

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pertanian modern terus menghadapi tantangan dalam memenuhi kebutuhan pangan global yang terus meningkat. Salah satu cara untuk memenuhi kebutuhan pangan adalah dengan meningkatkan produktivitas tanaman, termasuk sayuran seperti sawi hijau (*Brassica juncea* L.). Sawi hijau merupakan salah satu komoditas hortikultura penting yang permintaan pasarnya terus meningkat. Namun, budidaya tanaman ini membutuhkan pasokan unsur hara yang optimal agar pertumbuhannya tidak terganggu. Sayangnya, sistem pemupukan tradisional masih memiliki keterbatasan dalam efektivitas penyerapan unsur hara, yang berdampak pada pertumbuhan tanaman dan hasil panen. Oleh karena itu, diperlukan sistem pemupukan yang efisien dan berkelanjutan untuk mencapai produktivitas optimal (Syamsiah *et al.*, 2021, hlm. 5).

Pupuk NPK (Nitrogen, Fosfor, Kalium) merupakan salah satu jenis pupuk yang banyak digunakan karena mampu menyediakan unsur hara esensial bagi pertumbuhan tanaman (Pramono *et al.*, 2023, hlm. 3). Pupuk ini mengandung tiga unsur hara makro utama, yaitu nitrogen (N) dalam bentuk NH_4^+ atau NO_3^- , fosfor (P) dalam bentuk P_2O_5 , dan kalium (K) dalam bentuk K_2O . Ketiga unsur tersebut berperan penting dalam berbagai proses fisiologis tanaman, seperti pembentukan klorofil, perkembangan akar, serta pembentukan bunga dan buah. Namun demikian, efektivitas pemupukan NPK secara konvensional masih menghadapi berbagai kendala teknis dan lingkungan.

Meskipun memberikan manfaat signifikan bagi pertumbuhan tanaman, penggunaan pupuk NPK secara konvensional sering kali tidak efisien. Inefisiensi ini disebabkan oleh tingginya kehilangan unsur hara melalui pencucian (*leaching*), penguapan (*volatilisasi*), serta fiksasi fosfor dan kalium dalam tanah. Lebih dari 50% nitrogen dari pupuk konvensional dapat hilang melalui proses pencucian. Di sisi lain, sebagian besar fosfor mengalami fiksasi

di tanah dan menjadi tidak tersedia secara hayati bagi tanaman (Tilman *et al.*, 2002). Untuk mengantisipasi kehilangan unsur hara ini, petani sering kali meningkatkan dosis pemupukan, yang justru dapat menyebabkan pencemaran lingkungan serta meningkatkan biaya produksi. Selain berdampak pada pencemaran lingkungan, sistem pemupukan konvensional juga menimbulkan beban biaya yang cukup besar bagi petani. Untuk menjaga ketersediaan hara sepanjang pertumbuhan tanaman, petani umumnya harus melakukan pemupukan NPK secara berulang, yang berarti meningkatnya frekuensi aplikasi pupuk, waktu kerja, dan biaya operasional secara keseluruhan. Dalam jangka panjang, praktik ini tidak efisien secara ekonomi, khususnya bagi petani skala kecil. Inovasi penggunaan hidrogel sebagai pembawa pupuk berpotensi menjadi solusi, karena memungkinkan pelepasan unsur hara secara bertahap hanya dengan satu kali aplikasi. Dengan cara ini, frekuensi pemupukan dapat dikurangi, yang pada akhirnya dapat menurunkan total biaya pemupukan hingga sekitar 20–30%, tergantung pada kondisi lahan dan dosis penggunaan. Maka, hidrogel tidak hanya menjadi inovasi agronomis dan ekologis, tetapi juga menawarkan keuntungan secara ekonomis bagi pelaku pertanian (Tilman *et al.*, 2002 ; Sutejo, 2002).

Ketidakefisienan pemupukan ini sangat berpengaruh pada tanaman hortikultura seperti sawi hijau (*Brassica juncea* L.). Pemberian pupuk dalam dosis besar sekaligus dapat menyebabkan kelebihan unsur hara yang tidak terserap optimal oleh akar tanaman. Sebaliknya, aplikasi pupuk dalam jumlah kecil tetapi terlalu sering dapat menimbulkan fluktuasi ketersediaan unsur hara di zona perakaran. Ketidakstabilan ini berpotensi menyebabkan defisiensi unsur hara pada fase-fase pertumbuhan penting, sehingga menghambat perkembangan tanaman dan menurunkan hasil panen (Purwanto & Sudaryono, 2007; Rukmana, 1994).

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan inovasi dalam sistem pemupukan yang mampu meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk serta mengurangi kehilangan unsur hara. Salah satu solusi inovatif yang mulai banyak diteliti adalah penggunaan hidrogel sebagai pembawa pupuk (*carrier material*). Hidrogel merupakan polimer hidrofilik yang mampu menyerap air

dan larutan hara dalam jumlah besar, kemudian melepaskannya secara perlahan dan terkendali sesuai kebutuhan tanaman (Indriyati *et al.*, 2021).

Formulasi pupuk NPK berbasis hidrogel dapat berfungsi sebagai sistem pelepasan lambat (*slow release*) atau pelepasan terkendali (*controlled release*). Teknologi ini dapat menjaga kestabilan ketersediaan unsur hara di zona perakaran sepanjang fase pertumbuhan tanaman, meningkatkan efisiensi penyerapan pupuk, serta mengurangi pencemaran lingkungan akibat kelebihan pupuk (Ahmed, 2015, hlm. 16).

ionik dengan ion divalen seperti kalsium (Ca^{2+}), sehingga cocok diaplikasikan dalam sistem pelepasan hara terkendali (Cofelice *et al.*, 2023, hlm. 6).

Hidrogel berbasis natrium alginat menunjukkan potensi besar untuk diaplikasikan dalam sistem pertanian sebagai bahan pembawa pupuk NPK. Kombinasi karakteristik fisik yang mendukung dan kemampuannya dalam mengatur pelepasan unsur hara menjadikan hidrogel ini efektif dalam mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal, mengurangi frekuensi pemupukan, serta menurunkan risiko pencemaran lingkungan.

Agar hidrogel berbasis natrium alginat dapat diformulasikan secara efektif, diperlukan metode sintesis yang mampu menghasilkan struktur gel yang stabil dan efisien dalam pelepasan hara, salah satunya adalah metode gelasi ionotropik eksternal. Metode ini merupakan teknik yang banyak digunakan dalam pembuatan hidrogel berbasis polisakarida (Yanuar & Widawati, 2014). Metode ini melibatkan reaksi antara larutan polimer dengan ion pengikat silang (*cross-linking*) yang ditambahkan secara eksternal, sehingga memungkinkan pembentukan hidrogel dengan struktur yang seragam dan tahan lama (Talu'mu, 2011, hlm. 8).

Aplikasi metode gelasi ionotropik eksternal pada hidrogel pupuk NPK berbasis natrium alginat diharapkan dapat meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara oleh tanaman, mengurangi kehilangan pupuk akibat pencucian, serta menurunkan frekuensi pemupukan (Erlangga *et al.*, 2015). Dengan struktur pori yang dapat diatur dan kestabilan yang baik, hidrogel ini dapat mengontrol pelepasan pupuk secara bertahap sesuai kebutuhan fisiologis tanaman.

Selain itu, penggunaan natrium alginat sebagai bahan pembentuk hidrogel juga memberikan manfaat ekologis, karena bersifat biodegradable dan ramah lingkungan (Bagheri *et al.*, 2023, hlm. 6). Dengan pelepasan nutrisi yang lebih terkendali, formulasi hidrogel ini dapat meminimalisasi penggunaan pupuk sintetis secara berlebihan, mendukung konsep pertanian presisi, dan menjaga kelestarian lingkungan jangka panjang.

Untuk menguji efektivitas dari sistem ini, diperlukan objek tanaman hortikultura yang relevan dan responsif terhadap variasi ketersediaan hara. Tanaman sawi hijau (*Brassica juncea* L.) berasal dari China dan Asia Timur dan telah dibudidayakan sejak 2500 tahun yang lalu. Tanaman ini memiliki nilai ekonomi tinggi dan siklus panen yang relatif singkat, sehingga cocok dijadikan sebagai objek penelitian untuk mengukur efektivitas hidrogel pupuk NPK (Bhoki *et al.*, 2021).

Meskipun hidrogel telah banyak digunakan dalam berbagai bidang, penerapannya sebagai pembawa pupuk NPK berbasis natrium alginat dengan metode gelasi ionotropik eksternal masih belum banyak dikaji. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan dan melihat karakteristik hidrogel pupuk NPK berbasis natrium alginat yang diformulasikan dengan metode gelasi ionotropik eksternal, serta menguji seberapa efektif hidrogel ini dalam membantu pertumbuhan dan produktivitas tanaman sawi hijau (*Brassica juncea* L.).

Urgensi penelitian ini semakin meningkat seiring dengan munculnya masalah lingkungan dan perubahan iklim yang menyebabkan menurunnya ketersediaan air dan kesuburan tanah. Dalam menghadapi tantangan tersebut, diperlukan inovasi teknologi yang dapat mendukung pertanian yang lebih tepat guna dan berkelanjutan.

B. Identifikasi Masalah

Penelitian ini berfokus pada formulasi dan aplikasi hidrogel pupuk NPK berbasis natrium alginat dengan tujuan untuk meningkatkan produktivitas tanaman sawi hijau (*Brassica juncea* L.). Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat diidentifikasi masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Pupuk NPK konvensional sering mengalami kehilangan unsur hara akibat pencucian, penguapan, dan interaksi kimiawi di dalam tanah, sehingga menurunkan efisiensi pemupukan. Hal ini menyebabkan nutrisi yang tersedia bagi tanaman tidak optimal, pemborosan sumber daya, serta peningkatan biaya produksi..
2. Inovasi dalam formulasi pupuk yang lebih efisien dan ramah lingkungan masih terbatas, khususnya yang berbasis biopolimer alami seperti natrium alginat sebagai hidrogel dalam pupuk untuk meningkatkan efisiensi pelepasan unsur hara secara bertahap.
3. Masih terbatasnya penelitian terkait penggunaan hidrogel berbasis natrium alginat dalam formulasi pupuk NPK, khususnya dengan metode gelasi ionotropik eksternal, untuk tanaman hortikultura seperti sawi hijau (*Brassica juncea* L.). Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk mengevaluasi efektivitas hidrogel natrium alginat sebagai pembawa pupuk NPK dalam meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara dan pertumbuhan tanaman tersebut.

C. Rumusan Masalah dan Pertanyaan Penelitian

Berdasarkan identifikasi masalah tersebut, maka dapat dirumuskan masalah utama dalam penelitian ini, yaitu “Bagaimana formulasi hidrogel pupuk NPK berbasis natrium alginat dengan metode gelasi ionotropik eksternal dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman sawi hijau (*Brassica juncea* L.)?”

Untuk menjabarkan rumusan masalah tersebut, maka rumusan masalah dirinci ke dalam pertanyaan-pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Apakah formulasi hidrogel pupuk NPK berbasis natrium alginat dengan metode gelasi ionotropik eksternal berpengaruh terhadap peningkatan pertumbuhan tanaman sawi hijau (*Brassica juncea* L.) dibandingkan dengan pupuk konvensional?
2. Pada konsentrasi berapakah formulasi hidrogel pupuk NPK berbasis natrium alginat dengan metode gelasi ionotropik eksternal efektif dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman sawi hijau (*Brassica juncea* L.)?

3. Apakah faktor lingkungan berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman sawi hijau (*Brassica juncea* L.)?

D. Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah dan pertanyaan penelitian tersebut, maka batasan masalah yang dibahas pada penelitian ini hanya mencakup sebagai berikut:

1. Penelitian hanya berfokus pada formulasi pupuk berbasis hidrogel yang mengandung unsur hara makro, yaitu nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) (pupuk NPK), tanpa mempertimbangkan unsur hara mikro lainnya.
2. Hidrogel yang dikembangkan dalam penelitian ini hanya menggunakan natrium alginat sebagai polimer utama dalam kombinasi dengan metode gelasi ionotropik eksternal, tanpa membandingkan dengan polimer sintetik atau biopolimer lainnya.
3. Teknik yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode gelasi ionotropik eksternal, tanpa membandingkannya dengan metode pembentukan hidrogel lainnya seperti gelasi internal atau fotopolimerisasi.
4. Penelitian ini hanya dilakukan pada satu jenis tanaman hortikultura, yaitu tanaman sawi hijau (*Brassica juncea* L.), sehingga hasil penelitian tidak secara langsung dapat digeneralisasikan untuk tanaman lain.
5. Variasi konsentrasi pupuk NPK dalam hidrogel dibatasi pada beberapa tingkat tertentu untuk mengamati pengaruhnya terhadap pertumbuhan tanaman diantaranya 5 perlakuan (1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%) dengan 2 kontrol.
6. Evaluasi efektivitas hidrogel pupuk NPK terhadap tanaman sawi hijau (*Brassica juncea* L.) dilakukan dengan mengukur beberapa parameter pertumbuhan seperti: jumlah daun, tinggi tanaman, dan diameter batang.

E. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh aplikasi hidrogel berbasis natrium alginat yang mengandung pupuk NPK terhadap pertumbuhan dan produktivitas tanaman sawi hijau (*Brassica juncea* L.). Secara spesifik, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas hidrogel dalam

meningkatkan ketersediaan air dan efisiensi penyerapan unsur hara oleh tanaman, serta membandingkan pertumbuhan dan hasil panen sawi hijau yang menggunakan hidrogel dengan metode pemupukan konvensional. Selain itu, penelitian ini juga berupaya menentukan dosis optimal hidrogel berbasis natrium alginat yang dapat mendukung pertumbuhan maksimal tanpa memberikan efek negatif terhadap tanaman atau lingkungan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan ilmiah mengenai potensi penggunaan hidrogel berbasis natrium alginat sebagai teknologi inovatif dalam meningkatkan efisiensi penggunaan air dan pupuk di sektor pertanian, khususnya untuk tanaman hortikultura seperti sawi hijau.

F. Manfaat Penelitian

1. **Manfaat teoritis:** Penelitian ini dapat memperluas wawasan dalam bidang ilmu material berbasis biopolimer, khususnya dalam pengembangan hidrogel sebagai pembawa pupuk yang lebih efektif. Selain itu, penelitian ini memberikan kontribusi ilmiah dalam memahami mekanisme pelepasan nutrisi secara bertahap oleh hidrogel berbasis natrium alginat serta dampaknya terhadap pertumbuhan tanaman. Temuan ini juga memperkaya kajian di bidang pertanian berkelanjutan dengan mengeksplorasi inovasi pupuk yang lebih efisien dalam penyerapan unsur hara serta lebih ramah lingkungan.
2. **Manfaat dari segi kebijakan:** Hasil penelitian ini dapat menjadi dasar pertimbangan bagi pemerintah dan pemangku kebijakan dalam mendorong penggunaan pupuk yang lebih efisien serta ramah lingkungan guna mendukung pertanian berkelanjutan. Selain itu, penelitian ini dapat membantu dalam penyusunan regulasi atau kebijakan terkait pengurangan ketergantungan terhadap pupuk kimia konvensional yang berpotensi mencemari lingkungan.
3. **Manfaat Praktis:** Penggunaan hidrogel berbasis natrium alginat dalam pupuk NPK diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pemupukan dengan meminimalkan kehilangan unsur hara akibat pencucian, sehingga mengurangi biaya pemupukan bagi petani. Teknologi ini juga dapat

mempertahankan kelembaban tanah lebih lama, terutama pada lahan dengan ketersediaan air yang terbatas. Selain itu, hidrogel dengan sistem pelepasan nutrisi yang lebih lambat dan terkontrol dapat mempermudah aplikasi pupuk, mengurangi frekuensi pemupukan, serta menekan kebutuhan tenaga kerja di lapangan.

4. Manfaat dari segi isu: Penelitian ini berpotensi membantu mengatasi degradasi lahan akibat penggunaan pupuk kimia yang berlebihan dengan menawarkan alternatif pupuk berbasis hidrogel yang lebih ramah lingkungan. Selain itu, teknologi ini dapat berkontribusi dalam mengurangi pencemaran lingkungan, khususnya pencemaran air akibat pencucian pupuk NPK yang tidak terserap oleh tanaman. Secara lebih luas, penelitian ini juga memberikan solusi bagi tantangan perubahan iklim dengan membantu petani mengoptimalkan penggunaan air dan pupuk dalam kondisi lingkungan yang semakin tidak menentu.

G. Definisi Operasional

Adapun definisi operasional yang dimaksud pada penelitian ini untuk mengemukakan pembatasan dari istilah-istilah yang diberlakukan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Formulasi Hidrogel Pupuk NPK

Formulasi hidrogel pupuk NPK diterapkan untuk meningkatkan efisiensi pemupukan serta mendukung pertumbuhan tanaman sawi hijau (*Brassica juncea* L.). Dalam penelitian ini, pupuk NPK dilapisi dengan natrium alginat menggunakan metode gelasi ionotropik eksternal. Penyalutan ini bertujuan untuk mengoptimalkan pelepasan unsur hara secara bertahap, sehingga tanaman dapat menyerap nutrisi lebih efisien dan mengalami pertumbuhan yang lebih baik.

2. Pupuk NPK Bersalut

Pupuk NPK bersalut merupakan pupuk majemuk yang mengandung tiga unsur hara utama, yaitu nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), yang dilapisi dengan natrium alginat menggunakan metode gelasi ionotropik eksternal. Proses penyalutan ini bertujuan untuk mengontrol pelepasan unsur hara secara

bertahap, meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi oleh tanaman sawi hijau (*Brassica juncea* L.), serta mendukung pertumbuhannya secara optimal.

3. Gelasi Ionotropik Eksternal

Metode gelasi ionotropik eksternal digunakan untuk membentuk hidrogel melalui interaksi ionik antara natrium alginat dan ion tertentu, seperti kalsium atau natrium. Proses ini dilakukan di luar larutan matriks natrium alginat, sehingga menghasilkan hidrogel dengan stabilitas mekanik dan efisiensi pelepasan hara yang lebih baik. Tahapan metode ini dimulai dengan melarutkan 2 gram $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dalam 100 mL air, kemudian teteskan campuran dispersi ke dalam larutan $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ menggunakan pipet tetes, dengan hasil akhir akan menghasilkan kapsul yang terbentuk.

4. Pertumbuhan Tanaman Sawi Hijau (*Brassica juncea* L.)

Pertumbuhan tanaman sawi hijau mengacu pada peningkatan ukuran tanaman yang diukur berdasarkan beberapa parameter, yaitu jumlah daun, tinggi tanaman, dan diameter batang. Parameter ini digunakan untuk menilai efektivitas formulasi hidrogel pupuk NPK dalam mendukung pertumbuhan tanaman.

5. Faktor Lingkungan

Faktor lingkungan merupakan kondisi eksternal yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Dalam penelitian ini, faktor lingkungan yang diukur meliputi intensitas cahaya, suhu, kelembapan, dan pH tanah.

H. Sistematika Skripsi

Sistematika skripsi terbagi menjadi tiga bagian utama yaitu bagian pembuka, isi, dan penutup.

1. Bagian Pembuka

Bagian pembuka skripsi mencakup informasi tentang identitas penulisnya, halaman sampul, halaman pengesahan, halaman moto dan persembahan, kata pengantar, halaman ucapan terimakasih, abstrak, daftar isi, tabel, gambar, dan lampiran.

2. Bagian Isi

Pada bagian isi terdiri dari lima Bab yaitu Bab I hingga V, yang masing-masing berisikan sebagai berikut:

a. Bab I Pendahuluan

Bab I menyajikan latar belakang dilakukannya penelitian. Pada bagian ini terdapat beberapa hal yaitu identifikasi masalah, rumusan masalah, pertanyaan penelitian, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, definisi operasional, dan sistematika penulisan skripsi.

b. Bab II Kajian Teori

Bab II Menguraikan berbagai teori yang relevan dengan topik penelitian, yaitu tentang formulasi hidrogel pupuk NPK berbasis Natrium Alginat dengan metode gelasi ionotropik eksternal untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman sawi hijau (*Brassica juncea* L.). Teori-teori yang dibahas di bab ini meliputi teori tentang nutrisi tanaman, pupuk, pemupukan, pupuk NPK, hidrogel, natrium alginat, gelasi ionotropik eksternal, pelepasan terkendali, serta pertumbuhan tanaman sawi hijau. Selain itu, terdapat hubungan antara penelitian dengan pendidikan dan temuan penelitian sebelumnya dapat digunakan sebagai referensi untuk pelaksanaan penelitian ini.

c. Bab III Metode Penelitian

Bab III adalah cara kerja yang ditulis secara sistematis dan logis untuk menjawab pertanyaan penelitian yang tertera pada Bab I. Bab III berisikan metode penelitian, desain penelitian, subjek dan objek penelitian, populasi dan sampel penelitian, lokasi dan waktu penelitian, pengumpulan data dan instrument penelitian, teknik analisis data, serta prosedur penelitian.

d. Bab IV Hasil Penelitian dan Pembahasan

Bab IV berisi pemaparan hasil penelitian yang diperoleh melalui proses pengumpulan dan analisis data. Hasil ini kemudian dianalisis dan dibahas dengan merujuk pada teori yang telah dijelaskan di Bab II untuk memperkuat interpretasi temuan.

e. Bab V Simpulan dan Saran

Bab V berisi simpulan dan saran dari penelitian yang dilakukan untuk menjawab pertanyaan rumusan masalah. Di bagian saran, peneliti memberikan saran untuk meningkatkan penelitian berikutnya.

3. Bagian Penutup

Bagian penutup ini mencakup daftar pustaka dan lampiran. Daftar pustaka terdiri dari referensi dari berbagai sumber yang digunakan sebagai acuan dalam pembuatan skripsi ini. Sedangkan lampiran berisi informasi tambahan seperti dokumentasi, riwayat hidup, dan persuratan yang diperlukan selama penelitian.