

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pupuk dan air mempunyai kontribusi yang sangat vital bagi produksi pertanian moderen, sehingga sangat penting untuk meningkatkan pemanfaatan sumber daya air dan unsur hara pupuk. Namun, sebagian besar pupuk menimbulkan polusi lingkungan dan masalah kesehatan akibat eutrofikasi air. Penggunaan pupuk konvensional dapat menyebabkan tingkat konsentrasi yang terlalu tinggi untuk tindakan yang efektif. Konsentrasi yang tinggi dapat menghasilkan efek samping yang tidak diinginkan baik di area target maupun lingkungan sekitar, yang dapat menyebabkan kerusakan tanaman (Zhang dan Yang, 2021).

Nitrogen (N) merupakan salah satu unsur hara makro esensial yang sangat dibutuhkan dalam proses pertumbuhan tanaman. Unsur ini berperan penting dalam pembentukan klorofil, protein, serta senyawa organik lain yang menunjang pertumbuhan vegetatif tanaman (Myrold, 2021; Rütting dkk., 2018). Unsur N dapat dipenuhi melalui pupuk, salah satunya adalah urea namun urea memiliki beberapa kelemahan yaitu akan merusak tanah jika penggunaan berlebihan. Pupuk urea adalah pupuk yang bersifat lepas cepat (*fast-release*), sehingga efektivitasnya rendah dan tidak banyak diserap oleh tanaman. Sehingga perlu adanya modifikasi untuk mengontrol pelepasan urea (Kautsar dkk., 2023).

Metode umum yang digunakan untuk mengurangi kehilangan nitrogen adalah dengan mengembangkan pupuk lepas lambat (*Slow release fertilizer (SRF)*). Tujuan SRF adalah untuk selalu menjaga dosis optimal di dalam tanah, mengurangi biaya dan frekuensi pemupukan, sehingga secara bertahap melepaskannya ke dalam tanah dan meningkatkan efisiensi pupuk (Priya dkk., 2024). Pupuk CUAN (Cair, Urea, Amonium, Nitrat) yang dimodifikasi dengan metode SRF hadir sebagai alternatif pupuk cair yang mengandung tiga bentuk nitrogen, yakni nitrat, amonium, dan amida.

Dalam pengembangan SRF, pemilihan jenis material pembawa menjadi faktor kunci yang menentukan keberhasilan sistem pelepasan nutrisi secara lambat. Matriks yang ideal harus mampu mengadsorpsi pupuk seperti urea dan amonium nitrat secara efektif, serta melepaskannya secara perlahan sesuai kebutuhan

tanaman (de Castro dkk., 2022). Silika mesopori banyak dikembangkan dalam berbagai aplikasi adsorpsi karena dapat dimodifikasi pada ukuran partikel, ukuran pori, volume pori, dan struktur mesoporinya berdasarkan pengaplikasiannya sehingga memungkinkan penggunaannya secara maksimal. Beberapa aplikasi silika mesopori seperti sebagai katalisis, adsorpsi, pemisahan molekul target, perangkat pengiriman obat, kemosensor, biosensor (Costa dkk., 2021).

Dalam dekade terakhir, aplikasi pupuk lepas lambat (SRF) sebagai alternatif dari beberapa waktu aplikasi pupuk telah digunakan secara luas dalam produksi jagung di seluruh dunia. Pada gandum (Li dkk., 2021), aplikasi SRF meningkatkan kandungan nutrisi tanah, ketersediaan N tanah, dan perkembangan akar. Kombinasi aplikasi SRF dan CRF meningkatkan hasil jagung dengan memperbaiki struktur tanah dan kandungan nutrisi (Gao dkk., 2021). Tingkat SRF yang optimal memperbaiki karakteristik morfologi dan fisiologis akar, memfasilitasi penyerapan air dan nutrisi dan dengan demikian meningkatkan hasil jagung (Li dkk., 2022).

Untuk meningkatkan efisiensi kerja silika mesopori dalam mengontrol pelepasan nutrisi, dilakukan modifikasi dengan bahan polimer, salah satunya adalah selulosa. Polimer selulosa juga dapat digunakan dalam proses adsorpsi pupuk karena kemampuannya dalam mengubah porositas silika dalam melepaskan nutrisi dan sebagai agen penghasil pori untuk menghasilkan partikel silika dengan ukuran dan struktur yang dapat disesuaikan, yang berperan penting dalam pembentukan mikrokapsul. Kelebihan dari selulosa adalah memiliki harga yang murah dan ramah lingkungan karena terurai secara hayati. Selulosa juga memiliki kemampuan sebagai pelapis berbagai bahan kimia dalam melindungi degradasi dan kehilangan sebelum digunakan. Selulosa memiliki sifat retensi air, perilaku lepas lambat, dan biodegradabilitas material yang sangat baik (Trirahayu dkk., 2022).

Suhu reaksi merupakan salah satu parameter penting dalam proses sintesis material silika–selulosa. Perubahan suhu dapat mempengaruhi ukuran partikel, luas permukaan, stabilitas struktur, hingga kemampuan adsorpsi material terhadap pupuk. Pemilihan suhu sintesis yang tepat diharapkan dapat meningkatkan efisiensi enkapsulasi pupuk CUAN ke dalam matriks material serta mengatur laju pelepasannya secara optimal ke dalam media tanam. Penelitian yang dilakukan (Dere dkk., 2025) mengembangkan pupuk *slow release fertilizer* menggunakan

komposit silika dari sekam padi yang dimodifikasi dengan hidroksipropil metil selulosa dan polivinil alkohol, pada studi pelepasan urea terjadi ledakan pelepasan pada 10 jam pertama diikuti dengan grafik landai pada jam berikutnya, hal ini menandakan pupuk sudah lepas seluruhnya pada 10jam pertama. Penelitian (Miri dkk., 2023) menggunakan selulosa nanofibril dari pulp kayu dan silika yang disintesis dari serat selulosa, namun kelemahannya mahal polyamide amine-epichlorohydrin resin, efisiensi adsorpsi menurun. Penelitian (Idris dkk., 2021) menggunakan silika amorf terkapsul urea sebagai pupuk lepas lambat dengan proses dealuminasi lempung alam dengan metode refluks menggunakan HCl menunjukkan mekanisme pelepasan yang lambat, diawali dengan hidrodifusi air pada dinding komposit. Penelitian (Zhang dan Yang, 2021) menggunakan Ethyl Cellulose (EC) dan Polyvinylpyrrolidone (PVP), menghasilkan pelepasan nutrisi dan struktur pori terkontrol namun pelepasan terlalu lambat dan biaya mahal. Beberapa penelitian sebelumnya melakukan penggunaan berbagai material berbasis silika dan selulosa sebagai sistem pelepasan lambat untuk pupuk, namun masih menghadapi kendala biaya produksi, efisiensi adsorpsi yang rendah, atau pelepasan nutrien yang terlalu lambat.

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh variasi temperatur dalam proses sintesis terhadap karakteristik material silika selulosa, khususnya dalam kaitannya dengan kapasitas enkapsulasi nitrogen dari pupuk CUAN serta laju pelepasannya. Dengan memanfaatkan selulosa dan glutaraldehid dalam sintesis silika mesopori, diharapkan diperoleh material adsorben nitrogen yang lebih efisien dan ramah lingkungan untuk diaplikasikan pada sistem pertanian berkelanjutan.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, Penelitian ini memiliki rumusan masalah sebagai berikut

1. Bagaimana proses pembuatan matriks silika selulosa dengan pengikat glutaraldehyd yang optimal sebagai material enkapsulasi pupuk CUAN?
2. Bagaimana pengaruh suhu pada proses pembuatan matriks silika selulosa dengan pengikat glutaraldehyd dan pupuk CUAN ?
3. Bagaimana kemampuan pelepasan pupuk SRF (Slow Release Fertilizer) pada matriks silika selulosa?

I.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah diatas tujuan penelitian ini sebagai berikut:

1. memperoleh matriks silika selulosa dengan pengikat glutaraldehyd yang optimal sebagai material adsorpsi pupuk CUAN,
2. menentukan pengaruh temperatur kalsinasi terhadap karakteristik matriks pada proses pembuatan matriks silika selulosa dengan pengikat glutaraldehyd dan pupuk CUAN, dan
3. menentukan kemampuan pelepasan nitrogen pada matriks silika selulosa.

I.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan menghasilkan pupuk SRF (*Slow Release Fertilizer*) yang ramah lingkungan dan lebih efektif dibandingkan produk konvensional. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah mengenai pemanfaatan matriks silika selulosa sebagai material pengontrol pelepasan nutrisi dalam pupuk sehingga dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk dan pertumbuhan tanaman.