

BAB II

TINJAUAN TENTANG UNSUR HARA, PUPUK DAN PEMUPUKAN, HIDROGEL, METODE GELASI IONOTROPIK EKSTERNAL, NATRIUM ALGINAT, TANAMAN BAYAM, DAN FAKTOR KLIMATIK PERTUMBUHAN BAYAM

A. Unsur Hara

Salah satu hal yang paling penting dalam budidaya tanaman adalah memperhatikan nutrisi tanaman tersebut. Nutrisi tanaman adalah unsur kimia penting yang dibutuhkan oleh tanaman dan secara langsung atau tidak langsung terlibat dalam metabolisme serta aktivitas fisiologis dalam tubuh tanaman (Inaya *et al.*, 2021, hlm. 94). Inaya (2021, hlm. 95) menjelaskan tentang kebutuhan unsur hara pada tanaman sebagai berikut:

Tanaman membutuhkan nutrisi (unsur hara) dalam jumlah yang seimbang pada setiap tahap pertumbuhan dan perkembangannya. Ketersediaan nutrisi dalam jumlah yang optimal memerlukan kondisi-kondisi sebagai berikut: (a) Nutrisi yang tersedia di daerah perakaran dalam kondisi yang cukup; (b) Transportasi nutrisi dalam larutan tanah menuju permukaan akar berlangsung dengan cepat; (c) Pertumbuhan akar yang maksimal untuk penyerapan nutrisi yang tersedia; (d) Penyerapan nutrisi tidak mengalami hambatan; dan (e) Mobilitas nutrisi di dalam tubuh tanaman berlangsung dengan baik. Ketika tanaman mengalami masalah terkait lima kondisi tersebut maka tanaman akan mengalami masalah nutrisi yaitu defisiensi maupun toksisitas.

Oleh karena itu, pemberian pupuk sebagai sumber unsur hara eksternal menjadi kunci penting dalam menjaga keseimbangan nutrisi tanaman. Dalam konteks ini, pemilihan jenis pupuk yang sesuai, seperti pupuk NPK, menjadi sangat penting karena mengandung tiga unsur hara makro utama yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah besar, yaitu nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K).

Setiap unsur dalam pupuk NPK memiliki peran spesifik yang tidak tergantikan. Nitrogen (N) berfungsi utama dalam mendukung pembentukan klorofil yang penting untuk fotosintesis, sehingga sangat memengaruhi pertumbuhan daun dan batang secara vegetatif. (Ardila *et al.*, 2021, hlm. 348). Tanaman yang kekurangan nitrogen biasanya menunjukkan daun yang menguning dan pertumbuhan yang kerdil. Fosfor (P) berperan penting dalam pembentukan energi (ATP), pembelahan sel, serta pertumbuhan akar dan perkembangan bunga dan buah. (Fadila *et al.*, 2021,

hlm. 477) Sementara itu, kalium (K) berfungsi dalam pengaturan stomata, penguatan dinding sel, serta meningkatkan daya tahan tanaman terhadap stres lingkungan dan penyakit. Ketiga unsur ini bekerja secara sinergis dan diperlukan dalam jumlah yang seimbang agar tanaman dapat tumbuh optimal, produktif, dan sehat.

B. Pupuk dan Pemupukan

Pemupukan merupakan salah satu praktik penting dalam budidaya tanaman untuk menambah unsur hara yang dibutuhkan tanaman agar pertumbuhannya optimal. “Nitrogen (N) adalah unsur hara makro penting yang berperan dalam pembentukan protein, enzim, dan klorofil, sehingga mendukung pertumbuhan vegetative dan hasil tanaman.” (Ulfah & Utami, n.d., 2024, hlm.). Namun, efektivitas pupuk tidak hanya ditentukan oleh kandungan nutrisinya, melainkan juga oleh dosis, waktu aplikasi, dan metode pemberiannya, yang semuanya perlu disesuaikan dengan jenis tanaman dan kondisi tanah.

Pemupukan yang tepat mampu meningkatkan hasil panen dan kualitas tanaman, tetapi jika tidak terkontrol, justru dapat menyebabkan degradasi lingkungan seperti pencemaran air dan tanah akibat kelebihan unsur hara (Ayu Lestari *et al.*, 2025, hlm. 463). Oleh karena itu, pemilihan jenis pupuk yang sesuai menjadi sangat penting dalam praktik pertanian berkelanjutan.

1. Pupuk NPK

Pupuk NPK merupakan pupuk anorganik yang umumnya digunakan dalam pertanian modern untuk meningkatkan kandungan nutrisi tanah yang diperlukan oleh tanaman. Namun, penggunaan berlebihan, selain tidak efisien, juga dapat berdampak negatif pada produktivitas tanah, hasil panen, dan bahkan dapat merusak lahan pertanian (Pramono *et al.*, 2023, hlm. 59)

Pupuk NPK adalah jenis pupuk majemuk yang mengandung tiga unsur hara utama yang dibutuhkan oleh tanaman, yaitu nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Nitrogen berperan penting dalam mendukung pertumbuhan vegetatif tanaman, seperti daun dan batang, serta meningkatkan pembentukan protein. Fosfor berfungsi dalam proses pembentukan akar, pembungaan, dan pematangan buah, serta

berperan dalam metabolisme energi tanaman. Sementara itu, kalium berkontribusi dalam memperkuat daya tahan tanaman terhadap penyakit, meningkatkan kualitas hasil panen, dan membantu regulasi proses fisiologis, seperti pembukaan stomata (Dewi *et al.*, 2016, hlm. 651)

C. Hidrogel

Hidrogel adalah material polimer yang memiliki struktur tiga dimensi dengan kemampuan menyerap dan mempertahankan air dalam jumlah besar, sering kali hingga ratusan kali beratnya sendiri (TUR-RIDHA, 2019). Sifat ini membuat hidrogel ideal untuk aplikasi yang membutuhkan penyimpanan dan pelepasan air secara bertahap. Kemampuan ini berasal dari gugus hidrofilik pada polimer, seperti hidroksil (-OH), karboksilat (-COOH), dan amida (-NH), yang berinteraksi dengan molekul air melalui ikatan hidrogen (Agbna & Zaidi, 2025). Hidrogel memiliki ikatan silang dalam matriks polimernya, sehingga tetap stabil meskipun menyerap air. "Hidrogel dapat dibuat dari polimer alami, sintetis, atau kombinasi keduanya, dan memiliki sifat penting seperti kapasitas penyerapan air yang tinggi, elastisitas, biokompatibilitas, serta kemampuan melepaskan bahan aktif secara terkendali" (Thang *et al.*, 2023, hlm. 523).

Dalam aplikasi pertanian, hidrogel digunakan sebagai matriks untuk sistem pelepasan pupuk terkendali (Hari Adi, 2012, hlm. 7). Hidrogel dapat mengenkapsulasi pupuk, seperti NPK, dan melepaskannya secara perlahan sesuai kebutuhan tanaman, sehingga meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk dan mengurangi pencucian nutrisi di tanah. Selain itu, hidrogel juga berfungsi mempertahankan pH tanah, terutama di daerah dengan ketersediaan air yang terbatas. Hidrogel berbasis polimer alami, seperti natrium alginat atau Karagenan, sering digunakan karena sifatnya yang biodegradable dan ramah lingkungan. Stabilitas dan pelepasan pupuk dari hidrogel dapat diatur dengan menambahkan bahan seperti ion kalsium melalui metode gelasi ionotropik.

D. Gelasi Ionotropik Eksternal

Gelasi ionotropik eksternal adalah metode pembentukan gel yang melibatkan interaksi ionik antara polimer bermuatan dengan ion bermuatan lawan yang ditambahkan dari luar sistem (Gadziński *et al.*, 2023, hlm. 108). Pada metode ini,

ion pengikat (*crosslinker*) seperti ion kalsium (Ca^{2+}) ditambahkan ke larutan polimer untuk menciptakan matriks gel yang stabil. Proses ini dimulai dari permukaan larutan polimer dan berlanjut ke bagian dalam, membentuk struktur tiga dimensi yang solid. Natrium alginat, sebagai salah satu polimer alami, dapat digunakan sebagai bahan utama dalam proses ini karena sifatnya yang biokompatibel, biodegradable, dan memiliki kemampuan membentuk gel yang baik ketika berinteraksi dengan ion tertentu. Dengan menambahkan larutan ion kalsium, natrium alginat mampu membentuk gel yang stabil dan dapat digunakan sebagai penyalut pupuk NPK untuk mengatur pelepasan nutrisi secara bertahap.

Penggunaan natrium alginat sebagai penyalut dalam formulasi hidrogel pupuk NPK berbasis gelasi ionotropik eksternal memberikan beberapa keuntungan. Selain prosesnya yang sederhana dan ramah lingkungan, konsentrasi ion *crosslinker* dapat diatur untuk mengontrol sifat fisik gel, seperti kekerasan dan porositas. Hidrogel yang terbentuk mampu mengenkapsulasi pupuk dengan baik, sehingga pelepasan nutrisi dapat dilakukan secara perlahan melalui mekanisme difusi atau degradasi material. Hal ini membantu meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk, mengurangi pencucian unsur hara, dan menjaga kualitas tanah.

Pada aplikasi untuk tanaman bayam, hidrogel pupuk berbasis natrium alginat sangat relevan karena kemampuannya dalam menyuplai nutrisi secara bertahap sesuai kebutuhan tanaman. Selain itu, hidrogel ini juga mempertahankan pH tanah di sekitar akar, yang sangat penting untuk mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal (Winingsih *et al.*, 2019, hlm. 46-54). Dengan sifatnya yang ramah lingkungan dan efektif, natrium alginat sebagai penyalut hidrogel pupuk NPK melalui metode gelasi ionotropik eksternal menjadi solusi inovatif untuk mendukung pertanian berkelanjutan.

E. Natrium Alginat

Natrium alginat merupakan polisakarida alami yang diperoleh dari dinding sel alga cokelat (*Phaeophyceae*). Senyawa ini tersusun atas unit asam β -D-mannuronat (M) dan α -L-guluronat (G) yang tersusun dalam berbagai konfigurasi, di mana komposisi dan urutannya mempengaruhi karakteristik gel yang terbentuk (Mitesh Bhansali, 2021). Natrium alginat memiliki gugus karboksilat dalam strukturnya,

sehingga memberikan sifat fisikokimia khas seperti kemampuan membentuk gel, meningkatkan viskositas, serta stabil dalam larutan. Natrium alginat dikenal sebagai bahan yang biokompatibel, biodegradable, serta ramah lingkungan, sehingga banyak dimanfaatkan di berbagai sektor, seperti industri pangan, farmasi, kosmetik, dan pertanian. “Secara khusus, blok G pada natrium alginat berperan penting dalam membentuk gel kuat melalui interaksi dengan ion divalen seperti kalsium (Ca^{2+}) dengan mekanisme pengikatan berbentuk "egg-box"” (Nataraj & Reddy, 2020, hlm. 1)

Secara fisikokimia, natrium alginat memiliki kemampuan membentuk gel melalui ikatan silang dengan ion kalsium, larut dalam air pada berbagai suhu, serta menunjukkan kestabilan dalam rentang pH yang cukup luas, yakni antara pH 4 hingga 10. Dalam bidang pertanian, natrium alginat sering digunakan sebagai bahan formulasi hidrogel pupuk karena kemampuannya untuk mengenkapsulasi nutrisi seperti nitrogen, fosfor, dan kalium (NPK), sehingga memungkinkan pelepasan unsur hara secara bertahap melalui difusi atau degradasi gel. Selain itu, hidrogel berbahan dasar natrium alginat memiliki kapasitas serap air yang tinggi, yang berperan penting dalam menjaga kelembapan tanah di sekitar zona perakaran tanaman dan mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal (K. Ali *et al.*, 2024, hlm. 2-6)

Dalam penelitian ini, natrium alginat dipilih sebagai bahan dasar formulasi hidrogel pupuk untuk tanaman bayam, mengingat kemampuannya dalam mendukung pelepasan unsur hara secara terkontrol serta mempertahankan kelembapan tanah. Keunggulan natrium alginat yang meliputi sifat biokompatibel, mudah terdegradasi secara alami, dan tidak meninggalkan residu berbahaya, menjadikannya pilihan yang ramah lingkungan (Milivojević *et al.*, 2023, hlm. 7-10). Sebagai bahan alami yang berkelanjutan, penggunaan natrium alginat dalam teknologi pertanian menawarkan solusi inovatif dalam meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk, mengurangi pencucian unsur hara, serta mendukung praktik pertanian berkelanjutan dan produktivitas tanaman.

F. Tanaman Bayam

Bayam adalah tanaman sayuran daun yang populer karena kaya akan nutrisi, seperti vitamin A, vitamin C, zat besi, dan kalsium (Qadri *et al.*, 2022, hlm. 15).

Tanaman ini termasuk dalam famili Amaranthaceae dan dikenal mudah tumbuh serta memiliki siklus hidup yang singkat, sehingga sering dibudidayakan sebagai sumber pangan yang ekonomis. Bayam memiliki daun hijau yang lebar dan lunak, yang biasanya dikonsumsi dalam bentuk segar, dimasak, atau diolah menjadi berbagai hidangan.

Tanaman bayam tumbuh optimal pada tanah yang gembur, subur, dan kaya bahan organik dengan pH netral hingga sedikit asam (sekitar 6–7). Selain itu, bayam memerlukan kondisi pencahayaan yang cukup dan pH tanah yang terjaga untuk mendukung pertumbuhannya. Tanaman ini sangat responsif terhadap asupan nutrisi, terutama nitrogen, yang mendorong pembentukan daun yang lebat. Oleh karena itu, penggunaan pupuk yang tepat, seperti pupuk NPK, sangat penting untuk meningkatkan produktivitas tanaman bayam (Ali *et al.*, 2021, hlm. 120)

Pada penelitian ini, bayam digunakan sebagai model tanaman untuk menguji efektivitas hidrogel pupuk NPK berbasis natrium alginat. Pemilihan bayam didasarkan pada siklus tumbuhnya yang cepat, sehingga memungkinkan evaluasi yang lebih efisien terhadap pengaruh hidrogel terhadap pertumbuhan tanaman. Dengan memanfaatkan sistem pelepasan nutrisi yang bertahap dari hidrogel, diharapkan bayam dapat tumbuh lebih optimal, sekaligus menunjukkan potensi teknologi ini dalam mendukung pertanian yang lebih berkelanjutan.

1. Klasifikasi Tanaman Bayam



Gambar 2.1 Amaranthus hybridus L.

(Sumber: plantamor.com)

Kingdom: Plantae

Subkingdom: Tracheobionta

Superdivisi: Spermatophyta

Divisi: Magnoliophyta
Kelas: Magnoliopsida
Subkelas: Caryophyllidae
Ordo: Caryophyllales
Famili: Amaranthaceae
Genus: *Amaranthus*
Spesies: *Amaranthus hybridus* L.
(Sumber: plantamor.com)

G. Faktor Klimatik Pertumbuhan Tanaman Bayam

Suhu dan kelembapan udara menjadi dua faktor iklim utama yang sangat memengaruhi pertumbuhan bayam. Suhu optimal untuk mendukung proses metabolisme dan fotosintesis tanaman bayam berkisar antara 27 hingga 30°C. Jika suhu terlalu rendah, aktivitas enzimatik akan terhambat, sementara suhu yang terlalu tinggi dapat mempercepat penguapan air dari daun dan menyebabkan stres tanaman. Begitu pula dengan kelembapan udara; kondisi yang terlalu lembap memicu serangan patogen, sedangkan kelembapan yang terlalu rendah mengganggu proses transpirasi. Maka dari itu, kontrol suhu dan kelembapan menjadi kunci dalam usaha budidaya bayam yang produktif.

Faktor pencahayaan atau intensitas sinar matahari juga berperan penting dalam menunjang pertumbuhan daun bayam yang lebar dan hijau. Tanaman bayam termasuk ke dalam kelompok tanaman C₄, yaitu jenis tanaman yang memiliki jalur fotosintesis khusus dengan efisiensi tinggi dalam menangkap karbon dioksida (CO₂), terutama pada kondisi cahaya terang, suhu tinggi, dan ketersediaan air yang terbatas. Mekanisme fotosintesis C₄ ini membuat bayam sangat adaptif terhadap lingkungan tropis yang panas, karena kehilangan air lebih sedikit dibanding tanaman C₃ (Wasilewska-Dębowska *et al.*, 2022, hlm. 3). Dengan demikian, bayam memerlukan intensitas cahaya tinggi untuk mencapai pertumbuhan optimal, karena semakin tinggi cahaya, semakin tinggi pula aktivitas fotosintesisnya. Dalam kondisi intensitas cahaya yang cukup, laju fotosintesis tanaman C₄ seperti bayam akan meningkat signifikan, sehingga pertumbuhan lebih cepat dan hasil panen lebih optimal. Sebaliknya, pencahayaan yang terlalu rendah menyebabkan pertumbuhan

memanjang dan daun menjadi pucat, sedangkan sinar matahari yang terlalu terik tanpa pengelolaan yang baik dapat merusak jaringan daun (Marthinu *et al.*, 2025, hlm. 9382). Oleh karena itu, pengaturan tempat tanam agar mendapat pencahayaan yang seimbang menjadi hal yang penting diperhatikan.

Selain faktor iklim, kondisi tanah, khususnya pH, juga sangat menentukan keberhasilan pertumbuhan bayam. Tanaman bayam tumbuh baik pada pH tanah berkisar antara 6,0 hingga 7,0, yaitu dalam kondisi netral hingga sedikit asam. pH yang terlalu rendah akan mengganggu penyerapan unsur hara seperti fosfor dan magnesium, sementara pH yang terlalu tinggi dapat menyebabkan defisiensi unsur mikro seperti besi dan seng (Barrow & Hartemink, 2023, hlm. 22). Oleh sebab itu, pengukuran dan pengelolaan pH tanah yang baik perlu dilakukan sebelum melakukan penanaman bayam agar ketersediaan nutrisi di dalam tanah tetap optimal.

H. Hasil Penelitian Terdahulu

Tabel 2. 1 Hasil Penelitian Terdahulu

NO.	Nama Peneliti/Tahun	Judul	Tempat Penelitian	Pendekatan & Analisis	Hasil Penelitian	Perbedaan	Persamaan
1.	Sintia Lestari, Lela Mukmilah Yuningsi, dan Salih Muharam (2022)	Hidrogel Superabsorben Berbasis Natrium Alginat-Bentonit sebagai Pelapis Pupuk Lepas Lambat	Penelitian dilakukan di Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sukabumi, Jawa Barat, Indonesia	<p>A. Pendekatan: Penelitian ini bersifat eksperimental laboratorium.</p> <p>B. Analisis yang dilakukan:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Sintesis hidrogel superabsorben berbasis natrium alginat dan bentonit dengan metode crosslinking menggunakan CaCl_2 dan epiklorohidrin (ECH). 2. Karakterisasi struktur dan morfologi menggunakan FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) dan SEM-EDS (Scanning Electron Microscopy-Energy 	<p>Hasil penelitian menunjukkan bahwa hidrogel natrium alginat-bentonit berhasil disintesis dengan rasio pembengkakan yang sangat tinggi, yaitu 2.894,30% untuk sampel BAC1 dan 3.428,52% untuk sampel BAC2. Penambahan epiklorohidrin terbukti meningkatkan kapasitas pembengkakan serta kemampuan menyimpan air dan pupuk. Kemampuan hidrogel dalam menyimpan pupuk juga sangat baik, di mana BAC2 mampu menyerap hingga 99,80% urea dari larutan, sedangkan BAC1 menyerap sebesar 93,61%. Dalam uji pelepasan, hidrogel menunjukkan bahwa hanya sekitar 4,67% urea yang terlepas dalam waktu 180 menit, menunjukkan</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Crosslinking ionik</i> menggunakan CaCl_2 dan penambahan epiklorohidrin (ECH) sedangkan penelitian ini menggunakan $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ sebagai <i>Crosslinking ionic</i>. 2. Target pupuk urea sedangkan penelitian menggunakan pupuk NPK (16:16:16) 3. menggunakan bentonit untuk memperkuat struktur 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sebagai pelapis pupuk lepas lambat (<i>slow-release fertilizer</i>) 2. Bahan utama yang digunakan merupakan natrium alginat

NO.	Nama Peneliti/Tahun	Judul	Tempat Penelitian	Pendekatan & Analisis	Hasil Penelitian	Perbedaan	Persamaan
				<p>Dispersive X-Ray Spectroscopy).</p> <p>3. Uji swelling untuk mengukur kapasitas penyerapan air.</p> <p>4. Uji pelepasan urea pada berbagai pH dan waktu menggunakan spektrofotometri UV-Vis.</p> <p>5. Analisis mekanisme pelepasan berdasarkan model Korsmeyer-Peppas.</p>	<p>karakteristik pelepasan yang sangat lambat. Selain itu, perubahan pH larutan (baik asam maupun basa) tidak mempengaruhi laju pelepasan urea secara signifikan, sehingga hidrogel ini dinilai stabil dalam berbagai kondisi lingkungan. Berdasarkan analisis mekanisme pelepasan menggunakan model Korsmeyer-Peppas, diketahui bahwa pelepasan urea mengikuti mekanisme difusi Fickian.</p>		
2.	Ali Ridlo, Sri Sedjati, Endang Supriyantini, Dinda Ayuniar Zanjabila (2023)	Pengembangan dan Karakterisasi Bioplastik Karagenan-Alginat-Gliserol dengan Perlakuan Kalsium Klorida	Karimunjawa, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah	<p>Penelitian ini melibatkan ekstraksi rumput laut Sargassum sp. dan K. alvarezii, serta penggunaan plastisizer gliserol dan crosslinker CaCl₂ untuk meningkatkan sifat fisiko-kimia bioplastik alginat-karagenan. Hasil</p>	<p>Hasil penelitian menunjukkan bahwa perendaman dalam larutan CaCl₂ meningkatkan secara signifikan ($p < 0,05$) kuat tarik, ketahanan air, dan opacity, tetapi menurunkan ketebalan, elongasi, dan biodegradabilitas bioplastik alginat-</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ekstraksi rumput laut Sargassum sp. dan K. alvarezii. 2. Menggunakan Karagenan-Alginat-Gliserol 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Perendaman dalam larutan CaCl₂ 2. Menggunakan natrium alginat

NO.	Nama Peneliti/Tahun	Judul	Tempat Penelitian	Pendekatan & Analisis	Hasil Penelitian	Perbedaan	Persamaan
				penelitian menunjukkan bahwa perendaman dalam larutan CaCl ₂ meningkatkan secara signifikan ($p < 0,05$) kuat tarik, ketahanan air, dan opacity, tetapi menurunkan ketebalan, elongasi, dan biodegradabilitas bioplastic	karagenan-gliserosol. Ketebalan dan kuat tarik bioplastic yang dihasilkan telah memenuhi Japanese Industrial Standard.		
3.	Mahrus Ali, Nurlina, Yeni Ika Pratiwi (2021)	PENGARUH NPK TERHADAP PERTUMBUHAN BAYAM HIJAU (<i>Amaranthus tricolor</i>)	Penelitian dilakukan di Kebun Percobaan Fakultas Pertanian, Universitas Merdeka Surabaya	A. Pendekatan: Eksperimen faktorial dengan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK). B. Analisis yang dilakukan: 1. Pengaruh pemberian berbagai dosis pupuk NPK terhadap pertumbuhan bayam hijau (<i>Amaranthus tricolor</i>). 2. Parameter yang diukur meliputi: a. Tinggi tanaman b. Jumlah daun	A. Tinggi tanaman meningkat secara nyata pada 20 dan 30 hari setelah tanam dengan perlakuan NPK. B. Jumlah daun meningkat secara nyata pada 10 dan 20 hari setelah tanam, tetapi tidak berbeda nyata pada 30 hari. C. Berat kotor per polybag tertinggi diperoleh pada perlakuan P3 (2,7gram NPK/polybag) sebesar 223,41 gram. D. Berat kotor dan berat bersih per tanaman	1. Langsung memberikan NPK ke media tanam tanpa menggunakan sistem hidrogel. 2. Menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK)	1. Menggunakan tanaman bayam sebagai objek penelitian. 2. Fokus pada peningkatan pertumbuhan tanaman. 3. Menggunakan pengamatan parameter pertumbuhan

NO.	Nama Peneliti/Tahun	Judul	Tempat Penelitian	Pendekatan & Analisis	Hasil Penelitian	Perbedaan	Persamaan
				c. Berat kotor per polybag d. Berat kotor per tanaman e. Berat bersih per tanaman f. Data dianalisis dengan uji statistik BNT 5%.	tertinggi pada perlakuan P6 (5,4 gram NPK/polybag). E. Perlakuan NPK secara keseluruhan memberikan pengaruh nyata terhadap semua parameter pertumbuhan.		

Penelitian yang dilakukan oleh Lestari *et al.*, (2022) berfokus pada pengembangan hidrogel superabsorben berbasis natrium alginat dan bentonit sebagai pelapis pupuk lepas lambat. Pendekatan yang digunakan adalah eksperimen laboratorium dengan berbagai analisis, seperti sintesis hidrogel menggunakan crosslinking CaCl_2 dan epiklorohidrin, serta uji kapasitas penyerapan air dan pelepasan urea. Hasilnya menunjukkan bahwa hidrogel yang disintesis memiliki pembengkakan yang sangat tinggi dan mampu menyerap pupuk urea dengan efisiensi yang baik, serta melepaskan urea secara perlahan. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan pelapis pupuk yang dapat bekerja secara efisien dalam kondisi lingkungan yang bervariasi, akan tetapi belum diketahui bagaimana formulasi hidrogel berbasis natrium alginat akan berinteraksi dengan pupuk NPK (16:16:16) dan memengaruhi pertumbuhan tanaman secara langsung.

Ridlo *et al.*, (2023) melakukan penelitian yang lebih fokus pada pengembangan bioplastik berbahan dasar karagenan, alginat, dan gliserol dengan perlakuan kalsium klorida (CaCl_2) untuk meningkatkan sifat fisiko-kimia dari bioplastik tersebut. Dalam penelitiannya, perendaman bioplastik dalam larutan CaCl_2 meningkatkan sifat kuat tarik, ketahanan air, dan opacity, meskipun mengurangi ketebalan dan elongasi, tetapi belum terdapat kajian lebih lanjut tentang bagaimana perpaduan alginat dengan peran CaCl_2 sebagai crosslinker dapat dimanfaatkan dalam formulasi hidrogel pupuk untuk tanaman.

Sementara itu, M. Ali *et al.*, (2021) melakukan penelitian yang lebih terfokus pada pemberian pupuk NPK pada pertumbuhan tanaman bayam hijau (*Amaranthus tricolor*). Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen faktorial dengan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dan mengukur berbagai parameter pertumbuhan tanaman. Hasilnya menunjukkan bahwa pemberian pupuk NPK secara signifikan meningkatkan pertumbuhan tanaman dalam hal tinggi tanaman, jumlah daun, dan berat kotor tanaman. Perlakuan dengan dosis NPK tertentu juga memberikan hasil terbaik dalam peningkatan berat kotor per tanaman. Penelitian ini memberikan wawasan tentang pengaruh langsung pemberian pupuk terhadap pertumbuhan tanaman yang dapat diaplikasikan dalam praktik pertanian. Meskipun

penelitian ini relevan dalam konteks jenis pupuk dan objek tanam, metode aplikasi pupuk dilakukan secara langsung ke media tanam tanpa inovasi dalam sistem pelepasan pupuk. Hal ini membuka ruang untuk menguji efektivitas pupuk NPK jika diformulasikan dalam bentuk hidrogel berbasis bahan alami seperti natrium alginat dan karagenan, serta melihat pengaruhnya terhadap (*Amaranthus hybridus* L.)

Ketiga penelitian ini memiliki kesamaan dalam penggunaan bahan alami seperti natrium alginat, meskipun dengan fokus yang berbeda, yakni pada hidrogel untuk pelapis pupuk, bioplastik, dan pertumbuhan tanaman. Perbedaan utama terletak pada metode dan tujuan penelitian, seperti penggunaan crosslinker atau perlakuan berbeda pada material, serta objek penelitian yang berbeda seperti tanaman bayam, bioplastik, dan pupuk. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki novelty dengan menggabungkan bahan alami seperti natrium alginat untuk memformulasi hidrogel pupuk NPK menggunakan metode gelasi ionotropik eksternal, serta menguji secara langsung pengaruhnya terhadap parameter pertumbuhan tanaman bayam (*Amaranthus hybridus* L.). Hingga saat ini, belum ada penelitian yang secara khusus mengeksplorasi pengaruh kombinasi tersebut terhadap tanaman secara langsung di media tanam, menjadikannya sebagai celah ilmiah yang penting untuk diteliti.

I. Kerangka Pemikiran

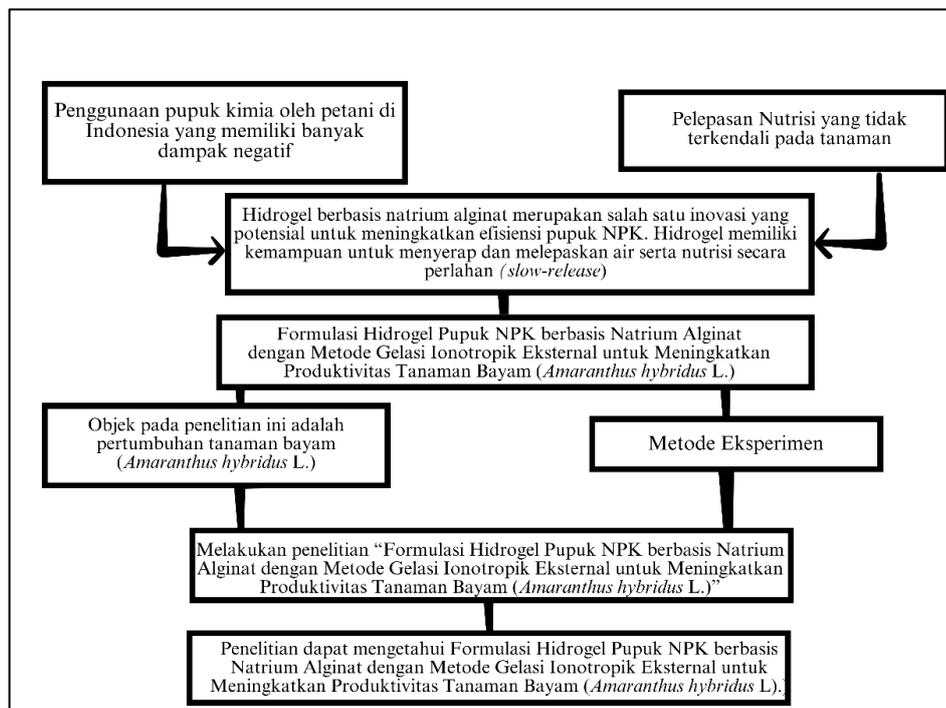
Tanaman bayam merupakan salah satu komoditas agribisnis yang memerlukan nutrisi dalam jumlah cukup untuk mendukung pertumbuhan dan produksinya. Nutrisi utama yang dibutuhkan tanaman, terutama makronutrien seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) atau yang dikenal sebagai pupuk NPK, memiliki peran penting dalam proses metabolisme, fotosintesis, dan pembentukan jaringan tanaman. Pengaruh pupuk NPK sangat signifikan terhadap peningkatan pertumbuhan dan produktivitas tanaman bayam, mulai dari fase vegetatif hingga pembentukan hasil panen.

Namun, dalam praktik pertanian, penyerapan NPK oleh tanaman sering kali kurang efisien karena pupuk konvensional cenderung mengalami pelepasan yang terlalu cepat. Akibatnya, sebagian besar nutrisi dapat tercuci atau menguap sebelum

benar-benar diserap oleh tanaman, sehingga menyebabkan pemborosan dan mengurangi efektivitas pemupukan. Oleh karena itu, diperlukan inovasi dalam formulasi pupuk yang dapat mengontrol laju pelepasan nutrisi agar lebih sesuai dengan kebutuhan tanaman.

Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah penggunaan hidrogel sebagai sistem pelepasan terkendali untuk pupuk NPK. Hidrogel merupakan material berbasis polimer yang memiliki kemampuan menyerap dan melepaskan air serta zat terlarut secara perlahan. Dalam penelitian ini, hidrogel pupuk NPK diformulasikan dengan menggunakan natrium alginat sebagai bahan utama. Natrium alginat dipilih karena sifatnya yang ramah lingkungan, mudah diperoleh, serta mampu membentuk struktur hidrogel yang stabil. Proses formulasi ini dilakukan dengan metode gelasi ionotropik eksternal, di mana interaksi ionik antara natrium alginat dan ion-ion tertentu membentuk jaringan hidrogel yang dapat mengontrol pelepasan pupuk secara bertahap. Dengan demikian, pupuk yang dilepaskan lebih sesuai dengan kebutuhan tanaman, sehingga meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi serta mendukung pertumbuhan optimal tanaman bayam.

Kerangka penelitian dalam penelitian ini disajikan sebagai berikut:



Gambar 2.2 Kerangka Pemikiran

J. Asumsi Dan Hipotesis Penelitian

1. Asumsi

- a. Pupuk NPK mampu memberikan nutrisi sehingga mendukung pertumbuhan optimal pada tanaman.
- b. Konsentrasi pupuk NPK yang berbeda dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman bayam.

2. Hipotesis

H₀ : Tidak adanya pengaruh hidrogel pupuk NPK berbasis Natrium Alginat dengan metode gelas ionotropik eksternal terhadap pertumbuhan tanaman bayam.

H₁ : Adanya pengaruh Hidrogel pupuk NPK berbasis Natrium Alginat dengan metode gelas ionotropik eksternal terhadap pertumbuhan tanaman bayam.

K. Analisis Pembelajaran

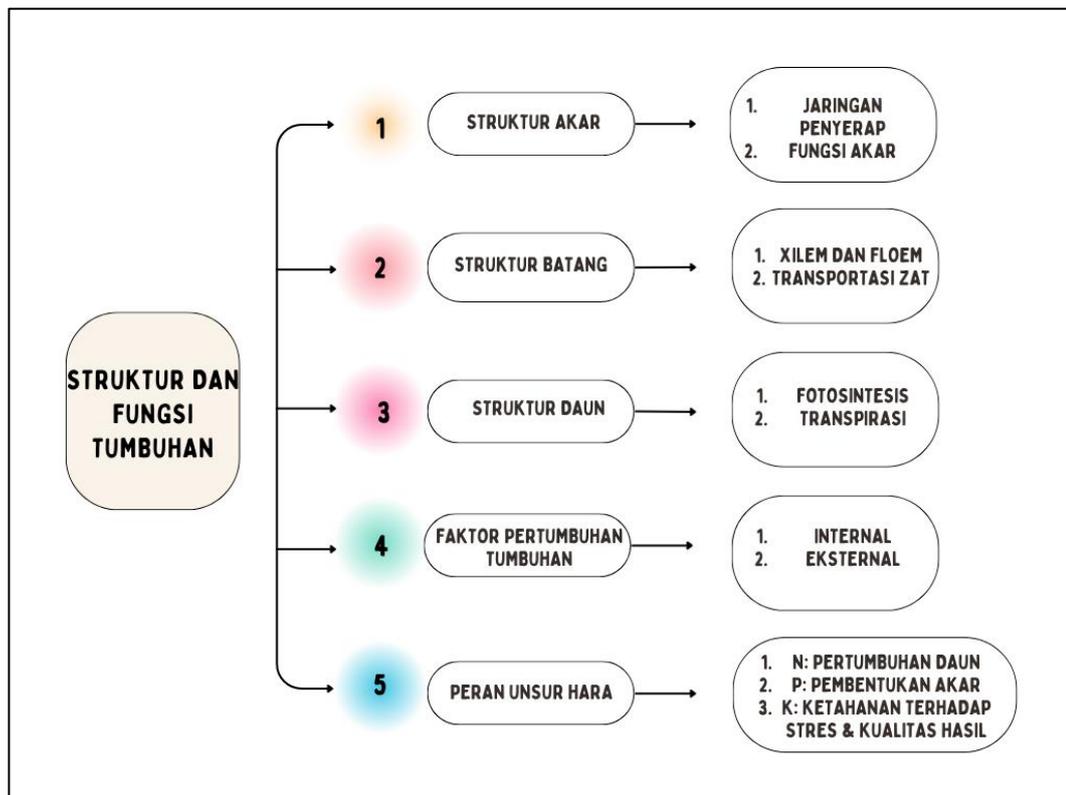
Penelitian ini sangat relevan untuk dikaitkan dengan materi struktur dan fungsi jaringan tumbuhan dalam pembelajaran Biologi SMA Kelas X, karena mempelajari bagaimana struktur tumbuhan merespons terhadap faktor eksternal seperti pemberian pupuk. Pupuk hidrogel yang diformulasikan dalam penelitian dapat memberikan contoh nyata bagaimana struktur seperti akar menyerap nutrisi, batang mendistribusikan hasil penyerapan, dan daun menunjukkan respon pertumbuhan. Dengan menghubungkan materi ini ke praktik ilmiah, siswa akan lebih mudah memahami keterkaitan antara konsep biologis dengan penerapannya dalam pertanian berkelanjutan dan inovasi teknologi. Hal ini juga menjadi jembatan untuk memperkenalkan prinsip-prinsip bioteknologi sederhana sejak di jenjang sekolah menengah.

1. Keluasan dan Kedalam Materi

Materi struktur dan fungsi tumbuhan mencakup berbagai aspek penting seperti jaringan penyusun organ tumbuhan, fungsi fisiologis akar, batang, dan daun, serta faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Penelitian skripsi ini memperkaya pemahaman siswa mengenai pengaruh nutrisi terhadap pertumbuhan tanaman secara nyata. Selain memahami teori tentang struktur dan jaringan

tumbuhan, siswa diajak menelaah bagaimana struktur tersebut bekerja dalam kondisi nyata saat diberi perlakuan berupa pupuk hidrogel.

Kedalaman materi juga ditingkatkan melalui pengenalan unsur hara makro seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), yang masing-masing berperan dalam mendukung fungsi bagian tumbuhan tertentu. Siswa akan memahami bahwa struktur yang dipelajari bukan hanya untuk dikenali bentuknya, tetapi memiliki peran aktif dalam mendukung kehidupan tumbuhan, yang dapat dimaksimalkan dengan intervensi manusia secara bijak dan ilmiah. Keseluruhan keterkaitan konsep tersebut dapat dilihat secara visual melalui peta konsep "Struktur dan Fungsi Tumbuhan" yang telah disiapkan untuk mendukung pemahaman siswa terhadap keterhubungan antar submateri.



Gambar 2.3 Peta Konsep

2. Karakteristik dan Kedalaman Materi

Materi ini bersifat konseptual, namun aplikatif. Siswa belajar mengenai bagian-bagian tumbuhan dan fungsinya secara mendalam, serta bagaimana struktur tersebut dapat menunjukkan perubahan saat menerima perlakuan seperti

penambahan pupuk. Penelitian ini membuka ruang bagi siswa untuk berpikir kritis dan menyusun pemahaman baru berdasarkan data dan pengamatan. Ini juga mengajarkan siswa bahwa ilmu biologi tidak hanya sebatas menghafal bagian-bagian tumbuhan, tetapi juga bagaimana struktur itu berfungsi dan dipengaruhi oleh lingkungan.

Karakteristik ini sangat mendukung penguatan profil pelajar Pancasila seperti berpikir kritis, berorientasi pada solusi, dan kreatif dalam menghubungkan teori dengan praktik.

3. Perubahan Perilaku Hasil Belajar

Melalui integrasi materi dan hasil penelitian, siswa diharapkan mengalami perubahan perilaku dalam tiga ranah. Pada ranah kognitif, siswa dapat memahami struktur dan fungsi organ tumbuhan serta hubungannya dengan pemupukan. Ranah afektif terlihat dari munculnya sikap peduli terhadap lingkungan dan minat terhadap dunia pertanian dan penelitian. Pada ranah psikomotorik, siswa memiliki pengalaman langsung membandingkan pertumbuhan tanaman dengan dan tanpa pupuk hidrogel, serta dapat mengamati dan mendokumentasikan hasil pengamatan mereka dengan cara ilmiah. Dengan melihat hasil nyata pertumbuhan tanaman bayam yang berbeda karena pengaruh perlakuan, siswa belajar berpikir berdasarkan bukti dan membentuk sikap ilmiah dalam menilai suatu fenomena.

4. Bahan dan Media Pembelajaran

Bahan dan media pembelajaran yang digunakan dalam kegiatan ini disesuaikan untuk menunjang pemahaman konsep secara visual dan praktis. Guru menggunakan video dokumentasi yang menampilkan perbandingan pertumbuhan tanaman bayam yang diberi perlakuan pupuk hidrogel NPK dan yang tidak. Video ini berfungsi untuk memancing rasa ingin tahu dan membantu siswa membandingkan hasil nyata dari dua kondisi perlakuan yang berbeda.

Selain video, guru juga menyiapkan data tabel hasil pengamatan, gambar ilustratif bagian tumbuhan (akar, batang, daun), dan peta konsep struktur serta fungsi tumbuhan yang relevan dengan submateri. Bahan tambahan seperti LKPD

(Lembar Kerja Peserta Didik) digunakan untuk membimbing siswa selama proses pengamatan dan analisis data, serta sebagai alat dokumentasi hasil belajar.

Jika memungkinkan, guru juga dapat menghadirkan contoh fisik tanaman bayam dan bentuk hidrogel secara langsung sebagai alat bantu visual nyata. Media digital seperti proyektor, laptop, dan gawai siswa digunakan untuk menayangkan video dan membuka materi visual pendukung lainnya secara interaktif. Perpaduan media ini diharapkan mampu menstimulus berbagai gaya belajar siswa, baik visual, audio, maupun kinestetik.

5. Strategi Pembelajaran

Strategi pembelajaran yang digunakan bersifat inkuiri terbimbing berbasis video dan diskusi kolaboratif. Siswa diajak mengamati video perbandingan pertumbuhan tanaman bayam yang diberi dan tidak diberi pupuk hidrogel, kemudian diminta menganalisis perbedaan pertumbuhan yang tampak, seperti tinggi tanaman, warna daun, dan jumlah daun. Hasil pengamatan dituangkan dalam lembar kerja dan didiskusikan dalam kelompok kecil untuk merumuskan hubungan antara unsur hara dalam pupuk dengan fungsi bagian tumbuhan.

Selanjutnya, siswa akan diberi data hasil penelitian sederhana dalam bentuk tabel untuk dianalisis lebih lanjut. Guru memfasilitasi diskusi kelas untuk menyamakan persepsi dan menarik kesimpulan ilmiah berdasarkan bukti yang tersedia. Pendekatan ini juga menekankan pada keterampilan argumentasi ilmiah, kerja sama, dan pengambilan keputusan berbasis data.

Sebagai bagian dari strategi pembelajaran berbasis inkuiri, guru juga dapat memfasilitasi praktik sederhana yang memungkinkan siswa menanam bayam dengan dua perlakuan berbeda: tanpa pupuk dan dengan pupuk hidrogel. Praktik ini dapat dilakukan di lingkungan sekolah (jika memungkinkan) atau sebagai tugas rumah dengan pemantauan pertumbuhan tanaman selama beberapa hari. Siswa diminta mencatat tinggi tanaman, jumlah daun, dan warna daun setiap dua hari, lalu membandingkan hasilnya dalam bentuk grafik atau tabel. Pengalaman langsung ini akan memperkuat pemahaman mereka tentang pengaruh nutrisi terhadap fungsi fisiologis tumbuhan, pada keterampilan argumentasi ilmiah, kerja sama, dan

pengambilan keputusan berbasis data. Strategi ini dapat diperkuat dengan pemberian tugas membuat infografis atau poster ilmiah dari hasil pembelajaran untuk memperkuat pemahaman dan keterampilan komunikasi visual siswa.

6. Sistem Evaluasi

Evaluasi pembelajaran dilakukan secara menyeluruh meliputi aspek kognitif, afektif, dan psikomotorik. Evaluasi kognitif dilakukan melalui tes uraian singkat atau pertanyaan analisis mengenai struktur dan fungsi tumbuhan serta peran unsur hara dalam pertumbuhan. Evaluasi afektif dilakukan melalui observasi sikap selama pembelajaran, seperti rasa ingin tahu, keaktifan dalam diskusi, dan tanggung jawab. Evaluasi psikomotorik dilakukan melalui penilaian terhadap cara siswa mencatat hasil pengamatan, mengisi tabel perbandingan, menyusun kesimpulan, serta membuat produk seperti poster ilmiah atau laporan hasil diskusi. Sistem evaluasi ini dirancang untuk menggambarkan capaian belajar secara utuh dan bermakna.