

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Produksi pertanian di seluruh dunia telah didorong untuk meningkatkan hasil panen agar dapat memenuhi permintaan konsumen akibat peningkatan jumlah penduduk di seluruh dunia (Songkhum *et al.*, 2018). Dalam sepuluh tahun terakhir, peningkatan aktivitas manusia telah menyebabkan perubahan iklim, penurunan sumber daya, dan penurunan energi yang berdampak pada kelangsungan pasokan pangan. Oleh karena itu, banyak petani melakukan pemupukan yang berlebihan untuk meningkatkan hasil panen. Pupuk memiliki kemampuan untuk menjamin ketahanan pangan tersebut. Namun, faktanya hal ini dapat menyebabkan masalah yang lebih buruk bagi lingkungan dan ekologi serta menurunkan efisiensi penggunaan pupuk yang luar biasa (Liu *et al.*, 2019).

Pemberian pupuk dapat mengubah sifat fisik, kimia, atau biologi tanah untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman. Pupuk diberikan pada tanah atau jaringan tanaman yang dapat diproduksi secara alami atau sintesis untuk menyuplai satu atau lebih unsur hara tanaman yang penting bagi pertumbuhan tanaman. Makronutrien dan mikronutrien adalah dua kelompok unsur hara yang diperlukan tanaman. Makronutrien adalah unsur hara yang diperlukan dalam jumlah besar, seperti Nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K), Kalsium (Ca), Belerang (S), dan Magnesium (Mg). Mikronutrien adalah unsur hara yang diperlukan dalam jumlah sedikit, seperti Besi (Fe), Tembaga (Cu), Seng (Zn), Mangan (Mn), Molybdenum (Mo), Boron (B), dan Klorin (Cl). Mikronutrien seperti seng diperlukan untuk kehidupan tanaman meskipun jumlah kebutuhannya tidak sebanyak makronutrien seperti N, P, dan K (Wang *et al.*, 2022).

Meskipun pupuk bermanfaat bagi tanaman, penggunaan pupuk secara berlebih berpotensi terbawa oleh air hujan atau air tanah dan menghasilkan emisi gas ke udara yang dapat menyebabkan perubahan iklim (Gregorich *et al.*, 2015). Hal ini tentu memberikan bahaya bagi kesehatan manusia dan berdampak buruk bagi lingkungan karena

mencemari tanah, air dan udara. Selain itu, penggunaan pupuk yang tidak efisien juga dapat menimbulkan pemborosan bagi para petani. Lebih dari 800 studi menemukan bahwa rata-rata 51% dari nitrogen tertinggal dipermukaan tanah (Dobermann, 2005). Lebih dari 95% kandungan mikronutrien, 50-90 % fosfor, dan 80-90% kalium dari pupuk hilang ke lingkungan dan menyebabkan kerugian ekonomi yang signifikan (Prasad *et al.*, 2017). Kalium memiliki peran vital dalam pertumbuhan tanaman dan meningkatkan produktivitas pertanian serta merupakan salah satu unsur hara yang sangat penting dan diperlukan dalam jumlah banyak. Namun, unsur kalium secara alami sangat mudah terlarut/tercuci oleh air, sehingga hanya ada sedikit unsur kalium yang tertinggal dalam tanah. Oleh karena itu, diperlukan pemberian kalium pada tumbuhan melalui pupuk. Pupuk KCl merupakan salah satu sumber kalium yang dapat digunakan dan bernilai ekonomis.

Dalam bidang pertanian, hilangnya unsur hara merupakan salah satu masalah besar. Hal ini dapat menyebabkan kekurangan nutrisi tanaman, meningkatkan biaya proses dan mencemari lingkungan. Penggunaan pupuk pelepasan terkendali atau *Slow/Controlled Release Fertilizer* (S/CRF) merupakan metode yang digunakan untuk mengatasi masalah ini. Dengan penggunaan sistem yang dilepaskan terkendali, nutrisi dilepaskan pada tingkat yang lebih lambat sepanjang musim, sehingga tanaman dapat mengambil sebagian besar nutrisi tanpa menghasilkan limbah (Liang *et al.*, 2007). S/CRF ini didefinisikan sebagai pupuk yang melepaskan nutrisi dengan laju yang lebih lambat untuk jangka waktu yang lebih lama, bertujuan untuk menyeimbangkan kebutuhan tanaman dengan mengontrol laju pelepasan nutrisi (Shaviv, 2003).

Bahan yang sering digunakan untuk membuat S/CRF yaitu hidrogel. Hidrogel merupakan jaringan polimer tiga dimensi yang bersifat lunak, viskoelastik, dan terhubung melalui ikatan silang fisika atau kimia. Hidrogel mampu menampung sejumlah besar air dengan tetap menjaga integritas strukturalnya selama deformasi (Yang *et al.*, 2008). Umumnya, hidrogel bersifat mudah larut dalam air dan hidrofilik, sehingga adanya

ikatan silang berkontribusi mencegah hidrogel larut dalam air. Bahan baku pembuatan hidrogel umumnya digunakan dari polimer alam maupun sintetis.

Meningkatnya kesadaran lingkungan baru-baru ini telah memicu minat terhadap hidrogel yang lebih ramah lingkungan dan dapat terbiodegradasi (Zhang *et al.*, 2012). Poli (vinil alkohol) (PVA) merupakan polimer yang menarik karena memiliki banyak karakteristik, sehingga cocok untuk digunakan dalam berbagai aplikasi mulai dari keperluan farmasi, industri, dan pertanian. PVA merupakan polimer sintetis dari monomer vinil alkohol dan dapat digunakan sebagai material dasar pembuatan hidrogel karena sifatnya yang mudah larut dalam air dan mudah membentuk gel. Banyaknya gugus -OH pada PVA membuatnya dapat berikatan dengan hidrogen dalam air, sehingga PVA bersifat hidrofilik dan mudah untuk membentuk gel (Liu *et al.*, 2014). Kebanyakan hidrogel PVA bersifat *biodegradable*, memiliki nilai kristalinitas yang tinggi, tidak beracun, murah, biokompatibel, dan non-karsinogenik. PVA umumnya diproduksi melalui polimerisasi radikal bebas dan hidrolisis poli (vinil asetat) yang menghasilkan distribusi berat molekul yang cukup luas. Namun, PVA memiliki sifat mekanik yang mudah rapuh karena hidrofilisitasnya, sehingga perlu dimodifikasi dengan polimer lain (Erizal, 2018).

Untuk meningkatkan sifat mekanik hidrogel, hal yang dapat dilakukan yaitu dengan menambah agen pengikat silang (*crosslinker*) untuk menghasilkan hidrogel yang mampu menyerap air dengan lebih baik dan tidak toksik. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa polimer yang mengandung banyak gugus hidroksil mampu membentuk kompleks dengan borat (Kale *et al.*, 2011). Borat telah banyak digunakan sebagai agen pengikat silang atau *crosslinker* pada pembuatan hidrogel berbasis polivinil alkohol (PVA) (Shang *et al.*, 2017; Wang, 2019; Chaudhary *et al.*, 2018)). Hal ini dikarenakan borat dapat bereaksi secara *reversible* dengan gugus hidroksil (-OH) dalam rantai PVA, membentuk ikatan kompleks borat-di-ol ester sebagai titik jaringan silang antar rantai polimer

PVA (Chang *et al.*, 2022). Kekuatan mekanik hidrogel dapat ditingkatkan dengan meningkatkan konsentrasi zat pengikat silang (Hu *et al.*, 2016). Interaksi kovalen dan ionik dapat terjadi selama proses *crosslinking*. Interaksi ini meningkatkan kekuatan mekanik, kinerja, stabilitas hidrofilitas, dan besar kecilnya kemampuan *swelling*. Selain itu, ikatan silang PVA-borat bersifat dinamis dan sensitif terhadap pH sehingga memungkinkan terjadinya *swelling*, difusi zat terkandung, serta degradasi hidrogel. Borat juga tidak bersifat toksik bagi tanaman maupun bakteri penyubur tanah.

Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa hidrogel PVA-borat berpotensi sebagai *slow/controlled-release fertilizer* pupuk pertanian karena kemampuannya mengontrol pelepasan nutrisi secara perlahan dan efisien (Cai, G., *et al.*, 2019; Gao, B., *et al.*, 2018). Namun, hidrogel murni PVA-borat cenderung lemah dan rapuh sehingga kurang cocok untuk aplikasi lapangan. Dengan demikian, stabilitas dan kekuatan mekanik hidrogel PVA-borat masih perlu ditingkatkan agar dapat diaplikasikan secara luas di pertanian. Upaya untuk mengatasi permasalahan tersebut diantaranya yaitu dengan melakukan penambahan alginat (Fatimah, 2023). Penambahan alginat pada S/CRF PVA-borat membuat polimer yang terbentuk bersifat *biodegradable*, sehingga menjadi lebih ramah lingkungan.

Alginat adalah heteropolisakarida hidrofilik anionik yang berlimpah di alam yang ada baik sebagai komponen dalam rumput laut coklat (*Phaeophyceae*) dan sebagai polisakarida kapsuler dari beberapa bakteri tanah. Alginat tersusun dari asam guluronat dan manuronat dengan ikatan 1,4-D-asam manuronat (M) dan α -L-guluronat (G) yang terletak berselang-seling (Hecht *et al.*, 2016).

Penggunaan alginat dalam pembuatan hidrogel saat ini tengah menjadi perhatian karena sifatnya yang ramah lingkungan, biokompatibel, dan mudah untuk membentuk gel. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penambahan alginat ke dalam hidrogel PVA dapat meningkatkan stabilitas dan sifat mekaniknya. Keberadaan alginat berkontribusi mengurangi

permeabilitas air dan mengurangi kadar air dalam hidrogel, yang dapat membantu meningkatkan stabilitas hidrogel. Penambahan alginat juga terbukti dapat meningkatkan nilai *swelling ratio* dan interaksi ikatan hidrogen antar prekursor, serta menurunkan nilai *water retention*. Selain itu, alginat juga mampu mengurangi jalur degradasi hidrogel, yang dapat meningkatkan umur simpan dan kualitas hidrogel (Fatimah, 2023). Dengan demikian, alginat berpotensi diterapkan untuk mengendalikan pelepasan pupuk dari hidrogel sebagai *slow/controlled-released fertilizer*. Akan tetapi, informasi pengaruh penambahan alginat pada performa hidrogel berbasis PVA/Borat/Alginat sebagai S/CRF masih sangat terbatas, sehingga perlu kajian lebih lanjut terkait potensi aplikasi hidrogel tersebut.

Fatimah (2023), telah melakukan sintesis hidrogel PVA/Borat/Alginat/KCl berbentuk lembaran sebagai S/CRF dengan konsentrasi PVA 5%, borat 0,1%, dan alginat 1%. Berdasarkan penelitian tersebut, ditemukan bahwa hidrogel bersifat super hidrofilik, mudah larut dalam air, dan laju *release* KCl pada media air dengan pH 7 dan 8,14 cenderung menunjukkan perilaku yang sama yaitu terjadi laju desorpsi yang cukup cepat pada fase awal dan menunjukkan perilaku *slow release* pada fase tengah dan akhir. Oleh karena itu, pada penelitian kali ini akan dilakukan modifikasi dari penelitian sebelumnya yaitu dengan meningkatkan konsentrasi larutan borat menjadi 4% dan menurunkan konsentrasi larutan PVA menjadi 3% untuk meningkatkan sifat mekanik hidrogel. Kemudian, akan dilakukan sintesis S/CRF berbentuk granula, dimana KCl sebagai nutrisi (*fertilizer*) dan CaCO_3 akan dibentuk menjadi pelet dan di *coating* dengan larutan hidrogel untuk mengetahui pengaruh pelapisan granula oleh hidrogel terhadap nilai laju *release* nya. S/CRF berbentuk granula merupakan bentuk yang paling umum digunakan karena keberadaan pelapis hidrogel membuat kontrol *release* menjadi lebih terkendali dan membuat nutrisi lebih terjaga serta tidak mudah larut (W.W. Yang & Pierstoff, 2012).

Dalam penelitian ini, akan dilakukan optimasi komposisi dan sintesis hidrogel S/CRF PVA/Borat/Alginat-KCl berbentuk lembaran dan S/CRF PVA/Borat/Alginat/CaCO₃/KCl berbentuk granula. Performa agrokimia hidrogel mengacu pada efektivitas hidrogel dalam mendistribusikan bahan agrokimia (pupuk) secara efisien dalam pertanian yang dikaji melalui pengujian *swelling ratio*, *water retention*, *release behavior* KCl sebagai nutrisi (*fertilizer*) dan biodegradabilitas. Karakterisasi hidrogel dilakukan dengan pengujian *water contact angle*, FTIR, dan SEM.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, rumusan masalah penelitian yang akan dilakukan yaitu:

1. Bagaimana karakteristik hidrogel S/CRF PVA/Borat/Alginat berbentuk lembaran?
2. Bagaimana performa agrokimia hidrogel S/CRF PVA/Borat/Alginat berbentuk lembaran?
3. Bagaimana performa agrokimia granula PVA/Borat/Alginat/CaCO₃/KCl?
4. Bagaimana pengaruh penambahan alginat terhadap nilai biodegradabilitas hidrogel S/CRF berbentuk lembaran?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang telah disampaikan, tujuan penelitian yang akan dilakukan yaitu:

1. Mengetahui karakteristik hidrogel S/CRF PVA/Borat/Alginat berbentuk lembaran.
2. Mengetahui performa agrokimia hidrogel S/CRF PVA/Borat/Alginat berbentuk lembaran.

3. Mengetahui performa agrokimia granula PVA/Borat/Alginat/CaCO₃/KCl.
4. Mengetahui pengaruh penambahan alginat terhadap nilai biodegradabilitas hidrogel S/CRF berbentuk lembaran.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian yang berjudul “Sintesis, Karakterisasi, dan Uji Performa S/CRF Hidrogel PVA/Borat/Alginat/CaCO₃ Tersisipi KCl” diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Perkembangan material alternatif dalam bidang pertanian khususnya dalam meningkatkan efisiensi dan efektivitas pemupukan pada tanaman.
2. Memberikan kontribusi terhadap perkembangan fundamental dalam bidang pertanian khususnya tentang pentingnya makronutrient dan mikronutrient terhadap tanaman.
3. Memberikan kontribusi terhadap pencegahan pencemaran lingkungan dengan melakukan sintesis *Slow-Controlled Release Fertilizer* menggunakan bahan yang *biodegradable*.