

## **BAB II**

### **KAJIAN TEORI**

#### **A. Nutrisi Tanaman**

Nutrisi tanaman merupakan komponen utama yang dibutuhkan untuk mendukung pertumbuhan, perkembangan, dan proses reproduksi tanaman. Tiga unsur hara makro esensial, yaitu nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), memiliki peran krusial dalam berbagai aktivitas metabolisme, seperti fotosintesis, sintesis protein, dan pembentukan jaringan tanaman. Produktivitas tanaman sangat dipengaruhi oleh ketersediaan nutrisi di dalam tanah. Namun, sering kali terjadi kehilangan unsur hara akibat pencucian (*leaching*), fiksasi dalam tanah, atau volatilisasi. Oleh karena itu, diperlukan inovasi teknologi untuk meningkatkan efisiensi serapan nutrisi oleh tanaman. Nutrisi tanaman dibagi menjadi unsur esensial dan non-esensial, di mana unsur esensial memenuhi tiga kriteria utama: diperlukan untuk menyelesaikan siklus hidup tanaman, tidak dapat digantikan oleh unsur lain, dan dibutuhkan oleh semua tanaman. Berdasarkan jumlah kebutuhannya, unsur esensial diklasifikasikan menjadi: (1) Unsur dasar (C, H, O); (2) Makronutrien (N, P, K, Ca, Mg, S); dan (3) Mikronutrien (Fe, Zn, B, Cu, Mn, Mo, Cl) (Inaya *et al.*, 2021, hlm. 3). (Inaya *et al.*, 2021).

#### **B. Hidrogel**

Hidrogel adalah polimer hidrofilik yang mampu menyerap dan menahan air dalam jumlah besar. Dalam bidang pertanian, hidrogel berfungsi sebagai *soil conditioner* yang membantu memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas retensi air di tanah, dan memperbaiki sifat-sifat tanah, sehingga dapat mendukung pertumbuhan tanaman. Hidrogel (*super absorbent*) yang merupakan polimer untuk mengabsorpsi sejumlah air juga diketahui dapat menurunkan pencucian pupuk (*leaching*) melalui interaksi pupuk dengan polimer (Indriyati *et al.*, 2021). Hidrogel juga merupakan suatu jaringan polimer dengan ikatan silang atau *cross link* sehingga dapat menyerap cairan biologis dengan baik (Luo *et al.*, 2023). Karena sifat hidrofilik yang sangat baik dan sifatnya yang ramah lingkungan, hidrogel banyak digunakan dalam teknologi

pelepasan pupuk lambat (*slow-release fertilizer*) untuk meningkatkan efisiensi pemupukan (Lestari *et al.*, 2022).

### **C. Pupuk NPK**

Pupuk NPK merupakan jenis pupuk anorganik yang mengandung tiga unsur hara utama, yaitu nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), yang masing-masing memiliki peran krusial dalam proses pertumbuhan tanaman. Nitrogen berfungsi dalam pembentukan dan perkembangan daun, fosfor mendukung pertumbuhan akar serta proses pembungaan, sementara kalium berperan dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap serangan penyakit dan kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan. Dengan demikian, pengembangan formulasi pupuk dalam bentuk hidrogel menjadi alternatif inovatif untuk meningkatkan efisiensi pemanfaatan pupuk (Simorangkir, 2023).

### **D. Natrium Alginat**

Natrium alginat adalah polisakarida alami yang diperoleh dari dinding sel alga coklat seperti *Laminaria* dan *Macrocystis*. Senyawa ini mudah larut dalam air dan membentuk larutan kental yang mampu membentuk gel melalui gelasi ionotropik dengan ion kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ). Proses ini menghasilkan struktur gel stabil yang sangat berguna dalam berbagai aplikasi, termasuk sistem penghantaran nutrisi berbasis hidrogel. Dalam bidang pertanian, natrium alginat digunakan sebagai matriks dalam formulasi hidrogel pupuk untuk memperlambat pelepasan unsur hara dan meningkatkan efisiensi serapan oleh tanaman. Penggunaan natrium alginat juga berpotensi mendukung pertanian berkelanjutan karena sifatnya yang biodegradable (Hermana *et al.*, 2015, hlm. 3).

### **E. Gelasi Ionotropik Eksternal**

Gelasi ionotropik eksternal merupakan teknik pembentukan hidrogel yang memanfaatkan interaksi ionik antara polimer bermuatan negatif, seperti natrium alginat, dengan ion multivalen seperti kalsium atau natrium. Proses ini dilakukan dengan mencelupkan larutan polimer ke dalam larutan ion pengikat, sehingga terjadi proses gelasi dari luar ke dalam permukaan larutan. Proses ini menghasilkan struktur hidrogel yang stabil, fleksibel, dan berpori. Dalam aplikasi pertanian, metode ini memungkinkan kontrol yang lebih baik terhadap

pelepasan nutrisi dari pupuk yang terinkapsulasi dalam hidrogel. Dengan pelepasan yang lebih teratur dan lambat, pupuk menjadi lebih efisien, mengurangi frekuensi pemupukan, serta membantu menjaga ketersediaan hara sesuai kebutuhan fisiologis tanaman (Prihantini & Fidrianny, 2019).

#### **F. Tanaman Sawi Hijau (*Brassica juncea* L.)**

Sawi hijau (*Brassica juncea* L.) merupakan salah satu tanaman hortikultura yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan siklus hidup yang relatif singkat. Tanaman ini sangat responsif terhadap ketersediaan nutrisi, terutama nitrogen, fosfor, dan kalium. Unsur nitrogen berperan dalam pembentukan klorofil dan pertumbuhan vegetatif, terutama daun, yang menjadi bagian utama yang dikonsumsi. Fosfor berperan dalam pembentukan akar dan sistem perakaran yang kuat, sementara kalium berkontribusi terhadap ketahanan tanaman dan kualitas hasil panen. Oleh karena itu, penerapan pupuk NPK dalam bentuk hidrogel diharapkan dapat meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi oleh tanaman sawi hijau serta mendukung pertumbuhan yang optimal. Teknologi ini berpotensi menjadi solusi alternatif dalam pengelolaan nutrisi yang lebih berkelanjutan di bidang pertanian hortikultura (Bhoki *et al.*, 2021; Letahiit *et al.*, 2022).



**Gambar 2.1** Tanaman Sawi Hijau (*Brassica juncea* L.)

(Sumber: plantamor.com)

Adapun klasifikasi tanaman sawi hijau adalah sebagai berikut:

|             |                                      |
|-------------|--------------------------------------|
| Kingdom     | : Plantae                            |
| Subkingdom  | : Tracheobionta                      |
| Superdivisi | : Spermatophyta                      |
| Divisi      | : Magnoliophyta                      |
| Kelas       | : Magnoliopsida                      |
| Subkelas    | : Dilleniidae                        |
| Ordo        | : Capparales                         |
| Famili      | : Brassicaceae                       |
| Genus       | : <i>Brassica</i>                    |
| Spesies     | : <i>Brassica juncea</i> (L.) Czern. |

#### **G. Pelepasan Nutrisi**

Pelepasan nutrisi yang terkontrol adalah teknologi yang dirancang untuk menyediakan unsur hara tanaman secara bertahap sesuai dengan kebutuhan fisiologisnya. Hidrogel yang mengandung pupuk NPK memungkinkan pelepasan nutrisi secara perlahan dan merata, sehingga dapat mengurangi pencucian hara ke lingkungan dan meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi oleh tanaman (Yanuar & Widawati, 2014). Teknologi ini tidak hanya meningkatkan hasil pertanian tetapi juga mendukung keberlanjutan dalam praktik pertanian. Hidrogel berbasis natrium alginat dapat terdegradasi oleh mikroorganisme tanah, yang memecah struktur polimer menjadi komponen yang lebih sederhana, sehingga melepaskan nutrisi secara perlahan. Proses ini berlangsung dengan kecepatan yang lebih lambat, namun memberikan pasokan nutrisi yang stabil dan bertahap. Dengan pengaturan terhadap struktur hidrogel dan kondisi lingkungan, pelepasan nutrisi dapat disesuaikan dengan kebutuhan tanaman, meningkatkan efisiensi pemupukan, dan mengurangi kerugian nutrisi akibat pencucian atau pemborosan (Jayanudin *et al.*, 2022).

## H. Hasil Penelitian Terdahulu

**Tabel 2.1** Penelitian Terdahulu

| No. | Nama Peneliti                | Judul                                                                                                                                                                                             | Tahun | Temuan                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | Riska Nurlaela <i>et al.</i> | Respon Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Sawi Hijau ( <i>Brassica juncea</i> L.Var. Tosakan) dengan Perbedaan Media Tanam Organik dan Penambahan Pupuk Organik Limbah Sludge Kertas di Dataran Rendah | 2021  | Penelitian ini mengkaji pengaruh media tanam organik dan penambahan pupuk organik dari limbah sludge kertas terhadap pertumbuhan dan hasil sawi hijau. Hasilnya menunjukkan bahwa kombinasi media tanam dan pupuk organik tersebut dapat meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman sawi hijau.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 2.  | Sintia Lestari <i>et al</i>  | 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 ( <i>crosslinker</i> ) $\text{CaCl}_2$ dan epiklorohidrin. Hidrogel ini dirancang sebagai pelapis pupuk lepas lambat ( <i>slow-release fertilizer</i> ). Hasil penelitian menunjukkan bahwa hidrogel dengan komposisi tertentu memiliki rasio pembengkakan ( <i>swelling ratio</i> ) 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. |

|    |                              |                                                                                                                                                       |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                              |                                                                                                                                                       |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 3. | Iswi Ardhayani <i>et al.</i> | Pengaruh Pemberian Kombinasi Pupuk NPK Majemuk dan Pupuk Daun terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Sawi Hijau ( <i>Brassica juncea</i> Var. Shinta) | 2023 | Penelitian ini meneliti efek kombinasi pupuk NPK majemuk dan pupuk daun terhadap pertumbuhan dan hasil sawi hijau. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi tersebut memberikan pengaruh signifikan terhadap parameter pertumbuhan dan hasil tanaman sawi hijau, seperti tinggi tanaman, jumlah daun, luas daun, dan bobot segar tanaman. |

## I. Kerangka Pemikiran

Hidrogel merupakan polimer hidrofilik yang mampu menyerap dan menyimpan air dalam jumlah besar, kemudian melepaskannya secara perlahan. Sifat ini menjadikan hidrogel potensial digunakan sebagai sistem penghantar nutrisi dalam tanah secara terkontrol. Dalam konteks pertanian, teknologi ini dapat dimanfaatkan untuk mendukung efisiensi pemupukan, karena memungkinkan pelepasan unsur hara berlangsung secara bertahap sesuai dengan kebutuhan fisiologis tanaman.

Penggunaan bahan alami seperti natrium alginat dalam formulasi hidrogel menawarkan keunggulan ekologis. Natrium alginat bersifat biodegradable dan ramah lingkungan, serta mampu membentuk struktur gel yang stabil melalui proses gelasi ionotropik. Gelasi ionotropik eksternal, yaitu proses pencelupan larutan natrium alginat ke dalam larutan ion pengikat seperti kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), menghasilkan hidrogel berpori yang mampu melepaskan zat aktif—seperti nutrisi—secara perlahan dan merata.

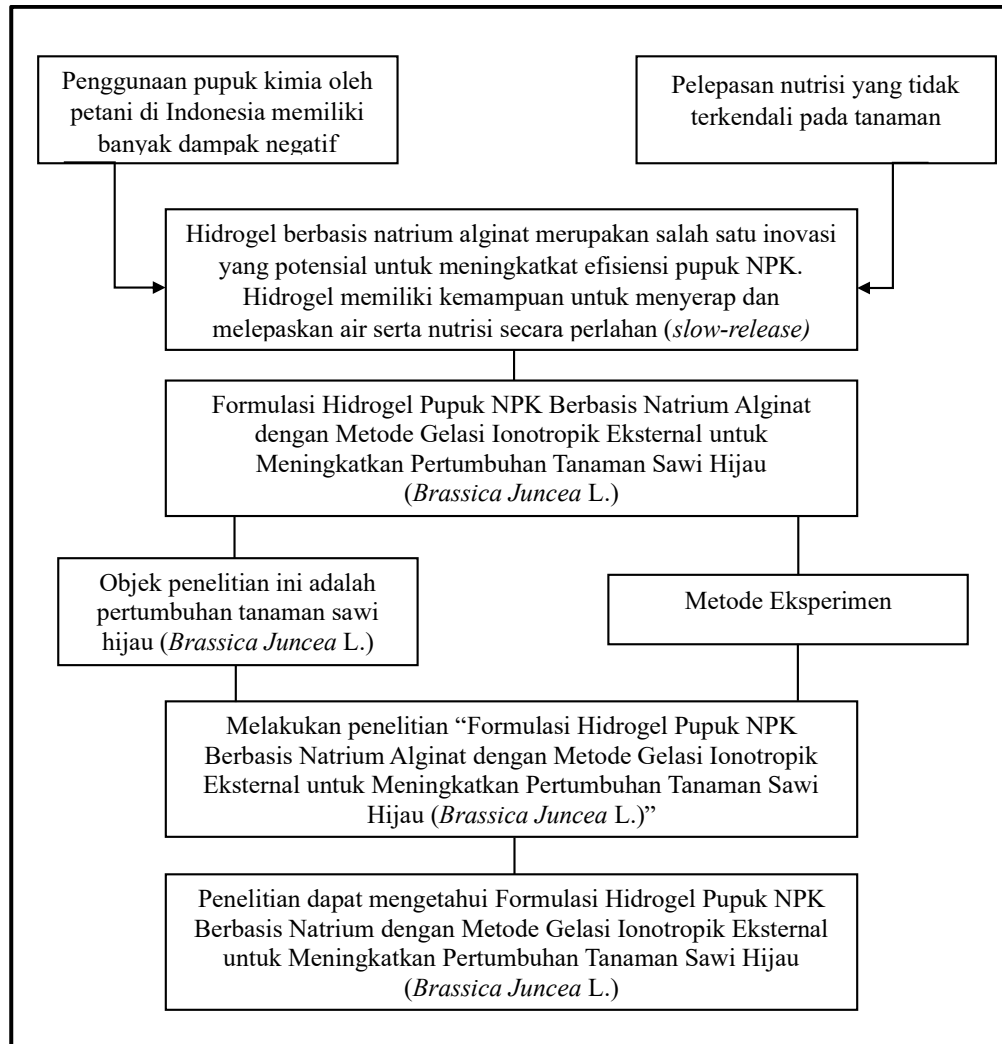
Dalam praktik pertanian konvensional, pemupukan sering kali tidak efisien karena sebagian besar unsur hara hilang melalui pencucian (*leaching*) atau penguapan, sehingga tidak terserap optimal oleh tanaman. Kondisi ini tidak hanya menyebabkan pemborosan sumber daya, tetapi juga berdampak negatif terhadap lingkungan, seperti pencemaran air tanah dan eutrofikasi. Oleh karena itu, diperlukan inovasi teknologi pemupukan yang mampu mengurangi kehilangan nutrisi dan meningkatkan efisiensi serapan oleh tanaman.

Penerapan hidrogel berbasis natrium alginat sebagai pembawa pupuk NPK diharapkan dapat mengatasi permasalahan tersebut. Hidrogel memungkinkan pelepasan unsur hara secara terkendali, mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal, serta memperpanjang waktu ketersediaan nutrisi di sekitar perakaran. Penelitian ini difokuskan pada tanaman sawi hijau (*Brassica juncea* L.), yang memiliki respons cepat terhadap asupan nutrisi dan masa panen yang singkat. Dengan demikian, sawi hijau menjadi tanaman uji yang tepat untuk menilai efektivitas sistem pelepasan nutrisi berbasis hidrogel.

Melalui pendekatan ini, diharapkan diperoleh solusi inovatif dalam pengelolaan pupuk yang tidak hanya meningkatkan hasil pertanian, tetapi juga

berkontribusi terhadap praktik pertanian berkelanjutan. Penelitian ini dirancang untuk menganalisis bagaimana penggunaan hidrogel natrium alginat dapat meningkatkan efisiensi pemupukan pada tanaman sawi hijau.

Kerangka pemikiran penelitian ini disajikan pada Gambar 2.2 berikut.



**Gambar 2.2** Kerangka Pemikiran

## **J. Asumsi dan Hipotesis**

### **1. Asumsi**

Hidrogel pupuk NPK berbasis natrium alginat yang diformulasikan dengan metode gelasi ionotropik eksternal dapat melepaskan nutrisi secara terkendali dan mendukung pertumbuhan tanaman sawi hijau (*Brassica juncea* L.) dengan efisien.

### **2. Hipotesis**

H<sub>0</sub> : Tidak adanya pengaruh Hidrogel pupuk NPK berbasis natrium alginat dengan metode gelasi ionotropik eksternal terhadap pertumbuhan tanaman sawi hijau (*Brassica juncea* L.).

H<sub>1</sub> : Adanya pengaruh Hidrogel pupuk NPK berbasis natrium alginat dengan metode gelasi ionotropik eksternal terhadap pertumbuhan tanaman sawi hijau (*Brassica juncea* L.).

## **K. Analisis Pembelajaran**

Penelitian mengenai formulasi hidrogel pupuk NPK berbasis natrium alginat dengan metode gelasi ionotropik eksternal untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman sawi hijau (*Brassica juncea* L.) memiliki potensi besar untuk diintegrasikan ke dalam proses pembelajaran di tingkat SMA. Topik ini mencerminkan pendekatan ilmiah dan inovatif dalam mengatasi permasalahan lingkungan dan efisiensi penggunaan pupuk, yang sejalan dengan semangat Kurikulum Merdeka, khususnya pada Fase E kelas X.

Penelitian ini dapat diintegrasikan dalam materi pembelajaran Biologi pada tema perubahan lingkungan dan sistem ekologi. Siswa diajak untuk memahami dampak penggunaan pupuk kimia terhadap lingkungan serta pentingnya solusi alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Inovasi penggunaan hidrogel sebagai sistem penghantar nutrisi dalam pertanian merupakan contoh nyata aplikasi bioteknologi yang relevan dalam kehidupan sehari-hari.

### **1. Keluasan dan Kedalaman Materi**

Dalam Fase E, peserta didik diharapkan mampu mengenali dampak aktivitas manusia terhadap lingkungan dan mengevaluasi alternatif yang lebih

berkelanjutan. Materi ini dapat memperluas pemahaman siswa mengenai hubungan antara faktor abiotik dan pertumbuhan tanaman, daur biogeokimia, serta konservasi sumber daya alam. Melalui konsep pelepasan nutrisi secara lambat oleh hidrogel, siswa memperoleh wawasan lintas bidang yang mengaitkan biologi, kimia, dan lingkungan.

## **2. Karakteristik dan Kedalaman Materi**

Materi bersifat aplikatif dan kontekstual, memungkinkan siswa melihat keterkaitan antara teori dan praktik di lapangan. Penerapan teknologi hidrogel dalam meningkatkan efisiensi pemupukan memberikan contoh nyata bagaimana prinsip ilmiah dapat dimanfaatkan untuk menjawab permasalahan global. Pemahaman tentang struktur hidrogel, interaksi ionik, serta karakteristik biodegradabilitas natrium alginat dapat dikembangkan melalui pendekatan praktikum sederhana atau simulasi.

## **3. Perubahan Perilaku Hasil Belajar**

Melalui pengenalan materi ini, peserta didik diharapkan menunjukkan peningkatan kepedulian terhadap kelestarian lingkungan dan pemanfaatan sumber daya secara bertanggung jawab. Sikap kritis terhadap praktik pertanian konvensional serta apresiasi terhadap inovasi yang berorientasi keberlanjutan dapat terbentuk. Materi ini juga dapat memotivasi peserta didik untuk mengeksplorasi lebih dalam bidang bioteknologi lingkungan dan rekayasa pertanian.

## **4. Bahan dan Media Pembelajaran**

Penggunaan video interaktif, modul praktikum, artikel ilmiah populer, serta animasi visualisasi struktur hidrogel dapat mendukung pemahaman siswa. Guru juga dapat merancang simulasi pembuatan hidrogel sederhana dengan bahan alternatif seperti gelatin atau agar-agar untuk menjelaskan prinsip dasar gelasi ionotropik. Media ini bertujuan untuk memperkuat keterlibatan siswa dan memperjelas konsep yang abstrak.

## **5. Strategi Pembelajaran**

Pendekatan yang direkomendasikan adalah *Project Based Learning*, di mana siswa diajak untuk merumuskan pertanyaan, mengeksplorasi informasi, dan melakukan eksperimen sederhana terkait efisiensi pupuk hidrogel. Strategi

ini memungkinkan siswa mengembangkan keterampilan berpikir ilmiah dan problem solving. Dalam kelompok, siswa dapat menganalisis data pertumbuhan tanaman, mengevaluasi efektivitas media tanam, dan menyusun laporan hasil investigasi secara kolaboratif.

## **6. Sistem Evaluasi**

Evaluasi dilakukan secara komprehensif meliputi aspek kognitif, psikomotorik, dan afektif. Aspek kognitif dinilai melalui kuis, diskusi, dan tes tertulis untuk mengukur pemahaman konsep. Aspek psikomotorik dinilai dari keterampilan siswa dalam melakukan simulasi atau eksperimen. Aspek afektif mencakup penilaian terhadap sikap, tanggung jawab, dan kepedulian terhadap lingkungan selama proses pembelajaran. Selain itu, laporan proyek dan presentasi kelompok dapat digunakan untuk menilai kemampuan komunikasi ilmiah siswa secara menyeluruh.