

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertanian memiliki peran penting dalam memenuhi kebutuhan pangan untuk populasi global yang terus berkembang. Namun, seiring dengan pertumbuhan populasi, tekanan pada sektor pertanian semakin meningkat. Salah satu tantangan utama yaitu meningkatkan produktivitas lahan pertanian yang terbatas dengan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Pertanian modern sering kali mengandalkan penggunaan pupuk konvensional untuk meningkatkan produktivitas tanaman. Meskipun pupuk ini telah membantu memenuhi kebutuhan pangan yang semakin meningkat di seluruh dunia, penggunaannya juga membawa konsekuensi serius terhadap lingkungan. Pupuk konvensional mengandung berbagai zat kimia, seperti nitrogen, fosfor, dan kalium, yang jika tidak termanfaatkan sepenuhnya oleh tanaman, dapat bercampur dengan air tanah atau air permukaan (Bakar *et al.*, 2022).

Penggunaan pupuk yang tidak terkendali menimbulkan dampak negatif, yaitu perubahan kualitas tanah dan air karena adanya perubahan pH dan kandungan mineral, secara ekonomis biaya yang dibutuhkan cukup besar dan tidak menguntungkan dalam pertanian, zat berbahaya terhadap kesehatan, dan eutrofikasi. Penggunaan pupuk yang berlebihan memiliki resiko ketidakterserapan oleh tanaman dan terdistribusi ke dalam ekosistem air, menyebabkan masalah serius yang dikenal sebagai eutrofikasi (Firmanda *et al.*, 2023). Eutrofikasi terjadi ketika terjadi peningkatan pasokan nutrisi berlebihan ke dalam air, yang mengakibatkan pertumbuhan berlebihan alga dan tanaman air (Yeni *et al.*, 2012).

Selain eutrofikasi, penggunaan pupuk konvensional juga berpotensi meningkatkan kandungan zat berbahaya seperti nitrates dan fosfates di dalam air tanah. Hal ini dapat mengancam kesehatan manusia apabila air tersebut digunakan untuk konsumsi atau pertanian. Dampak pencemaran lingkungan akibat pupuk konvensional tidak hanya

terbatas pada ekosistem air, namun juga mempengaruhi keseimbangan nutrisi dalam tanah. Penggunaan pupuk secara berlebihan dapat menyebabkan perubahan signifikan pada kualitas tanah, termasuk penurunan tingkat keasaman, akumulasi garam (salinasi), dan menurunnya kesuburan. Selain menyebabkan kerusakan pada lingkungan, pemupukan secara konvensional tidaklah efisien dimana sekitar 40-50% nitrogen, 80-90% fosfor, dan 50-70% kalium yang digunakan pada pupuk lepas atau *release* ke lingkungan dan tidak bisa diserap oleh tanaman (Syukur *et al.*, 2021). Hilangnya nutrisi dari tanah ini bisa disebabkan oleh *leaching* oleh air hujan, air irigasi dan *runoff* sehingga menyebabkan kerugian biaya (Cheng *et al.*, 2018). Pemberian pupuk konvensional, terutama bila hanya dilakukan satu kali saja, menghasilkan jumlah yang terlalu banyak pada tahap awal pertumbuhan dan terlalu sedikit pada tahap akhir pertumbuhan.

Pertanian yang menggunakan pelepasan pupuk secara cepat mengalami beberapa kerugian dikarenakan pelepasan unsur hara secara prematur dan cepat (*burst effect*), yang dapat merusak tanaman atau mengakibatkan unsur hara yang tidak dapat dilepaskan pada saat permintaan tanaman tinggi. Bahan yang pelepasannya ini dapat menjadi masalah karena adanya residu bahan sintetis yang tidak diinginkan di tanah, yang dapat mempengaruhi keasaman tanah (Milani *et al.*, 2017).

Salah satu strategi untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan sambil meningkatkan efisiensi adalah melalui penggunaan pupuk berteknologi pelepasan bertahap (Zhao *et al.*, 2023; Cheng *et al.*, 2019; Mustafa *et al.*, 2020). *Slow release Fertilizer* (SRF) diciptakan untuk melepaskan unsur hara secara perlahan atau bertahap sesuai dengan kebutuhan tanaman. SRF memiliki kapabilitas untuk mengurangi polusi di tanah dan air yang sering terjadi akibat penggunaan pupuk berlebihan dan proses penyerapan ke dalam tanah (Mustafa *et al.*, 2020). SRF memiliki kemampuan untuk mengontrol pelepasan zat hara yang tersimpan didalamnya. Pada SRF terdapat suatu pelapis berbahan semi permeabel yang dapat mencegah pelepasan zat hara pada pupuk secara tidak terkendali agar tetap tersedia bagi tanaman dan menyesuaikan dengan

kebutuhan tanaman tersebut. Aplikasi pupuk SRF granula oleh BPPT (2017) dengan ukuran 2-4 mm pada tanaman pangan seperti padi dan jagung, sekali selama masa tanam sampai panen dapat menghemat penggunaan pupuk sekitar 30-50% dengan peningkatan rata-rata hasil panen 10%. Oleh karena itu, jumlah unsur hara yang tersedia bagi tanaman di dalam tanah tidak hanya bergantung pada tahap pertumbuhan dan kebutuhan unsur hara, namun juga pada laju pengiriman unsur hara tanaman ke akar melalui aliran massa dan difusi (Trankel, 2010).

Material yang dapat diaplikasikan dalam penggunaan pupuk secara bertahap yaitu hidrogel. Hidrogel merupakan polimer yang memiliki crosslinker dan struktur jaringan tiga dimensi yang mampu menyerap air atau cairan biologis dan mempertahankan kandungan air, kemampuan hidrogel untuk tidak larut dalam air dan mempertahankan bentuknya sehingga dapat diaplikasikan dalam kepentingan pemupukan secara bertahap. Seiring dengan perkembangan material SRF yang semakin meningkat, para peneliti fokus pada pengembangan dan modifikasi struktur, sifat, dan fungsi terhadap hidrogel.

Adapun material yang dapat digunakan untuk mengatasi keterbatasan hidrogel dalam pelepasan pupuk secara bertahap yaitu dengan menambahkan polimer. Sintetik polimer yang umum digunakan sebagai bahan hidrogel diantaranya polivinil alkohol (PVA), *poly(ethylene glycol)* (PEG), dan *poly(vinyl pyrrolidone)* (PVP) (Kamoun *et al.*, 2021; Ghaeds *et al.*, 2022). Polimer PVA sebagai telah banyak digunakan sebagai basis hidrogel karena PVA memiliki karakteristik seperti kandungan air yang tinggi dan tidak beracun, sifat kelarutan tinggi dalam air serta tingkat degradasi yang tinggi hal ini diakibatkan oleh kompleksasi ion PVA yang menginduksi pembentukan gel yang mampu menginkorporasi jumlah air yang besar (Hendrawan *et al.*, 2019; Riedo *et al.*, 2015). Namun, karena PVA memiliki sifat kelarutan yang tinggi didalam air (akibat kandungan gugus hidroksil) sehingga kestabilan PVA di dalam air menjadi rendah, hal ini bisa menjadi masalah serius karena pupuk perlu mempertahankan

integritas mereka untuk melepaskan nutrisi secara bertahap selama periode waktu tertentu (Kareem *et al.*, 2021).

Salah satu cara untuk meningkatkan kestabilan PVA ialah dengan menambahkan borat sebagai agen pengikat silang (*crosslinker*) (Hwang *et al.*, 2022). *Crosslinker* telah dikenal sebagai bahan yang mampu meningkatkan sifat material hidrogel termasuk sifat mekanik serta meningkatkan *release control* melalui ikatan struktur 3-dimensi. Selain itu, PVA dan boraks digunakan sebagai basis hidrogel karena proses sintesisnya tidak memerlukan suatu asam, sehingga akan lebih aman untuk diaplikasikan pada lingkungan. Borat atau boraks atau natrium borat memiliki kemampuan untuk berinteraksi dengan gugus hidroksil (-OH) pada molekul PVA. Mekanisme pengikatan silang PVA dengan borat dikenal sebagai kompleksasi "di-diol" yang melibatkan dua unit diol dan satu ion borat. Molekul Borat mengikat dua atau lebih gugus hidroksil dari molekul PVA, membentuk ikatan silang. Ikatan ini memperkuat struktur hidrogel PVA, membuatnya lebih tahan terhadap larut dalam air dan memberikan stabilitas mekanik yang diperlukan (Wang *et al.*, 2021).

Selain itu, mekanisme pengikatan [PVA/Borat] dijelaskan dengan mengimplikasikan pengikatan kimia dinamis antara rantai PVA dan ion borat serta mempertimbangkan dua jenis interaksi: kompleksasi monodiol dan pengikatan silang. Setelah reaksi, rantai polimer berperilaku sebagai polielektrolit dengan tolakan elektrostatik, mengakibatkan ekspansi jaringan. Dalam larutan semikental, baik pengikatan dalam maupun antar molekuler dapat terbentuk, menyebabkan pembentukan gel kompleks [PVA/Borat] (Cheng & Rodriguez., 1981). Kompleks [PVA/Borat] yang terbentuk memiliki karakteristik yang unik dimana [PVA/Borat] memiliki sifat viskos dan elastis yang terkontrol menampilkan perilaku viskos pada frekuensi rendah, di mana jaringan memiliki waktu untuk mengalami penataan ulang atau perenggangan.

Di sisi lain, hidrogel menunjukkan perilaku elastis, yang memungkinkan pengikatan silang tidak dapat terpisah. Selain sifat viskositas dan elastisitas,

[PVA/Borat] memiliki kapasitas *slow release* yang optimal serta kemampuan penyerapan air yang tinggi akibat dari kompleksasi ion [PVA/Borat]. Dalam bidang pertanian, khususnya sebagai SRF, [PVA/Borat] memiliki keunggulan yaitu; memiliki kemampuan pelepasan control nutrisi; peningkatana efisiensi penggunaan air; serta stabilitas dan tahan lama di tanah sehingga dapat meningkatkan kemampuan penyerapan dan penyimpanan air. Disisi lain, [PVA/Borat] memiliki keterbatasan pada pH dan suhu, sehingga kinerja dari [PVA/Borat] sangat dipengaruhi oleh pH dan suhu (Riedo *et al.*, 2015). Selain itu, PVA tidak memiliki kompatibilitas yang baik termasuk tidak memiliki sifat mekanik, listrik dan termal yang tinggi.

Dalam meningkatkan kompatibilitas dan kestabilan mekanik dari hidrogel dibutuhkan bahan potensial yang dapat digunakan untuk memodifikasi sifat dari PVA sebagai SRF berbasis hidrogel yaitu *carbon nanotube* (CNT). CNT material karbon berskala nano dengan sifat mekanik dan termal yang unik, menawarkan banyak keunggulan untuk aplikasi di berbagai bidang. Selain karakteristik khas dari CNT (yaitu luas permukaan superior, konduktivitas listrik tinggi, dan sifat perkolasi rendah ketika di dispersikan ke dalam matriks polimer).

CNT sering digunakan karena struktur, geometri, elastisitas, kekuatan tinggi, dan stabilitas termal yang lebih baik (Yasin *et al.*, 2020). Diantara nanopartikel berbasis karbon, CNT banyak digunakan karena densitasnya yang rendah (Hannachi *et al.*, 2020). CNT telah dipilih sebagai salah satu kandidat filler polimer yang sangat baik. Penyisipan CNT ke dalam matriks polimer dapat meningkatkan sifat fisikokimia dari polimer seperti (1) prorositas, (2) *water retention*, (3) *enhance plant growth* (4) *Chemical Functionalization* (Hendrawan *et al.*, 2023; Safdar *et al.*, 2022; Khan *et al.*, 2022; Chandel *et al.*, 2022). Selain itu, beberapa peneliti telah menemukan bahwa penambahan nanotube karbon pada komposisi optimum ke dalam hidrogel dapat meningkatkan *swelling ratio* hidrogel, yang pada akhirnya meningkatkan kinerja hidrogel) (Satarkar *et al.*, 2010).

Dalam proses sintesis hidrogel memerlukan beberapa bahan guna memenuhi kebutuhan unsur yang diperlukan oleh tanaman, Unsur hara dapat dibagi menjadi dua kategori, yakni unsur hara makro dan mikro. Nutrien utama atau unsur hara makro terdiri dari nitrogen, fosfor, kalium, kalsium, dan magnesium. Sementara itu, mikroelemen atau unsur hara mikro mencakup besi, seng, mangan, tembaga, dan molybdenum.

Pupuk NPK merupakan pupuk majemuk yang mengandung banyak unsur hara. Pupuk NPK disebut juga pupuk lengkap, dan kandungan setiap unsur hara yang terkandung dalam NPK umumnya rendah. (Setyamidjaja, 1986) menyatakan bahwa pupuk NPK mengandung nitrogen 15% dalam bentuk NH_3 , fosfor 15% dalam bentuk P_2O_5 dan kalium 15% dalam bentuk K_2O . Menurut Alwi (2017), penambahan tinggi tanaman, jumlah tunas, jumlah daun, dan luas daun pada tumbuhan menunjukkan bahwa tumbuhan tersebut merespon sangat baik terhadap pemupukan NPK. Meningkatnya ketersediaan unsur hara tersebut menyebabkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman sehingga dapat mempengaruhi kualitas dan nilai gizi tanaman.

Salah satu unsur yang diperlukan pada hidrogel *slow release* ialah Kalium yang dapat berasal dari KCl. Namun KCl mudah menghilang melalui aliran air karena sifat alami disosiasi dan mobilitas yang tinggi (Zhao *et al.*, 2023). Sehingga sangat penting dilakukan upaya untuk meningkatkan produksi namun sekaligus mengatasi permasalahan lingkungan. Unsur penting lainnya adalah kalsium. Pengapuran merupakan salah satu alternatif untuk meningkatkan kesuburan tanah. Kapur, seperti kapur kalsit, dapat meningkatkan pH tanah, ketersediaan unsur hara dalam tanah akan meningkat, dan dapat menekan kelarutan unsur-unsur yang bersifat toksik untuk tanaman (Desi, 2018). Kalsium karbonat CaCO_3 yang dilarutkan dalam air akan terionisasi membentuk ion (OH^-) yang bersifat basa dan dapat menetralkan suasana asam (Sugiatno, dkk, 2022). Pemupukan mengacu pada penambahan zat organik dan anorganik yang digunakan untuk meningkatkan kesuburan tanah guna menyuburkan tanah. Oleh karena itu,

pemupukan secara umum dapat diartikan sebagai penambahan unsur hara pada tanah (Desi, 2018).

Berdasarkan kajian di atas, maka pada penelitian ini hidrogel berbasis PVA yang dimodifikasi CNT dengan agen *crosslinker* berupa borat akan disintesis selalui metode kimia sebagai *coating* atau pelapis granula tersisipi $\text{CaCO}_3\text{-KCl}$ yang merujuk pada penelitian sebelumnya (Luckyta *et al.*, 2022 & Dita *et al.*, 2023).

Pada tahap *coating* ini, semakin banyak *layered coating* maka laju pelepasan pupuk akan semakin lambat. Semakin panjang jarak (diameter) yang ditempuh partikel maka akan semakin lama pelepasan pupuk. *Coating* granulasi akan memungkinkan banyak mikrogranula didalamnya. Granula akan memperlambat difusi partikel dari granula ke dalam air. Sehingga laju *release* partikel didalam granula menjadi lebih lambat dan akan melepaskan pupuk secara bertahap dalam jangka waktu tertentu. Granula dapat menyimpan partikel pupuk lebih banyak, hal ini untuk pupuk makro yang dibutuhkan tanaman juga dalam jumlah besar untuk bertumbuh.

Dalam penelitian akan disintesis hidrogel [PVA/Borat] dan [PVA/Borat/CNT] untuk menentukan efek dari penambahan CNT dan akan di *coating* dengan granula yang tersisipi $\text{CaCO}_3\text{-KCl}$. Hidrogel yang telah disintesis dilanjutkan karakterisasi terkait gugus fungsi (FTIR), morfologi permukaan (SEM-EDX), hidrofilitas (WCA). Dilakukan juga uji peforma lembaran *coater* dan granula yang meliputi parameter *swelling ratio*, *water retention*, biodegradabilitas dan uji *release nutrient*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang diajukan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana komposisi optimum lembaran hidrogel [PVA/Borat/CNT] berdasarkan parameter agrokimia?

2. Bagaimana karakteristik lembaran hidrogel [PVA/Borat] dan [PVA/Borat/CNT]?
3. Bagaimana kinerja agrokimia lembaran hidrogel [PVA/Borat/CNT] dan granula SRF [PVA/Borat/CNT/CaCO₃-KCl]?
4. Bagaimana biodegradabilitas lembaran hidrogel [PVA/Borat] dan [PVA/Borat/CNT]?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang diajukan, tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui:

- 1) Komposisi optimum lembaran hidrogel [PVA/Borat/CNT] berdasarkan parameter agrokimia.
- 2) Karakteristik lembaran hidrogel [PVA/Borat] dan [PVA/Borat/CNT].
- 3) Kinerja agrokimia lembaran hidrogel [PVA/Borat/CNT] dan granula SRF [PVA/Borat/CNT/CaCO₃-KCl]?
- 4) Biodegradabilitas lembaran hidrogel [PVA/Borat] dan [PVA/Borat/CNT].

1.4 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah yang diajukan, batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Membandingkan komposisi optimum [PVA/Borat] dan [PVA/Borat/CNT].
- 2) Membandingkan karakterisasi lembaran hidrogel [PVA/Borat] dan [PVA/Borat/CNT].
- 3) Membandingkan kinerja lembaran hidrogel [PVA/Borat] dan [PVA/Borat/CNT] sebelum dan sesudah tersisipi KCl.
- 4) Pengujian ini dalam kasus granula KCl.
- 5) Pengujian hanya di dalam media aquades
- 6) Penyimpanan pada kondisi suhu ruang.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan material sebagai agen *slow release fertizier (SRF)* dalam sektor pertanian. Secara khusus, temuan dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi rujukan metode sintesis hidrogel [PVA/Borat/CNT] yang ekonomis, sederhana dan mudah, namun disisi lain memiliki karakteristik serta performa dalam aktivitas *slow release*.