

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pupuk merupakan komponen utama yang berperan penting dalam mendukung produktivitas pertanian. Namun, pemanfaatan pupuk di lapangan masih belum berlangsung secara efisien karena tidak seluruh unsur hara yang diberikan dapat diserap secara optimal oleh tanaman. Tanaman hanya menyerap sebagian nutrisi, yaitu sekitar 40-70% nitrogen, 80-90% fosfor, dan 50-70% kalium dari pupuk yang diaplikasikan (Arif Novan & Maharani, 2017).

Efisiensi pemupukan yang rendah tidak terlepas dari sifat pupuk konvensional yang mudah larut, sehingga unsur hara lebih rentan hilang melalui proses nitrifikasi, volatilisasi, dan *leaching* (Naz & Sulaiman, 2016). Kondisi tersebut menyebabkan peningkatan dosis dan frekuensi pemupukan yang dilakukan untuk mendukung produksi pangan tidak hanya menimbulkan kerugian ekonomi, tetapi juga berpotensi menyebabkan pencemaran air, pencemaran udara, dan degradasi tanah (Olad dkk., 2018). Oleh karena itu, diperlukan upaya pengembangan sistem pemupukan yang lebih efisien agar kehilangan unsur hara dapat ditekan dan pemanfaatan unsur hara oleh tanaman menjadi lebih optimal.

Salah satu metode alternatif yang banyak dikembangkan untuk mengatasi efisiensi pupuk yang rendah adalah penggunaan *slow-release fertilizer* (SRF), yaitu pupuk yang dirancang untuk melepaskan nutrisi secara bertahap, sehingga ketersediaan unsur hara lebih sesuai dengan kebutuhan tanaman selama masa pertumbuhan. Penerapan SRF dilaporkan mampu mengurangi frekuensi

pemupukan, membatasi dampak lingkungan, dan menekan kehilangan unsur hara dibandingkan pupuk konvensional (Shen dkk., 2020).

Pupuk NPK dalam bentuk granul atau butiran dimodifikasi melalui pelapisan menggunakan bahan biodegradabel yang sulit larut dalam air. Proses ini dilakukan dengan cara melapisi atau mengemas pupuk konvensional dengan membran yang tidak larut dalam air dan berpori untuk mengontrol penetrasi air ke dalam inti pupuk sehingga laju pelarutan dan pelepasan unsur hara ke tanaman menjadi lebih terkendali (Chen dkk., 2018; Tanan dkk., 2021; Ye dkk., 2020).

Beberapa peneliti telah melaporkan bahan pelapis, termasuk polimer yang tidak dapat terurai seperti polyurethane (Wang dkk., 2019), polyacrylonitrile (Zhong dkk., 2022), dan polysulfone (Bandehali dkk., 2021). Adapun polimer biodegradabel seperti kitosan (Sanchez-Salvador dkk., 2021), kitosan yang ditaut silang dengan natrium tripolifosfat (Cahyaningrum dkk., 2024), kitosan-suksinat (Lusiana dkk., 2024), selulosa (Zhang dkk., 2020), dan pati (Song dkk., 2024) juga menarik perhatian karena memiliki biokompatibilitas yang baik dan ramah lingkungan.

Kinerja SRF sangat dipengaruhi oleh karakter material pelapis, terutama ketebalan lapisan, porositas, dan sifat hidrofilisitas. Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa modifikasi material pelapis dapat memperbaiki pola pelepasan nutrisi. Salah satu studi melaporkan bahwa sistem urea lepas lambat berbasis membran yang tersusun dari campuran pati dan polivinil alkohol yang dimodifikasi menggunakan asam akrilat, asam sitrat, dan asam maleat. Komposit tersebut menunjukkan kinerja pelepasan yang cukup tinggi dengan efisiensi mencapai

sekitar 70,10% (Retno Sulisty Dhamar Lestari dkk., 2020). Meskipun demikian, penggunaan pati sebagai salah satu komponen penyusun material SRF masih memiliki keterbatasan karena cenderung mengalami degradasi yang relatif cepat di lingkungan, sehingga berpotensi mempercepat pelepasan hara. Oleh karena itu, diperlukan material alternatif yang lebih stabil namun tetap bersifat biodegradabel untuk digunakan sebagai membran dalam sistem *slow release fertilizer* (SRF), salah satu material tersebut adalah kitosan (CS).

Kitosan merupakan salah satu biopolimer yang banyak diteliti sebagai material pendukung SRF karena bersifat *biodegradable*, biokompatibel, dan mengandung gugus fungsi hidroksil ($-OH$) dan amina ($-NH_2$) yang memungkinkan terjadi interaksi dengan senyawa lain. Selain itu, kitosan dapat direkayasa menjadi berbagai bentuk material, seperti film dan membran yang ramah lingkungan. Ketika dikombinasikan dengan pupuk atau nutrisi, kitosan berpotensi digunakan sebagai matriks pembawa untuk diaplikasikan ke dalam sistem SRF (Natsir dkk., 2025; Riseh dkk., 2023).

Kitosan memiliki banyak keunggulan sebagai biopolimer, namun penggunaan kitosan dalam bentuk murni masih memiliki keterbatasan, yakni stabilitas yang rendah dikarenakan gugus fungsional yang dimiliki belum mampu menghasilkan interaksi yang cukup kuat dengan senyawa target. Oleh karena itu, diperlukan modifikasi kimia pada kitosan murni untuk meningkatkan kinerja kitosan sebagai material membran. Modifikasi ini bertujuan untuk mengoptimalkan sifat muatan pada gugus aktif, menambahkan gugus fungsional tertentu ke dalam

struktur polimer, dan meningkatkan sifat hidrofilisitas melalui pembentukan ikatan silang (Natsir dkk., 2025).

Berbagai metode penelitian telah dilaporkan untuk meningkatkan kinerja kitosan sebagai matriks SRF, meliputi proses penautan silang untuk memperkuat struktur polimer (Vo dkk., 2021), pencampuran dengan polimer atau material lain untuk membentuk komposit yang lebih stabil (Adlim dkk., 2019), penambahan nanopartikel atau senyawa bioaktif untuk meningkatkan sifat fungsional (Prajapati dkk., 2022), dan teknik mikroenkapsulasi untuk mengontrol pelepasan nutrisi (Chiaregato dkk., 2023). Selain itu, studi terbaru menunjukkan bahwa modifikasi kitosan dengan pengikat silang tripolifosfat dan kalsium oksida dapat meningkatkan proses enkapsulasi dan meminimalisir pelepasan urea (Cahyaningrum dkk., 2024). Namun, kajian mengenai membran kitosan yang ditaut silang dengan tripolifosfat, dipadukan dengan poliakrilamida, dan diperkuat dengan lapisan luar kalsium klorida sebagai sistem SRF masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini diarahkan untuk mengkaji sistem membran tersebut sebagai alternatif material SRF yang diharapkan memiliki karakteristik fisikokimia lebih baik dan kemampuan pelepasan pupuk yang lebih terkendali.

Poliakrilamida (PAM) merupakan polimer hidrofilik yang banyak digunakan sebagai pembentuk hidrogel karena memiliki kemampuan menyerap air dalam jumlah tinggi (Qiu & Hu, 2013; Sannino dkk., 2009). Sifat tersebut menjadikan PAM relevan untuk sistem SRF, terutama dalam mengatur penyerapan air dan pelepasan nutrisi dari matriks polimer. PAM dikenal secara luas dalam berbagai aplikasi, termasuk produk kesehatan dan pertanian (Laftah, W. & Hashim,

2014). PAM memiliki gugus amida ($-\text{CONH}_2$) yang dapat membentuk ikatan hidrogen dengan gugus hidroksil ($-\text{OH}$) dan amina ($-\text{NH}_2$) pada kitosan, sehingga berpotensi menghasilkan jaringan polimer yang lebih rapat dan lebih stabil. Berdasarkan karakteristik tersebut, PAM dipilih sebagai komponen modifikasi untuk meningkatkan performa membran kitosan dalam sistem pelepasan pupuk secara lambat.

Tripolifosfat (TPP) digunakan sebagai agen penaut silang untuk membentuk jaringan polimer yang lebih stabil melalui interaksi antara gugus amina terprotonasi pada kitosan dan anion fosfat dari TPP. Interaksi ini menghasilkan kompleks polielektrolit yang dapat meningkatkan kekuatan mekanik, kestabilan kimia, dan menurunkan kelarutan membran (Ikhsan dkk., 2024). Di sisi lain, penambahan ion kalsium dari CaCl_2 sebagai lapisan luar diperkirakan dapat bertindak sebagai penguat sekunder yang membantu memperbaiki struktur membran dan memengaruhi laju pelepasan nutrisi. Dengan demikian, kombinasi kitosan, PAM, TPP, dan CaCl_2 diharapkan mampu menghasilkan membran dengan karakter yang lebih sesuai untuk aplikasi SRF.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan membran kitosan yang ditaut silang dengan tripolifosfat dan dimodifikasi dengan pencampuran poliakrilamida pada beberapa variasi konsentrasi, dan diperkuat dengan penambahan kalsium klorida sebagai lapisan luar membran. Membran yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi untuk menentukan sifat fisikokimia dan diuji kemampuan pelepasan fosfat dan kalium untuk menentukan kinerja membran sebagai *slow-release fertilizer* (SRF). Penelitian ini

diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan material membran yang lebih efisien, stabil, dan ramah lingkungan untuk mendukung sistem pemupukan berkelanjutan.

I.2 Tujuan

1. Sintesis membran kitosan tertaut silang TPP dan membran kitosan tertaut silang TPP yang dimodifikasi PAM dengan variasi konsentrasi (0,1%; 0,5% dan 1%) dan ditambahkan larutan CaCl_2 sebagai lapisan luar membran.
2. Menganalisis pengaruh variasi konsentrasi PAM terhadap karakteristik morfologi dan sifat fisikokimia membran.
3. Menentukan kemampuan membran kitosan-TPP dan membran kitosan-TPP /PAM sebagai membran *slow-release fertilizer* (SRF) berdasarkan pelepasan fosfat dan kalium.