



Bioencapsulation of *Streptomyces* sp. with Sodium Alginate for Control *Fusarium* sp. in Shallot Plants

Kanaya Syafina Widyananda, Arika Purnawati*, & Sri Wiyatiningsih

Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Pembangunan Nasional “Veteran” University,
Surabaya, East Java, Indonesia, 60294

*Corresponding Author: arika_p@upnjatim.ac.id

Received November 07, 2025; revised December 22, 2025; accepted December 30, 2025

ABSTRACT

This study investigated the effects of *Streptomyces* sp. encapsulated in sodium alginate beads on the growth and health of shallot (*Allium cepa* L.) plants. Different sodium alginate concentrations (2%, 2.5%, and 3%) and application timings (7 days before transplanting and at transplanting) were tested. The mass and diameter of the beads showed slight decreases over storage time, indicating some shrinkage but maintaining structural integrity to protect the bacteria. Encapsulation efficiency was highest at 3% sodium alginate, which also correlated with increased bead stability. Viability tests revealed that *Streptomyces* maintained high colony-forming units (CFU) across the treatments, confirming the protective effect of the encapsulation. Application of beads significantly reduced *Fusarium* wilt disease intensity and improved bulb weight. Treatments with higher sodium alginate concentrations and earlier application times showed the most pronounced benefits. These findings demonstrate that beads using optimal sodium alginate concentration and timing enhance microbial viability and biological control efficacy, contributing to healthier and more productive shallot cultivation.

Keywords: Beads, Biocontrol agents, Microbial encapsulation

Bioenkapsulasi *Streptomyces* sp. dengan Sodium Alginat untuk Pengendalian *Fusarium* sp. Tanaman Bawang Merah

ABSTRAK

Penelitian ini menginvestigasi pengaruh *Streptomyces* sp. yang dikapsulasi dalam *beads* sodium alginat terhadap pertumbuhan dan kesehatan tanaman bawang merah (*Allium cepa* L.). Berbagai konsentrasi sodium alginat (2%, 2,5%, dan 3%) dan waktu aplikasi (7 hari sebelum pindah tanam dan bersamaan pindah tanam) diuji. Massa dan diameter *beads* menunjukkan sedikit penurunan selama penyimpanan, menandakan adanya penyusutan namun struktur tetap stabil untuk melindungi bakteri. Efisiensi enkapsulasi tertinggi didapat pada konsentrasi 3% sodium alginat, yang berkorelasi dengan kestabilan manik yang meningkat. Uji viabilitas menunjukkan *Streptomyces* mempertahankan jumlah koloni hidup (CFU) yang tinggi pada semua perlakuan, mengonfirmasi efek protektif enkapsulasi. Pemberian manik secara signifikan menurunkan intensitas penyakit layu *Fusarium* dan meningkatkan bobot umbi. Perlakuan dengan konsentrasi sodium alginat tinggi dan waktu aplikasi lebih awal menghasilkan manfaat paling nyata. Temuan ini menunjukkan bahwa manik dengan konsentrasi dan waktu aplikasi optimal meningkatkan viabilitas mikroba dan efektivitas pengendalian hayati, berkontribusi pada budidaya bawang merah yang lebih sehat dan produktif.

Kata Kunci: Agens biokontrol, Enkapsulasi mikroba, Manik-manik

PENDAHULUAN

Tanaman bawang merupakan salah satu komoditas yang menjadi permintaan pasar yang cukup tinggi. Hal ini dikarenakan bawang merah menjadi bumbu masakan yang sering digunakan dan memiliki banyak kandungan dan komponen bioaktif yang berguna bagi tubuh seperti senyawa flavonoid dan fenolik yang dapat menjadi zat antioksidan alami (Hikmah dan Anggarani, 2021). Berdasarkan hal tersebut, maka permintaan bawang merah terus meningkat dua tahun terakhir, namun tidak sejalan

dengan jumlah produksi yang semakin menurun dan disebabkan oleh serangan penyakit, salah satunya adalah layu *Fusarium* atau penyakit moler. Tanaman bawang merah yang terserang jamur *Fusarium* sp. akan menyebabkan bibit tidak mampu tumbuh sempurna, tunas yang tumbuh akan mengalami klorosis dan rebah ke tanah kemudian membusuk (Emeliawati *et al.*, 2022).

Upaya pengendalian secara konvensional dengan fungisida kimia menimbulkan risiko pencemaran dan gangguan kesehatan. Alternatif ramah

lingkungan berupa pemanfaatan agen hayati seperti *Streptomyces* sp. semakin dikembangkan. *Streptomyces* memiliki sifat antibakteri, antifungi, dan mampu menghasilkan metabolit yang efektif sebagai antipatogen dan pendukung pertumbuhan tanaman (PGPR). Aplikasi *Streptomyces* sp. terbukti menekan pertumbuhan *Fusarium oxysporum* serta meningkatkan ketahanan dan kualitas bawang merah. Suryaminarsih *et al.*, (2015) menemukan bahwa *Streptomyces griseorubens* memiliki mekanisme antibiosis dan menghasilkan senyawa yang dapat menghambat diameter koloni jamur *Fusarium oxysporum*.

Tantangan utama dalam menggunakan dan menerapkan *Streptomyces* sp. sebagai APH yakni ketahanan terhadap kondisi lingkungan yang tidak selalu mendukung, seperti adanya suhu ekstrim, kelembaban yang tinggi, hingga paparan sinar matahari secara langsung. Hambatan tersebut dapat diatasi dengan peningkatan efektifitas dari APH dengan membuat suatu formulasi aplikasi. Salah satu cara pengolahan APH yang dapat dilakukan adalah dengan metode enkapsulasi. Menurut penelitian Saputra *et al.*, (2024), formulasi enkapsulasi yang paling efisien dan efektif adalah dengan bioenkapsulasi. Bioenkapsulasi merupakan salah satu proses pembungkusan mikroorganisme dalam bahan matriks salah satunya adalah sodium alginat yang dapat melindunginya dari berbagai kondisi lingkungan yang dianggap merugikan.

Formulasi bioenkapsulasi menggunakan beberapa konsentrasi sodium alginat telah dilakukan dengan hasil konsentrasi 3% menjadi konsentrasi yang paling sesuai untuk bioenkapsulasi. Pada penelitian Heidari *et al.*, (2016) juga menunjukkan bahwa pada konsentrasi 3% ke atas memiliki stabilitas yang baik dibandingkan konsentrasi 1%. Hal ini dikarenakan, semakin kecil konsentrasi sodium alginat maka permukaan manik-manik (*beads*) akan semakin longgar dan jumlah sel yang hidup akan menurun.

Pengaplikasian *beads* juga memerlukan waktu aplikasi yang tepat karena akan mempengaruhi hidup agensia hayati yang tersalut dan interaksinya di dalam tanah. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perbedaan konsentrasi sodium alginat terhadap viabilitas, massa dan diameter *beads*, serta untuk mengetahui pengaruh kombinasi perbedaan konsentrasi sodium alginat dengan waktu aplikasi terhadap intensitas penyakit layu fusarium dan bobot umbi bawang merah.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kesehatan Tanaman dan *Greenhouse* Fakultas Pertanian, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur selama bulan Februari hingga September tahun 2025. Penelitian ini dilakukan dengan dua metode yaitu secara *in vitro* di laboratorium menggunakan Rancangan Acak Lengkap non faktorial

terdiri dari 4 perlakuan dan 5 ulangan sehingga terdapat 20 unit percobaan.

Perlakuan tersebut sebagai berikut:

- K₀ = Konsentrasi sodium alginat 2% tanpa bahan inti (kontrol).
- K₁ = Konsentrasi sodium alginat 2% + bahan aktif *Streptomyces* sp.
- K₂ = Konsentrasi sodium alginat 2,5% + bahan aktif *Streptomyces* sp.
- K₃ = Konsentrasi sodium alginat 3% + bahan aktif *Streptomyces* sp.

Penelitian *in vivo* di *greenhouse* dilakukan menggunakan Rancangan Acak Lengkap Faktorial dengan 7 perlakuan termasuk perlakuan kontrol dan diulang 3 kali dengan setiap perlakuan terdiri dari 5 tanaman, sehingga total tanaman sebanyak 105 tanaman.

Perlakuan tersebut sebagai berikut:

- K₁W₁ = Konsentrasi sodium alginat 2% + waktu aplikasi bersamaan dengan pindah tanam
- K₁W₂ = Konsentrasi sodium alginat 2% + waktu aplikasi 7 hari sebelum tanam
- K₂W₁ = Konsentrasi sodium alginat 2,5% + waktu aplikasi bersamaan dengan pindah tanam
- K₂W₂ = Konsentrasi sodium alginat 2,5% + waktu aplikasi 7 hari sebelum tanam
- K₃W₁ = Konsentrasi sodium alginat 3% + waktu aplikasi bersamaan dengan pindah tanam
- K₃W₂ = Konsentrasi sodium alginat 3% + waktu aplikasi 7 hari sebelum tanam
- K₀ = Konsentrasi sodium alginat 2% tanpa bahan inti + *Fusarium* sp.

Penelitian ini dimulai dari pembuatan media PDA (*Potato Dextrose Agar*) dan GNA (*Glucose Nutrient Agar*), peremajaan dan pembuatan suspensi *Streptomyces* sp., pembuatan *beads* bioenkapsulasi, pengujian patogenesitas *Fusarium* sp., persiapan media tanam, dan pengujian antagonis secara *in vivo*, dan selanjutnya dilakukan pengamatan.

Pembuatan Media PDA dan GNA

Media GNA dibuat menggunakan komposisi media antara 1 g glukosa, 1.75 g KH₂PO₄, 0.85 g NaNO₃, 0.75 g KCL, 2.5 g MgSO₄·7H₂O dan 20 g bubuk agar dengan aquadest steril 1000 ml, sedangkan untuk media PDA dibuat menggunakan 35 g media instan dengan 1000 ml aquadest steril.

Peremajaan dan Pembuatan Suspensi *Streptomyces* sp.

Isolat *Streptomyces* sp. diperoleh dari koleksi mahasiswa UPN “Veteran” Jawa Timur kemudian diperbanyak di media GNA pada cawan petri.

Kemudian dilakukan pembuatan suspensi dengan populasi *Streptomyces* sp. 10^{10} kemudian divorteks.

Pembuatan *Beads* Bioenkapsulasi

Pembuatan *beads* diawali dengan pembuatan suspensi sodium alginat dengan masing-masing konsentrasi (2%, 2,5%, dan 3%) dengan rincian sebanyak 2 g, 2,5 g, dan 3 g sodium alginat masing-masing dilarutkan dengan 100 ml aquadest steril lalu diaduk hingga homogen. Kemudian dilanjutkan dengan pembuatan suspensi larutan CaCl_2 yang menggunakan kristal CaCl_2 sebanyak 3 g untuk mendapatkan konsentrasi 3% dengan melarutkannya ke dalam 100 ml aquadest steril lalu aduk hingga homogen. Pembuatan *beads* diawali menghomogenkan suspensi *Streptomyces* sp. dengan populasi 10^{10} dengan suspensi sodium alginat menggunakan perbandingan 1:10.

Campuran tersebut kemudian diteteskan ke dalam suspensi CaCl_2 menggunakan *syringe* secara perlahan hingga membentuk bulatan sempurna. *Beads* yang sudah terbentuk di dalam larutan CaCl_2 direndam selama kurang lebih 30 menit untuk mengeras bagian dalam. *Beads* kemudian disaring dan dibilas dengan NaCl 0,85% steril sebanyak dua kali pencucian untuk dianalisis pada pengujian *in vitro* (Khimakthong *et al.*, 2020). *Beads* yang sudah terbentuk kemudian disimpan di dalam botol kaca pada suhu ruang.

Persiapan Media Tanam

Media tanam yang digunakan adalah tanah dan kompos dengan perbandingan 1:1. Tanah yang digunakan, sebelumnya disterilkan terlebih dahulu menggunakan H_2O_2 50% (Chahar, 2021) dalam konsentrasi 300 ml dalam 16 L air. Proses sterilisasi ini dilakukan dengan menyemprotkan larutan H_2O_2 ke tanah kemudian diaduk merata dan ditutup dengan plastik selama 1 hari. Setelah 1 hari, plastik dibuka dan tanah dikering anginkan. Setelah itu, media tanam dipindahkan ke dalam polybag berukuran 25 cm x 25 cm x 25 cm.

Pengujian Antagonis secara *In Vivo*

Uji antagonisme *in vivo* dilakukan sesuai dengan perlakuan waktu aplikasi dengan menggunakan *beads* sebanyak 1 g/polybag sekitar 28 butir *beads* serta suspensi *Fusarium* sp. sebanyak 10 ml dengan kerapatan 10^6 CFU/ml. Perlakuan W1 yaitu mengaplikasikan *beads* dan suspensi *Fusarium* sp. pada media tanam, kemudian setelah 7 hari dilakukan penanaman bibit tanaman bawang merah. Pada perlakuan W2 yaitu dengan mengaplikasikan *beads*, suspensi *Fusarium* sp. dan bibit tanaman bawang merah dilakukan secara bersamaan. Selama kegiatan perlakuan secara *in vivo* tetap dilakukan penyiraman dan pemeliharaan.

Parameter Pengamatan

Diameter dan *Swelling Ratio*

Pengamatan diameter *beads* dilakukan dengan mengukur rata-rata diameter menggunakan kertas millimeter dengan memilih secara acak sebanyak

10 *beads* *Streptomyces* sp. selama 30 hari penyimpanan dengan interval pengamatan seminggu sekali. Kemudian perbedaan diameter *beads* dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Laju Perubahan} = \frac{\text{diameter awal} - \text{diameter akhir}}{\text{diameter awal}}$$

Pengamatan *swelling ratio* dilakukan dengan metode penimbunan di dalam tanah steril menggunakan 1 g *beads* yang dimasukkan ke dalam kantong nilon kemudian ditimbun di dalam 100 g tanah steril pada wadah kedap udara. Pengamatan dilakukan selama 1 minggu dengan interval 3, 5, dan 7 hari. *Swelling ratio* dihitung menggunakan rumus (Rojas-Padilla *et al.*, 2022):

$$SR = \frac{W_t - W_d}{W_d} \times 100\%$$

Keterangan

SR = *Swelling ratio*

W_t = Berat Kantong nilon + *beads* (setelah penimbunan)

W_d = Berat Kantong nilon + *beads* (sebelum penimbunan)

Viabilitas *Streptomyces* sp.

Pengamatan viabilitas dilakukan menggunakan metode TPC (*Total Plate Count*) dengan menghitung jumlah populasi koloni yang tumbuh di dalam media GNA selama masa inkubasi, dengan menggunakan metode pengenceran bertingkat. Pengujian dilakukan selama 30 hari dengan interval 1 minggu sekali. Viabilitas *Streptomyces* sp. dihitung menggunakan rumus (Hanif, 2016):

$$\text{CFU/mL} = \frac{\text{Jumlah total koloni}}{\text{volume yang disebar} \times \text{faktor pengenceran}}$$

Intensitas Penyakit Layu *Fusarium*

Intensitas penyakit dihitung dari sejak hari pertama inokulasi hingga muncul gejala dengan interval waktu 7 hari selama 4 minggu dengan rumus sebagai berikut (Sulthoni *et al.*, 2016):

$$IP = \frac{\sum (n \times v)}{Z \times N} \times 100\%$$

Keterangan

IP = Intensitas Penyakit

n = Jumlah tanaman dalam nilai kategori tertentu

v = Nilai skoring berdasarkan jumlah daun tanaman yang terserang

N = Jumlah tanaman yang digunakan dalam percobaan

Z = Skala keparahan penyakit tertinggi

Skala:

- 0 = Semua daun sehat
- 1 = 0 - < 20% daun layu
- 2 = > 20 - ≤ 40% daun layu
- 3 = > 40 - ≤ 60% daun layu
- 4 = > 60 - ≤ 80% daun layu
- 5 = > 80 - ≤ 100% daun layu (tanaman mati)

Bobot Umbi Bawang Merah

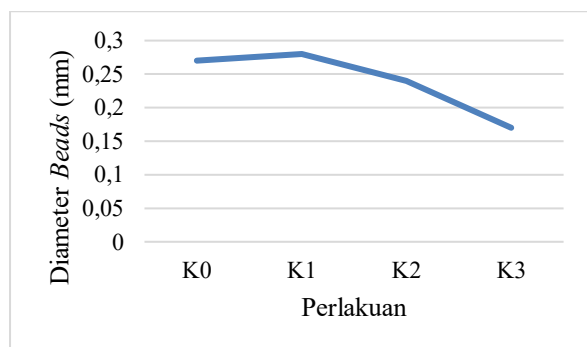
Menimbang bobot umbi bawang merah dilakukan menggunakan timbangan analitik dan dilakukan ketika panen yaitu pada saat tanaman berumur 60–75 HST (Rosna *et al.*, 2021).

Selanjutnya untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap variabel pengamatan, maka dilakukan analisis keragaman (ANOVA) dengan uji lanjutan menggunakan Uji BNJ dengan taraf 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Diameter dan *Swelling Ratio*

Hasil pengamatan selama 30 hari penyimpanan, konsentrasi sodium alginat yang berbeda menunjukkan adanya perbedaan laju perubahan *beads* yang dapat terjadi karena adanya aktivitas *Streptomyces* sp. dalam mensintesis dinding matriks *beads* sehingga dalam masa penyimpanannya, *beads* mengalami penurunan diameter. Penggunaan konsentrasi sodium alginat yang berbeda akan mempengaruhi ukuran diameter dari *beads*. Masing-masing perlakuan konsentrasi menunjukkan nilai penyusutan yang berbeda (Gambar 1.).



Gambar 1. Grafik Laju Perubahan Diameter *Beads*

Perlakuan K3 menunjukkan laju perubahan diameter atau penyusutan yang paling rendah dengan selisih sebesar 0,17 mm, yang memiliki diameter awal sebesar 4,6 mm dan diameter akhir sebesar 3,8 mm. Perlakuan K2 memiliki laju perubahan diameter sebesar 0,24 mm yang memiliki diameter awal sebesar 4,5 mm dan diameter akhir sebesar 3,4 mm. Perubahan diameter yang paling besar adalah pada perlakuan K1 dengan laju perubahan sebesar 0,28 mm dari diameter awal sebesar 3,9 mm menjadi 2,8 pada diameter akhir dan tidak berbeda nyata dengan perlakuan K0 yang memiliki laju perubahan diameter sebesar 0,27 mm.

Penyusutan diameter dapat terjadi akibat *beads* mengalami penyusutan dan pepadatan bentuk karena hilangnya air dan reorganisasi struktur polimer alginat.

Penyusutan tertinggi terjadi pada perlakuan yang memiliki kandungan sodium alginat yang paling rendah yaitu 2%. Semakin tinggi konsentrasi sodium alginat yang digunakan, maka viskositas akan meningkat dan menyebabkan ukuran tetesan *beads* akan semakin lebih besar dan laju perubahan diameter *beads* pada konsentrasi 3% menjadi lebih kecil. Hal ini sesuai dengan penelitian Andriani dan Irdawati (2025), yang menyatakan semakin tinggi konsentrasi sodium alginat yang digunakan dalam *beads*, maka optimalisasi *beads* dalam menjaga keseimbangan antara kapasitas sel dan efisiensi metabolisme hingga laju perubahan diameter akan semakin baik.

Hasil uji sidik ragam pada pengamatan *swelling ratio* untuk hari ke-3 dan 5 perlakuan konsentrasi sodium alginat menunjukkan hasil tidak berbeda nyata terhadap nilai *swelling*. Namun, pada pengamatan hari ke-7 menunjukkan adanya pengaruh berbeda nyata terhadap nilai *swelling*, sehingga diperlukan uji lanjut. Hasil tersebut menunjukkan perlakuan kontrol berbeda nyata dengan perlakuan K₃. Nilai *swelling* untuk perlakuan konsentrasi sodium alginat 3% selama 7 hari pengamatan memiliki nilai paling rendah dibandingkan dengan perlakuan lain (Tabel 1.).

Tabel 1. *Swelling Ratio*

Perlakuan	Pengamatan Hari Ke – (%)		
	3	5	7
K0	82,6	88,4	90,6b
K1	72	74,8	80,40ab
K2	73	76,8	81,80ab
K3	69,4	71,2	74,6a

Keterangan: Huruf yang sama dalam kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji BNJ 5%.

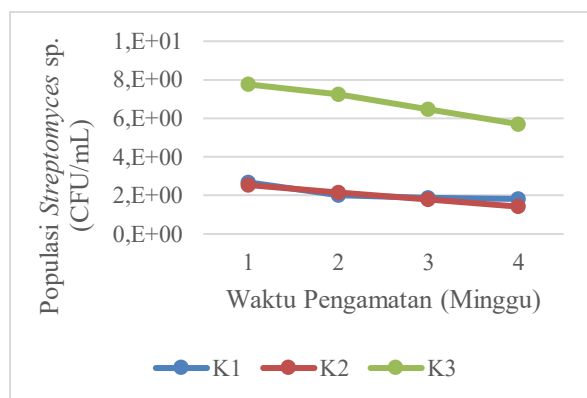
- K1 = *Beads* berbahan aktif *Streptomyces* sp. dengan konsentrasi Sodium Alginat 2%
- K2 = *Beads* berbahan aktif *Streptomyces* sp. dengan konsentrasi Sodium Alginat 2,5%
- K3 = *Beads* berbahan aktif *Streptomyces* sp. dengan konsentrasi Sodium Alginat 3%

Hal ini menandakan adanya pertumbuhan dari bahan aktif yaitu *Streptomyces* sp. yang disalut di dalam sodium alginat, sehingga degradasi atau penyusutan tidak terlalu tinggi. Stabilitas *beads* cukup terjaga hingga hari ke-7 pengamatan, meskipun nilai massa *beads* cenderung menurun. Hasil tersebut menunjukkan bahwa *beads* mampu mempertahankan kapasitas penyerapan air yang baik sehingga tidak mengalami degradasi bobot yang signifikan, sehingga mikroba yang tersalut mampu terjaga efektivitasnya. Hal ini sejalan dengan Mubarakah (2018) yang menyatakan bahwa efektivitas imobilisasi mikroorganisme sangat dipengaruhi oleh konsentrasi sodium alginat yang digunakan. Konsentrasi yang tepat

dan sesuai akan mengurangi kebocoran matriks, sehingga mampu mempertahankan viabilitas mikroorganisme, hingga morfologi *beads* yang terbentuk.

Viabilitas *Streptomyces* sp.

Hasil analisis keragaman pengaruh konsentrasi sodium alginat terhadap viabilitas *Streptomyces* sp. yang disalut menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi berpengaruh sangat nyata terhadap viabilitas *Streptomyces* sp. Untuk mengetahui perbedaan antar rerata viabilitas yang dihasilkan pada berbagai perlakuan konsentrasi sodium alginat, maka dilakukan Uji BNJ dengan taraf nyata 5%. Hasil uji BNJ menunjukkan bahwa viabilitas pada pengamatan minggu 1 untuk perlakuan konsentrasi sodium alginat 2% menunjukkan populasi *Streptomyces* sp. sebanyak $2,68 \times 10^{11}$ CFU/ml yang memiliki hasil tidak berbeda nyata dengan perlakuan konsentrasi sodium alginat 2,5% dengan populasi *Streptomyces* sp. sebanyak $2,54 \times 10^{11}$ CFU/ml. Namun, keduanya berbeda nyata dengan perlakuan konsentrasi sodium alginat 3% yang memiliki hasil populasi *Streptomyces* sp. sebanyak $7,76 \times 10^{12}$ CFU/ml (Gambar 2.).



Gambar 2. Grafik Viabilitas *Streptomyces* sp.

Pengamatan minggu ke-2 hingga minggu ke-4, seluruh perlakuan mengalami penurunan nilai viabilitas *Streptomyces* sp. Perlakuan konsentrasi sodium alginat 2% dan 2.5% menunjukkan hasil viabilitas yang berbeda nyata dibandingkan dengan perlakuan konsentrasi sodium alginat 3%. Penurunan viabilitas setiap minggu ini dipengaruhi oleh proses penyesuaian mikroorganisme terhadap nutrisi yang tersedia. Hal ini disebutkan Wang *et al.*, (2006), bahwa

imobilisasi dari mikroorganisme atau sel yang disalut dalam matriks akan dipengaruhi oleh fisiologi sel, ketebalan dinding sel, hingga produksi ekopolisakarida (EPS) yang mampu melindungi sel dari tekanan. Sehingga, penggunaan konsentrasi sodium alginat perlu diperhatikan karena berpengaruh dalam menjaga keseimbangan antara efisiensi metabolisme dari mikroorganisme dan kapasitas sel penyalutnya.

Perbedaan dan penurunan jumlah populasi *Streptomyces* sp. pada setiap perlakuan dengan pengamatan tiap minggu dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti karakteristik fisiologis dan genetik dari mikroorganisme yang digunakan yaitu kemampuan adaptasi terhadap lingkungan di dalam matriks *beads* (Maulina dan Irdawati, 2025). Matriks *beads* menjadi media pertumbuhan yang sangat minim nutrisi, sehingga *Streptomyces* sp. memanfaatkan sodium alginat sebagai sumber nutrisi yang seiring waktu akan menjadi terbatas. Penggunaan konsentrasi sodium alginat juga dapat mempengaruhi viabilitas mikroorganisme. Karena, karakteristik fisik *beads* yang dihasilkan pada setiap konsentrasi sodium alginat akan berbeda dan penjagaan viabilitas mikroorganisme yang disalut akan berpengaruh. Hal ini sejalan dengan penelitian Andriani dan Irdawati (2025), bahwa *beads* yang stabil dengan menggunakan konsentrasi alginat yang sesuai akan lebih tahan terhadap tekanan hidrodinamik dan mampu memastikan efisiensi pertukaran nutrient dan produk metabolit dari mikroorganisme.

Kombinasi Aplikasi *Beads* dan Waktu Aplikasi Berbeda terhadap Intensitas Penyakit Layu *Fusarium*

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan pengaruh kombinasi perlakuan antara perbedaan konsentrasi sodium alginat dan waktu pengaplikasian memberikan pengaruh nyata terhadap intensitas penyakit layu *Fusarium*. Untuk mengetahui perbedaan antar intensitas penyakit yang dihasilkan pada berbagai kombinasi perlakuan konsentrasi sodium alginat dan waktu pengaplikasian berbeda, maka dilakukan Uji BNJ dengan taraf nyata 5%. Hasil menunjukkan bahwa perlakuan aplikasi *beads* 3% yang diaplikasikan 7 hari sebelum tanam menunjukkan penurunan intensitas penyakit secara signifikan dibandingkan dengan perlakuan lain (Tabel 2.).

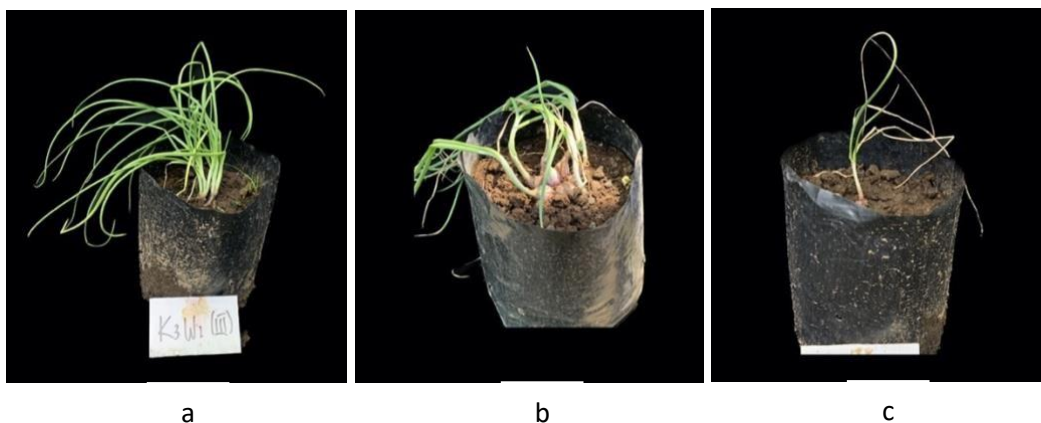
Perlakuan	Pengamatan Minggu Ke – (%)			
	1	2	3	4
K ₀	33,33a	50c	80a	93,33b
K ₁ W ₁	23,33b	56,67b	43,33b	60b
K ₂ W ₁	40a	40a	43,33b	53,33b
K ₃ W ₁	40b	44,44b	27,69b	60b
K ₁ W ₂	6,67a	40a	46,67b	60b
K ₂ W ₂	0	26,67b	33,33b	40b
K ₃ W ₂	0	20b	6,67c	6,67c

Keterangan: Huruf yang sama dalam kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji BNJ 5%.

Kombinasi perlakuan sodium alginat dengan waktu aplikasi sebelum tanam menghasilkan intensitas paling rendah dibandingkan dengan waktu aplikasi bersamaan dengan pindah tanam. Hasil uji BNJ menunjukkan bahwa pada pengamatan minggu ke-4, perlakuan beads 3% dan waktu aplikasi sebelum tanam memiliki nilai intensitas penyakit layu fusarium yang paling kecil yaitu 6,67%. Hasil ini berbeda nyata dengan perlakuan lain. Hal ini dapat diduga akibat pelepasan *Streptomyces* sp. yang cukup optimal saat diaplikasikan sebelum bibit bawang merah dipindah tanam, *Streptomyces* sp. mampu menurunkan keparahan penyakit layu fusarium pada bawang merah dan meningkatkan masa inkubasi penyakit.

Intensitas penyakit layu fusarium yang lebih rendah menunjukkan bahwa *Streptomyces* sp. dalam

beads mampu mengurangi perkembangan *Fusarium* sehingga tanaman tidak menunjukkan intensitas penyakit yang tinggi. Selama 7 hari sebelum tanam, beads memungkinkan *Streptomyces* sp. mampu bertahan lama di media tanam dan sistem pelepasan dapat terkontrol. Pada penelitian Prakoso *et al.*, (2016), tanaman bawang merah menunjukkan gejala khas yang disebabkan oleh jamur *Fusarium* sp. yakni daun tidak tumbuh tegak tetapi melintir serta berwarna hijau pucat atau kekuningan dan adanya pembusukan akar hingga mengalami kelayuan. Hal ini sesuai dengan gejala yang ditunjukkan pada tanaman bawang merah setelah masa inkubasi *Fusarium* sp. adalah daun melengkung kemudian layu dengan ciri khas berwarna hijau kekuningan (Gambar 3.).



Gambar 3. Gejala tanaman selama pengamatan: (a) Tanaman sehat, (b) Tanaman bergejala layu; (c) Tanaman mati

Kombinasi Aplikasi Beads dan Waktu Aplikasi Berbeda terhadap Bobot Umbi Bawang Merah

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan perbedaan konsentrasi sodium alginat dan waktu pengaplikasian mempengaruhi bobot umbi bawang merah, ditunjukkan dari nilai signifikansi (Sig.) adalah $< 0,05$, yang artinya adanya perbedaan nyata pada setiap kombinasi perlakuan. Hasil uji lanjut menunjukkan rata-rata bobot umbi per rumpun tertinggi diperoleh pada kombinasi perlakuan konsentrasi sodium alginat 3% dan waktu aplikasi bersamaan dengan pindah tanam, tetapi dengan kombinasi perlakuan konsentrasi sodium alginat 3% dan waktu aplikasi 7 hari sebelum tanam tidak menunjukkan adanya perbedaan signifikan. Namun, kedua kombinasi tersebut berbeda nyata dengan perlakuan kontrol dan beberapa kombinasi perlakuan konsentrasi sodium alginat 2% dan waktu aplikasi bersamaan dengan pindah tanam.

Kombinasi perlakuan terbaik untuk hasil bobot umbi bawang merah adalah konsentrasi sodium alginat 3% dengan waktu aplikasi bersamaan dengan pindah tanam dengan rata-rata bobot umbi bawang merah sebesar 24,07 g per rumpun. Sedangkan

kombinasi perlakuan konsentrasi sodium alginat 2% dan waktu aplikasi bersamaan dengan pindah tanam memiliki nilai rata-rata bobot umbi bawang merah terendah yaitu sebesar 14,91 g/rumpun (Tabel 3.). Dengan demikian, hasil tersebut menunjukkan bahwa kombinasi perlakuan konsentrasi sodium alginat 3% secara keseluruhan memberikan dampak positif terhadap pertumbuhan tanaman khususnya bobot basah umbi bawang merah.

Tabel 3. Bobot umbi per rumpun tanaman bawang merah

Perlakuan	Rata-rata Bobot Umbi (g/rumpun)
K0	13,53a
K1W1	14,91a
K2W1	19,30abc
K3W1	24,07c
K1W2	15,45ab
K2W2	17,34ab
K3W2	21,41bc

Keterangan: Huruf yang sama dalam kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji BNJ 5%.

Kombinasi pengaplikasian *beads* pada waktu aplikasi sebelum pindah tanam memberikan hasil terbaik pada bobot umbi bawang merah secara signifikan. Hal ini dikarenakan konsentrasi sodium alginat 3% mampu menyalut *Streptomyces* sp. dengan baik dan melepaskannya di dalam tanah sebelum patogen diinokulasikan atau sebelum bibit dipindah tanamkan. Selain itu, *Streptomyces* sp. termasuk dalam PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*) di dalam tanah yang mampu merangsang peningkatan tinggi tanaman dan produksi umbi bawang. Hal ini sejalan dengan penelitian Dhanasekaran & Jiang (2016) bahwa mikroba PGPR mampu membantu pembentukan dan perkembangan umbi tanaman karena menghasilkan hormon pertumbuhan seperti auksin, giberelin, dan sitokinin.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Penggunaan konsentrasi sodium alginat dalam menyalut *Streptomyces* sp. mempengaruhi diameter dan *swelling ratio* hingga viabilitas *Streptomyces* sp. yaitu pada perlakuan konsentrasi 3%.
2. Kombinasi perlakuan perbedaan sodium alginat dan waktu aplikasi berbeda yang paling efektif dan efisien adalah perlakuan K3W2 untuk nilai intensitas penyakit layu fusarium paling rendah, dan perlakuan K3W1 menghasilkan bobot umbi bawang merah paling tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada berbagai pihak yang sudah membantu penelitian ini sehingga dapat berjalan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriani P, & Irdawati I. 2025. Characterization of alginate *beads* from bioelectric producing thermophilic bacterial cells. *Jurnal Biologi Tropis*, 25(2), 1502–1507.
- Chahar S. (2021). Selection of effective method of soil sterilization for am fungal studies. *Education Times*, 9(2), 142–145.
- Dhanasekaran D, & Jiang Y. (Eds). (2016). *Actinobacteria - Basics and Biotechnological Applications*. InTech. doi: 10.5772/60457
- Emeliawati E, Salamiah S, & Fitriyanti D. 2022. Pengendalian penyakit moler (*Fusarium oxysporum*) pada bawang merah dengan serbuk kulit jengkol (*Pithecellobium jiringa*) di lahan gambut. *Jurnal Tanaman Tropika*, 5(2), 499–505.
- Hanif RA. (2016). *Pertumbuhan Bacillus subtilis pada Media Perbanyakan Cair dan Daya Antagonisnya Terhadap Fusarium oxysporum f.sp. cubense*. Skripsi. Universitas Jember.
- Heidari BA, Badinloo S, Ohadi M, & Noudeh GD. 2016. Bioencapsulation of biosurfactant-producing *Bacillus subtilis* (PTCC 1023) in alginate beads. *Jundishapur Journal of Natural Pharmaceutical Products*, 11(4), doi: 10.17795/jjnpp-33935.
- Hikmah SI, & Anggarani MA. 2021. Kandungan senyawa bioaktif dan aktivitas antioksidan bawang merah nganjuk (*Allium cepa* L.). *Unesa Journal of Chemistry*, 10(3), 220–230. <https://doi.org/10.26740/ujc.v10n3.p220-230>
- Khimmakthong U, Khumpouk P, Saichanaphan N, Intarasin Y, & Tirawanichakul K. 2020. The efficiency of microencapsulation with alginate, gelatin, and chitosan on the survival of *Bacillus subtilis*. *Chiang Mai University Journal of Natural Sciences*, 19(4), 684–701 <https://doi.org/10.12982/CMUJNS.2020.0001>
- Maulina AR, & Irdawati I. 2025. Characterization of immobilized cell alginate beads of mudiak sapan (MS) isolates producing bioelectricity. *Jurnal Biologi Tropis*, 25(2), 1414–1418. DOI: <http://doi.org/10.29303/jbt.v25i2.8826>
- Mubarokah R. 2018. Efektivitas konsentrasi alginat dalam proses imobilisasi mikroorganisme. *Jurnal Teknologi Biopres*, 9(2), 85–92.
- Prakoso, E. B., S. Wiyatiningsih., H. Nirwanto. (2016). Uji ketahanan berbagai kultivar bawang merah (*Allium ascalonicum*) terhadap infeksi penyakit moler (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cepae*). *Berkala Ilmiah Agroteknologi: Plumula*, 5(1), 10–20.
- Rojas-Padilla J, De-Bashan LE, Parra-Cota FI, Rocha-Estrada J, & de Los Santos- Villalobos S. 2022. Microencapsulation of *Bacillus* strains for improving wheat (*Triticum turgidum* Subsp. *durum*) growth and development. *Plants*, 11(21), 2920. <https://doi.org/10.3390/plants11212920>
- Rosna A, Murlinah M, & Kesumawati E. 2021. Pertumbuhan dan hasil beberapa varietas bawang merah (*Allium ascalonicum* L.) akibat pemberian dosis pupuk NPK phonska di Dataran Tinggi Gayo Lues. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 6(4), 872–880.
- Saputra MM, Wuryandari Y, & Rahmadhini N. 2024. Pengujian biologis formulasi bioenkapsulasi *Bacillus* sp. untuk menghambat penyakit layu bakteri pada tanaman cabai. *Jurnal Agroekoteknologi*, 16(1), 1–12. <https://dx.doi.org/10.33512/jur.agroekotek.v16i1.23213>
- Sulthoni A, Budi GP, & Suyadi A. 2016. Pengaruh pemberian agensia hayati mikoriza (*Acaulospora tuberculata*) terhadap intensitas penyakit layu fusarium pada tanaman bawang merah (*Allium ascalonicum* L) (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Purwokerto).

- Suryaminarsih P, Kusriningrum N, & Surtiningsih T. 2015. Antagonistic compatibility of *Streptomyces griseorubens*, *Gliocladium virens*, and *Trichoderma harzianum* against *Fusarium oxysporum* cause of tomato wilt diseases. International Journal of Plant & Soil Science, 5(2), 82–89. DOI: 10.9734/IJPSS/2015/11026
- Wang Y. (2006). Immobilization of microbial cells for biocatalysis. Biotechnology Advances, 24(5), 427–441

