, dan menyebabkan pencemaran lingkungan apabila dosisnya berlebih (Purnomo dkk., 2013, hlm. 94). Untuk meminimalkan dampak negatifnya, penggunaan pupuk anorganik perlu diimbangi dengan pemupukan yang tepat sesuai dengan dosis yang dianjurkan.

2. Pupuk NPK

Pupuk NPK merupakan pupuk anorganik yang terdiri dari tiga unsur hara. Keuntungan dari pupuk majemuk adalah unsur hara yang dikandung telah lengkap sehingga tidak perlu menyediakan atau mencampurkan pupuk lainnya (Hasibuan dkk., 2017, hlm. 44). Pupuk NPK adalah unsur hara primer yang paling banyak dibutuhkan tanaman selama siklus hidupnya untuk proses metabolisme dan biokimia sel tanaman. Kandungan NPK adalah Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K). Fungsi unsur hara Nitrogen (N) berperan dalam pertumbuhan batang, cabang, daun, pembentukan hijau daun, membentuk protein, lemak, dan berbagai

persenyawaan organik. Fosfor (P) berfungsi untuk pertumbuhan akar, asimilasi dan pernafasan, mempercepat pembungaan, dan pemasakan biji. Kalium (K) dapat membentuk protein dan karbohidrat, memperkuat daun, bunga dan buah tidak mudah gugur, dan ketahanan dari penyakit (Efendi dkk., 2017, hlm. 22). Dosis NPK akan memberi pengaruh yang baik bagi pertumbuhan dan hasilnya.

Dosis pupuk NPK yang sesuai akan mendukung hasil pertumbuhan. Dosis tidak seimbang dapat menyebabkan ketidakseimbangan nutrisi yang berpengaruh pada produktivitas tanaman. Salah satu kelebihan Pupuk NPK konvensional dapat meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman dalam bentuk singkat, tetapi penggunaan pupuk NPK secara berlebihan dapat berdampak negatif pada tanah (Rahmadani dkk., 2025, hlm. 28). Ketika pupuk berada dalam media tanam akan mengalami perubahan secara kimia dan bentuknya. Pupuk yang berinteraksi dengan air akan larut dan sebagiannya diserap akar tanaman. Pupuk NPK mudah hilang akibat penguapan atau terbawa perkolasi (Simanjuntak dkk., 2015, hlm. 1418). Oleh karena itu, pemberian pupuk harus tepat agar efisiensi pemupukan meningkat dan tanaman memperoleh nutrisi secara optimal.

3. Proses Pemupukan

Pemupukan merupakan proses pemberian bahan organik atau anorganik untuk meningkatkan produktivitas tanaman. Pemupukan merupakan penambahan unsur hara pada tanah untuk memperbaiki atau meningkatkan kesuburan tanah. Pemupukan yang baik harus dilakukan secara seimbang agar tanaman tidak menerima unsur hara dalam jumlah berlebihan maupun kekurangan. Pemberian sumber hara tanaman yang tepat pada sumber (jenis), takaran, dan cara yang sesuai dengan empat tepat (4T) (Fatimah 2020, hlm. 3680). Pemupukan yang dilakukan secara tepat dan berimbang tidak hanya memenuhi kebutuhan unsur hara tanaman, tetapi juga untuk menjaga kesuburan tanah serta mencegah dampak negatif terhadap lingkungan.

Menurut Mansyur dkk. (2021, hlm. 2), tujuan dari pemupukan pada tanaman adalah sebagai berikut:

- a. Melengkapi penyediaan unsur hara secara alami yang ada di dalam tanah untuk memenuhi kebutuhan tanaman.

- b. Menggantikan unsur hara yang hilang karena terangkut dengan hasil panen, pencucian, dan sebagainya.
- c. Memperbaiki kondisi tanah yang kurang baik atau mempertahankan kondisi tanah yang sudah baik untuk pertumbuhan tanaman.

Pupuk merupakan faktor yang harus diperhatikan dalam sektor perkebunan dan pertanian. Pupuk berperan dalam meningkatkan produktivitas pertanian. Apabila penggunaan pupuk yang tidak sesuai akan membuat tanah jenuh karena bahan kimia yang ada berada di tanah. Hal ini berdampak pada penurunan kesuburan tanah, pencemaran air tanah akibat pencucian, serta ketidakseimbangan nutrisi yang dapat merusak ekosistem tanah.

Menurut Nanda dkk., (2022, hlm. 303) pemberian dosis yang kurang dan berlebihan tidak menjamin pertumbuhan berlangsung dengan baik. Hal ini karena pemupukan harus sesuai dengan nutrisi yang dibutuhkan tanaman. Penerapan pemupukan yang tepat dan berimbang sangat penting untuk menjaga produktivitas pertanian serta mendukung pertanian berkelanjutan.

4. Slow Release Fertilizer (SRF)

Slow release fertilizer adalah inovasi penggunaan pupuk lepas lambat yang menjadi solusi untuk meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi bagi tanaman. Pupuk lepas lambat dapat mengatur dan mengendalikan kadar nutrisi yang dilepas sesuai dengan kebutuhan tanaman (Jayanudin dkk., 2022, hlm. 160). Unsur hara yang biasanya terkandung dalam pupuk sifatnya mudah hilang karena kelarutan dalam air tinggi, tidak stabil, dan terjadi denitrifikasi. Penggunaan pupuk lepas lambat maka dapat mengurangi dampak negatif hilangnya kandungan pupuk akibat pencucian. Selain itu, penggunaan pupuk yang memiliki pelepasan terkendali menyediakan nutrisi yang dapat mengurangi frekuensi pemberian pupuk. *Slow release fertilizer* merupakan inovasi pupuk untuk meningkatkan efisiensi dengan mengatur pelepasan unsur hara secara lambat dan bertahap. Pembuatan pupuk lepas lambat ini menggunakan beberapa metode diantaranya dengan memperbesar ukuran pupuk, menambah kekerasan pupuk, menghaluskan permukaannya, menggabungkannya dengan bahan yang sulit larut, atau melapisinya dengan bahan tertentu (Savana & Maharani, 2017, hlm. 55). Langkah-langkah ini dilakukan dengan tujuan memperlambat laju pelepasan unsur hara ke dalam tanah.

Metode yang bisa digunakan untuk membuat pupuk lepas lambat adalah dengan melapisi pupuk dengan bahan penyalut tertentu. Teknik ini dikenal dengan istilah enkapsulasi, yaitu proses di mana pupuk akan dibungkus oleh lapisan penyalut. Enkapsulasi merupakan cara melapisi bahan inti dengan penyalut untuk mempertahankan intinya. Enkapsulasi adalah solusi untuk membuat bahan dari cair menjadi solid dan memberikan manfaat *control-release* (Agustin & Wibowo, 2023, hlm. 202). Faktor yang dapat memengaruhi efektivitas penggunaan pupuk berpenyalut yaitu bahan penyalut yang digunakan, ketebalan lapisan, serta kondisi lingkungan seperti kelembapan dan pH tanah.

C. Hidrogel

1. Hidrogel

Hidrogel diperkenalkan pada tahun 1980 sebagai jenis polimer yang memiliki kemampuan menyerap air (*water absorbing polymer*). Hidrogel adalah jenis gel yang dibentuk dengan air sebagai komponen utama dalam fase kontinu. Dalam lingkungan yang mengandung air, hidrogel akan membengkak dengan pelarut dan biasanya mengandung jumlah polimer yang sangat kecil dibandingkan dengan jumlah air yang terserap. Stabilitas hidrogel adalah hal kompleks, karena banyak material mengalami penyusutan volume secara drasits ketika terkena rangsangan tertentu, seperti perubahan pH, suhu, atau kekuatan ionik pelarut. Hidrogel adalah makromolekul yang berikatan silang dan mengambang dalam air (Erizal & Sudrajat, 2009, hlm. 177). Hidrogel dapat dibuat dari berbagai jenis polimer, yang secara umum dapat dikategorikan berdasarkan sumbernya.

Berdasarkan sumber polimer hidrogel terbagi dua, yakni organik dan kimia. Polimer organik merupakan pembentuk hidrogel yang berasal dari sumber alami seperti kolagen, gelatin, pati, alginat, dan agarosa. Hidrogel organik dapat terdegradasi sendirinya (Suriadikusumah, 2014, hlm. 3), sehingga baik bagi lingkungan. Polimer sintetik yang membentuk hidrogel secara kimia dibuat dengan metode polimerisasi kimia, penggunaan polimer kimia dapat merusak lingkungan. Hidrogel organik maupun kimia, bisa digunakan pada bidang farmasi dan pertanian.

Salah satu bentuk pemanfaatan hidrogel dalam bidang pertanian adalah sebagai media tanam yang efektif dalam mengendalikan kelembapan tanah karena

kemampuannya menyerap dan melepaskan air secara perlahan sesuai kebutuhan tanaman (Nurlina, 2024, hlm. 90). Potensi inilah yang menjadikan hidrogel semakin menarik untuk dikaji dan diaplikasikan dalam berbagai bidang, terutama dalam pengembangan teknologi pertanian berkelanjutan dan ramah lingkungan.

2. Natrium Alginat

Natrium alginat adalah garam natrium yang berasal dari asam alginat. Secara kimia, alginat merupakan polimer murni dari asam uronat yang tersusun dalam bentuk rantai linier yang panjang. Garam natrium dihasilkan dari spesies alga coklat yaitu *Sargassum* sp, *Dyctiota* sp, *Hormophysa* sp, dan *Turbinaria* sp. Secara kimia natrium alginat dibentuk dari dua monomer yaitu 1,4 α -L-guluronic dan β -D-mannuronic acid. Karakteristik natrium alginat sangat bergantung pada metode dan tahapan dalam proses ekstraksi bahan bakunya. Menurut Sinurat dan Marliani (2017, hlm. 352) natrium alginat dibuat melalui tahap demineralisasi, netralisasi, ekstraksi, filtrasi, presipitasi dan pemucatan. Natrium alginat digunakan sebagai *elmusifier* dibidang farmasi, tekstil, dan kosmetik. Kekutan gel yang terbentuk dapat diatur dan disesuaikan dengan kebutuhan sehingga gel dapat bersifat keras, lunak, ataupun elastis.

3. Pembentukan Hidrogel

Pembentukan hidrogel dapat dilakukan dengan menggunakan metode gelasi ionotropik eksternal yang melibatkan interaksi polimer bermuatan negatif dengan ion-ion tertentu sebagai agen pengikat. Metode gelasi ionotropik dapat melindungi mekul yang dienkapsulasi dan mempertahankan aktivitasnya selama enkapsulasi yang merupakan keuntungan utamanya (Mardikasari & Indahyani, 2020, hlm. 193). Metode gelasi ionotropik melibatkan 2 fase air, gugus amino yang bermuatan positif akan berinteraksi dengan muatan negatif membentuk endapan. Metode gelasi ionotropik terdiri dari gelasi gelasi ionotropik internal dan gelasi ionotropik eksternal. Gelasi ionotropik eksternal merupakan proses pembentukan gel ketika ion logam berinteraksi dengan polimer yang terlarut dalam pelarut sedangkan pada gelasi ionotropik internal pembentukan gel karena perubahan suhu atau pH yang mengubah polimer menjadi gel.

D. Pakcoy

Tanaman pakcoy (*Brassica rapa* L.) adalah sayuran yang digemari masyarakat Indonesia. Pakcoy mirip dengan sawi putih dan sawi hijau karena masih dalam satu genus.



Gambar 2.1 Pakcoy

(Sumber: plantinfo.co.za)

Menurut Yenti (2015, hlm. 37) klasifikasi tanaman pakcoy :

Kingdom : Plantae
Divisi : Spermatophyta
Kelas : Dicotyledoneae
Ordo : Brassicales
Famili : Brassicaceae
Genus : Brassica
Spesies : *Brassica rapa* L.

1. Morfologi

a. Akar

Tanaman pakcoy memiliki sistem perakaran tunggang dengan percabangan akar tanaman yang menyebar ke berbagai arah dan menembus tanah hingga kedalaman 30-40 cm. Akar tanaman dapat menyerap air dan unsur hara yang tersedia dalam tanah dan batang menjadi tegak (Cahyanda dkk., 2022, hlm. 115). Keberadaan sistem akar yang berkembang dengan baik berperan dalam mendukung efisiensi penyerapan unsur hara, terutama pada fase awal pertumbuhan.

b. Batang

Batang pakcoy berwarna hijau muda, berukuran pendek, dan beruas-ruas. Pakcoy memiliki tinggi tangkai mencapai 15-30 cm (Raharjo, 2023, hlm. 103). Batang pakcoy berperan sebagai jalur transportasi utama dan penopang daun.

c. Daun

Daun pakcoy berbentuk oval berwarna hijau mengkilap dengan tepian daun halus. Daun pakcoy berbentuk spiral yang rapat, dan menempel pada batang. Tangkai daun berwarna hijau atau putih, gemuk, dan berdaging (Hulu *et al.*, 2017, hlm. 510). Daun pada pakcoy berperan penting dalam efisiensi penyerapan cahaya matahari untuk proses fotosintesis.

d. Biji

Biji tanaman pakcoy berwarna coklat kehitaman, bulat sedikit keras, dan permukaan licin mengkilap. Pada tiap buah terdapat biji sebanyak 2-8 butir. Biji ini berperan penting dalam proses regenerasi tanaman pakcoy dan menjadi salah satu indikator kematangan tanaman pakcoy.

2. Fisiologi dan Syarat Tumbuh

a. Fisiologi Pakcoy

1) Transpirasi

Transpirasi adalah hilangnya uap air dari permukaan tumbuhan. Transpirasi merupakan salah satu mekanisme pengaturan fisiologi pada tumbuhan yang terkait dengan berbagai kondisi yang ada di tubuhnya dan lingkungan sekitarnya (Silaen, 2021, hlm.14). Proses transpirasi pada tanaman pakcoy dimulai dengan penguapan air dari sel mesofil daun, khususnya pada jaringan bunga karang yang memiliki rongga antar sel cukup besar.

2) Respirasi

Respirasi pada tanaman pakcoy merupakan proses fisiologis yang berlangsung di seluruh jaringan hidup tanaman. Respirasi adalah suatu proses yang melibatkan terjadinya penyerapan oksigen (O_2) dan pengeluaran karbondioksida (CO_2) serta energi yang digunakan untuk mempertahankan reaksi metabolisme dan reaksi lainnya yang terjadi di dalam jaringan (Nurjanah, 2002, hlm. 149). Respirasi pada tanaman pakcoy merupakan proses katabolik esensial pada tanaman pakcoy yang mengubah senyawa glukosa yang melibatkan oksigen, menghasilkan energi kimia

(ATP), serta pereduksi (NADH dan FADH₂). Energi ini menunjang aktivitas seluler, termasuk pertumbuhan, sintesis senyawa, penyerapan ion, dan perkembangan organ tanaman. Karena tidak bergantung pada cahaya, respirasi berlangsung terus menerus baik siang maupun malam.

3) Fotosintesis

Fotosintesis adalah proses produksi zat makanan bagi tumbuhan. Fotosintesis merupakan proses sintesis karbohidrat dari bahan-bahan anorganik (CO₂ dan H₂O) pada tumbuhan berpigmen dengan bantuan energi cahaya matahari (Song, 2012, hlm. 28). Proses fotosintesis terjadi pada kloroplas, khususnya pada bagian daun.

b. Syarat Tumbuh Tanaman Pakcoy

1) Ketinggian Tempat

Tanaman pakcoy (*Brassica rapa* L.) umumnya dapat dibudidayakan pada ketinggian pada ketinggian 5-1.200 mdpl, namun pertumbuhan optimalnya diketinggian 100-500 mdpl (Cahyono, 2003, hlm. 13). Semakin rendah tempat penanaman pakcoy maka umur panen lebih cepat.

2) Suhu

Tanaman pakcoy (*Brassica rapa* L.) bersifat adaptif pada kondisi suhu. Pakcoy umumnya ditanam dengan suhu 15-30°C. Suhu optimal yang mendukung pertumbuhan berkisar 18°C-20°C (Harahap dkk., 2023, hlm. 43). Faktor suhu berperan dalam perkecambahan, pertunasan, pemanjangan daun, dan pembungaan. Suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat menyebabkan tanaman pakcoy kehilangan kemampuan fisiologisnya, seperti fotosintesis, respirasi, transpirasi, absorpsi air, dan nutrisi (Pareira dkk., 2023, hlm. 1310). Fluktuasi suhu di luar kisaran optimal dapat menurunkan efisiensi metabolisme dan menghambat pertumbuhan tanaman secara keseluruhan.

3) Kelembapan Udara

Kelembapan udara yang sesuai untuk pertumbuhan tanaman pakcoy antara 80%-90%. Apabila kelembapan udara melebihi 90%, akan berdampak negatif terhadap perkembangan tanaman (Cahyono, 2003, hlm. 13). Kelembapan yang tidak sesuai dapat menyebabkan stomata tertutup, sehingga penyerapan gas CO₂ menjadi terganggu dan proses fotosintesis tidak berlangsung optimal, sehingga akan terjadi penurunan aktivitas pertumbuhan tanaman. Di sisi lain, tempat yang

lembab menguntungkan bagi tumbuhan karena air dapat diperoleh lebih mudah dan laju penguapan berkurang, yang akan mempercepat pembentukan sel (Nasrullah dkk., 2011, hlm. 182). Kelembapan yang ideal dapat mendukung proses fisiologis tanaman, tetapi juga menciptakan lingkungan yang stabil sehingga tanaman akan berkembang secara optimal dari fase vegetatif samapi generatif.

4) Curah Hujan

Tanaman pakcoy dapat dibudidayakan sepanjang tahun, dengan curah hujan yang sesuai untuk budidaya tanaman pakcoy adalah 200 mm/bulan (Ilmi, 2021, hlm. 7). Meskipun pakcoy perlu air yang cukup, tetapi pakcoy tidak toleran terhadap air yang tergenang, karena hal tersebut dapat menyebabkan tanaman mudah busuk dan terserang hama penyakit. Kondisi tanah yang porous sangat membantu mencegah penimbunan air di sekitar perakaran.

5) Tanah

Tanah yang baik untuk budidaya tanaman pakcoy adalah tanah yang subur, kaya akan bahan organik, gembur, tidak tergenang, dan tata aerasi dalam tanah berjalan dengan baik (Setiawan dkk., 2015, hlm. 170). Derajat keasaman (pH) tanah yang baik untuk pertumbuhan berada dalam kisaran 6-7 (Rukmana & Susilawati, 2017). Tingkat keasaman tanah berperan dalam menentukan ketersediaan unsur hara, aktivitas mikroorganisme tanah, serta respon terhadap aplikasi pupuk. Pemberian pupuk kedalam tanah secara langsung akan mempengaruhi pH tanah, baik menjadi asam, netral, maupun basa. Secara tidak langsung akan mempengaruhi ketersediaan unsur hara makro dan mikro. Keseimbangan pH tanah harus dijaga agar unsur hara dapat diserap tanaman secara optimal.

6) Intensitas Cahaya

Intensitas cahaya merupakan banyaknya energi yang diterima oleh tanaman per satuan luas dan per satuan waktu (kal/cm/hari) disebut dengan intensitas cahaya. Intensitas cahaya dipengaruhi oleh jarak antara matahari dengan bumi, musim dan letak geografis. Intensitas cahaya diperlukan untuk penyatuan CO₂ dan air untuk pembentukan karbohidrat (Roby & Junadhi, 2019, hlm. 31). Intensitas cahaya yang mendukung pertumbuhan tanaman pakcoy umumnya kisaran 200-600 lux untuk mendukung pertumbuhan optimal.

3. Manfaat

Tanaman pakcoy memiliki manfaat untuk kesehatan karena kandungan gizinya yang tinggi. Pakcoy mengandung senyawa antioksidan seperti beta-karoten dan memperbaiki dan memperlancar pencernaan. Zat yang terkandung dalam pakcoy yaitu kalori, protein, lemak, karbohidrat, serat, kalsium, fosfor, besi, vitamin A, vitamin B1, vitamin B2, vitamin B3, dan vitamin C (Riansyah dkk., 2012, hlm. 257). Tanaman pakcoy banyak dikonsumsi karena bahan pembersih darah.

E. Hasil Penelitian Terdahulu

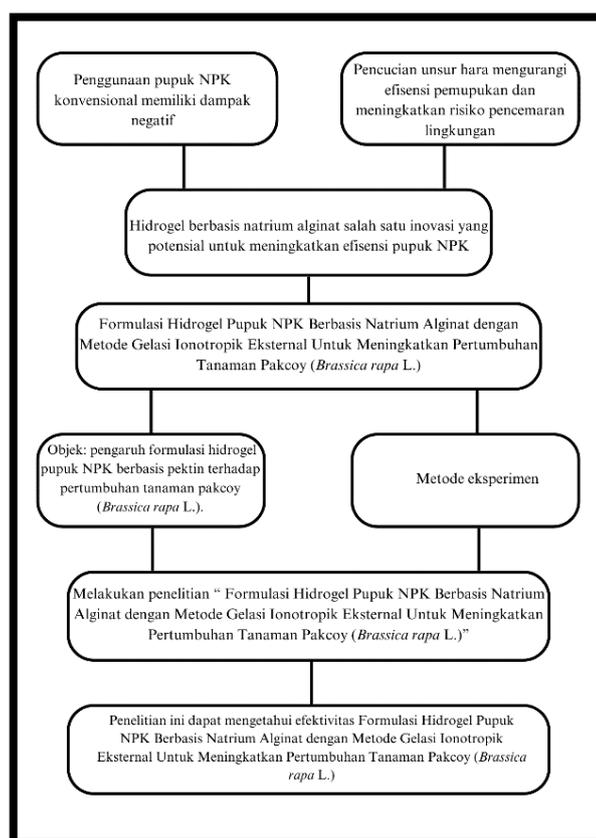
Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

NO.	Nama Peneliti	Judul	Tahun	Temuan
1.	Jayanudin dkk	Enkapsulasi dan Karakterisasi Pelepasan Terkendali Pupuk NPK Menggunakan Kitosan Yang Ditaut Silang Dengan Glutaraldehida	2020	Penelitian ini menemukan bahwa pembuatan mikrokapsul pupuk NPK dengan kitosan dan glutaraldehida dapat meningkatkan efektivitas penggunaan unsur hara sekaligus mengurangi pencemaran lingkungan melalui mekanisme pelepasan yang terkendali. Mikrokapsul yang dibuat dengan larutan kitosan 1% (b/v) dan glutaraldehida 5% (v/v) menunjukkan karakteristik pelepasan terbaik, kinetika yang sesuai terhadap model orde satu dan model Higuchi ditunjukkan oleh nilai R2 yang tinggi.
2.	Sintia Lestari dkk	Hidrogel Superabsorben Berbasis Natrium Alginat-Bentonit sebagai Pelapis Pupuk Lepas Lambat	2022	Penelitian ini berhasil mensintesis hidrogel superabsorben menggunakan natrium alginat dan bentonit dengan penambahan agen pengikat silang (crosslinker) CaCl ₂ dan epiklorohidrin. Hidrogel ini dirancang sebagai pelapis pupuk lepas lambat (slow-release fertilizer). Hasil penelitian menunjukkan bahwa hidrogel dengan komposisi tertentu memiliki rasio pembengkakan (swelling ratio) yang tinggi, yaitu 3.428,52%, dan mampu melepaskan urea secara perlahan sebesar 4,67%. Pelepasan urea ini tidak dipengaruhi oleh perubahan pH, sehingga hidrogel ini berpotensi diaplikasikan pada berbagai karakteristik air tanah.

F. Kerangka Pemikiran

Petani pakcoy masih menggunakan pupuk NPK konvensional dinilai karena lebih mudah ditemukan dan ekonomis. Namun penggunaan pupuk NPK konvensional secara terus menerus akan mengancam keberlanjutan produktivitas karena hilangnya kandungan unsur hara sehingga dapat mencemari lingkungan.

Formulasi hidrogel pupuk NPK berbasis natrium dengan metode gelasi ionotropik eksternal merupakan solusi yang mampu mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Hidrogel memiliki kemampuan menyerap dan melepaskan air serta nutrisi tanaman dan dapat mengurangi frekuensi pemupukan. Dalam penelitian ini, natrium alginat dipilih sebagai pembentuk hidrogel karena bersifat ramah lingkungan. Kerangka pemikiran pada penelitian ini disajikan sebagai berikut:



Gambar 2.2 Kerangka Pemikiran

(Sumber: Dokumen Pribadi)

G. Asumsi dan Hipotesis

Penelitian ini berfokus pada pengujian efektivitas formulasi hidrogel pupuk NPK berbasis natrium alginat dengan metode gelasi ionotropik eksternal terhadap pertumbuhan tanaman pakcoy. Berdasarkan kerangka berfikir yang telah disusun, maka dapat diterapkan asumsi dan hipotesis dalam penelitian ini, yaitu:

1. Asumsi

Hidrogel pupuk NPK berbasis natrium alginat dengan metode gelasi ionotropik eksternal mampu melepaskan nutrisi secara perlahan, sesuai kebutuhan tanaman, sehingga mendukung pertumbuhan optimal tanaman pakcoy (*Brassica rapa* L.) dan konsentrasi NPK yang terkandung dalam hidrogel memengaruhi efektivitas pertumbuhan tanaman pakcoy dengan kadar tertentu yang menghasilkan pertumbuhan terbaik.

2. Hipotesis

- H₀: Tidak adanya pengaruh formulasi hidrogel pupuk NPK berbasis natrium alginat dengan metode gelasi ionotropik eksternal terhadap pertumbuhan tanaman pakcoy (*Brassica rapa* L.).
- H_a: Adanya pengaruh formulasi hidrogel pupuk NPK berbasis natrium alginat dengan metode gelasi ionotropik eksternal terhadap pertumbuhan tanaman pakcoy (*Brassica rapa* L.).

H. Implementasi Hasil Penelitian

1. Analisis Pembelajaran

Penelitian ini mengenai formulasi hidrogel pupuk NPK berbasis natrium alginat dengan metode gelasi ionotropik eksternal untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman pakcoy (*Brassica rapa* L.) sangat relevan untuk dikenalkan kepada peserta didik tingkat SMA. Penelitian ini memberikan informasi tentang penggunaan pupuk hidrogel dalam meningkatkan efisiensi pemupukan dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Hasil penelitian ini dapat dimasukkan dalam pembelajaran Biologi pada materi perubahan dan pencemaran lingkungan dalam kurikulum Merdeka, khususnya pada fase E kelas X. Dalam fase

ini, peserta didik diharapkan memiliki kemampuan menciptakan solusi atas permasalahan-permasalahan berdasarkan isu lokal, nasional atau global terkait pemahaman keanekaragaman makhluk hidup dan peranannya, virus dan peranannya, inovasi teknologi biologi, komponen ekosistem dan interaksi antar komponen serta perubahan lingkungan. Konsep penggunaan hidrogel pupuk NPK berbasis natrium alginat dengan metode gelas ionotropik eksternal sebagai inovasi dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dapat dijadikan sebagai proyek dalam kurikulum Merdeka dengan tema “Inovasi Pupuk Hidrogel sebagai Solusi Pencemaran Lingkungan”. Dengan demikian, peserta didik dapat memperoleh pengetahuan teoritis dan penerapannya yang berdampak positif terhadap lingkungan.

a. Keluasan dan Kedalaman Materi

Pada Fase E kelas X, peserta didik diharapkan memahami keluasan materi perubahan dan pencemaran lingkungan. Materi ini mencakup aspek perubahan lingkungan dan jenis-jenis pencemaran, serta dampaknya terhadap ekosistem. Penggunaan peta konsep, peserta didik dapat memahami hubungan antara hubungan komponen ekosistem, interaksi antar makhluk hidup, serta bagaimana pencemaran dan perubahan lingkungan memengaruhi keseimbangan alam.



Gambar 2.3 Hubungan Keseimbangan Alam

(Sumber: Dokumen Pribadi)

b. Karakteristik dan Kedalaman Materi

Materi ini bersifat konkret dan aplikatif, sehingga dapat dirasakan langsung oleh peserta didik dalam kehidupan sehari-hari. Peserta didik dapat mengamati fenomena dan dampak dari perubahan dan pencemaran lingkungan sekitar mereka. Hal ini memungkinkan pembelajaran menjadi lebih relevan, kontekstual, dan bermakna.

c. Perubahan Perilaku Hasil Belajar

Pembelajaran materi perubahan dan pencemaran lingkungan diharapkan dapat mendorong perubahan perilaku peserta didik agar lebih peduli terhadap lingkungan. Dengan memahami dampak negatif dari pencemaran dan perubahan lingkungan, mereka diharapkan memiliki kepedulian yang lebih tinggi serta termotivasi untuk menerapkan tindakan yang lebih ramah lingkungan dalam kehidupan sehari-hari. Tujuan pembelajaran ini membentuk generasi muda yang mampu menjadi agen perubahan dalam komunitas mereka. Melalui keterampilan berpikir kritis yang dikembangkan selama pembelajaran, peserta didik dapat berkontribusi dalam mencari solusi berbasis sains untuk mengatasi permasalahan lingkungan.

d. Bahan dan Media Pembelajaran

Bahan dan media ajar yang sesuai untuk materi perubahan dan pencemaran lingkungan ini mencakup penggunaan sumber belajar seperti modul dan artikel yang membahas tentang pencemaran lingkungan serta solusi inovatif seperti pupuk hidrogel. Peserta didik akan melakukan pengamatan terhadap tanaman yang diberi hidrogel pupuk NPK dan sebai pemandingnya pupuk NPK konvensional. Dengan pendekatan ini membantu peserta didik memahami materi secara kontekstual dan aplikatif, sekaligus menumbuhkan kesadaran terhadap lingkungan.

e. Strategi Pembelajaran

Strategi pembelajaran yang cocok untuk materi perubahan dan pencemaran lingkungan adalah *Project-Based Learning* (PjBL) karena melibatkan peserta didik aktif ketika proses pembelajaran. Pertama, guru memulai pembelajaran dengan pengenalan konsep melalui diskusi kelas dan penggunaan multimedia untuk memberikan gambaran tentang perubahan dan pencemaran lingkungan. Selanjutnya, peserta didik dibagi menjadi kelompok kecil untuk mengidentifikasi masalah pertanian di sekitar mereka yang berkaitan dengan penggunaan pupuk.

Setiap kelompok akan merancang dan melaksanakan eksperimen untuk melakukan pengamatan terhadap pertumbuhan tanaman yang diberi hidrogel pupuk NPK, kemudian merancang dan menyusun hasilnya berupa poster sebagai bentuk penyampaian informasi. Untuk memperdalam pemahaman, guru mengintegrasikan sesi refleksi di mana peserta didik mendiskusikan pengalaman mereka, tantangan

yang dihadapi, serta manfaat ekologis dalam pertanian berkelanjutan. Penilaian dilakukan secara menyeluruh dengan mempertimbangkan keaktifan, kerja sama tim, serta kualitas produk dan analisis yang dihasilkan.

f. Sistem Evaluasi

Sistem evaluasi dalam pembelajaran materi perubahan dan pencemaran lingkungan dengan proyek pembuatan poster hasil eksperimen pupuk hidrogel untuk menilai berbagai aspek kemampuan peserta didik secara menyeluruh. Penilaian pengetahuan dilakukan melalui tes untuk mengukur pemahaman peserta didik mengenai konsep pencemaran lingkungan dan inovasi pengendaliannya. Penilaian praktis dinilai berdasarkan hasil pengamatan, mencakup keterampilan desain dan komunikasi visual, kerja sama tim, kedisiplinan, dan tanggung jawab.

Proses dan kerjasama dinilai dengan menggunakan rubrik yang mencakup kontribusi masing-masing anggota kelompok, pemecahan masalah, dan inovasi dalam proyek. Aspek refleksi dan kontekstual juga dinilai melalui diskusi kelompok mengenai pengalaman dan wawasan yang diperoleh peserta didik terkait peran pupuk hidrogel dalam pertanian berkelanjutan. Evaluasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa peserta didik tidak hanya memahami teori, tetapi juga memahami dampak jangka panjang dari tindakan mereka terhadap lingkungan.