

KOMBINASI BIOFRESH PLUS DAN DOSIS NPK DALAM MENEKAN PENYAKIT PUSTUL BAKTER *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines* PADA TANAMAN KEDELAI DI LAHAN ULTISOL

THE ROLE OF BIOFRESH PLUS COMBINATION AND NPK FERTILIZER DOSAGE IN SUPPRESSING BACTERIAL PUSTULE DISEASE *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines* ON SOYBEAN IN ULTISOL SOIL

Anwar^{1*}, Andi Khaeruni², dan Vit Neru Satrah²

¹Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Musamus, Merauke, Indonesia

²Jurusan Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Halu Oleo, Kendari, Indonesia

* Corresponding Author. E-mail address: anwarsp92@unmus.ac.id

ARTICLE HISTORY:

Received: 13 October 2025

Peer Review: 22 November 2025

Accepted: 28 May 2026

KATA KUNCI:

Biofresh, kedelai, pustul bakteri, ultisol, varietas

KEYWORDS:

Bacterial pustule, biofresh, soybean, ultisol, variety

ABSTRAK

Kedelai (*Glycine max* (L.) Merr.) merupakan komoditas penting dalam mendukung ketahanan pangan nasional. Namun, produktivitasnya di Indonesia, khususnya di lahan ultisol Sulawesi Tenggara, masih rendah akibat kesuburan tanah yang terbatas dan infeksi penyakit pustul bakteri yang disebabkan oleh *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas kombinasi pupuk hayati Biofresh plus dan dosis pupuk anorganik NPK dalam menekan intensitas penyakit pustul bakteri pada beberapa varietas kedelai ditanam ultisol. Penelitian menerapkan rancangan split plot dalam RAK, yang terdiri atas 16 kombinasi perlakuan dan diulang sebanyak tiga kali. Variabel yang diukur meliputi keparahan penyakit, nilai luas di bawah kurva perkembangan penyakit (AUDPC), serta tingkat efektivitas pengendalian penyakit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Varietas Dena-1 (F4) paling tahan terhadap pustul bakteri, dengan AUDPC terendah (247,80%-hari) dan keparahan penyakit terendah di semua tahap. Kombinasi Biofresh plus dengan atau tanpa NPK rendah (25–50%), lebih efektif menekan penyakit dibanding pupuk anorganik penuh, dengan efektivitas tertinggi 32,91% (F1R2). Efektivitas pengendalian sangat bergantung pada kombinasi varietas dan pupuk, di mana F4 paling efektif dengan R1, F1 dengan R2, dan F3 dengan R3.

ABSTRACT

Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) is an important commodity in supporting national food security. However, its productivity in Indonesia, especially in the ultisol lands of Southeast Sulawesi, remains low due to limited soil fertility and infections of bacterial pustulosis caused by *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*. This study aims to determine the effectiveness of the combination of Biofresh plus biofertilizer and NPK inorganic fertilizer doses in suppressing the intensity of bacterial pustule disease in several soybean varieties on ultisol soil. The study applied a split plot design within a Randomized Block Design (RBD) framework, consisting of 16 treatment combinations and replications three times. The variables measured included disease severity, area under the disease development curve (AUDPC), and the level of effectiveness of disease control. The results showed that the Dena-1 (F4) variety was the most resistant to bacterial pustule, with the lowest AUDPC (247.80%-day) and the lowest disease severity at all stages. The combination of Biofresh plus with or without low NPK (25–50%), were more effective in suppressing disease than full inorganic fertilizer, with the highest effectiveness of 32.91% (F1R2). Control effectiveness is highly dependent on the combination of varieties and fertilizers, where F4 is most effective with R1, F1 with R2, and F3 with R3.

1. PENDAHULUAN

Kedelai (*Glycine max* L.) adalah komoditas strategis dalam mendukung ketahanan pangan nasional sebagai sumber protein nabati (Saputra *et al.*, 2023). Produksi kedelai nasional pada tahun 2022 mencapai sekitar 301.500 ton dengan produktivitas rerata sekitar 1,2 ton/ha (Kementerian Pertanian 2023). Meskipun demikian, produktivitas nasional masih jauh dari potensi optimal akibat berbagai kendala, termasuk infeksi penyakit dan keterbatasan lahan. Provinsi Sulawesi Tenggara adalah salah satu penghasil kedelai di Indonesia bagian timur, namun memiliki produktivitas yang relatif lebih rendah. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Sulawesi Tenggara, rerata produksi kedelai di provinsi ini berkisar antara 700 hingga 900 ton per tahun dengan produktivitas sekitar 0,8 ton per hektar. Kondisi ini dipengaruhi oleh kendala lahan ultisol yang memiliki kesuburan rendah dan rentan terhadap serangan penyakit, terutama penyakit pustul bakteri (Laia & Lase, 2024).

Penyakit pustul bakteri ditandai dengan munculnya bercak kekuningan pada permukaan daun yang kemudian berkembang menjadi pustul berwarna cokelat dan menimbulkan kerusakan jaringan daun (Dwirani *et al.*, 2021; Santana *et al.*, 2020). Infeksi penyakit ini menghambat proses fotosintesis, menyebabkan nekrosis, dan mempercepat gugurnya daun, sehingga berdampak pada penurunan hasil panen hingga 10–25% (Abadi *et al.*, 2023; Ray, 2024). Di wilayah Sulawesi Tenggara, serangan pustul bakteri menjadi salah satu kendala utama yang menghambat peningkatan produktivitas kedelai di tingkat petani.

Upaya pengendalian penyakit ini umumnya dilakukan dengan menanam varietas tahan dan penggunaan pestisida kimia sintetis. Akan tetapi, strategi tersebut memiliki keterbatasan, antara lain munculnya patogen resisten, residu kimia pada lingkungan, serta gangguan keseimbangan mikrobiota tanah. Salah satu alternatif yang menjanjikan adalah pemanfaatan pupuk hayati seperti Biofresh, yang mengandung mikroba menguntungkan seperti *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus* dan *Serratia* sp (Khaeruruni *et al.*, 2010). Mikroba tersebut diketahui berperan dalam menekan perkembangan patogen tanaman melalui mekanisme antagonisme, sekaligus meningkatkan ketersediaan hara dan kesehatan tanah.

Sejumlah penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pupuk hayati berbasis *Bacillus* dan mikroba antagonis lainnya efektif dalam menekan perkembangan penyakit tanaman serta meningkatkan pertumbuhan berbagai komoditas, termasuk serealia dan hortikultura (Setiaji *et al.*, 2023; Yu *et al.*, 2022). Mikroorganisme tersebut bekerja melalui mekanisme antagonisme, kompetisi ruang dan nutrisi, serta induksi ketahanan sistemik tanaman. Namun, kajian spesifik mengenai efektivitas Biofresh plus dalam menekan penyakit pustul bakteri pada kedelai masih terbatas, terutama pada kondisi lahan marginal seperti Ultisol. Beberapa studi lebih banyak berfokus pada efektivitas pupuk hayati secara umum pada peningkatan pertumbuhan tanaman, sementara pengujian langsung terhadap patogen pustul bakteri pada kedelai belum banyak dilaporkan secara spesifik (Khaeruni *et al.*, 2021; Yu *et al.*, 2022). Selain itu, informasi mengenai interaksi antara pupuk hayati Biofresh plus dengan dosis pupuk anorganik NPK serta variasi respons antar varietas kedelai terhadap kombinasi tersebut juga masih terbatas. Keterbatasan ini menjadi penting karena efektivitas pupuk hayati sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, terutama pada tanah Ultisol yang bersifat masam, memiliki kandungan bahan organik rendah, serta aktivitas mikrobiologis yang terbatas sehingga dapat memengaruhi performa agen hayati dalam menekan patogen.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kombinasi Biofresh plus dan dosis NPK dalam menekan serangan penyakit pustul bakteri *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines* pada beberapa varietas kedelai di tanah ultisol.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Laboratorium Proteksi Tanaman Universitas Halu Oleo Kendari dan di Desa Lamomea, Konawe Selatan dengan ketinggian tempat 20 mdpl dengan suhu rata-rata 28°C dan kelembaban 82%. Kegiatan penelitian berlangsung dari bulan Juli hingga Desember 2016.

2.2. Bahan dan alat

Bahan meliputi serasah kedelai, biofresh, benih kedelai, NPK, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, EM4, gula pasir, air, nutrient agar, alkohol 70%, aquades, dan spiritus. Alat meliputi jangka sorong, sekop, parang, mistar, laminar airflow, inkubator, autoclave, shaker, timbangan analitik, dan kamera dokumentasi.

2.3. Rancangan Penelitian

Penelitian disusun menggunakan rancangan petak terbagi (split plot) dalam rancangan acak kelompok (RAK) dengan tiga ulangan. Petak utama adalah varietas kedelai yang terdiri atas Argomulyo (F1), Anjasmoro (F2), Dering-1 (F3), dan Dena-1 (F4). Anak petak adalah kombinasi pupuk hayati dan pupuk anorganik yang terdiri atas Biofresh plus tanpa NPK (R1), Biofresh plus + 25% dosis NPK (R2), Biofresh plus + 50% dosis NPK (R3), dan 100% dosis NPK tanpa Biofresh plus (R4). Dengan demikian, terdapat 16 kombinasi perlakuan dan 48 satuan percobaan.

2.4. Tahapan Penelitian

2.4.1. Pembuatan bokashi

Sebelum penanaman bokashi dibuat dengan cara mencampur serasah kedelai, pupuk kandang, larutan EM-4 dan gula secara merata, yakni dengan menggunakan 300 kg serasah kedelai, 200 kg pupuk kandang sapi, 1 L larutan EM-4 yang terlebih dahulu dilarutkan dalam 10 L air dan dicampur dengan 1 kg gula pasir, kemudian diaduk hingga homogen. Campuran selanjutnya disimpan menggunakan terpal dan dibalik setiap hari selama tujuh hari untuk menjaga suhu fermentasi. Bokashi dinyatakan matang jika berwarna hitam, tidak berbau, dan tidak panas.

2.4.2. Pengolahan lahan

Pengolahan lahan diolah sebanyak dua kali menggunakan traktor hingga tanah menjadi gembur dengan luasan 1200 m². Selanjutnya, dibuat 48 bedengan berukuran 4 × 5 m, dengan jarak antar petak utama 50cm dan jarak antar anak petak yaitu 30cm.

2.4.3. Pengaplikasian kapur dolomit

Kapur dolomit di aplikasikan 2 minggu sebelum penanaman dengan cara menaburkan kapur dolomit ke permukaan bedengan tanaman dengan menggunakan dosis 1,5 ton/hektar atau 2,6 kg/petak yang berukuran 4 x 5 m.

2.4.4. Aplikasi pupuk bokashi

Pengaplikasian bokashi dilakukan 2 minggu sebelum penanaman dengan dosis 5 ton/hektar atau setara dengan 10 kg/petak ukuran 4 x 5 m. Setelah itu, tanah diolah kembali agar bokashi tercampur dan terbenam secara merata.

2.4.5. Aplikasi biofresh plus

Biofresh plus diaplikasikan sebanyak dua kali yakni pertama dilakukan saat tanam sebagai tutupan lubang penanaman, dan pengaplikasian kedua dilakukan pada tanaman berumur 4 MST dengan cara menaburkan Biofresh plus di sekitar perakaran tanaman kedelai dengan dosis 10 g/tanaman.

2.4.6. Penanaman

Sebelum penanaman benih kedelai terlebih dahulu diberi perlakuan Biofresh sebelum tanam melalui biopriming selama 1 jam menggunakan suspensi rizobakteri aktif dengan konsentrasi 10^{10} – 10^{11} cfu/ml atau OD = 2. Benih tanpa perlakuan direndam dalam akuades selama 1 jam. Selanjutnya, benih ditanam dengan jarak tanam 30 cm × 25 cm.

2.4.7. Pengaplikasian pupuk anorganik NPK

Pengaplikasian pupuk anorganik NPK dilakukan pada tanaman kedelai berumur 2 MST dengan cara ditugal di sekitar tanaman sesuai perlakuan pada masing-masing petak yang meliputi urea 100kg/ha; SP36 125kg/ha; dan KCL 85kg/ha. Dalam penelitian ini total pupuk yang diperlukan adalah urea 8,4 kg, SP36 10,5 kg, dan KCL sebanyak 7,14 kg.

2.4.8. Pemeliharaan Tanaman

Pemeliharaan tanaman mencakup penyulaman, sanitasi, dan penyiraman yang disesuaikan dengan kondisi tanaman di lahan budidaya.

2.5. Variabel Pengamatan

2.5.1. Tingkat serangan keparahan penyakit

Penilaian tingkat keparahan penyakit dilakukan ketika tanaman berumur 4, 5, 6, 7, 8, dan 9 MST di 10 sampel tanaman di setiap perlakuan. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut menurut (Nurdika & Nurcahyanti, 2019).

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n (n_i \times v_i)}{Z \times N} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan: n = jumlah daun/tanaman pada skor ke- i , v_i = nilai skor ke- i , N = total sampel yang diamati, Z = skor tertinggi.

Untuk penilaian tingkat serangan patogen pada tanaman dilakukan secara numerik berdasarkan perbedaan keparahan gejala yang muncul di daun (Agrios, 2005).

Tabel 1. Penilaian Tingkat Serangan Patogen

Nilai Skoring	Tingkat keparahan penyakit
0	tidak ada serangan sama sekali
1	bercak pustul 1-5% dari luas daun
2	bercak pustul 6-15% dari luas daun
3	bercak pustul 16-30% dari luas daun
4	bercak pustul 31-50% dari luas daun
5	bercak pustul > 51% dari luas daun

2.5.2. Nilai AUDPC

Nilai AUDPC dihitung berdasarkan rumus (Campbell & Madden, 1990) untuk melihat tingkat infeksi penyakit:

$$\text{AUDPC} = \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{y_i + y_{i+1}}{2} \right) \times (t_{i+1} - t_i) \quad (2)$$

Keterangan: y_{i+1} = data pengamatan ke $i+1$, y_i = data pengamatan ke i , t_{i+1} = waktu pengamatan ke $i+1$, t_i = waktu pengamatan ke i .

2.5.3. Efektivitas Penekanan Penyakit

Efektivitas penekanan penyakit dihitung untuk melihat seberapa besar keefektifan perlakuan dalam menekan penyakit, dengan rumus (Abbott, 1925) sebagai berikut:

$$\text{EP} = \frac{\text{KPK} - \text{KPP}}{\text{KPK}} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan: EP = Efektivitas penekanan penyakit, KPK = Kejadian penyakit kontrol, KPP = Kejadian penyakit perlakuan.

2.6. Analisa Data

Seluruh data dianalisis menggunakan analysis of variance (ANOVA) split plot dalam rancangan acak kelompok, dan jika berbeda nyata dilanjutkan dengan Uji Jarak Berganda Duncan (UJBD) pada tingkat signifikansi 5%.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Keparahan Penyakit Pustul Bakteri

Hasil UJBD pada Tabel 2 varietas Dena-1 (F4) menunjukkan nilai keparahan penyakit terendah, yakni 2,00 pada 5 MST dan 4,90 pada 6 MST. Nilai tersebut berbeda nyata dibanding varietas lain, menunjukkan bahwa F4 memiliki ketahanan yang lebih tinggi terhadap infeksi pustul bakteri. Sebaliknya, varietas Anjasmoro (F2) menunjukkan tingkat keparahan tertinggi (5,07 pada 5 MST dan 17,72 pada 6 MST), mengindikasikan bahwa varietas ini lebih rentan terhadap patogen tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa setiap varietas kedelai memiliki mekanisme pertahanan fisiologis dan biokimia yang berbeda, tergantung pada ekspresi gen ketahanan yang dimilikinya (Khaeruni *et al.*, 2020). Berdasarkan hasil penelitian oleh (Fonseca *et al.*, 2022; Lin *et al.*, 2022; Septia & Parlindo, 2019), diketahui bahwa keragaman genetik antar varietas memiliki pengaruh yang nyata terhadap tingkat ketahanan tanaman terhadap penyakit bakteri, yang disebabkan *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*.

Tabel 2. Pengaruh Mandiri Varietas Kedelai terhadap Persentase Serangan Pustul Bakteri Tanaman Kedelai Berumur 5 dan 6 MST

Jenis Varietas (F)	Rerata Keparahen Penyakit (MST)	
	5	6
F1	3,53 b	11,80 b
F2	5,07 a	17,72 a
F3	3,08 b	7,97 c
F4	2,00 c	4,90 d
UJBD 0,05	2=0,7838	2=0,7844
	3=0,8232	3=0,8239
	4=0,8485	4=0,8666

Keterangan: Simbol yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda signifikan berdasarkan hasil UJBD pada signifikansi 95%. F1 = Varietas Argomulyo; F2 = Varietas Anjasmoro; F3 = Varietas Dering-1; F4 = Varietas Dena-1.

Menurut (An et al., 2019) varietas dengan ketahanan tinggi terhadap *Xanthomonas axonopodis* umumnya memperlihatkan aktivasi gen pertahanan yang lebih kuat, termasuk gen yang mengode enzim antioksidan seperti peroksidase, katalase, dan superoksida dismutase, serta protein penghambat pertumbuhan patogen. Aktivitas enzim tersebut berperan penting dalam menekan akumulasi radikal bebas dan memperkuat dinding sel tanaman, sehingga menghambat invasi dan kolonisasi bakteri (Aranega et al., 2014). Lebih lanjut (Budi, 2021) menegaskan bahwa seleksi varietas tahan penyakit merupakan pendekatan yang paling efektif, ramah lingkungan, dan berkelanjutan dalam sistem pengendalian hayati. Pengembangan varietas unggul yang memiliki ketahanan genetik stabil terhadap patogen penting seperti *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines* sangat diperlukan sebagai bagian dari strategi pengendalian terpadu.

Berdasarkan hasil UJBD yang disajikan pada Tabel 3, tingkat keparahan penyakit pustul bakteri pada umur 6 MST menunjukkan nilai terendah pada perlakuan R2, yaitu 9,83% per hari. Nilai tersebut tidak berbeda nyata dengan R1 (10,50% per hari), tetapi berbeda signifikan dibandingkan R3 dan R4. Perlakuan R4 menampilkan tingkat keparahan tertinggi sebesar 11,33% per hari. Kondisi ini mengindikasikan bahwa kombinasi Biofresh Plus dengan dosis rendah NPK (R2) dapat menyeimbangkan ketersediaan unsur hara dan meningkatkan aktivitas mikroba tanah, sehingga memperkuat daya tahan tanaman terhadap serangan patogen. Mikroorganisme yang terkandung dalam Biofresh yang berperan sebagai agen penginduksi ketahanan sistemik melalui produksi metabolit sekunder dan aktivasi enzim pertahanan seperti peroksidase, kitinase dan selulase.

Temuan tersebut juga sejalan dengan penelitian (Wei et al., 2024) yang mengemukakan, kombinasi mikroba tanah dengan dosis pupuk anorganik rendah mampu meningkatkan aktivitas enzim pertahanan tanaman dan memperbaiki komposisi mikrobioma rizosfer, sehingga mengurangi keparahan penyakit. Dalam hal ini, aplikasi Biofresh Plus berperan penting dalam menekan intensitas serangan penyakit pustul bakteri melalui aktivitas mikroorganisme fungsional yang dikandungnya. Mikroba tersebut, terutama kelompok *Bacillus subtilis*, mampu bertindak sebagai agen antagonis dengan menghasilkan senyawa antibiotik, siderofor, serta enzim hidrolitik yang dapat menghambat perkembangan patogen di permukaan daun maupun di lingkungan sekitar tanaman. Selain itu, Biofresh juga berperan dalam menginduksi ketahanan sistemik tanaman melalui peningkatan aktivitas enzim pertahanan seperti peroksidase, kitinase, dan selulase, sehingga tanaman menjadi lebih toleran terhadap infeksi.

Lebih lanjut (Zhou et al., 2024) menyatakan juga bahwa penggunaan biofertilizer berbasis *Bacillus subtilis* yang dipadukan dengan pupuk NPK dosis rendah dapat menstimulasi ekspresi gen pertahanan sistemik berbasis asam salisilat dan jasmonat pada tanaman kedelai, yang pada akhirnya berkontribusi dalam menekan intensitas serangan penyakit.

Tabel 3. Pengaruh Mandiri Pupuk Biofresh Plus terhadap Intensitas Serangan Penyakit Pustul Bakteri pada Tanaman Berumur 6 MST

Biofresh Plus+Dosis NPK (R)	Rerata Keparahen Penyakit 6 MST
R1	10,50bc
R2	9,83c
R3	10,72ab
R4	11,33a
	2 = 0,7844
UJBD 0,05	3 = 0,8239
	4 = 0,8666

Keterangan: Simbol yang diikuti huruf serupa tidak berbeda signifikan berdasarkan hasil UJBD pada taraf kepercayaan 95%. R1 = perlakuan Biofresh plus tanpa pupuk anorganik; R2 = Biofresh plus dan NPK 25%; R3 = Biofresh plus dan NPK 50%; dan R4 = NPK 100%.

Tabel 4. Pengaruh Interaksi Antara Berbagai Varietas Kedelai dengan Kombinasi Biofresh Plus dan Dosis NPK terhadap Tingkat Keparahan Penyakit Pustul Bakteri pada 7 MST

Faktor Varietas (F)	Faktor Biofresh Plus + Dosis NPK (R)				UJBD 0,05%	
	R1	R2	R3	R4	F pada R	R pada F
F1	17,73 b q	12,53 b r	17,73 b q	21,87 b p	2= 1,985 3= 2,087	2= 2,220 3= 2,334
F2	22,13 a pq	22,93 a pq	21,00 a q	24,53 a p	4= 2,141	4= 2,394
F3	11,87 c p	11,60 b p	11,40 b p	11,73 c p		
F4	7,60 d q	11,07 b p	11,60 b p	12,27 c p		

Keterangan: Simbol huruf yang sama pada kolom (a,b,c) atau baris (p,q) menandakan bahwa perbedaan antarperlakuan tidak signifikan secara statistik berdasarkan hasil UJBD pada taraf kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$). F1 = Argomulyo; F2 = Anjasmoro; F3 = Dering-1; F4 = Dena-1; R1 = Biofresh plus tanpa NPK; R2 = Biofresh plus dan NPK 25%; R3 = Biofresh plus dan NPK 50%; dan R4 = NPK 100%.

Tabel 5. Pengaruh interaksi antara berbagai varietas kedelai dengan kombinasi Biofresh plus dan Dosis NPK terhadap tingkat keparahan penyakit pustul bakteri pada 8 MST

Faktor Varietas (F)	Faktor Biofresh Plus dan Dosis NPK (R)				UJBD 0.05%	
	R1	R2	R3	R4	F pada R	R pada F
F1	22,80 b p	17,00 b q	21,33 b p	23,80 b p	2= 3,399 3= 3,573	2= 3,521 3= 3,701
F2	28,87 a q	31,33 a pq	27,20 a q	34,00 a p	4= 3,666	4= 3,798
F3	15,60 c p	14,93 b p	13,07 c p	15,60 c p		
F4	13,33 c p	13,87 b p	16,07 c p	15,33 c p		

Keterangan: Simbol huruf yang sama pada kolom (a,b,c) atau baris (p,q) menandakan bahwa perbedaan antarperlakuan tidak signifikan secara statistik berdasarkan hasil UJBD pada taraf kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$). F1 = Argomulyo; F2 = Anjasmoro; F3 = Dering-1; F4 = Dena-1; R1 = Biofresh plus tanpa NPK; R2 = Biofresh plus dan NPK 25%; R3 = Biofresh plus dan NPK 50%; dan R4 = NPK 100%.

Pada umur 7 MST (Tabel 4), perlakuan R1 pada varietas Dena-1 (F4) menghasilkan keparahan penyakit terendah (7,60) dan berbeda nyata dibanding R2, R3, dan R4, menunjukkan bahwa Biofresh Plus tanpa NPK efektif menekan penyakit, terutama pada varietas tahan. Sebaliknya, varietas Anjasmoro (F2) menunjukkan keparahan tertinggi pada R4 (24,53), mengindikasikan bahwa pemupukan anorganik penuh kurang mendukung pengendalian penyakit pada varietas rentan. Secara mekanistik, pupuk hayati Biofresh menekan patogen melalui antibiosis dan induksi ketahanan tanaman, sedangkan dosis NPK seimbang menjaga kondisi tanaman tidak rentan serta menjaga stabilitas mikrobioma di dalam tanah, akan tetapi NPK yang berlebih justru meningkatkan kerentanan terhadap perkembangan penyakit pustul bakteri (Khaeruni *et al.*, 2021). Temuan ini selaras dengan laporan (Aziez, 2022) bahwa kombinasi pupuk organik dan hayati berperan penting dalam memperkuat ketahanan tanaman legum terhadap penyakit daun bakteri melalui peningkatan aktivitas enzim pertahanan dan keseimbangan mikrob tanah.

Pada umur 8 MST (Tabel 5), varietas Dena-1 (F4) dengan perlakuan R1 memiliki tingkat keparahan penyakit terendah (13,33). Nilai tersebut tidak berbeda nyata dengan perlakuan R2 dan R3, tetapi berbeda nyata dibandingkan dengan R4. Hal ini mengindikasikan bahwa pemanfaatan biofresh plus, baik tanpa maupun dengan tambahan NPK dosis rendah, memberikan perlindungan yang sebanding terhadap infeksi pustul bakteri. Sebaliknya, perlakuan R4 pada varietas Anjasmoro (F2) mencatatkan keparahan tertinggi (34,00), memperkuat dugaan bahwa pupuk anorganik dosis tinggi tanpa dukungan agen hayati dapat meningkatkan kerentanan terhadap penyakit (Zakiah,

2025). Penurunan keparahan penyakit pada perlakuan pupuk hayati kemungkinan berkaitan dengan kemampuan rizobakteri dalam Biofresh yang merangsang sistem pertahanan tanaman melalui mekanisme ISR (*Induced Systemic Resistance*) seperti dilaporkan oleh (Khaeruni *et al.* 2010; Serwecińska, 2020).

Pada 9 MST (Tabel 6), keparahan penyakit meningkat secara umum, namun tren antar perlakuan tetap konsisten. F3 (Dering-1) dengan perlakuan R1 mencatatkan nilai keparahan lebih rendah (17,20) dibanding perlakuan B4 sebesar 24,73 yang menunjukkan efektivitas berkelanjutan dari pendekatan pemupukan hayati. Perlakuan R3 menunjukkan efektivitas terbaik pada varietas Anjasmoro (F2), yang sebelumnya rentan, dengan nilai keparahan terendah 27,20% dibanding perlakuan lainnya. Hal ini mengindikasikan bahwa kombinasi pupuk hayati biofres plus dengan pupuk anorganik dosis 50% mampu menekan keparahan penyakit secara signifikan bahkan pada varietas rentan, kemungkinan karena peningkatan sinergi antara nutrisi makro dan aktivitas mikrob tanah yang menguntungkan. Hal ini berbanding lurus dengan penelitian (Bejarano *et al.*, 2024) dan Khaeruni *et al.* (2020b) bahwa penggunaan 50% dosis pupuk mineral yang dikombinasikan dengan inokulasi mikrob seperti *Bacillus subtilis* atau *Trichoderma harzianum* dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman kubis dan efisiensi penyerapan nutrisi secara signifikan.

Sementara itu, Tao *et al.* (2020) dalam penelitiannya di Brasil juga menemukan bahwa kombinasi 50% pupuk NPK dengan inokulan mikrob menghasilkan pertumbuhan tanaman dan ketersediaan hara yang lebih baik dibandingkan penggunaan pupuk anorganik secara penuh maupun tanpa pupuk sama sekali. Temuan ini menunjukkan adanya sinergi positif antara mikrob tanah yang menguntungkan dan nutrisi makro dalam mendukung kesehatan tanaman dan produktivitas lahan secara berkelanjutan.

Secara keseluruhan, hasil interaksi ini menunjukkan bahwa keberhasilan pengendalian pustul bakteri tidak hanya ditentukan oleh varietas yang digunakan, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh sistem pemupukan. Kombinasi Biofresh plus, baik dengan atau tanpa tambahan pupuk anorganik dosis rendah, terbukti lebih efektif dibanding pemupukan anorganik penuh. Temuan ini sejalan dengan prinsip pertanian berkelanjutan dan mendukung adopsi teknologi bioteknologi mikrob lokal untuk meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit, mengurangi ketergantungan pada input kimia, serta memperbaiki kualitas tanah secara jangka panjang (Shahwar *et al.*, 2023).

Tabel 6. Pengaruh interaksi antara berbagai varietas kedelai dengan kombinasi Biofresh plus dan Dosis NPK terhadap tingkat keparahan penyakit pustul bakteri pada 9 MST

Faktor Varietas (F)	Faktor Biofresh Plus dan Dosis NPK (R)				UJBD 0,05%	
	R1	R2	R3	R4	F pada R	R Pada F
F1	28,00 b	22,27 b	27,20 a	34,53 b	2= 2,262	2= 3,419
	q	r	q	p	3= 2,378	3= 3,594
F2	31,47 a	34,93 a	27,20 a	40,13 a	4= 2,440	4= 3,688
	r	q	s	p		
F3	17,20 c	17,60 c	17,60 b	24,73 c		
	q	q	q	p		
F4	17,33 c	19,13 c	18,27 b	20,67 d		
	p	p	p	p		

Keterangan: Simbol huruf yang sama pada kolom (a,b,c) atau baris (p,q) menandakan bahwa perbedaan antarperlakuan tidak signifikan secara statistik berdasarkan hasil UJBD pada taraf kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$). F1 = Argomulyo; F2 = Anjasmoro; F3 = Dering-1; F4 = Dena-1; R1 = Biofresh plus tanpa NPK; R2 = Biofresh plus dan NPK 25%; R3 = Biofresh plus dan NPK 50%; dan R4 = NPK 100%.

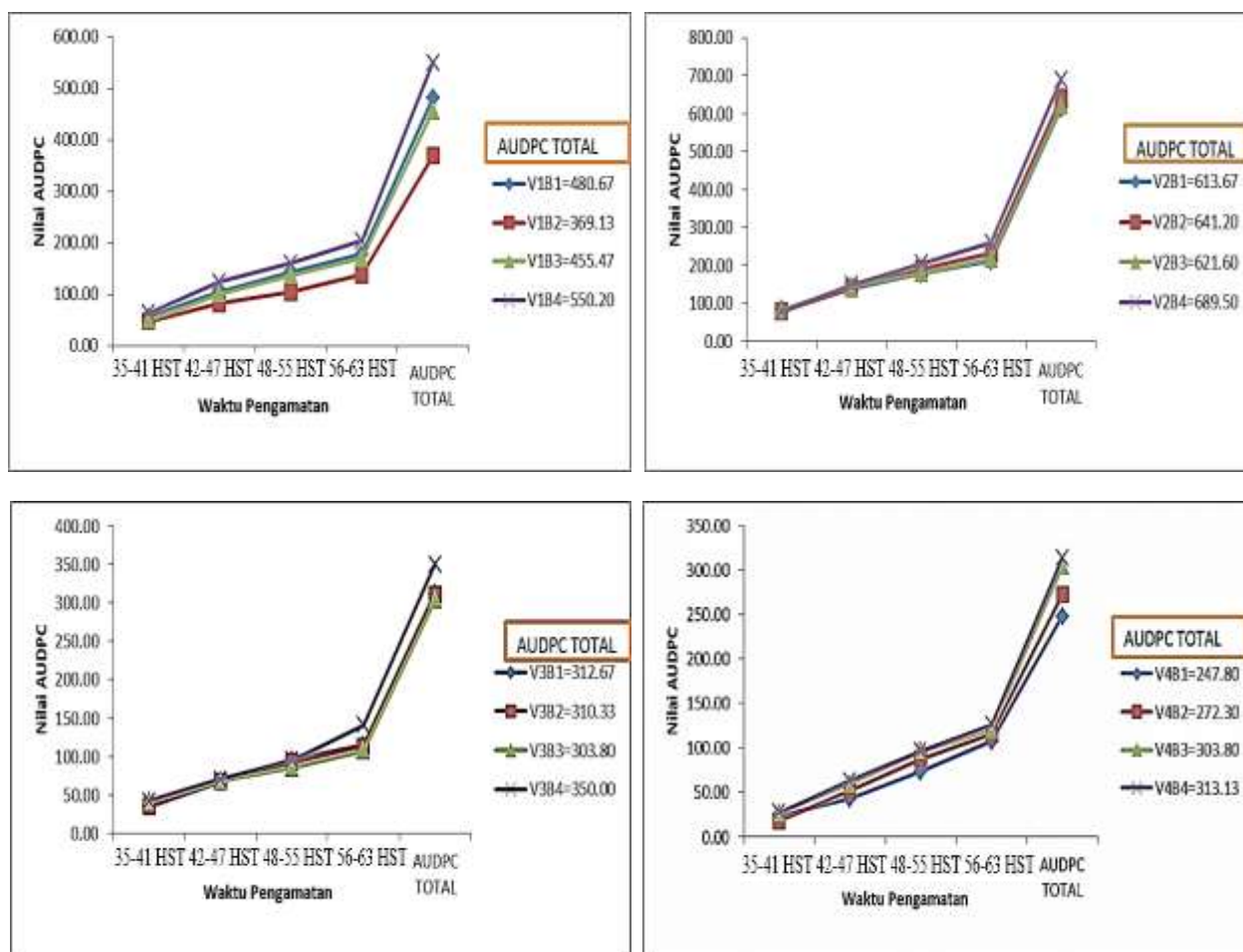
3.2. AUDPC keparahan penyakit pustul bakteri

Hasil perhitungan nilai AUDPC berdasarkan rerata tingkat keparahan penyakit pustul bakteri pada pengamatan 5-9 MST, menunjukkan adanya interaksi antara beberapa jenis varietas kedelai dengan perlakuan kombinasi Biofresh plus dan dosis NPK terhadap nilai AUDPC.

Tabel 7. Pengaruh Interaksi antara berbagai varietas kedelai dengan kombinasi Biofresh plus, dan dosis NPK terhadap nilai AUDPC keparahan penyakit pustul bakteri

Faktor Varietas (F)	Faktor Biofresh Plus dan Dosis NPK (R)				UJBD 0,05%	
	R1	R2	R3	R4	F pada R	R pada F
F1	480,67 b	369,13 b	455,47 b	550,20 b	2=40,625	2=47,703
	q	r	q	p	3=42,711	3=50,154
F2	613,67 a	641,20 a	621,60 a	689,50 a	4=43,824	4=51,461
	q	q	q	p		
F3	312,67 c	310,33 c	303,80 c	350,00 c		
	p	p	p	p		
F4	247,80 d	272,30 c	303,80 c	313,13 c		
	q	pq	pq	p		

Keterangan: Simbol huruf yang sama pada kolom (a,b,c) atau baris (p,q) menandakan bahwa perbedaan antarperlakuan tidak signifikan secara statistik berdasarkan hasil UJBD pada taraf kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$). F1 = Argomulyo; F2 = Anjasmoro; F3 = Dering-1; F4 = Dena-1; R1 = Biofresh plus tanpa NPK; R2 = Biofresh plus dan NPK 25%; R3 = Biofresh plus dan NPK 50%; dan R4 = NPK 100%



Gambar 1. Diagram AUDPC perkembangan penyakit pustul bakteri tanaman kedelai dari waktu kewaktu.

Pengamatan nilai rerata AUDPC (Tabel 7) terendah diperoleh pada perlakuan F4R1 sebesar 247,80% hari sedangkan hasil rata-rata nilai pengamatan AUDPC tertinggi diperoleh pada perlakuan F2R4 sebesar 689,50%hari. Hal ini mengindikasikan keparahan penyakit pustul bakteri dapat ditekan melalui aplikasi Biofresh plus. Hasil penelitian (Khaeruni *et al.*, 2018) menunjukkan bahwa tanaman kedelai yang diberi perlakuan agens hayati Biofresh dalam bentuk padatan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap infeksi penyakit pustul bakteri. Selain itu, peningkatan daya tahan tanaman terhadap penyakit dikaitkan dengan meningkatnya kandungan asam salisilat sebesar 0,03 mg dan aktivitas enzim peroksidase hingga 1,07 unit/mL pada tanaman yang diberi perlakuan Biofresh, dibanding yang tidak diberi Biofresh (Khaeruni *et al.*, 2018).

Nilai AUDPC menggambarkan perkembangan penyakit pustul bakteri dari waktu ke waktu yang terakumulasi selama periode pengamatan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Parameter ini mencerminkan tingkat intensitas dan laju perkembangan penyakit secara menyeluruh, sehingga semakin tinggi nilai AUDPC maka semakin besar tingkat serangan dan kecepatan perkembangan penyakit pada tanaman. Sebaliknya, nilai AUDPC yang lebih rendah menunjukkan bahwa perkembangan penyakit dapat ditekan secara efektif oleh perlakuan yang diberikan.

3.4. Efektivitas penekanan keparahan penyakit pustul bakteri

Hasil pengamatan rata-rata efektivitas penekanan penyakit pustul bakteri yang diberi perlakuan kombinasi Biofresh Plus dan dosis NPK disajikan pada Tabel 8. Hasil rata-rata efektivitas penekanan penyakit pustul bakteri yang diberi perlakuan kombinasi biofresh plus dan pupuk anorganik NPK pada berbagai varietas kedelai (Tabel 8) menunjukkan bahwa varietas Dena-1 menunjukkan ketahanan relatif lebih tinggi (20,86%) yang diduga terkait kemampuan genetik dalam mengaktifkan mekanisme pertahanan, seperti peningkatan aktivitas enzim pertahanan, akumulasi senyawa fenolik, dan penguatan dinding sel yang menghambat perkembangan patogen (Aziez, 2022). Sementara itu, kombinasi Biofresh plus dengan NPK dosis rendah (25%-50%) lebih efektif, seperti pada Argomulyo (32,91%), dibandingkan NPK 100%, karena kemungkinan adanya sinergi antara mikroorganisme pupuk hayati dalam meningkatkan ketersediaan hara, menghasilkan senyawa antagonis, dan menginduksi ketahanan sistemik tanaman. Sebaliknya, penggunaan NPK dosis tinggi cenderung memacu pertumbuhan vegetatif berlebih tanpa diikuti peningkatan kapasitas pertahanan, sehingga meningkatkan kerentanan tanaman terhadap infeksi (Bejarano *et al.*, 2024).

Hasil penelitian pada jenis varietas Dering-1 yang diberi perlakuan pupuk hayati Biofresh plus dan NPK 50% sangat efektif dalam menekan perkembangan pustul bakteri di lahan Ultisol. Temuan penelitian ini diperkuat oleh penelitian (Satrah *et al.*, 2020) yang menyatakan, kombinasi pengaplikasian pupuk hayati biofresh dan bokashi secara signifikan menurunkan intensitas serangan penyakit pada tanaman jagung, serta meningkatkan aktivitas enzim peroksidase sebagai bagian dari mekanisme pertahanan tanaman (Sandi, 2024). Hal ini juga sejalan dengan penelitian (Gusnawaty *et al.*, 2023) juga menyatakan bahwa penggunaan bokashi yang diperkaya dengan mikrob *Trichoderma* pada tanaman kedelai mampu meningkatkan pertumbuhan dan ketahanan terhadap serangan penyakit melalui peningkatan kualitas fisiologis dan mikrobiologis tanah. Selain itu (Benu *et al.*, 2023) menambahkan bahwa kombinasi biofertilizer dan pupuk organik dapat meningkatkan ketersediaan nitrogen dan fosfor, serta memperkuat mikroflora tanah yang berperan dalam proteksi tanaman terhadap patogen tular tanah.

Tabel 8. Efektivitas penekanan penyakit pustul bakteri pada berbagai varietas kedelai yang diberi perlakuan kombinasi biofresh plus dan dosis NPK

Perlakuan	AUDPC Total	Efektivitas Penekanan Penyakit (%)
F1R1	480,67	12,64
F1R2	369,13	32,91
F1R3	455,47	17,22
V1R4	550,20	kontrol
F2R1	613,67	11,00
F2R2	641,20	7,01
F2R3	621,60	9,85
F2R4	689,50	kontrol
F3R1	312,67	10,67
F3R2	310,33	11,33
F3R3	303,80	13,20
F3R4	350,00	kontrol
Perlakuan	AUDPC Total	Efektivitas Penekanan Penyakit (%)
F4R1	247,80	20,86
F4R2	272,30	13,04
F4R3	303,80	2,98
F4B4	313,13	kontrol

Keterangan: F1R1=Varietas argomulyo dan biofresh plus, F1R2=Varietas argomulyo, biofresh plus dan NPK 25%; F1R3=Varietas argomulyo, biofresh plus dan NPK 50%; F1R4=Varietas argomulyo dan NPK 100%; F2R1=Varietas anjasmoro dan biofresh plus; F2R2=Varietas anjasmoro, biofresh plus dan NPK 25%; F2R3=Varietas anjasmoro, biofresh plus dan NPK 50%; F2R4=Varietas anjasmoro dan NPK 100%; F3R1=Varietas dering-1, biofresh plus; F3R2=Varietas dering-1, biofresh plus dan NPK 25%; F3R3=Varietas dering-1, biofresh plus dan NPK 50%; F3R4=Varietas dering-1 dan NPK 100%; F4R1=Varietas dena-1, biofresh plus; F4R2=Varietas dena-1, biofresh plus dan NPK 25%; F4R3=Varietas dena-1, biofresh plus dan NPK 50%; F4R4=Varietas dena-1 dan NPK 100%.

Sinergi antara pupuk hayati Biofresh plus dan pupuk anorganik NPK dosis rendah terbukti mampu menciptakan lingkungan rizosfer yang sehat dan aktif secara biologis, yang pada akhirnya menekan perkembangan penyakit pustul bakteri sekaligus meningkatkan kesuburan tanah, terutama pada lahan marginal seperti Ultisol. Keempat hasil penelitian tersebut mendukung bahwa kombinasi pupuk hayati biofresh plus dan pupuk anorganik NPK dapat menciptakan sinergi yang efektif dalam menekan perkembangan penyakit, termasuk pustul bakteri, dengan cara memperkuat sistem pertahanan tanaman serta memperbaiki kesuburan tanah, khususnya pada lahan marginal seperti Ultisol.

4. KESIMPULAN

Varietas Dena-1 menunjukkan ketahanan tertinggi terhadap penyakit pustul bakteri, ditunjukkan oleh nilai keparahan penyakit dan AUDPC terendah (247,80%). Kombinasi Biofresh plus dengan NPK dosis rendah lebih efektif menekan perkembangan penyakit dibandingkan pemupukan NPK penuh. Efektivitas pengendalian dipengaruhi oleh interaksi antara varietas dan kombinasi pupuk, sehingga pemilihan varietas tahan dan pemupukan yang tepat menjadi komponen penting dalam pengelolaan pustul bakteri kedelai di lahan ultisol.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam penelitian ini. Semoga bisa bermanfaat bagi pengembangan budidaya kedelai di Indonesia pada umumnya dan di Sulawesi Tenggara pada khususnya.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, A.L., M.A. Syib'li, L.Q. Aini, A.W. Sektiono, F.A. Choliq, & I. Trianti. 2023. *Pengelolaan Penyakit Tumbuhan Terpadu (Integrated Plant Disease Management)*. Universitas Brawijaya Press.
- Abbott, W.S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.* 18(2): 265–267.
- Agrios, G.N. 2005. *Plant Pathology 5th Edition*: Elsevier academic press. Burlington. Ma. USA. 922 p.
- An, S.Q., N. Potnis, M. Dow, F.J. Vorhölter, Y.Q. He, A. Becker, D. Teper, Y. Li, N. Wang, L. Bleris, & J.L. Tang. 2019. Mechanistic insights into host adaptation, virulence and epidemiology of the phytopathogen *Xanthomonas*. *FEMS Microbiology Reviews*. 44(1): 1–32.
- Aranega-Bou, P., M. de la O Leyva, I. Finiti, P. García-Agustín, & C. González-Bosch. 2014. Priming of plant resistance by natural compounds. Hexanoic acid as a model. *Frontiers in Plant Science*. 5: 488.
- Aziez, A.F. 2022. *Bakteri Endofit: Peran Potensial dalam Mengembangkan Sistem Produksi Tanaman Berkelanjutan*. CV. Sarnu Untung.
- Bejarano-Herrera, W.F., C.A. Marcillo-Paguay, D.F. Rojas-Tapias, & G.A. Estrada-Bonilla. 2024. Effect of mineral fertilization and microbial inoculation on cabbage yield and nutrition: A Field Experiment. *Agronomy*. 14(1): 210.
- Benu, F.L., Y. Lawa, & Y.A.B. Neolaka. 2023. Mini Review: Peran Biofertilizer Pada Pertanian Lahan Kering. *Jurnal Beta Kimia*. 3(1): 40–49.
- Budi, G.P. 2021. Beberapa aspek pengelolaan OPT ramah lingkungan, suatu upaya mendukung pertanian berkelanjutan. *Proceedings Series on Physical & Formal Sciences*. 2: 31–38.
- Campbell, C.L., & L.V. Madden. 1990. *Introduction to Plant Disease Epidemiology*. Wiley. 560 p.
- Dwirani, N., M.A. Syibli, & L.Q. Aini. 2021. Pengujian konsorsium mikroba antagonis untuk mengendalikan penyakit pustul bakteri pada tanaman kedelai. *Jurnal HPT (Hama Penyakit Tumbuhan)*. 9(3): 72–77.
- Fonseca, P.C., D. da, Ferreira, O. de O. de, T. Morgan, & F.L. Silva. 2022. Causal variant loci and protein-coding genes for soybean bacterial pustule resistance in the flowering stage. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*. 22: e39552217.
- Gusnawaty, H.S., M. Taufik, & N.P. Putri. 2023. The effect of bokashi fertilizer from agricultural waste contain *Trichoderma* to improve soybean production, growth, and resistance against plant diseases. *World Journal of Advanced Research and Reviews*. 18(3): 645–657.
- Kementerian, P. 2023. Nota 3 Ano. In *Statistik Pertanian Indonesia*. Jakarta: Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- Khaeruni, A., E.A. Johan, T. Wijayanto, M. Taufik, A.A.R. Syafar, & G.A.K. Sutariati. 2018. Induction of soybean resistance to bacterial pustule disease (*Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*) by rhizobacteria and organic material treatment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 122(1): 12052.
- Khaeruni, A., G.A.K. Sutariati, & S. Wahyuni. 2010. Karakterisasi dan uji aktivitas bakteri rizosfer lahan ultisol sebagai pemacu pertumbuhan tanaman dan agensia hayati cendawan patogen tular tanah secara in vitro. *Jurnal Hama Dan Penyakit Tumbuhan Tropika*. 10(2): 123–130.
- Khaeruni, A., T. Wijayanto, M.H. Musa, M. Rahayu, A. Rahman, & V.N. Satrah. 2020. Effectiveness of the composition of bokashi organic materials on the ability of biofresh biological agents in inducing resistance of three maize varieties to sheath blight disease (*Rhizoctonia solani*). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 454(1): 12150.
- Khaeruni, A., T. Wijayanto, L.O. Safuan, & L.O.S. Bande. 2020. Increase resistance to maydis leaf blight and productivity of maize in ultisol soils with a combination of organic material and biological agents biofresh. *Indian Journal of Agricultural Research*. 54(5): 623–628.

- Khaeruni, A., T. Wijayanto, G.A.K. Sutariati, T. Hemon, V.N. Satrah, & H. Hamdayanty. 2021. Compatibility of biofresh and agrisoy biological agents in various types of organic materials against increased resistance to mosaic virus and soy productivity in ultisol land. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 681(1): 12025.
- Laia, D., & N.K. Lase. 2024. Peran bakteri *Bacillus* dan *Pseudomonas* bagi pertumbuhan tanaman. *Jurnal Ilmu Pertanian Dan Perikanan*. 1(2): 177–183.
- Lin, F., S.S. Chhapekar, C.C. Vieira, M.P. Da Silva, A. Rojas, D. Lee, N. Liu, E.M. Pardo, Y.-C. Lee, & Z. Dong. 2022. Breeding for disease resistance in soybean: a global perspective. *Theoretical and Applied Genetics*. 135(11): 3773–3872.
- Nurdika, A.A.H. & S.D. Nurcahyanti. 2019. Enkapsulasi benih kedelai menggunakan *Pseudomonas fluorescens* dengan bahan pembawa kompos untuk mengendalikan penyakit hawar daun. 01(2): 229–244.
- Puja S.F., M. Ghulamahdi, & I. Lubis. 2020. Respons pertumbuhan, fisiologi, dan produksi kedelai terhadap pemberian pupuk nitrogen dengan dosis dan waktu yang berbeda. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. 26(1): 24–31.
- Ray, R.V. 2024. Effects of pathogens and disease on plant physiology. In *Agrios' Plant Pathology*. Elsevier. pp. 63–92).
- Sandi, M.E.I.R. 2024. *Respon Pemberian Pembenah Tanah Trichokompos dan Eco Enzyme terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Jagung Glass GEM (Zea mays L.)*. Magister Agroteknologi, Universitas Islam Sumatera Utara.
- Saputra, Y., A. Aliudin, & A. Mulyaningsih. 2023. Pengendalian impor kedelai dalam upaya mewujudkan ketahanan pangan nasional di Kabupaten Serang. *Jurnal Agribisnis Terpadu*. 16(2): 90–97.
- Satrah, V.N., E.A. Johan, A.R.A.K. Awaluddin, H. Sudarmo, T. Wijayanto, & M. Mariadi. 2020. Efektivitas pupuk hayati biofresh dan pupuk organik bokashi dalam meningkatkan ketahanan tanaman jagung terhadap penyakit *Puccinia polysora*. *Jurnal Agercolere*. 2(1): 11–16.
- Septia, E.D., & F. Parlindo. 2019. Keanekaragaman dan sebaran mikroba endofit indigenous pada tanaman kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill). *Agriprima J Appl Agric Sci*. 3(1): 1–14.
- Serwecińska, L. 2020. Antimicrobials and antibiotic-resistant bacteria: a risk to the environment and to public health. *Water*. 12(12): 3313.
- Setiaji, A., R.R.R. Annisa, & D.T. Rahmandhias. 2023. Bakteri *Bacillus* sebagai agen kontrol hayati dan biostimulan tanaman. *Rekayasa*. 16(1): 96–106.
- Shahwar, D., Z. Mushtaq, H. Mushtaq, A.A. Alqarawi, Y. Park, T.S. Alshahrani, & S. Faizan. 2023. Role of microbial inoculants as bio fertilizers for improving crop productivity: A review. *Heliyon*. 9(6): e16134.
- Tao, C., R. Li, W. Xiong, Z. Shen, S. Liu, B. Wang, Y. Ruan, S. Geisen, Q. Shen, & G.A. Kowalchuk. 2020. Bio-organic fertilizers stimulate indigenous soil *Pseudomonas* populations to enhance plant disease suppression. *Microbiome*. 8(1): 137.
- Wei, X., B. Xie, C. Wan, R. Song, W. Zhong, S. Xin, & K. Song. 2024. Enhancing soil health and plant growth through microbial fertilizers: Mechanisms, benefits, and sustainable agricultural practices. *Agronomy*. 14(3): 609.
- Yu, Y., Y. Gui, Z. Li, C. Jiang, J. Guo, & D. Niu. 2022. Induced Systemic Resistance for Improving Plant Immunity by Beneficial Microbes. *Plants*. 11(3): 1–19.
- Zakiah, S. 2025. Pengaruh aplikasi priming dan penyemprotan Zn dan/atau agensia hayati aktinomisetes untuk pengendalian penyakit bulai pada jagung (*Zea mays* L.). *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Zhou, W., Y. Arcot, R.F. Medina, J. Bernal, L. Cisneros-Zevallos, & M.E.S. Akbulut. 2024. Integrated Pest Management: An Update on the Sustainability Approach to Crop Protection. *ACS Omega*. 9(40): 41130–41147.