

BAB II

Tinjauan tentang Unsur Hara, Pupuk dan Pemupukan, Hidrogel, Metode Gelasi Ionotropik Eksternal, Natrium Alginat, Tanaman Kangkung, Faktor Klimatik Pertumbuhan Tanaman Kangkung

A. Unsur Hara

Nutrisi bagi tanaman dikenal sebagai unsur hara. Unsur hara merupakan zat kimia yang sangat penting bagi tanaman karena berperan dalam menunjang pertumbuhan, perkembangan, serta proses fisiologis lainnya, seperti fotosintesis, respirasi, dan sintesis protein. Tanaman memperoleh unsur hara baik dari dalam tanah maupun dari input luar seperti pupuk.

Nutrisi tanaman dibedakan menjadi unsur esensial dan non esensial. Kriteria esensial berdasarkan beberapa aspek yaitu:

- a. Unsur tersebut harus dibutuhkan oleh tanaman untuk menyelesaikan siklus hidupnya;
- b. Tidak ada unsur lain yang bisa menggantikan unsur tersebut; dan
- c. Semua tanaman membutuhkan unsur tersebut.

Nutrisi esensial pada tanaman dibedakan menjadi 3 macam berdasarkan tingkat kebutuhan tanaman akan unsur tersebut yaitu: (1) Nutrisi dasar, sangat penting dalam pembentukan senyawa organik melalui proses fotosintesis dan respirasi. sekitar 96% dari total bahan kering tanaman dan secara umum tidak terjadi kekurangan unsur-unsur dasar tersebut bagi tanaman, terdiri atas: karbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O); (2) Makronutrien, merupakan unsur hara esensial yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang lebih besar (lebih dari 0,01% berat kering tanaman), terdiri atas: nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan sulfur (S). Nitrogen berperan penting dalam sintesis protein dan klorofil, fosfor dibutuhkan dalam pembentukan energi (ATP) dan sistem perakaran, sedangkan kalium berfungsi dalam pengaturan tekanan osmotik dan aktivasi enzim. Kalsium, magnesium, dan sulfur juga memiliki peran masing-masing dalam pembentukan jaringan struktural dan proses metabolisme tanaman; serta (3) Mikronutrien, merupakan unsur hara esensial yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang lebih kecil (kurang dari 0,01% berat kering tanaman) memiliki fungsi penting dalam aktivitas enzimatik, pembentukan hormon, dan transportasi

nutrien di dalam tanaman, terdiri atas: besi (Fe), seng (Zn), boron (B), tembaga (Cu), mangan (Mn), molibdenum (Mo), dan klorin (Cl) (Inaya *et al.* , 2021, hlm. 94)

Nitrogen (N) merupakan unsur hara yang sangat dibutuhkan tanaman dalam jumlah besar, sehingga digolongkan sebagai unsur hara makro primer. Kandungan nitrogen biasanya berkisar 1–5% dari total berat tanaman. Peran nitrogen sangat penting dalam pembentukan asam amino (protein), asam nukleat, nukleotida, dan klorofil, yang membuat tanaman tampak lebih hijau, mendukung pertumbuhan yang lebih cepat (baik pada tinggi, jumlah tunas, maupun cabang), serta meningkatkan kadar protein pada hasil panen. (Andriani *et al.* , 2023, hlm. 17).

Fosfor (P) termasuk unsur hara makro primer yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah besar untuk mendukung pertumbuhan dan produksi. Tanaman menyerap fosfor dari tanah dalam bentuk ion H_2PO_4^- . Fosfor berperan penting dalam penyimpanan dan transfer energi yang diperlukan untuk berbagai proses metabolisme tanaman. Kehadiran fosfor membantu merangsang perkembangan akar dan pembentukan sistem perakaran yang kuat, mendukung pembentukan bunga serta pematangan buah atau biji, sehingga mempercepat waktu panen. Selain itu, fosfor juga berkontribusi dalam pembentukan serta kestabilan dinding sel, yang membuat tanaman lebih tahan terhadap serangan hama dan penyakit (Andriani *et al.* , 2023, hlm. 17).

Kalium (K) termasuk unsur hara makro primer yang, bersama nitrogen dan fosfor, dibutuhkan tanaman dalam jumlah besar. Tanaman menyerap kalium dari tanah dalam bentuk ion K^+ . Kandungan kalium di jaringan tanaman berkisar antara 0,5–6% dari berat kering. Kalium bermanfaat sebagai pengaktivasi enzim, mendukung penyerapan air serta unsur hara dari tanah, dan memfasilitasi pengangkutan hasil asimilasi dari daun ke bagian lain tanaman (Andriani *et al.* , 2023, hlm. 18).

B. Pupuk dan Pemupukan

Pupuk merupakan bahan yang diberikan ke tanah atau tanaman untuk menambah kandungan unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam menunjang

pertumbuhan dan hasil produksi. Berdasarkan asal dan cara pembuatannya, pupuk dibedakan menjadi dua jenis utama, yaitu:

1. Pupuk Organik

Pupuk organik berasal dari bahan-bahan alami, seperti sisa tanaman, kotoran hewan, dan limbah organik lainnya. Contohnya meliputi kompos, pupuk kandang, pupuk hijau, dan pupuk bokashi. Pupuk organik memiliki keunggulan dalam memperbaiki struktur tanah, meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah, dan menjaga kesuburan tanah secara berkelanjutan. Namun, kandungan unsur hara dalam pupuk organik biasanya rendah dan pelepasannya berlangsung lambat.

2. Pupuk Anorganik (Kimia)

Pupuk anorganik diproduksi secara industri dengan kandungan hara spesifik dan konsentrasi tinggi. Contoh pupuk anorganik antara lain urea (sumber N), SP-36 (sumber P), dan KCl (sumber K). Keunggulannya adalah cepat diserap tanaman dan memberikan efek pertumbuhan yang cepat. Namun, penggunaan berlebih dapat menyebabkan akumulasi residu kimia, pencemaran lingkungan, dan degradasi tanah.

3. Pupuk NPK

Pupuk NPK adalah pupuk majemuk yang mengandung tiga unsur hara utama, yaitu nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Ketiga unsur ini merupakan makronutrien penting yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah besar untuk mendukung pertumbuhan optimal dan hasil produksi yang maksimal.

Nitrogen (N) berperan dalam pembentukan daun dan jaringan tanaman melalui sintesis protein dan klorofil. Unsur ini sangat penting pada fase vegetatif untuk mendorong pertumbuhan daun dan batang. Fosfor (P) berfungsi dalam pembentukan akar, pembungaan, dan pembentukan energi melalui ATP (adenosin trifosfat). Fosfor membantu tanaman dalam proses reproduksi dan perkembangan sistem perakaran yang kuat. Kalium (K) meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres abiotik seperti kekeringan dan serangan hama, serta mengatur keseimbangan air dan aktivitas enzim dalam tanaman.

Pupuk NPK dengan rasio 16:16:16 adalah pupuk majemuk yang mengandung nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) masing-masing sebanyak 16%. Rasio ini

tergolong seimbang, artinya ketiga unsur hara tersebut tersedia dalam proporsi yang sama sehingga cocok untuk tanaman yang membutuhkan suplai nutrisi merata pada seluruh fase pertumbuhannya. Pupuk jenis ini efektif untuk merangsang pertumbuhan vegetatif, pembentukan akar, serta ketahanan tanaman terhadap stres lingkungan.

Pupuk NPK biasanya diformulasikan dalam berbagai rasio sesuai kebutuhan tanaman dan kondisi lahan. Penggunaan pupuk NPK yang tepat dosis, waktu, dan cara aplikasinya dapat meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara oleh tanaman dan mengoptimalkan hasil panen.

Namun, penggunaan pupuk NPK secara berlebihan juga dapat menyebabkan masalah lingkungan, seperti pencemaran air tanah dan gangguan keseimbangan mikroorganisme tanah. Oleh karena itu, pemupukan NPK perlu dikombinasikan dengan praktik pengelolaan tanah yang baik dan, bila memungkinkan, dengan pupuk organik untuk menjaga keberlanjutan produksi pertanian.

4. Teknik Pemupukan

Pemupukan adalah proses aplikasi pupuk yang harus memperhatikan prinsip 4T:

- a. Tepat jenis: Pemilihan pupuk sesuai kebutuhan hara tanaman.
- b. Tepat dosis: Jumlah pupuk yang diberikan harus sesuai dengan kebutuhan tanaman dan kondisi lahan.
- c. Tepat waktu: Pupuk diberikan pada fase pertumbuhan tanaman yang paling membutuhkan hara tertentu, misalnya nitrogen pada fase vegetatif.
- d. Tepat cara: Metode aplikasi pupuk bisa melalui penaburan, kocoran, semprot (foliar), atau sistem fertigasi.

5. Efisiensi Pemupukan

Efisiensi pemupukan dipengaruhi oleh jenis tanah, pH tanah, ketersediaan air, suhu lingkungan, serta metode aplikasi. Misalnya, pemupukan nitrogen di tanah dengan curah hujan tinggi rentan mengalami pencucian (leaching), sehingga perlu diimbangi dengan teknik slow-release atau pupuk terkapsulasi. Pemupukan yang efisien dan ramah lingkungan semakin menjadi perhatian, sehingga inovasi seperti penggunaan hidrogel dan pupuk lepas lambat berbasis polimer alami (misalnya

natrium alginat) sangat potensial dikembangkan dalam sistem pertanian berkelanjutan.

C. Hidrogel

Secara umum tanaman mampu beradaptasi pada pH rendah dalam menyerap NH_4^+ dan pada larutan pH tinggi dalam penyerapan NO_3 . Nutrisi diambil oleh tanaman melalui penyerapan langkah demi langkah. Dalam hal ini, pemanfaatan pupuk konvensional mungkin tidak efektif karena nutrisi lainnya yang tidak diserap dapat hilang karena pencucian, limpasan, emisi gas, dan fiksasi oleh tanah dan efek berikut, degradasi tanah, mengurangi kualitas air dan degradasi lingkungan dapat terjadi. Oleh karena itu, penggunaan pelepasan kontrol nutrisi dapat membantu memecahkan masalah tersebut. Pelepasan kontrol membuat nutrisi dilepaskan secara perlahan ke media diikuti oleh penyerapan nutrisi oleh tanaman tanpa ada limbah karena pencucian. Di sini, media yang dapat menyimpan dan melepaskan nutrisi dalam penyerapan nutrisi tanaman diperlukan (Suratman *et al.* , 2019, hlm. 1).

Hidrogel merupakan polimer dengan jaringan ikatan silang hidrofilik yang tersusun dalam bentuk tiga dimensi dan bersifat viskoelastik. Struktur fisik dan elastisitas yang dihasilkan dari ikatan silang ini memungkinkan hidrogel untuk mengembang atau mengerut. Perubahan volume hidrogel dapat terjadi secara signifikan bergantung pada kondisi lingkungan, seperti suhu, tekanan, jenis pelarut, kadar garam, serta pH, namun sifat struktural dasarnya tetap terjaga (Okay, 2009, hlm. 2). Hidrogel memiliki struktur yang sangat berpori, sehingga dapat menampung substrat di dalam matriks gel dan melepaskannya dengan laju yang ditentukan oleh koefisien difusi substrat melalui jaringan gel tersebut. Hidrogel sendiri dapat dibuat dari berbagai polimer yang larut dalam air, menghasilkan komposisi kimia dan sifat fisik yang beragam sesuai kebutuhan. (Dabbaghi *et al.* , 2021, hlm. 7).

D. Metode Gelasi Ionotropik Eksternal

Gelasi ionotropik eksternal merupakan metode yang efektif untuk enkapsulasi pupuk NPK (Nitrogen, Fosfor, Kalium), dengan memanfaatkan kemampuan natrium alginat membentuk gel stabil melalui interaksi ionik dengan ion kation

divalen, seperti kalsium (Ca^{2+}). Proses ini dimulai dengan melarutkan natrium alginat dalam air dan mencampurkannya dengan pupuk NPK. Campuran ini kemudian dijatuhkan ke dalam larutan ion kalsium, di mana ion Ca^{2+} berdifusi ke dalam larutan alginat, membentuk ikatan silang dengan gugus karboksilat dalam polimer. Ikatan silang ini menghasilkan matriks hidrogel tiga dimensi yang mengelilingi pupuk, membentuk butiran atau kapsul gel yang stabil. Proses ini berlangsung pada suhu ruang dan tidak memerlukan bahan kimia berbahaya, sehingga ramah lingkungan.

Natrium alginat merupakan bahan polimer alami yang sangat cocok untuk aplikasi ini karena memiliki sifat biokompatibel, biodegradable, dan mampu membentuk gel yang stabil dalam lingkungan berair. Dalam konteks enkapsulasi pupuk, natrium alginat bertindak sebagai matriks pelindung yang memperlambat pelepasan pupuk ke dalam tanah, sehingga meningkatkan efisiensi penggunaan nutrisi oleh tanaman. Matriks alginat ini juga mampu melindungi pupuk dari kehilangan akibat pencucian oleh air hujan (*leaching*) dan degradasi akibat mikroorganisme tanah, yang sering menjadi masalah pada pupuk konvensional. Dengan demikian, penggunaan natrium alginat dapat membantu meningkatkan efisiensi pupuk sekaligus mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

E. Natrium Alginat

Rumput laut coklat dari jenis *Sargassum* sp. merupakan tumbuhan perairan berwarna coklat dengan ukuran cukup besar, yang umumnya tumbuh menempel pada substrat dasar yang kokoh. Bagian atasnya tampak seperti semak dengan bentuk simetris bilateral atau radial, serta memiliki sisi yang menjadi titik pertumbuhan. Kebanyakan rumput laut ini masih tumbuh liar dan belum dimanfaatkan secara optimal. Pigmen pada rumput laut coklat memberi warna khas coklat dan berpotensi menghasilkan berbagai senyawa seperti algin atau alginat, laminarin, selulosa, fikoidan, dan manitol, yang kandungan dan komposisinya sangat dipengaruhi oleh spesies, fase pertumbuhan, serta kondisi lingkungannya.

Natrium alginat (Na-alginat) adalah polisakarida alami yang larut dalam air, dan memiliki fungsi sebagai pengental (pengikat air), pengemulsi, serta penstabil. Selain itu, Na-alginat dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan plastik,

sehingga sangat berpotensi dijadikan bioplastik yang ramah lingkungan dan dapat digunakan sebagai bahan dasar kemasan pangan yang mudah didaur ulang (Dewi *et al.* , 2017, hlm. 2).

Alginat adalah polisakarida yang diperoleh dari ganggang coklat. Senyawa ini tersusun atas dua monomer utama, yaitu α -L-asam guluronat (G) dan β -D-asam manuronat (M), yang tersusun dalam blok homopolimer (MM dan GG) maupun blok heteropolimer (MG). Alginat termasuk polimer alami yang harganya terjangkau, bersifat mudah terurai secara hayati (biodegradable), kompatibel dengan jaringan hidup (biocompatible), dan tidak beracun, sehingga sering dimanfaatkan tanpa menyebabkan kerusakan pada bahan yang dilapisinya (Rahmi Trisnawati *et al.* . 2014, hlm. 1).

F. Tanaman Kangkung

Kangkung darat (*Ipomea reptans* Poir.) memiliki daun yang berwarna hijau cerah dan batang yang lunak, dengan kemampuan tumbuh merambat atau tegak tergantung varietasnya. Kangkung darat (*Ipomea reptans* Poir.) memiliki kandungan gizi yang baik untuk kesehatan. Jenis sayuran ini kaya akan sumber gizi yakni seperti vitamin A, B, C, E, B1, protein, lemak, karbohidrat, dan mineral terutama zat besi. Selain itu, kangkung darat juga mengandung antioksidan dan kolagen. (Irawati & Salamah, 2013, hlm. 1).

Penelitian ini menggunakan tanaman kangkung untuk mengetahui pengaruh formulasi hidrogel pupuk NPK berbasis natrium alginat. Tanaman kangkung dipilih berdasarkan siklus hidup tanaman yang singkat dan laju pertumbuhan yang cepat. Selain itu, tanaman kangkung mampu merespon nutrisi yang diberikan dalam hal ini yaitu pupuk NPK.

1. Klasifikasi tanaman kangkung darat



Gambar 2. 1 Tanaman Kangkung (*Ipomoea reptans* Poir.)

(Sumber: pustakaflora.com)

Kingdom : Plantae
 Divisi : Tracheophyta
 Kelas : Magnoliopsida
 Ordo : Solanales
 Family : Convolvaceae
 Genus : *Ipomoea*
 Spesies : *Ipomoea reptans* Poir.

(Sumber: [Integrated Taxonomic Information System \(ITIS\).com](http://IntegratedTaxonomicInformationSystem.com))

G. Faktor Klimatik Pertumbuhan Tanaman Kangkung

Pertumbuhan tanaman kangkung sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor iklim yang mendukung kondisi lingkungan tumbuhnya. Faktor-faktor utama yang berperan penting antara lain suhu udara, intensitas cahaya, kelembapan udara, dan pH tanah. Suhu udara menjadi salah satu elemen krusial yang memengaruhi laju metabolisme dan aktivitas fisiologis tanaman kangkung. Suhu optimal untuk pertumbuhan kangkung berkisar antara 20 hingga 30°C, dengan batas toleransi minimal 15°C dan batas maksimal 35°C. Pada rentang optimal ini, proses fotosintesis dan pembentukan jaringan tanaman berlangsung secara maksimal. Suhu yang terlalu rendah (<15°C) menyebabkan perlambatan pertumbuhan dan meningkatkan risiko kerusakan akibat suhu dingin, sedangkan suhu terlalu tinggi (>35°C) menimbulkan stres panas yang menghambat pembentukan daun serta hasil panen (Musa *et al.*, 2020, hlm. 125).

Intensitas cahaya merupakan salah satu faktor klimatik penting yang secara langsung memengaruhi laju fotosintesis dan produktivitas tanaman kangkung (*Ipomoea reptans* Poir.). Kangkung termasuk tanaman C3 yang relatif adaptif terhadap intensitas cahaya rendah hingga sedang, terutama jika didukung suhu dan kelembapan optimal. Berdasarkan hasil kajian Trouwborst *et al.* (2010, hlm. 97) dan Mortensen & Gislerod (2014, hlm. 242), interval intensitas cahaya sekali pengukuran di rumah kaca yang masih dapat mendukung pertumbuhan kangkung berkisar antara 100 hingga 10.000 lux, dengan intensitas optimal pada kisaran 3.000–6.000 lux. Secara lebih rinci, intensitas cahaya di bawah 100 lux tergolong sangat rendah sehingga proses fotosintesis tidak mencukupi untuk mendukung pembentukan biomassa, menyebabkan risiko etiolasi dengan batang memanjang dan daun berukuran kecil. Sementara itu, intensitas 200–500 lux dikategorikan sebagai level sedang yang masih mampu mempertahankan fotosintesis dasar, meskipun laju pertumbuhan tanaman relatif lambat. Intensitas cahaya pada kisaran 3.000–6.000 lux mendukung fotosintesis yang efisien, sehingga menghasilkan pertumbuhan vegetatif yang cepat dan pembentukan biomassa yang optimal. Namun, jika intensitas melebihi 10.000 lux, terutama di rumah kaca dengan bahan atap sangat transparan, tanaman kangkung berisiko mengalami stres cahaya yang dapat merusak struktur kloroplas dan menurunkan produktivitas. Oleh karena itu, pengelolaan intensitas cahaya di rumah kaca menjadi penting untuk menjaga nilai intensitas berada dalam interval yang mendukung aktivitas fotosintesis dan pertumbuhan tanaman secara optimal (Basuki *et al.*, 2018, hlm. 49; Chikowo *et al.*, 2016, hlm. 88).

Kelembapan udara yang ideal bagi kangkung berkisar antara 70% hingga 90%, dengan batas minimal 60% dan maksimal 95%. Kelembapan ideal membantu tanaman mempertahankan kadar air dalam jaringan sehingga mengurangi risiko stres kekeringan, sedangkan kelembapan terlalu rendah (<60%) mempercepat kehilangan air melalui transpirasi, dan kelembapan terlalu tinggi (>95%) meningkatkan risiko penyakit (Nasrullah *et al.*, 2020, hlm. 22). Selain itu, kondisi tanah, terutama pH tanah, berperan penting. Kangkung tumbuh optimal pada tanah dengan pH 5,5 hingga 7,5, sedangkan pH <5 menyebabkan

tanah terlalu asam sehingga menghambat penyerapan unsur hara, dan pH >8 membuat tanah terlalu basa yang menurunkan ketersediaan unsur seperti Fe, Mn, dan Zn (Supriyadi *et al.*, 2017, hlm. 117). Dengan memahami dan mengelola faktor-faktor klimatik tersebut secara tepat, petani dapat menciptakan kondisi tumbuh yang optimal bagi kangkung sehingga meningkatkan produktivitas dan kualitas hasil panen.

H. Hasil Penelitian Terdahulu

Tabel 2. 1 Hasil Penelitian Terdahulu

No.	Nama Peneliti/Tahun	Judul	Pendekatan & Analisis	Hasil Penelitian	Perbedaan	Persamaan
1.	A Suratman, A D Oktaviani, N H Aprilita, A H Wibowo (2019).	<i>Alginate-chitosan hydrogel as controlled release of NPK macronutrient.</i>	Penelitian ini menggunakan metode pembuatan hidrogel alginat-kitosan dengan CaCl ₂ sebagai crosslinker untuk pelepasan terkontrol NPK. Karakterisasi dilakukan dengan FTIR, sedangkan pelepasan NPK	Hidrogel alginat-kitosan efektif mengontrol pelepasan NPK dengan mekanisme Non-Fickian dan Quasi-Fickian. Penambahan kitosan mengurangi pelepasan, sedangkan pH rendah meningkatkannya melalui kontrol	1. Untuk menguji hipotesis yang terdapat dalam penelitian ini dilakukan uji parameter pertumbuhan tanaman kangkung. 2. Tidak dilakukan kombinasi penyalut untuk	1. Bertujuan untuk meningkatkan efektivitas penyerapan pupuk NPK oleh tanaman. 2. Alginat sebagai bahan penyalut hidrogel. 3. Metode yang digunakan gelas ionotropic eksternal dengan menggunakan CaCl ₂ .

No.	Nama Peneliti/Tahun	Judul	Pendekatan & Analisis	Hasil Penelitian	Perbedaan	Persamaan
			<p>diukur menggunakan UV-Vis dan AAS. Optimasi rasio massa alginat-kitosan serta konsentrasi NPK dianalisis menggunakan model Korsmeyer-Peppas, yang menunjukkan mekanisme pelepasan Non-Fickian dan Quasi-Fickian.</p>	<p>pembengkakan dan difusi. Kesimpulannya, hidrogel ini dapat mengontrol pelepasan NPK secara optimal dengan rasio komposisi yang tepat serta dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti pH.</p>	<p>pembuatan hidrogel. 3. Untuk menguji hipotesis penelitian tidak digunakan uji pelepasan NPK.</p>	

No.	Nama Peneliti/Tahun	Judul	Pendekatan & Analisis	Hasil Penelitian	Perbedaan	Persamaan
2.	Reviana Indah, Dwi Suyatmo, Lukman Nulhakim (2022).	Kinetika <i>Slow-Released</i> Pupuk Urea Terenkapsulasi Dalam Alginat.	Penelitian ini menggunakan metode enkapsulasi pupuk urea dalam hidrogel alginat dengan CaCl ₂ sebagai crosslinker untuk menghasilkan sistem slow-release fertilizer. Karakterisasi dilakukan dengan pengukuran diameter butiran menggunakan	Penelitian ini menghasilkan butiran urea terenkapsulasi dalam alginat dengan diameter rata-rata 3,01 mm. Uji pelepasan menunjukkan bahwa urea masih dilepaskan setelah 30 menit, dengan konsentrasi urea dalam air meningkat seiring waktu. Analisis kinetika pelepasan	1. Untuk menguji hipotesis yang terdapat dalam penelitian ini dilakukan uji parameter pertumbuhan tanaman kangkung. 2. Untuk menguji hipotesis penelitian tidak dilakukan karakterisasi hidrogel.	1. Alginat sebagai bahan penyalut hidrogel. 2. Metode yang digunakan gelas ionotropik eksternal dengan menggunakan CaCl ₂ .

No.	Nama Peneliti/Tahun	Judul	Pendekatan & Analisis	Hasil Penelitian	Perbedaan	Persamaan
			mikroskop digital, sedangkan pelepasan urea dalam air diuji menggunakan spektrofotometer UV-Vis.	menggunakan MATLAB menunjukkan bahwa mekanisme pelepasan mengikuti model difusi Fickian, dengan difusivitas efektif (D_e) sebesar $5,2342 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ dan koefisien perpindahan massa (k_c) sebesar $1,9684 \times 10^{-6} \text{ m/s}$.		
3	Chalen Vito Nanda, Vega Kartika Sari,	Respon Pertumbuhan Tanaman	Penelitian menggunakan budidaya	Hasil penelitian menunjukkan dosis 4 g/polybag	Kedua penelitian sama-sama meneliti pengaruh dosis NPK	Penelitian terdahulu hanya menggunakan pemupukan

No.	Nama Peneliti/Tahun	Judul	Pendekatan & Analisis	Hasil Penelitian	Perbedaan	Persamaan
	Mohammad Nur Khozin (2022)	Kangkung (<i>Ipomoea Reptans</i> Poir) pada Berbagai Dosis Pupuk Npk	kangkung dalam polybag dengan perlakuan dosis pupuk NPK 0, 2, 4, dan 6 g per polybag. Parameter yang diamati adalah tinggi tanaman, jumlah daun, dan berat segar, dianalisis dengan ANOVA dan uji BNJ 5%. Pemupukan dilakukan secara konvensional	menghasilkan pertumbuhan kangkung terbaik pada semua parameter. Dosis lebih rendah menghasilkan pertumbuhan terhambat karena defisiensi hara, sedangkan dosis 6 g menyebabkan pertumbuhan menurun akibat overdosis.	pada kangkung dan menggunakan parameter tinggi dan jumlah daun. Keduanya menunjukkan dosis 4 g atau 4% sebagai dosis optimal.	konvensional, sedangkan penelitian ini memakai hidrogel natrium alginat sebagai media pelepas lambat.

No.	Nama Peneliti/Tahun	Judul	Pendekatan & Analisis	Hasil Penelitian	Perbedaan	Persamaan
			tanpa teknologi pelepas lambat.			

Penelitian yang dilakukan oleh Suratman *et al.* (2019) mengembangkan hidrogel berbasis alginat-kitosan dengan metode gelasi ionotropik eksternal menggunakan CaCl_2 sebagai crosslinker. Penelitian ini bertujuan menghasilkan pupuk NPK dengan pelepasan terkontrol (controlled release) melalui optimasi rasio alginat-kitosan. Karakterisasi hidrogel dilakukan menggunakan FTIR, sedangkan pelepasan NPK dianalisis dengan UV-Vis dan AAS. Model kinetika pelepasan Korsmeyer-Peppas menunjukkan mekanisme pelepasan Non-Fickian dan Quasi-Fickian. Hasilnya menunjukkan bahwa hidrogel alginat-kitosan efektif mengontrol pelepasan NPK, dengan komposisi tertentu yang mampu mempertahankan unsur hara dalam waktu lebih lama, meskipun penelitian ini tidak menguji efeknya secara langsung pada pertumbuhan tanaman seperti penelitian ini. Persamaan penelitian ini dengan Suratman *et al.* (2019) terletak pada tujuan meningkatkan efisiensi penyerapan NPK dan penggunaan natrium alginat sebagai bahan penyalut dengan metode gelasi ionotropik eksternal, namun perbedaannya, penelitian ini menguji efek formulasi hidrogel pada pertumbuhan tanaman kangkung, bukan hanya karakteristik pelepasan pupuk.

Penelitian Reviana Indah *et al.* (2022) meneliti kinetika pelepasan pupuk urea yang dienkapsulasi dalam hidrogel natrium alginat menggunakan CaCl_2 sebagai agen pengikat. Diameter butiran hidrogel diukur dengan mikroskop digital, sedangkan pelepasan urea diuji dengan spektrofotometer UV-Vis, dan kinetikanya dianalisis menggunakan MATLAB. Hasil penelitian menunjukkan butiran urea dengan diameter rata-rata 3,01 mm dan pelepasan urea yang berlangsung bertahap hingga setelah 30 menit. Mekanisme pelepasan mengikuti model difusi Fickian dengan nilai difusivitas efektif sebesar $5,2342 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$. Persamaannya dengan penelitian ini adalah penggunaan natrium alginat sebagai bahan hidrogel dan metode gelasi ionotropik eksternal, sedangkan perbedaannya, penelitian Reviana Indah *et al.* (2022) hanya berfokus pada karakteristik fisik dan kinetika pelepasan pupuk tanpa menguji efeknya pada parameter pertumbuhan tanaman seperti dalam penelitian ini.

Sementara itu, penelitian yang dilakukan oleh Nanda *et al.* (2022) berfokus pada pengaruh dosis pupuk NPK terhadap pertumbuhan kangkung dalam polybag

dengan dosis perlakuan 0, 2, 4, dan 6 g/polybag. Parameter yang diamati adalah tinggi tanaman, jumlah daun, dan berat segar, dengan analisis data menggunakan ANOVA dan uji BNJ 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dosis 4 g/polybag menghasilkan pertumbuhan terbaik, sedangkan dosis lebih rendah menghasilkan pertumbuhan yang terhambat dan dosis 6 g menyebabkan penurunan pertumbuhan akibat overdosis. Persamaan penelitian ini dengan penelitian Nanda *et al.* (2022) terletak pada parameter yang diamati dan kesimpulan bahwa dosis NPK 4 g atau setara 4% adalah dosis optimal untuk pertumbuhan kangkung. Namun perbedaannya, penelitian ini menggunakan hidrogel natrium alginat sebagai sistem pelepas lambat untuk meningkatkan efisiensi pupuk, sedangkan penelitian Nanda *et al.* (2022) hanya menggunakan pemupukan konvensional tanpa teknologi *slow-release*.

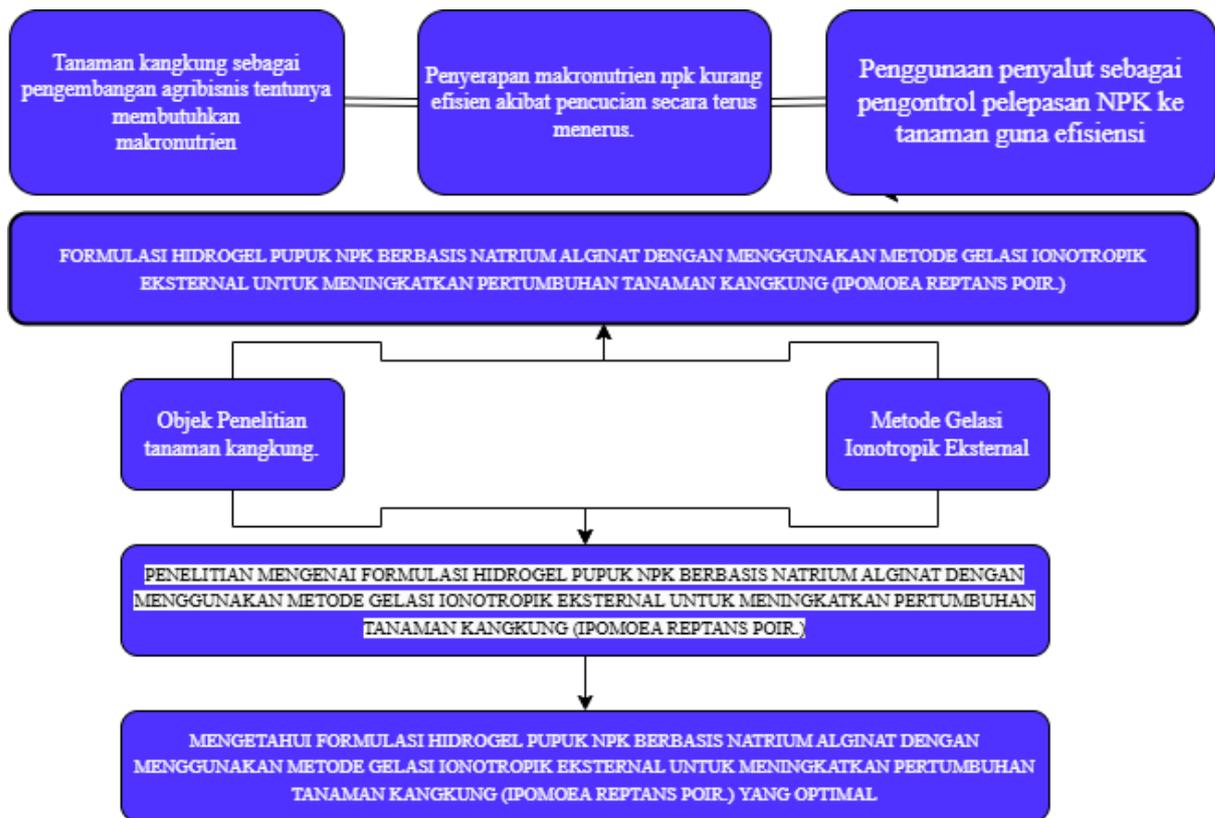
Berdasarkan penelitian sebelumnya, penelitian ini akan menganalisis pengaruh formulasi hidrogel pupuk NPK berbasis natrium alginat dengan metode gelasi ionotropik eksternal terhadap pertumbuhan tanaman kangkung (*Ipomoea reptans* Poir.). Pendekatan yang digunakan bersifat kuantitatif, dengan mengamati jumlah daun, tinggi tanaman, diameter batang, sebagai parameter uji. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat pengaruh formulasi hidrogel pupuk NPK berbasis natrium alginat dengan metode gelasi ionotropik eksternal terhadap pertumbuhan tanaman kangkung (*Ipomoea reptans* Poir.).

I. Kerangka Pemikiran

Tanaman kangkung membutuhkan unsur hara esensial untuk mendukung proses metabolisme, pertumbuhan, dan hasil panen yang optimal. Di antara ketiga kelompok unsur hara, yaitu nutrisi dasar, makronutrien, dan mikronutrien, makronutrien menjadi kelompok yang paling banyak dibutuhkan dalam proses fisiologis tanaman. Nitrogen (N) berperan penting dalam pembentukan klorofil dan pertumbuhan daun, fosfor (P) mendukung pembentukan akar dan energi metabolisme (ATP), serta kalium (K) berperan dalam pengaturan tekanan osmotik dan ketahanan tanaman terhadap cekaman lingkungan. Oleh karena itu, pemenuhan unsur NPK menjadi krusial dalam budidaya tanaman hortikultura seperti kangkung (*Ipomoea reptans* Poir.) yang pertumbuhannya cepat dan padat nutrisi.

Namun, dalam praktik lapangan, efisiensi pemupukan NPK sering kali rendah akibat tingginya risiko pencucian (leaching), terutama pada lahan dengan drainase tinggi atau curah hujan besar. Hal ini menyebabkan sebagian besar nutrisi terbuang sebelum sempat diserap oleh tanaman, mengakibatkan penurunan hasil, pemborosan biaya produksi, dan potensi pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan inovasi dalam formulasi pupuk yang dapat meningkatkan efisiensi serapan unsur hara. Salah satu solusinya adalah melalui teknologi pupuk lepas lambat dengan menggunakan bahan penyalut alami seperti natrium alginat yang mampu membentuk struktur hidrogel.

Natrium alginat memiliki kemampuan untuk membentuk gel melalui metode gelasi ionotropik eksternal, menciptakan sistem hidrogel yang mampu mengikat air dan nutrisi sekaligus mengontrol pelepasan NPK secara perlahan ke dalam tanah. Teknologi ini memungkinkan unsur hara tersedia sesuai kebutuhan tanaman, mengurangi risiko pencucian, dan memperpanjang efektivitas pupuk. Berdasarkan permasalahan dan solusi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merumuskan formulasi hidrogel pupuk NPK berbasis natrium alginat dengan metode gelasi ionotropik eksternal untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman kangkung secara optimal dan berkelanjutan.



Gambar 2. 2 Kerangka Pemikiran

J. Asumsi Dan Hipotesis Penelitian

a. Asumsi

Unsur hara berupa NPK berpengaruh dalam pertumbuhan tanaman yang optimal.

b. Hipotesis

H0: Tidak terdapat pengaruh formulasi hidrogel pupuk NPK berbasis natrium alginat terhadap pertumbuhan tanaman kangkung (*Ipomoea reptans* Poir.).

H1: Terdapat pengaruh formulasi hidrogel pupuk NPK berbasis natrium alginat terhadap pertumbuhan tanaman kangkung (*Ipomoea reptans* Poir.).

K. Analisis Pembelajaran

Penelitian dan modul mengenai faktor eksternal pertumbuhan tanaman serta formulasi hidrogel pupuk NPK berbasis natrium alginat sangat relevan dikenalkan kepada peserta didik SMA pada pembelajaran Biologi Fase E kelas X sesuai Kurikulum Merdeka. Topik ini memperkenalkan bagaimana faktor-faktor eksternal seperti suhu, kelembapan, pH tanah, dan intensitas cahaya berpengaruh terhadap

pertumbuhan tanaman, sekaligus mengenalkan teknologi hidrogel untuk efisiensi pupuk, sehingga sesuai dengan pembelajaran yang menekankan keterkaitan ilmu pengetahuan dengan solusi masalah lingkungan.

1. Keluasan dan Kedalaman Materi

Materi dalam modul mencakup pengaruh berbagai faktor lingkungan (cahaya, suhu, pH, kelembapan) terhadap fisiologi tanaman, mekanisme penyerapan unsur hara, serta prinsip pelepasan lambat pupuk NPK dengan hidrogel natrium alginat. Peserta didik tidak hanya memahami teori, tetapi juga mampu mengamati secara langsung melalui percobaan sederhana menanam kangkung dengan perlakuan hidrogel. Materi ini juga memperkenalkan interdisiplin ilmu biologi, kimia, dan lingkungan secara aplikatif.

2. Karakteristik dan Kedalaman Materi

Materi bersifat konkret dan kontekstual. Peserta didik dapat melakukan eksperimen mini untuk melihat pengaruh faktor eksternal serta membandingkan pertumbuhan tanaman dengan dan tanpa hidrogel. Peserta didik juga akan memahami proses gelasi ionotropik natrium alginat dengan CaCl_2 yang membentuk hidrogel sebagai media pelepas lambat pupuk. Kedalaman materi mencakup aspek fisiologi tanaman, teknologi biopolimer, hingga penerapan praktis dalam budidaya.

3. Perubahan Perilaku Hasil Belajar

Melalui materi ini, diharapkan peserta didik semakin peduli terhadap penggunaan pupuk yang ramah lingkungan dan sadar pentingnya efisiensi pemupukan untuk menjaga kualitas tanah dan air. Pembelajaran juga menumbuhkan sikap tanggung jawab terhadap lingkungan, keterampilan berpikir kritis dalam menganalisis hasil eksperimen, serta kemampuan kerja sama dalam proyek praktikum.

4. Bahan dan Media Pembelajaran

Bahan ajar yang sesuai mencakup modul pembelajaran, Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) eksperimen. Media pendukung seperti mikrometer, gelas ukur, timbangan digital, dan lux meter dapat digunakan untuk menunjang praktikum.

5. Strategi Pembelajaran

Model *Project-Based Learning* (PjBL) sangat tepat diterapkan. Peserta didik diajak mendiskusikan dampak penggunaan pupuk kimia berlebihan, mengidentifikasi faktor eksternal yang memengaruhi pertumbuhan tanaman, kemudian melakukan praktikum pembuatan hidrogel pupuk NPK, menanam kangkung, serta mengamati pengaruhnya terhadap pertumbuhan. Hasil eksperimen didokumentasikan, dianalisis, dan dipresentasikan dalam bentuk laporan kelompok, yang menumbuhkan kemampuan berpikir kritis, komunikasi, dan kerja sama.

6. Sistem Evaluasi

Evaluasi pembelajaran disusun secara holistik:

- 1) Kognitif, melalui pre-test, post-test, dan diskusi untuk mengukur pemahaman konsep unsur hara dan faktor eksternal pertumbuhan tanaman.
- 2) Psikomotor, melalui penilaian praktik pembuatan hidrogel, ketepatan prosedur, dan pengamatan parameter pertumbuhan tanaman.
- 3) Afektif, melalui penilaian sikap kedisiplinan, kerja sama, dan kepedulian terhadap lingkungan selama praktikum dan diskusi.
- 4) Produk, berupa laporan eksperimen (LKPD) dan presentasi kelompok, yang menilai kemampuan peserta didik dalam menganalisis dan mengomunikasikan hasil percobaan.