



Aplikasi Dosis *Rhizobium* dan Konsentrasi Sitokinin terhadap Pertumbuhan, Hasil, dan Kualitas Kedelai Edamame (*Glycine max* (L.) Merrill)

Application of *Rhizobium* Dosage and Cytokinin Concentration on Growth, Yield, and Quality of Edamame Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill)

Mariatul Kiptiyah¹, Sigit Soeparjono^{*,1}, Halimatus Sa'diyah¹

¹ Program Magister Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Jember, Jember, Indonesia

*Penulis Korespondensi

Email: s.soeparjono@gmail.com

Abstrak. Edamame (*Glycine max* L. Merrill) memiliki potensi tinggi di Indonesia dengan produktivitas 3,5–8 ton/ha dan permintaan ekspor yang signifikan, terutama ke Jepang dan Amerika Serikat. Kabupaten Jember, khususnya PT Mitratani Dua Tujuh, merupakan sentra utama produksi dan ekspor. Namun, budidaya edamame masih menghadapi kendala seperti rendahnya pengetahuan petani dan kandungan nitrogen tanah yang minim. *rhizobium* spp. berperan dalam fiksasi nitrogen, sementara hormon sitokinin (BAP) telah terbukti meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman. Kombinasi keduanya diharapkan mampu meningkatkan produktivitas edamame melalui peningkatan penyerapan nitrogen dan kualitas polong. Penelitian ini bertujuan mengkaji pengaruh dosis *rhizobium* dan konsentrasi sitokinin terhadap pertumbuhan, hasil, dan mutu edamame. Penelitian dilaksanakan pada Bulan September 2024 sampai Desember 2024 di Desa Mayangan, Kecamatan Gumukmas, Kabupaten Jember. Rancangan yang digunakan adalah Rancangan RAK Faktorial dengan 2 faktor perlakuan yaitu dosis *rhizobium* yang terdiri dari 4 taraf yaitu P0 (kontrol), P1 (5 g/lubang tanam), P2 (10 g/lubang tanam), dan P3 (15 g/lubang tanam) serta faktor konsentrasi sitokinin yang terdiri dari S0 (kontrol), S1 (10 ppm), S2 (20 ppm), dan S3 (30 ppm). Setiap perlakuan diulang sebanyak 3 kali dan didapatkan 48 unit percobaan. Hasil penelitian menunjukkan interaksi antara *rhizobium* dengan dosis 15 g/lubang tanam dan sitokinin dengan konsentrasi 30 ppm memberikan hasil terbaik dan berbeda nyata terhadap tinggi tanaman, jumlah daun, dan pengaruh berbeda sangat nyata terhadap jumlah cabang, jumlah bunga, berat biji basah, berat polong basah, potensi hasil, panjang akar, jumlah bintil akar, dan persentase bintil akar efektif.

Kata kunci: hormon tanaman, inokulasi bakteri, kedelai jepang, *Rhizobium* sp.

Abstract. Edamame (*Glycine max* L. Merrill) has high potential in Indonesia with productivity of 3.5-8 tons/ha and significant export demand, especially to Japan and the United States. Jember Regency, particularly PT Mitratani Dua Tujuh, is a major center of production and export. However, edamame cultivation still faces constraints such as low farmer knowledge and minimal soil nitrogen content. *Rhizobium* spp. plays a role in nitrogen fixation, while the cytokinin hormone BAP has been proven to increase plant growth and yield. The combination of the two is expected to increase edamame productivity through increased nitrogen uptake and pod quality. This study aimed to assess the effect of *rhizobium* dose and cytokinin concentration on edamame growth, yield, and quality. The research was conducted from September 2024 to December 2024 in Mayangan Village, Gumukmas District, Jember Regency. The design used was a factorial RCBD

design with 2 treatment factors, namely rhizobium dose consisting of 4 levels, namely P0 (control), P1 (5 gr/planting hole), P2 (10 gr/planting hole), and P3 (15 gr/planting hole), and cytokinin concentration factor consisting of S0 (control), S1 (10 ppm), S2 (20 ppm), and S3 (30 ppm). Each treatment was repeated 3 times, and 48 experimental units were obtained. The results showed that the interaction between rhizobium with a dose of 15 grams per plant and cytokinin with a concentration of 30 ppm gave the best results and was significantly different from plant height, number of leaves, and very significantly different in effects on the number of branches, number of flowers, wet seed weight, wet pod weight, yield potential, root length, number of root nodules, and percentage of effective root nodules.

Keywords: bacterial inoculation, japanese soybean, plant hormones, *Rhizobium* sp.

1. Pendahuluan

Kedelai edamame (*Glycine max* L. Merrill), dikenal sebagai kedelai Jepang, merupakan komoditas pangan strategis Indonesia dengan potensi ekspor tinggi ke berbagai negara seperti Jepang, Amerika Serikat, Kanada, dan Australia. Berdasarkan data dari Badan Karantina Pertanian, pada tahun 2019 Indonesia berhasil mengekspor edamame sebanyak 6.790,7 ton, di mana sekitar 66,6% atau 4.525,8 ton berasal dari wilayah Jember dan sekitarnya ([Badan Karantina Pertanian, 2019](#)). Ekspor edamame terus berlanjut hingga 2024, ditandai dengan pengiriman perdana sebanyak 4 kontainer (sekitar 92 ton) ke Jepang pada Februari 2024 oleh Kementerian Pertanian melalui Direktorat Jenderal Tanaman Pangan ([Direktorat Jenderal Tanaman Pangan, 2024](#)). Data perdagangan ekspor BPS juga menunjukkan keberlanjutan ekspor edamame selama periode 2019–2023, meskipun dalam beberapa laporan, komoditas ini masih sering dikelompokkan dalam kategori hortikultura secara umum ([Badan Pusat Statistik, 2023](#)). Potensi ekspor edamame dari Indonesia tidak hanya terjaga, tetapi juga menunjukkan prospek positif ke depannya. Biji edamame berwarna hijau, berukuran besar, dan memiliki tekstur halus.

Varietas yang telah dibudidayakan di Indonesia antara lain Ocumani, Tsuronoko, Tsurumidori, Taiso, dan Ryokkoh ([Palupi et al., 2023](#)). Berdasarkan laporan BPS, produktivitas tanaman kedelai (umum) di Indonesia berkisar antara 1,5–2,0 ton per hektare, sementara penelitian agronomi terbaru dari Universitas Jember mencatat bahwa edamame mencapai produktivitas 3,5 ton/ha secara rata-rata di lapangan ([Widhasari et al., 2023](#)). Sementara itu, penelitian [Luthfiatunsa et al. \(2019\)](#), menyatakan bahwa produktivitas kedelai edamame dapat mencapai 8,06 ton/ha dengan pemupukan yang seimbang. [Radar Jember \(2023\)](#), mengonfirmasi bahwa Kabupaten Jember merupakan sentra produksi edamame utama di Indonesia, dengan PT Mitratani Dua Tujuh sebagai eksportir terbesar yang menyediakan hingga 10% dari kebutuhan edamame dunia ([Erikson, 2021](#)).

Budidaya edamame memiliki prospek tinggi, namun masih dihadapkan pada berbagai kendala, di antaranya rendahnya adopsi teknologi oleh petani serta defisiensi unsur nitrogen (N) dalam tanah ([Gani & Fauzi, 2023](#)). Menurut [Iswiyanto et al. \(2022\)](#), tanaman kedelai

membutuhkan nitrogen dalam jumlah besar untuk mendukung pertumbuhan optimal, sementara pemupukan organik saja belum mampu memenuhi kebutuhan tersebut. Pemanfaatan bakteri *rhizobium* spp., yang mampu bersimbiosis dengan tanaman leguminosa dan memfiksasi nitrogen atmosferik, menjadi salah satu solusi yang potensial. Bakteri ini diketahui mampu menambat nitrogen hingga 600 kg N/ha/tahun dan menyediakan hingga 80% kebutuhan nitrogen bagi tanaman legum (Andra *et al.*, 2023).

Aplikasi pupuk hayati berupa bakteri *rhizobium* sebanyak 15 g/lubang tanam menunjukkan hasil terbaik pada variabel pengamatan luas daun. Perlakuan yang sama juga terbukti berpengaruh nyata terhadap laju asimilasi bersih dan laju tumbuh relatif pada 6 minggu setelah tanam. Hal ini membuktikan bahwa *rhizobium* mampu membantu tanaman dalam penyediaan unsur N, sehingga meningkatkan pertumbuhan tanaman kedelai (Simatupang *et al.*, 2023). Menurut Soverda *et al.* (2021) menjelaskan bahwa pemberian *rhizobium* sebanyak 15 gram per tanaman berpengaruh sangat nyata terhadap parameter jumlah bintil akar, umur berbunga, jumlah polong per tanaman, jumlah polong berisi per tanaman, berat polong panen segar per tanaman kedelai edamame. Sari *et al.* (2018) menyatakan bahwa inokulasi *rhizobium* sebanyak 9 g/polybag berpengaruh nyata terhadap jumlah bintil aktif. Perlakuan ini juga terbukti mampu meningkatkan serapan N tanaman dan meningkatkan tinggi tanaman dibandingkan dengan perlakuan tanpa diinokulasi.

Selain itu, aplikasi hormon sitokinin seperti benzylaminopurine (BAP) telah terbukti meningkatkan pertumbuhan akar, jumlah daun, jumlah polong, dan hasil panen melalui stimulasi metabolisme dan akumulasi fotosintat. Aplikasi hormon sitokinin berpengaruh secara signifikan terhadap jumlah daun tanaman kedelai. Pengaruh aplikasi hormon sitokinin paling optimal terjadi pada perlakuan konsentrasi 15 ppm sitokinin yaitu sebanyak 8,15 daun. Perlakuan dengan konsentrasi lebih tinggi justru menunjukkan hasil jumlah daun yang menurun (Kurniawardani *et al.*, 2023). Berdasarkan hasil penelitian Pratama (2020) menunjukkan bahwa aplikasi hormon BAP dengan konsentrasi 20 ppm terbukti berpengaruh nyata terhadap jumlah daun, jumlah bintil akar per tanaman, jumlah polong per tanaman, bobot polong per tanaman, dan hasil polong per plot. Hasil polong yang tinggi pada perlakuan ini didukung dengan banyaknya jumlah daun dan bintil akar tanaman, sehingga nutrisi dari tanah maupun fotosintat dari daun terakumulasi pada biji. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan BAP dapat meningkatkan produksi tanaman edamame (Rahmah *et al.*, 2023).

Berdasarkan urgensi peningkatan produktivitas dan kualitas edamame di Indonesia, maka diperlukan inovasi teknologi budidaya yang mengombinasikan aplikasi *rhizobium* spp. dan hormon sitokinin. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh dosis *rhizobium* dan

konsentrasi sitokinin terhadap pertumbuhan, hasil, dan kualitas edamame sebagai strategi penguatan ketahanan pangan dan peningkatan daya saing ekspor nasional.

2. Bahan dan Metode

Penelitian ini memanfaatkan berbagai alat pendukung laboratorium dan lapangan, seperti pH meter, spektrofotometer, oven, timbangan analitik, sprayer, gelas ukur, penggaris, meteran, cangkul, cetok, gembor, ember atau timba, kamera handphone, kain hitam, alat tulis.

Bahan yang digunakan dalam penelitian meliputi benih edamame Varietas Ryoko yang diperoleh dari PT GMIT, inokulan bakteri *rhizobium* sebagai agen fiksasi nitrogen biologis, serta hormon sitokinin jenis benzilaminopurin (BAP). Media tanam terdiri atas tanah dan pupuk kandang yang berasal dari kotoran kambing. Penanaman dilakukan dalam polibag berukuran 40 × 20 cm. Selain itu, digunakan juga pupuk NPK dengan komposisi 16:16:16 sebagai sumber hara makro, air sebagai media larutan dan penyiraman, serta pestisida untuk pengendalian hama dan penyakit. Label tanaman, plastik klip, dan kertas label digunakan untuk identifikasi perlakuan selama penelitian berlangsung.

Penelitian ini dilaksanakan selama periode September hingga November 2024 di fasilitas *greenhouse* yang berlokasi di Dusun Muneng, Desa Mayangan, Kecamatan Gumukmas, Kabupaten Jember, Provinsi Jawa Timur. Lokasi penelitian berada pada koordinat geografis 8°20'22.1" Lintang Selatan dan 113°23'20.0" Bujur Timur, dengan elevasi berkisar antara 0 hingga 25 meter di atas permukaan laut. Area ini terletak kurang lebih 47 km dari pusat Kabupaten Jember dan memiliki karakteristik topografi dataran rendah yang sesuai untuk budidaya edamame.

Penelitian disusun menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) factorial dengan faktor pertama adalah dosis *rhizobium* spp. (P) yang terdiri atas empat taraf, yaitu P0 = tanpa aplikasi *rhizobium* (kontrol), P1 = 5 g/lubang tanam, P2 = 10 g/lubang tanam, dan P3 = 15 g/lubang tanam. Faktor kedua adalah konsentrasi sitokinin (BAP) (S), yang juga terdiri atas empat taraf, yaitu S0 = tanpa aplikasi sitokinin (kontrol), S1 = 10 ppm, S2 = 20 ppm, dan S3 = 30 ppm. Kombinasi kedua faktor tersebut menghasilkan 16 kombinasi perlakuan, dan masing-masing diulang sebanyak tiga kali, sehingga total unit percobaan yang diperoleh adalah 48.

Penelitian ini diawali dengan persiapan benih edamame dari PT GMIT Jember yang telah melalui proses *seed treatment*, dengan pemilihan benih seragam, sehat, dan bebas dari hama maupun kotoran. Media tanam disiapkan dengan mencampurkan tanah lempung berpasir dan pupuk kandang kambing dalam perbandingan 3:1, lalu dimasukkan ke dalam polibag berukuran 40 × 20 cm. Pemupukan dasar menggunakan pupuk NPK 16:16:16 sebanyak 5,6 gram per tanaman, dilakukan tujuh hari sebelum tanam dengan sistem larikan melingkar. Setiap polibag diberi label untuk membedakan perlakuan, kemudian disusun sesuai rancangan percobaan.

Aplikasi *rhizobium* dilakukan satu kali, tujuh hari sebelum tanam, sesuai dosis perlakuan (0, 5, 10, dan 15 g/lubang tanam). Sitokinin diaplikasikan dua kali, yaitu pada 21 dan 35 hari setelah tanam (HST), dengan konsentrasi sesuai perlakuan (0, 10, 20, dan 30 ppm) menggunakan sprayer berukuran nozzle 0,89 mL/semprot dan diarahkan ke daun serta batang. Penanaman dilakukan dengan melubangi media sedalam 3–5 cm dan menanam satu benih per lubang. Pemeliharaan meliputi penyiraman rutin disesuaikan dengan kelembaban media, penyulaman tanaman tidak tumbuh pada usia 7–14 HST, dan pengendalian hama serta penyakit menggunakan insektisida preventif yang disemprotkan ke seluruh bagian tanaman. Panen dilakukan secara manual pada umur 63–70 HST, saat tanaman edamame mencapai kriteria panen segar, yaitu ketika sekitar 80% polong telah terisi penuh, berwarna hijau cerah, dan tampak mengkilap. Pada tahap ini, biji di dalam polong berukuran penuh namun belum mengeras, polong mudah dipatahkan, dan sebagian besar daun tanaman masih berwarna hijau meskipun mulai menunjukkan tanda-tanda penuaan fisiologis seperti menguning ringan pada daun bagian bawah.

Variabel yang diamati diantaranya yaitu tinggi tanaman, jumlah daun, jumlah cabang, jumlah bintil akar, persentase bintil akar efektif, panjang akar, jumlah bunga, jumlah polong isi, jumlah polong hampa, berat polong segar, berat biji segar, potensi hasil, analisis kandungan klorofil daun, dan analisis protein. Data dianalisis menggunakan Analisis Sidik Ragam (ANOVA), dan apabila terdapat perbedaan nyata atau sangat nyata, maka dilakukan uji lanjut menggunakan DMRT (*Duncan Multiple Range Test*) dan *Polynomial Orthogonal* pada taraf 5%. Uji DMRT digunakan untuk membandingkan rata-rata antar perlakuan yang bersifat diskrit, sehingga diterapkan pada parameter pertumbuhan dan kualitas tanaman edamame. Sementara itu, uji *Polynomial Orthogonal* digunakan untuk menganalisis kecenderungan respon terhadap perlakuan berjenjang atau kuantitatif, sehingga sesuai untuk parameter hasil tanaman edamame. Penggunaan kedua jenis uji lanjut ini disesuaikan dengan karakteristik perlakuan dan tujuan analisis masing-masing parameter.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan nilai F hitung pada hasil analisis data menunjukkan bahwa interaksi dosis *rhizobium* dan konsentrasi sitokinin memberikan pengaruh berbeda nyata pada tinggi tanaman, jumlah daun, serta berbeda sangat nyata terhadap jumlah cabang, jumlah bintil akar, persentase bintil akar efektif, panjang akar, jumlah bunga, berat polong segar, berat biji segar, dan potensi hasil (Tabel 1).

Berdasarkan Tabel 1, faktor dosis *rhizobium* mayoritas menunjukkan pengaruh berbeda sangat nyata pada seluruh variabel pengamatan kecuali pada variabel jumlah polong isi yang menunjukkan pengaruh berbeda sangat nyata dan total klorofil yang menunjukkan berbeda tidak

nyata. Sedangkan pada faktor konsentrasi sitokinin mayoritas juga menunjukkan pengaruh berbeda sangat nyata terhadap seluruh variabel pengamatan, terkecuali pada variabel jumlah polong isi yang menunjukkan pengaruh berbeda nyata dan variabel jumlah polong hampa dan protein terlarut yang menunjukkan pengaruh berbeda tidak nyata.

Tabel 1. *F-Value* pada Variabel Pengamatan

No	Variabel	<i>F-Value</i>		
		Dosis <i>Rhizobium</i> (P)	Konsentrasi sitokinin (S)	Interaksi
1.	Tinggi Tanaman (cm)	37,06 ^{**}	14,75 ^{**}	3,02 [*]
2.	Jumlah Daun (helai)	23,36 ^{**}	16,47 ^{**}	2,69 [*]
3.	Jumlah Cabang (cabang)	18,19 ^{**}	9,31 ^{**}	4,81 ^{**}
4.	Jumlah Bintil Akar (unit)	110,96 ^{**}	10,89 ^{**}	3,83 ^{**}
5.	Persentase Bintil Akar Efektif (%)	25,31 ^{**}	15,47 ^{**}	5,67 ^{**}
6.	Panjang Akar (cm)	6498,17 ^{**}	162,36 ^{**}	14,08 ^{**}
7.	Jumlah Bunga (bunga)	16,69 ^{**}	7,17 ^{**}	3,56 ^{**}
8.	Jumlah Polong Isi (polong)	3,69 [*]	3,36 [*]	0,93 ^{ns}
9.	Jumlah Polong Hampa (polong)	48,23 ^{**}	2,64 ^{ns}	0,17 ^{ns}
10.	Berat Polong Segar (gram)	161,88 ^{**}	11,74 ^{**}	3,50 ^{**}
11.	Berat Biji Segar (gram)	67,09 ^{**}	10,93 ^{**}	3,77 ^{**}
12.	Total Klorofil (mg/ml)	2,96 ^{ns}	10,73 ^{**}	1,07 ^{ns}
13.	Protein Terlarut (mg/g)	7,19 ^{**}	1,67 ^{ns}	0,69 ^{ns}
14.	Potensi Hasil (ton/ha)	161,88 ^{**}	11,74 ^{**}	3,50 ^{**}

Keterangan: Berbeda sangat nyata (**), berbeda nyata (*), berbeda tidak nyata (ns)

3.1. Pengaruh Dosis *Rhizobium* terhadap Pertumbuhan, Hasil, dan Kualitas Kedelai Edamame

Berdasarkan Tabel 1, data yang menunjukkan pengaruh berbeda nyata maupun berbeda sangat nyata, dilakukan uji lanjut menggunakan uji *Duncan* pada taraf 5% pada variabel pertumbuhan, dan kualitas kedelai edamame, sedangkan pada variabel hasil dilakukan uji lanjut menggunakan uji *Polinomial Orthogonal*, pada variabel yang tidak menunjukkan interaksi perlakuan pada faktor dosis *rhizobium*, hasil uji *Duncan* dan *Polinomial Orthogonal* pada taraf 5% dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 1, serta Gambar 2.

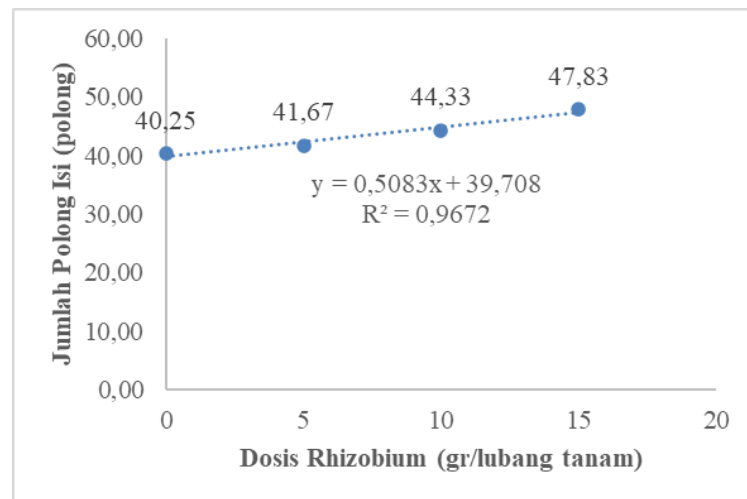
Tabel 2. Pengaruh Dosis *rhizobium* terhadap Protein Terlarut

Dosis <i>rhizobium</i>	Protein Terlarut (mg/g)
0 g/lubang tanam	28,50 a
5 g/lubang tanam	29,61 b
10 g/lubang tanam	29,70 b
15 g/lubang tanam	30,90 c

Keterangan: Angka-angka yang tidak berbeda secara statistik pada tingkat 5% ditunjukkan dengan huruf yang sama pada angka kolom yang sama

Berdasarkan Tabel 2, dosis 15 g/lubang tanam menunjukkan hasil tertinggi yaitu 30,90 mg/g, dan dosis 0 g/lubang tanam menunjukkan hasil terendah yaitu 28,50 mg/g. Dosis 15 g/lubang tanam berbeda nyata dibandingkan perlakuan lainnya. Hasil ini menunjukkan bahwa aplikasi *rhizobium* secara signifikan meningkatkan kandungan protein terlarut dalam jaringan tanaman. Peningkatan kandungan protein terlarut pada tanaman yang diberikan *rhizobium* berkaitan erat

dengan peran penting *rhizobium* dalam fiksasi nitrogen biologis. *Rhizobium* memiliki kemampuan untuk bersimbiosis dengan tanaman leguminosa membentuk bintil akar, di mana proses fiksasi nitrogen atmosfer (N_2) menjadi amonia (NH_3) terjadi melalui aktivitas enzim nitrogenase. Pembentukan bintil akar diawali oleh infeksi *rhizobium* melalui rambut akar, yang kemudian merangsang pembelahan sel korteks dan diferensiasi jaringan akar, membentuk struktur nodul yang menjadi tempat berlangsungnya fiksasi nitrogen secara biologis (Costa *et al.*, 2023). Nitrogen yang terfiksasi ini kemudian dimanfaatkan oleh tanaman untuk sintesis asam amino, yang merupakan prekursor utama dalam pembentukan protein terlarut (Fields *et al.*, 2023).



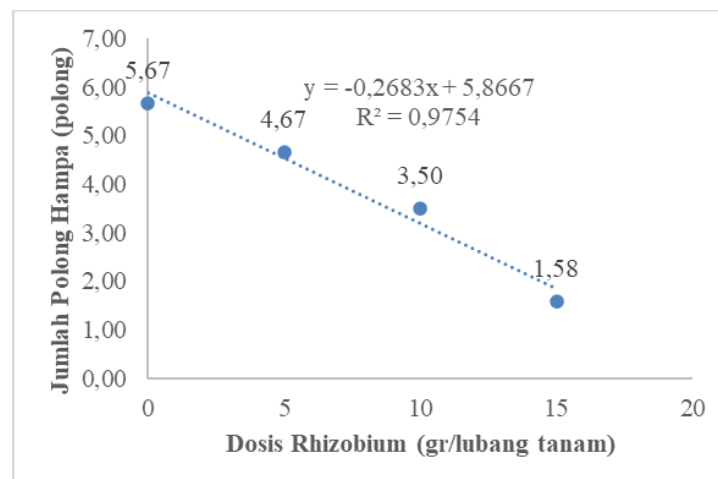
Gambar 1. Grafik *Polinomial Orthogonal* Dosis *rhizobium* terhadap Jumlah Polong Isi

Berdasarkan Gambar 1, hasil uji *Polinomial Orthogonal*, didapatkan hasil bahwa dosis *rhizobium* memberikan pengaruh secara linier dengan hasil tertinggi didapatkan oleh level P3 yaitu 47,83 polong isi, artinya semakin tinggi dosis *rhizobium*, maka jumlah polong isi juga semakin naik. Persamaan yang didapatkan yaitu $y = 0,5083x + 39,708$. Nilai koefisien dari persamaan liniernya bernilai positif, sehingga semakin tinggi dosis *rhizobium*, maka semakin tinggi jumlah polong isi yang dihasilkan. Nilai *Rsquare* (R^2) yang didapatkan adalah 96,7% (sangat baik), artinya dosis *rhizobium* memengaruhi sebesar 96,7% terhadap jumlah polong isi, dan 3,3% sisanya dipengaruhi oleh faktor lingkungan atau lainnya. *Rhizobium* memainkan peran kunci dalam fiksasi nitrogen biologis melalui hubungan simbiosis mutualistik dengan tanaman legum seperti edamame. Bakteri ini menginfeksi rambut akar tanaman dan membentuk struktur infeksi yang memicu pembelahan sel di korteks akar, menghasilkan bintil akar (nodul). Di dalam bintil tersebut, *rhizobium* hidup dalam bentuk bakteroida dan menghasilkan enzim nitrogenase yang mampu mereduksi nitrogen atmosfer (N_2) menjadi amonia (NH_3), yang kemudian diserap dan dimanfaatkan tanaman sebagai sumber nitrogen. Sebagai imbalannya, tanaman menyediakan karbohidrat hasil fotosintesis sebagai sumber energi bagi *rhizobium*. Nitrogen atmosfer yang difiksasi oleh *rhizobium* di dalam bintil akar diubah menjadi senyawa nitrogen organik yang dapat

langsung dimanfaatkan tanaman untuk metabolisme penting, termasuk pembentukan polong (Gathiye & Verma, 2020; Rahangdale *et al.*, 2022). Inokulasi *rhizobium* terbukti dapat meningkatkan jumlah polong isi hingga 20% dibandingkan kontrol tanpa inokulasi, didorong oleh peningkatan ketersediaan nitrogen dan aktivitas hormon pertumbuhan seperti auksin yang merangsang pembentukan tunas generatif dan pengisian polong (Calderon & Dangi 2024).

Selain itu, *rhizobium* juga mendukung efisiensi penyerapan nutrisi penting seperti fosfor dan kalium melalui peningkatan aktivitas mikroba tanah dan pelarutan mineral. *Rhizobium* merangsang aktivitas mikroba tanah lain melalui eksudat akar dan senyawa metabolit yang dihasilkannya, yang memperkaya komunitas mikroba rizosfer. Selain itu, *rhizobium* menghasilkan asam organik dan enzim tertentu yang membantu melarutkan fosfat dan mineral lain yang terikat dalam tanah, sehingga meningkatkan ketersediaannya bagi tanaman (Félix *et al.*, 2021). Fosfor berperan dalam pembelahan sel dan pengisian biji, sedangkan kalium mendukung metabolisme karbohidrat dan pembentukan protein. Penelitian oleh Calderon and Dangi (2024) juga menunjukkan bahwa peningkatan dosis *rhizobium* berbanding lurus dengan peningkatan jumlah polong isi. Dosis 15 gram per lubang tanam (P3) diidentifikasi sebagai dosis optimal untuk meningkatkan jumlah polong isi edamame melalui mekanisme biologis yang efisien dan terintegrasi.

Berdasarkan Gambar 2, pada variabel jumlah polong hampa dosis *rhizobium* memberikan pengaruh secara linier dengan hasil terendah didapatkan oleh level P3 yaitu 1,58 polong hampa, artinya semakin tinggi dosis *rhizobium*, maka jumlah polong hampa juga semakin turun. Persamaan yang didapatkan yaitu $y = -0,2683x + 5,8667$. Nilai koefisien dari persamaan liniernya bernilai negatif, sehingga semakin tinggi dosis *rhizobium*, maka semakin kecil jumlah polong hampa yang dihasilkan. Nilai Rsquare (R^2) yang didapatkan adalah 97,5% (sangat baik), artinya dosis *rhizobium* memengaruhi sebesar 97,5% terhadap pembentukan jumlah polong hampa, dan 2,5% sisanya dipengaruhi oleh faktor lingkungan atau lainnya.



Gambar 2. Grafik *Polinomial Orthogonal* Dosis *rhizobium* terhadap Jumlah Polong Hampa

Penggunaan *rhizobium* terbukti efektif dalam mengurangi jumlah polong hampa pada tanaman leguminosa seperti edamame dan kacang hijau. Mekanisme utamanya adalah melalui peningkatan fiksasi nitrogen atmosfer menjadi bentuk yang tersedia bagi tanaman, yang sangat krusial dalam proses pembentukan bunga, polong, dan pengisian biji. Ketika tanaman kekurangan nitrogen, proses ini terganggu sehingga menyebabkan peningkatan polong hampa. *Rhizobium*, melalui simbiosis mutualisme di bintil akar, menyediakan nitrogen dalam jumlah cukup, sehingga mendukung pembentukan polong berisi secara optimal (Rafique *et al.*, 2021; Katiyar *et al.*, 2020).

Berbagai penelitian memperkuat efektivitas *rhizobium* dalam menekan jumlah polong hampa. Maan *et al.* (2020) menunjukkan bahwa inokulasi *rhizobium* dapat menurunkan polong hampa hingga 30% pada kacang hijau. Hasil serupa juga ditemukan pada edamame, di mana peningkatan dosis *rhizobium* meminimalisir gangguan pada fase pengisian polong dan meningkatkan persentase polong berisi (Duan *et al.*, 2021). Anhar *et al.* (2021) mencatat peningkatan hasil biji sebesar 15–20% pada kedelai dengan penggunaan *rhizobium*, seiring dengan pengurangan polong hampa. Selain fiksasi nitrogen, *rhizobium* juga memicu produksi hormon pertumbuhan seperti auksin dan sitokinin yang penting dalam diferensiasi sel dan pengisian biji (Ramadhani *et al.*, 2020).

3.2. Pengaruh Konsentrasi Sitokinin terhadap Pertumbuhan, Hasil, dan Kualitas Kedelai Edamame

Berdasarkan Tabel 1, data yang menunjukkan pengaruh berbeda nyata maupun berbeda sangat nyata, dilakukan uji lanjut menggunakan uji *Duncan* pada taraf 5% pada variabel pertumbuhan, dan kualitas kedelai edamame, sedangkan pada variabel hasil dilakukan uji lanjut menggunakan uji *Polinomial Orthogonal*, pada variabel yang tidak menunjukkan interaksi perlakuan pada faktor dosis *rhizobium*, hasil uji *Duncan* dan *Polinomial Orthogonal* pada taraf 5% dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 3.

Tabel 3. Pengaruh Konsentrasi sitokinin terhadap Total Klorofil

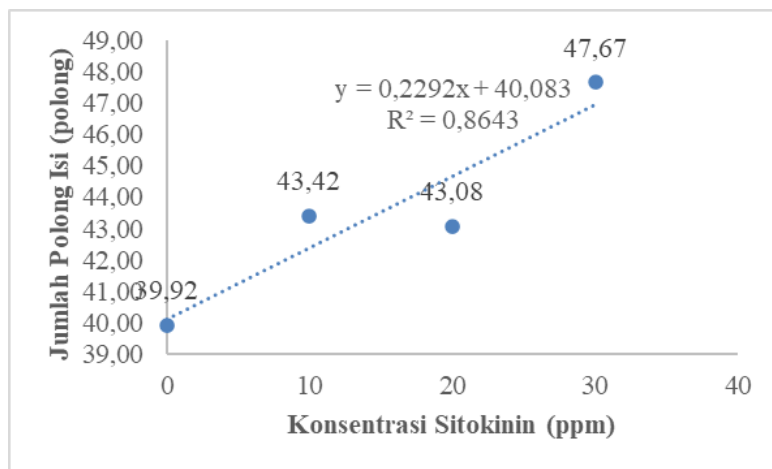
Konsentrasi sitokinin	Total Klorofil (mg/ml)
0 ppm	29,12 a
10 ppm	29,67 a
20 ppm	31,25 a
30 ppm	36,40 b

Keterangan: Angka-angka yang tidak berbeda secara statistik pada tingkat 5% ditunjukkan dengan huruf yang sama pada angka kolom yang sama

Berdasarkan Tabel 3, konsentrasi sitokinin 30 ppm menunjukkan hasil tertinggi yaitu 36,40 mg/ml, dan perlakuan konsentrasi sitokinin 0 ppm menunjukkan hasil terendah yaitu 29,12 mg/ml. Perlakuan konsentrasi sitokinin 30 ppm berbeda nyata dibandingkan perlakuan konsentrasi sitokinin lainnya. sitokinin berperan penting dalam meningkatkan kandungan klorofil tanaman dengan merangsang pembentukan dan mempertahankan stabilitas klorofil. Hormon ini memicu

ekspresi gen terkait biosintesis klorofil dan mengaktifkan enzim seperti *protochlorophyllide reductase*. Pada dosis tinggi (30 ppm/S3), sitokinin juga menghambat degradasi klorofil dengan menekan aktivitas klorofilase (Du *et al.*, 2023; Soyano *et al.*, 2024).

Peningkatan kandungan klorofil dari aplikasi sitokinin berdampak langsung pada peningkatan efisiensi fotosintesis dan pertumbuhan tanaman. Tanaman menjadi lebih hijau, memiliki luas daun lebih besar, dan mampu menangkap lebih banyak cahaya untuk pembentukan energi (Kinoshita & Tsukaya, 2022; Hussain *et al.*, 2023). Sebaliknya, tanpa sitokinin (S0), kandungan klorofil rendah karena kurangnya stimulasi biosintesis, terutama pada kondisi lingkungan kurang optimal (Mala *et al.*, 2023).



Gambar 3. Grafik *Polinomial Orthogonal* Konsentrasi sitokinin terhadap Jumlah Polong Isi

Gambar 3 menunjukkan bahwa konsentrasi sitokinin memberikan pengaruh secara linier dengan hasil tertinggi didapatkan oleh level S3 yaitu 47,67 polong isi, artinya semakin tinggi konsentrasi sitokinin, maka jumlah polong isi juga semakin naik. Persamaan yang didapatkan yaitu $y = 0,2292x + 40,083$. Nilai koefisien dari persamaan liniernya bernilai positif, sehingga semakin tinggi konsentrasi sitokinin, maka semakin tinggi jumlah polong isi yang dihasilkan. Nilai R^2 yang didapatkan adalah 86,4% (cukup baik), artinya konsentrasi sitokinin memengaruhi sebesar 86,4% terhadap jumlah polong isi, dan 13,6% sisanya dipengaruhi oleh faktor lingkungan atau lainnya. Sitokinin berperan penting dalam mendukung pembelahan sel, pertumbuhan tunas, serta pembentukan bunga dan buah. Aplikasinya pada tanaman kacang-kacangan terbukti meningkatkan jumlah polong dan berat biji dengan menstimulasi aktivitas meristematik dan mengurangi aborsi bunga serta polong muda (Hussain *et al.*, 2023; Melnikava *et al.*, 2024). Penelitian menunjukkan peningkatan jumlah polong isi hingga 15% setelah pemberian sitokinin (Sosnowski *et al.*, 2023).

Selain itu, sitokinin juga meningkatkan distribusi nutrisi dan fotosintat ke biji, memperbesar berat polong dan biji (Cheng *et al.*, 2021). Konsentrasi optimal adalah 30 ppm, yang mampu

meningkatkan berat biji hingga 20% (Fahde *et al.*, 2023). Namun, dosis di atas 40 ppm justru menurunkan pertumbuhan akibat ketidakseimbangan hormon (Benedetto *et al.*, 2023), sehingga penting menjaga dosis yang tepat untuk hasil maksimal

3.3. Pengaruh Interaksi Dosis *Rhizobium* dan Konsentrasi Sitokinin terhadap Pertumbuhan, Hasil, dan Kualitas Kedelai Edamame

Berdasarkan data yang menunjukkan pengaruh berbeda nyata maupun berbeda sangat nyata, dilakukan uji lanjut menggunakan uji *Duncan* pada taraf 5% pada variabel pertumbuhan, dan kualitas kedelai edamame, sedangkan pada variabel hasil dilakukan uji lanjut menggunakan uji *Polinomial Orthogonal*, hasil uji *Duncan* dan *Polinomial Orthogonal* pada taraf 5% dapat dilihat pada Tabel 4, Tabel 5, Tabel 6, Tabel 7, Tabel 8, Tabel 9, dan Tabel 10.

Tabel 4. Pengaruh Dosis *Rhizobium* dan Konsentrasi Sitokinin terhadap Tinggi Tanaman

Dosis <i>Rhizobium</i> /Konsentrasi Sitokinin	Tinggi Tanaman (cm)			
	S0	S1	S2	S3
P0	62,90 a A	64,67 a A	65,10 a A	65,53 a A
P1	67,63 a B	68,00 a B	67,50 a A	68,10 a A
P2	65,80 a B	68,27 a B	67,87 a A	72,63 b B
P3	68,00 a B	70,00 a B	73,20 b B	76,53 c C

Keterangan: Angka-angka yang tidak berbeda secara statistik pada tingkat 5% ditunjukkan dengan huruf yang sama pada angka kolom yang sama. Huruf kapital menyatakan perbandingan secara vertikal (membandingkan konsentrasi sitokinin), huruf kecil menyatakan perbandingan secara horizontal (membandingkan dosis *rhizobium*).

Tabel 5. Pengaruh Dosis *Rhizobium* dan Konsentrasi Sitokinin terhadap Jumlah Daun

Dosis <i>Rhizobium</i> /Konsentrasi Sitokinin	Jumlah Daun (helai)			
	S0	S1	S2	S3
P0	26,57 a A	28,00 b A	28,67 b A	29,67 b A
P1	29,33 a B	31,00 a A	29,00 a A	29,33 a A
P2	28,00 a B	28,67 a B	30,00 a A	32,33 b B
P3	29,33 a B	32,00 a B	32,67 b B	35,33 c C

Keterangan: Angka-angka yang tidak berbeda secara statistik pada tingkat 5% ditunjukkan dengan huruf yang sama pada angka kolom yang sama. Huruf kapital menyatakan perbandingan secara vertikal (membandingkan konsentrasi sitokinin), huruf kecil menyatakan perbandingan secara horizontal (membandingkan dosis *rhizobium*).

Interaksi perlakuan antara dosis *rhizobium* 15 g/lubang tanam dan konsentrasi sitokinin 30 ppm direkomendasikan sebagai interaksi terbaik dengan hasil tinggi tanaman tertinggi yaitu dengan rerata 76,53 cm (Tabel 4), jumlah daun dengan rerata 35,33 helai (Tabel 5), jumlah bintil akar dengan rerata 162,67 unit (Tabel 7), persentase bintil akar efektif dengan rerata 100,00% (Tabel 8), panjang akar dengan rerata 46,60 cm (Tabel 9) yang berbeda nyata dibandingkan dengan

interaksi lainnya, sedangkan pada jumlah cabang tertinggi yaitu dengan rerata 11,00 cabang (Tabel 6), namun berbeda tidak nyata dibandingkan perlakuan konsentrasi sitokinin 10 ppm (Interaksi dosis *rhizobium* 15 g/lubang tanam dan konsentrasi sitokinin 10 ppm) yaitu 10,33 cabang dan jumlah bunga tertinggi yaitu dengan rerata 23,33 bunga (Tabel 10), namun berbeda tidak nyata dibandingkan perlakuan konsentrasi sitokinin 20 ppm (Interaksi dosis *rhizobium* 15 g/lubang tanam dan konsentrasi sitokinin 20 ppm) yaitu 23,00 bunga. Kombinasi dosis tinggi *rhizobium* dan konsentrasi optimal sitokinin memberikan efek sinergis yang signifikan terhadap pertumbuhan vegetatif edamame. *rhizobium* berperan dalam meningkatkan fiksasi nitrogen melalui pembentukan bintil akar, sehingga menyediakan nitrogen dalam jumlah cukup bagi tanaman. Nitrogen ini penting untuk sintesis protein, klorofil, serta pembentukan jaringan baru. Di sisi lain, sitokinin mendorong pembelahan sel dan perkembangan tunas serta batang dengan mengaktifkan gen-gen pertumbuhan di jaringan meristematik. Sinergi keduanya mempercepat pertumbuhan tanaman, baik pada bagian akar maupun tajuk, menciptakan struktur tanaman yang lebih produktif dan efisien dalam penyerapan cahaya dan nutrisi (Hasanah *et al.*, 2023; Khandal *et al.*, 2020).

Tabel 6. Pengaruh Dosis *Rhizobium* dan Konsentrasi Sitokinin terhadap Jumlah Cabang

Dosis <i>Rhizobium</i> /Konsentrasi Sitokinin	Jumlah Cabang (cabang)			
	S0	S1	S2	S3
P0	26,57 a A	28,00 b A	28,67 b A	29,67 b A
P1	29,33 a B	31,00 a A	29,00 a A	29,33 a A
P2	28,00 a B	28,67 a B	30,00 a A	32,33 b B
P3	29,33 a B	32,00 a B	32,67 b B	35,33 c C

Keterangan: Angka-angka yang tidak berbeda secara statistik pada tingkat 5% ditunjukkan dengan huruf yang sama pada angka kolom yang sama. Huruf kapital menyatakan perbandingan secara vertikal (membandingkan konsentrasi sitokinin), huruf kecil menyatakan perbandingan secara horizontal (membandingkan dosis *rhizobium*).

Tabel 7. Pengaruh Dosis *Rhizobium* dan Konsentrasi Sitokinin terhadap Jumlah Bintil Akar

Dosis <i>Rhizobium</i> /Konsentrasi Sitokinin	Jumlah Bintil Akar (unit)			
	S0	S1	S2	S3
P0	90,33 a A	92,33 a A	87,67 a A	93,00 a A
P1	94,00 a A	97,33 a A	102,33 a B	102,33 a A
P2	106,33 a B	109,33 a B	112,33 a B	117,33 a B
P3	126,67 a C	129,00 a C	131,00 a C	162,67 b C

Keterangan: Angka-angka yang tidak berbeda secara statistik pada tingkat 5% ditunjukkan dengan huruf yang sama pada angka kolom yang sama. Huruf kapital menyatakan perbandingan secara vertikal (membandingkan konsentrasi sitokinin), huruf kecil menyatakan perbandingan secara horizontal (membandingkan dosis *rhizobium*).

Peningkatan jumlah daun dan percabangan menunjukkan bahwa kombinasi ini mampu meningkatkan aktivitas fotosintesis melalui penyediaan nitrogen dan stimulasi pembentukan tunas lateral. sitokinin berperan penting dalam memperpanjang fase pembelahan sel pada jaringan daun dan memperbesar luas permukaan daun, sehingga memperkuat kapasitas tanaman dalam menangkap cahaya dan melakukan fotosintesis. Fotosintat yang dihasilkan didistribusikan secara lebih merata ke seluruh bagian tanaman, termasuk ke tunas lateral yang berkembang menjadi cabang dan tempat pembentukan polong. Hal ini mendukung peningkatan produktivitas tanaman melalui optimalisasi distribusi energi dan nutrisi (Nisler *et al.*, 2021; Bi *et al.*, 2024).

Tabel 8. Pengaruh Dosis *Rhizobium* dan Konsentrasi Sitokinin terhadap Persentase Bintil Akar Efektif

Dosis <i>Rhizobium</i> /Konsentrasi Sitokinin	Persentase Bintil Akar Efektif (%)			
	S0	S1	S2	S3
P0	85,36 a A	94,27 b A	94,02 ab A	96,43 b A
P1	93,61 a B	94,18 ab A	98,42 c B	97,38 bc AB
P2	96,55 b BC	92,99 a A	99,41 b B	97,16 b AB
P3	98,16 a C	98,97 a B	98,96 a B	100,00 b B

Keterangan: Angka-angka yang tidak berbeda secara statistik pada tingkat 5% ditunjukkan dengan huruf yang sama pada angka kolom yang sama. Huruf kapital menyatakan perbandingan secara vertikal (membandingkan konsentrasi sitokinin), huruf kecil menyatakan perbandingan secara horizontal (membandingkan dosis *rhizobium*).

Tabel 9. Pengaruh Dosis *Rhizobium* dan Konsentrasi Sitokinin terhadap Panjang Akar

Dosis <i>Rhizobium</i> /Konsentrasi Sitokinin	Panjang Akar (cm)			
	S0	S1	S2	S3
P0	14,71 a A	15,83 b A	16,54 b A	16,57 b A
P1	19,81 a B	21,04 b B	22,33 c B	22,33 c B
P2	25,40 a C	26,44 b C	27,77 c C	29,08 d C
P3	36,35 a D	37,50 b D	39,63 c D	42,60 d D

Keterangan: Angka-angka yang tidak berbeda secara statistik pada tingkat 5% ditunjukkan dengan huruf yang sama pada angka kolom yang sama. Huruf kapital menyatakan perbandingan secara vertikal (membandingkan konsentrasi sitokinin), huruf kecil menyatakan perbandingan secara horizontal (membandingkan dosis *rhizobium*).

Selain mendukung pertumbuhan vegetatif, kombinasi *rhizobium* dan sitokinin juga efektif dalam meningkatkan parameter generatif, seperti pembentukan bunga. sitokinin merangsang diferensiasi tunas vegetatif menjadi tunas generatif melalui aktivasi gen pembungaan, sedangkan nitrogen dari *rhizobium* mendukung metabolisme dan sintesis hormon yang diperlukan dalam proses tersebut. Sinergi ini menciptakan kondisi ideal bagi pembentukan dan perkembangan bunga, yang secara langsung memengaruhi jumlah polong dan biji yang terbentuk. Kombinasi ini

juga mendukung keseimbangan hormonal dan ketersediaan nutrisi yang penting untuk sinkronisasi dan kualitas pembungaan (Werner *et al.*, 2021; Chandrakanta *et al.*, 2024).

Tabel 10. Pengaruh Dosis *Rhizobium* dan Konsentrasi Sitokinin terhadap Jumlah Bunga

Dosis <i>Rhizobium</i> /Konsentrasi Sitokinin	Jumlah Bunga (bunga)			
	S0	S1	S2	S3
P0	16,33 a A	20,67 b A	19,33 b A	19,33 b A
P1	19,00 a B	19,67 a A	20,67 a A	20,67 a A
P2	20,67 a B	19,33 a A	19,67 a A	20,33 a A
P3	20,33 a B	21,00 a A	23,00 b B	23,33 b B

Keterangan: Angka-angka yang tidak berbeda secara statistik pada tingkat 5% ditunjukkan dengan huruf yang sama pada angka kolom yang sama. Huruf kapital menyatakan perbandingan secara vertikal (membandingkan konsentrasi sitokinin), huruf kecil menyatakan perbandingan secara horizontal (membandingkan dosis *rhizobium*).

Berdasarkan Tabel 11, didapatkan hasil bahwa faktor dosis *rhizobium* (P) dan sitokinin (S), secara linier meningkatkan potensi hasil tanaman secara berbeda nyata terhadap potensi hasil. Nilai R Square yang didapatkan yaitu 94,3%, yang artinya berat polong segar dipengaruhi sebesar 94,3% oleh faktor dosis *rhizobium* dan konsentrasi sitokinin, dan 5,7% dipengaruhi oleh faktor lingkungan. *Rhizobium* berperan dominan melalui fiksasi nitrogen yang mendukung sintesis protein dan metabolisme tanaman, sementara sitokinin membantu mempercepat pembelahan sel dan transport nutrisi ke biji (Rudaya *et al.*, 2023; Bakalova *et al.*, 2022).

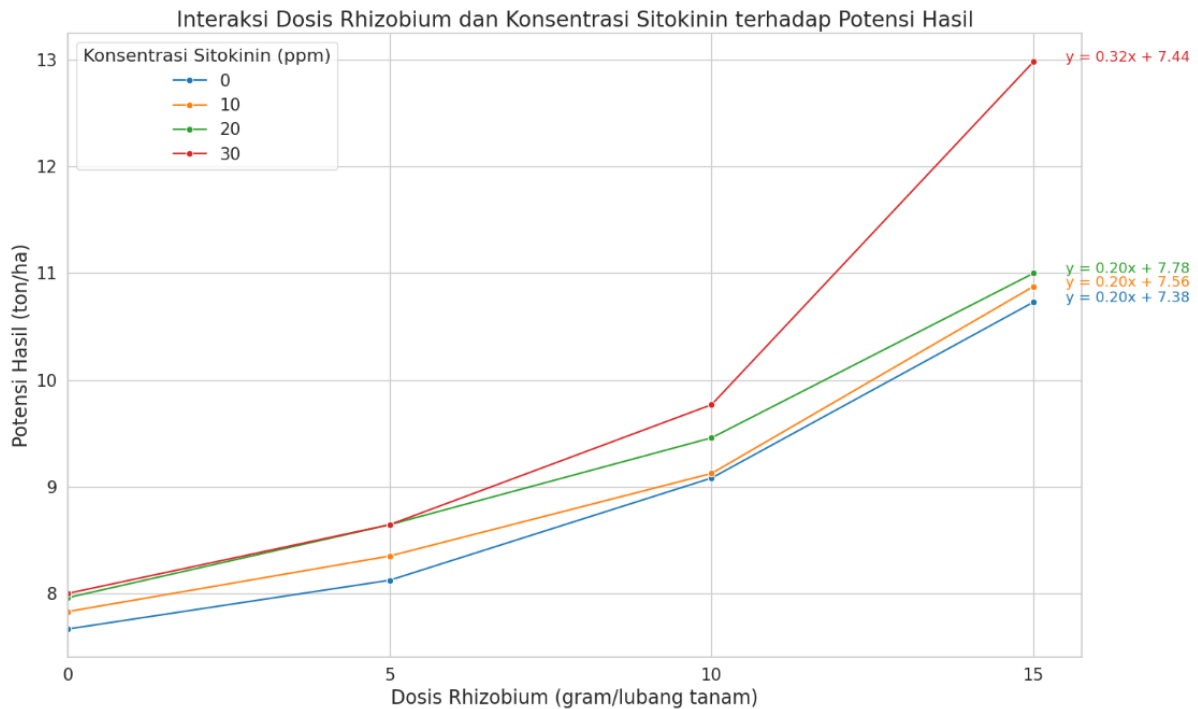
Tabel 11. Hasil Uji Polinomial Orthogonal pada Potensi Hasil Berat Polong Segar (ton/ha)

Variabel	Koefisien	P-value	Kesimpulan
<i>rhizobium</i> _linear	2,5724	0,000	Berpengaruh. Peningkatan P (<i>rhizobium</i>) meningkatkan potensi hasil berat polong basah
sitokinin_linear	0,6848	0,015	Berpengaruh. Peningkatan sitokinin (S) meningkatkan potensi hasil berat polong basah

Rhizobium tetap menjadi faktor utama dalam meningkatkan hasil dan kualitas edamame karena perannya dalam meningkatkan efisiensi nitrogen dan produktivitas tanaman (Wangiyana *et al.*, 2023; Krutyakov *et al.*, 2022). Kombinasi ini juga terbukti meningkatkan kandungan protein dan senyawa bioaktif yang mendukung nilai gizi serta masa simpan biji edamame (Soyano *et al.*, 2024). Efektivitasnya sangat bergantung pada kepadatan koloni *rhizobium* dalam inokulan, yang harus cukup tinggi agar proses fiksasi nitrogen berjalan optimal (Rahangdale *et al.*, 2022).

Gambar 4, menunjukkan pada dosis *rhizobium* 0 gram, potensi hasil berada pada kisaran terendah untuk semua perlakuan sitokinin, berkisar antara 7,8 hingga 8,1. Seiring peningkatan dosis *rhizobium* hingga 15 g/lubang tanam, seluruh kurva menunjukkan tren naik, mengindikasikan bahwa kombinasi pemupukan hayati dengan *Rhizobium* dan sitokinin berdampak

positif terhadap hasil. Konsentrasi sitokinin 30 ppm secara konsisten menghasilkan potensi hasil tertinggi di setiap tingkat dosis *rhizobium*, dengan lonjakan signifikan pada dosis 15 g, mencapai lebih dari 13 ton/ha potensi hasil. Hal ini menunjukkan adanya interaksi sinergis antara dosis *rhizobium* tinggi dan sitokinin tinggi. Perbedaan antar kurva mulai terlihat jelas pada dosis *rhizobium* 10 g dan semakin lebar pada dosis 15 g. Hal ini mengindikasikan bahwa respons tanaman terhadap *rhizobium* menjadi lebih nyata ketika konsentrasi sitokinin ditingkatkan.



Gambar 4. Grafik *Polinomial Orthogonal* pada Interaksi perlakuan antara Dosis *Rhizobium* dan Konsentrasi Sitokinin terhadap Potensi Hasil

Selain meningkatkan kuantitas dan kualitas hasil, kombinasi *rhizobium* dan sitokinin juga memberikan manfaat ekologis dalam sistem pertanian berkelanjutan. Fiksasi nitrogen oleh *rhizobium* mengurangi ketergantungan pada pupuk nitrogen sintetis yang berisiko mencemari lingkungan dan mahal secara ekonomi. Proses ini juga memperbaiki kesuburan tanah dengan meningkatkan kandungan nitrogen mineral di zona perakaran. sitokinin, sebagai hormon alami, tidak hanya merangsang pertumbuhan tanaman tetapi juga memperkuat adaptasi tanaman terhadap stres lingkungan dengan meningkatkan efisiensi fotosintesis dan penyerapan nutrisi (Soyano *et al.*, 2024). Dengan demikian, strategi pemupukan hayati melalui kombinasi mikroba dan hormon tumbuh ini menjadi solusi yang ramah lingkungan dan efisien untuk meningkatkan produktivitas edamame di berbagai kondisi lahan.

4. Kesimpulan

Interaksi antara dosis *rhizobium* 15 g/lubang tanam dan konsentrasi sitokinin 30 ppm memberikan hasil terbaik terhadap parameter tinggi tanaman (76,53 cm), jumlah daun (35,33 helai), jumlah cabang (11,00 cabang), jumlah bintil akar (162,67 unit), persentase bintil akar

efektif (100%), panjang akar (42,60 cm), jumlah bunga (23,33 bunga), potensi hasil (13 ton/ha). Dosis *rhizobium* 15 g/lubang tanam secara tunggal memberikan hasil terbaik terhadap parameter jumlah polong isi (49,75 polong), jumlah polong hampa (1,58 polong) dan protein terlarut (30,90 mg/g). Perlakuan konsentrasi sitokinin 30 ppm secara tunggal menunjukkan hasil terbaik terhadap parameter jumlah polong isi (47,75 polong), dan total klorofil (36,40 mg/ml).

Singkatan yang Digunakan

DMRT	<i>Duncan Multiple Range Test</i>
HST	Hari Setelah Tanam
NPK	Nitrogen, Phospor, Kalium
PPM	Parts per Million
PT GMIT	PT. Gading Mas Indonesia Teguh

Pernyataan Ketersediaan Data

Data akan tersedia berdasarkan permintaan

Kontribusi Para Penulis

Mariatul Kiptiyah: Pelaksana, konseptualisasi, kurasi data, analisis formal, penulisan draft awal-penyuntingan. **Sigit Soeparjono:** perolehan dana, investigasi, metodologi, sumber daya, pengawasan. **Halimatus Sa'diyah:** validasi, visualisasi, pengawasan, kurasi data.

Pernyataan Konflik Kepentingan

Penulis pada naskah ini menyatakan tidak ada kepentingan yang bersaring atau konflik kepentingan.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini memperoleh dukungan pendanaan dari Hibah Pasca Sarjana Universitas Jember melalui DIPA PNBPN 2023, berdasarkan Perjanjian Penugasan Nomor: 3644/UN25.3.2/LT/2023 tertanggal 17 Juli 2023. Kami menyampaikan apresiasi yang sebesar-besarnya kepada Ketua Tim Riset, Bapak Ir. Sigit Soeparjono, M.S., Ph.D., serta Ibu Dr. Halimatus Sa'diyah, S.Si., M.Si, atas peran aktifnya dalam memberikan arahan, supervisi, gagasan konseptual, serta dukungan yang sangat berarti selama proses penelitian berlangsung. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada Bapak Said di Mayangan atas bantuan teknis dan dukungan lapangannya yang sangat membantu selama pelaksanaan penelitian. Seluruh kontribusi tersebut menjadi faktor penting yang menunjang kelancaran dan keberhasilan kegiatan ini.

Daftar Pustaka

- Andra, A., Hadijah, S., & Anggorowati, D. (2023). Pengaruh Inokulasi *Rhizobium* dan Pupuk Fosfat terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kedelai Edamame Pada Tanah Aluvial. *Jurnal Sains Pertanian Equator*, 12(4), 943–950. <https://doi.org/10.26418/jspe.v12i4.63145>
- Anhar, A., Marliah, A., Nurahmi, E., Nurhayati, Jumini, Nura, & Hayati, E. (2021). *Rhizobium and Organic Fertilizer Improve Growth and Development of Soybean (Glycine max L.)*.

- IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 667(1), 012066. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/667/1/012066>
- Badan Karantina Pertanian. (2019). *Ekspor Edamame Indonesia Tembus 6.790 ton, Dominasi dari Jember*. Kementerian Pertanian: Direktorat Jenderal Tanaman Pangan. <https://karantina.pertanian.go.id>
- Badan Pusat Statistik. (2023). *Statistik Perdagangan Luar Negeri Ekspor Menurut Komoditas 2019–2023*. Publikasi Badan Pusat Statistik Republik Indonesia. <https://www.bps.go.id/>
- Bakalova, E. S., Bakalov, D. V., & Baskin, T. I. (2022). Ethylene Represses the Promoting Influence of Cytokinin on Cell Division and Expansion of Cotyledons in Etiolated Arabidopsis Thaliana seedlings. *PeerJ*, 10(1), 1–12. <https://doi.org/10.7717/peerj.14315>
- Benedetto, A. Di, Galmarini, C., & Tognetti, J. (2023). Analysis of Exogenous Auxin and Cytokinin Action in Overcoming Root Restriction in Green and Variegated Benjamin Fig. *Ornamental Horticulture*, 29(1), 76–86. <https://doi.org/10.1590/2447-536x.v29i1.2502>
- Bi, Y., Fan, C., Liang, W., Liao, Y., Han, D., Li, W., ..., & Li, G. (2024). Combination Effects of Sulfur Fertilizer and Rhizobium Inoculant on Photosynthesis Dynamics and Yield Components of Soybean. *Agronomy*, 14(4), 794–802. <https://doi.org/10.3390/agronomy14040794>
- Calderon, R. B., & Dangi, S. R. (2024). Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Rhizobium Improve Nutrient Uptake and Microbial Diversity Relative to Dryland Site-Specific Soil Conditions. *Microorganisms*, 12(4), 667–672. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12040667>
- Chandrakanta, Baghel, D., Gupta, S. B., & Chowdhury, T. (2024). Characterization and Evaluation of Native Rhizobium of Groundnut (Arachis hypogaea L.) and Soybean (Glycine max L.). *Journal of Experimental Agriculture International*, 46(5), 500–506. <https://doi.org/10.9734/jeai/2024/v46i52403>
- Cheng, Z. N., Mahmud, S. H. S. R., & Tan, S. H. (2021). Effects of Cytokinin in Enhancing the Multiplication of Vegetative Hylocereus polyrhizus. *Materials Science Forum*, 1025, 97–103. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1025.97>
- Costa, M. G., Ferreira, E. V. de O., Souza, A. A. de, Leite, A. L. A., Silva, A. G. X. da, Cunha, A. S. da, ..., & Lima, M. J. A. de. (2023). Interaction of Liming, Mineral Nitrogen Fertilization, and Rhizobium Inoculation in Biomass Partitioning and Production of Cowpea. *Journal of Plant Nutrition*, 46(16), 3794–3809. <https://doi.org/10.1080/01904167.2023.2211618>
- Direktorat Jenderal Tanaman Pangan. (2024). *Ekspor Perdana Edamame Indonesia ke Jepang Tahun 2024 Sebanyak 4 Kontainer*. Kementerian Pertanian Republik Indonesia. <https://ditjen-tanamanpangan.pertanian.go.id/>
- Du, Y., Zhang, Z., Gu, Y., Li, W., Wang, W., Yuan, X., ..., & Zhao, Q. (2023). Genome-wide Identification of The Soybean Cytokinin Oxidase/Dehydrogenase Gene Family and Its Diverse Roles in Response to Multiple Abiotic Stress. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1–10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1163219>
- Duan, C., Mei, Y., Wang, Q., Wang, Y., Li, Q., Hong, M., ..., & Fang, L. (2021). *Rhizobium Inoculation Enhanced the Resistance of Alfalfa and Soil Enzymatic Activity in Cu-polluted Soils* (pp. 1–10). <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-721941/v1>
- Erikson. (2021). *Mitratani Dua Tujuh, Produsen Edamame Terbesar di Indonesia*. PTPN X. <https://ptpn10.co.id/blog/mitratani-dua-tujuh%02produsen-edamame-terbesar-di-indonesi>
- Fahde, S., Boughribil, S., Sijilmassi, B., & Amri, A. (2023). Rhizobia: A Promising Source of Plant Growth-Promoting Molecules and Their Non-Legume Interactions: Examining Applications and Mechanisms. *Agriculture*, 13(7), 1279–1284. <https://doi.org/10.3390/agriculture13071279>
- Félix, J. D. F., Velázquez, E., Molina, E. M., González-Andrés, F., Squartini, A., & Rivas, R. (2021). Connecting the Lab and the Field: Genome Analysis of Phyllobacterium and

- Rhizobium Strains and Field Performance on Two Vegetable Crops. *Agronomy*, 11(6), 1124–1130. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061124>
- Fields, B., Moeskjær, S., Deakin, W. J., Moffat, E. K., Roulund, N., Andersen, S. U., ..., & Friman, V. (2023). Rhizobium Nodule Diversity and Composition are Influenced by Clover Host Selection and Local Growth Conditions. *Molecular Ecology*, 32(15), 4259–4277. <https://doi.org/10.1111/mec.17028>
- Gani, L. F., & Fauzi, A. R. (2023). Karakter Pertumbuhan dan Produksi Kedelai Edamame (*Glycine max* (L.) Merrill) pada Perlakuan Jarak Tanam dan Konsentrasi Paclobutrazol. *Jurnal Agroekoteknologi Dan Agribisnis*, 7(1), 43–61. <https://doi.org/10.51852/jaa.v7i1.583>
- Gathiye, G. S., & Verma, V. (2020). Effect of Fungicide and Different Rhizobium Inoculants on Growth and Yield of Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). *International Journal of Chemical Studies*, 8(2), 2708–2713. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i2ao.9159>
- Hasanah, Y., Hanum, H., Harahap, N. A., & Harahap, A. S. (2023). The Role of Molybdenum in Relation to Rhizobium sp. in Increasing Biological Nitrogen Fixation and Soybean Growth. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1241(1), 012033. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1241/1/012033>
- Hussain, S. B., Manzoor, A., Shoaib, M., Zubair, M., & Gilani, M. M. (2023). Genome-Wide Identification and Characterization of Cytokinin Metabolic Gene Families in Chickpea (*Cicer arietinum*). *Asian Plant Research Journal*, 11(6), 98–118. <https://doi.org/10.9734/aprj/2023/v11i6235>
- Iswiyanto, A., Radian, R., & Abdurrahman, T. (2022). Pengaruh Nitrogen dan Fosfor terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kedelai Edamame Tanah Gambut. *Jurnal Sains Pertanian Equator*, 12(1), 95–104. <https://doi.org/10.26418/jspe.v12i1.60354>
- Katiyar, D., Kumar, S., & Singh, N. (2020). Effect of Rhizobium and PSB Inoculation on Growth, Yield Attributes and Yield of Chickpea (*Cicer arietinum* L.). *International Journal of Chemical Studies*, 8(4), 3729–3734. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i4au.10226>
- Khandal, H., Gupta, S. K., Dwivedi, V., Mandal, D., Sharma, N. K., Vishwakarma, N. K., ..., & Chattopadhyay, D. (2020). Root-Specific Expression of Chickpea Cytokinin Oxidase/Dehydrogenase 6 Leads to Enhanced Root Growth, Drought Tolerance and Yield Without Compromising Nodulation. *Plant Biotechnology Journal*, 18(11), 2225–2240. <https://doi.org/10.1111/pbi.13378>
- Kinoshita, A., & Tsukaya, H. (2022). Auxin and Cytokinin Control Fate Determination of Cotyledons in the One-Leaf Plant *Monophyllaea glabra*. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1–10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.980138>
- Krutyakov, Y. A., Mukhina, M. T., Shapoval, O. A., & Zargar, M. (2022). Effect of Foliar Treatment with Aqueous Dispersions of Silver Nanoparticles on Legume-Rhizobium Symbiosis and Yield of Soybean (*Glycine max* L. Merr.). *Agronomy*, 12(6), 1473–1480. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061473>
- Kurniawardani, R. W., Kristanto, B. A., & Karno. (2023). Aplikasi Sitokinin dan Nanosilika terhadap Hasil Kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) Varietas Grobogan yang Mengalami Genangan Saat Fase Awal Pembungaan. *Jurnal Agrohita: Jurnal Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Tapanuli Selatan*, 8(1), 200–203. <http://dx.doi.org/10.31604/jap.v8i1.9065>
- Luthfiatunsa, K., Nugroho, A., & Azizah, N. (2019). Pengaruh Kombinasi Macam Pupuk pada Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Edamame (*Glycine max* L. Merr.). *Jurnal Produksi Tanaman*, 7(7), 1362–1369. <https://protan.studentjournal.ub.ac.id/index.php/protan/article/download/1186/1203>
- Maan, P. K., Garcha, S., Sharma, S., & Walia, G. S. (2020). Nodule Occupancy Behaviour of Bacteriocinogenic Rhizobium spp. in Mungbean (*Vigna radiata*). *Legume Research-An International Journal*, 4192, 1–10. <https://doi.org/10.18805/LR-4192>

- Mala, K. L. N., Skalak, J., Zemlyanskaya, E., Dolgikh, V., Jedlickova, V., Robert-Boisivon, H. S., ..., & Hejatko, J. (2023). *Primary Multistep Phosphorelay Activation Comprises Both Cytokinin and Abiotic Stress Responses in Brassicaceae* (pp. 1–9). <https://doi.org/10.1101/2023.11.14.567013>
- Melnikava, A., Perreau, F., Paniagua, C., Cheng, S.-C., Huang, L.-M., Ubogoeva, E., ..., & Hejatko, J. (2024). *Cytokinin-Inducible DIRIGENT13 Involved in Lignan Synthesis and ROS Accumulation Promotes Root Growth and Abiotic Stress Tolerance in Arabidopsis* (pp. 1–11). <https://doi.org/10.1101/2024.06.25.600713>
- Nisler, J., Kopečný, D., Pěkná, Z., Končítiková, R., Koprna, R., Murvanidze, N., ..., & Strnad, M. (2021). Diphenylurea-Derived Cytokinin Oxidase/Dehydrogenase Inhibitors for Biotechnology and Agriculture. *Journal of Experimental Botany*, 72(2), 355–370. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa437>
- Palupi, T., Ramadania, R., & Purmono, B. B. (2023). Peningkatan Pertumbuhan dan Hasil Kedelai Edamame di Tanah Aluvial pada Beberapa Kombinasi Pupuk Organik Plus Rizobakteri dan NPK. *Jurnal Agrotek Tropika*, 9(1), 115–123. <https://doi.org/10.23960/jat.v12i1.7685>
- Pratama, R. A. (2020). Aplikasi Benzyl Amino Purine (BAP) dan Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) terhadap Produksi Edamame (*Glycine max* (L.) Merrill). *Agro Wiralodra*, 2(1), 23–28. <https://doi.org/10.31943/agrowiralodra.v2i1.28>
- Radar Jember. (2023). Bupati Jember Hendy Siswanto Akan Tingkatkan Produksi Edamame, Peluang Ekspor Bisa 75 Ribu Ton. Radar Jember. <https://radarjember.jawapos.com/pemerintahan/792900712/bupati-jember-hendy-siswanto-akan-tingkatkan-produksi-edamame-peluang-ekspor-bisa-75-ribu-ton>
- Rafique, M., Naveed, M., Mustafa, A., Akhtar, S., Munawar, M., Kaukab, S., ..., & Salem, M. Z. M. (2021). The Combined Effects of Gibberellic Acid and Rhizobium on Growth, Yield and Nutritional Status in Chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Agronomy*, 11(1), 105–111. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010105>
- Rahangdale, N., Kumawat, N., Jadav, M. L., Bhagat, D. V., Singh, M., & Yadav, R. K. (2022). Symbiotic Efficiency, Productivity and Profitability of Soybean as Influenced by Liquid Bio-inoculants and Straw Mulch. *International Journal of Bio-Resource and Stress Management*, 13(1), 9–16. <https://doi.org/10.23910/1.2022.2345>
- Rahmah, A. U., Karno, & Anwar, S. (2023). Respon Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Edamame (*Glycine max* L. Merr) pada Berbagai Konsentrasi Pemberian GA3 dan BAP. *Jrnal Agrohita*, 8(1), 106–114. <http://dx.doi.org/10.31604/jap.v8i1.8145>
- Ramadhani, C., Fuskhah, E., & Purbajanti, E. D. (2020). Growth and Yield of Mung Bean (*Vigna radiata* L.) as Affected by Rhizobium sp. Bacteria Inoculant and Frequence of Watering. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 518(1), 012003. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/518/1/012003>
- Rudaya, K. E. S., Ivanova, A. N., Kozyulina, P. Y., & Dolgikh, E. A. (2023). Exogenously Applied Cytokinin Altered the Bacterial Release and Subsequent Stages of Nodule Development in Pea Ipd3/Cyclops Mutant. *Plants*, 12(3), 657–664. <https://doi.org/10.3390/plants12030657>
- Sari, A. W. A., Sabaruddin, & Marsi. (2018). *Respon Kedelai (Glycine max L.) terhadap Inokulasi Bakteri Rhizobium sp. dan Modifikasi Muka Air Gambut* [Thesis]. <https://repository.unsri.ac.id/7707/>
- Simatupang, N., Nazirah, L., Nurdin, M. Y., Jamidi, & Nazaruddin, M. (2023). Laju Assimilasi Bersih dan Laju Tumbuh Relatif Beberapa Varietas Kedelai (*Glycine Max* (L.) Merr) Akibat Aplikasi Bakteri Rhizobium. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Agroekoteknologi*, 2(4), 90–93. <https://doi.org/10.29103/jimatek.v2i4.18315>
- Sosnowski, J., Truba, M., & Vasileva, V. (2023). The Impact of Auxin and Cytokinin on the Growth and Development of Selected Crops. *Agriculture*, 13(3), 724–730. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030724>
- Soverda, N., Evita, & Megawati, M. (2021). Pengaruh Clibadium Surinamense dan Rhizobium

- terhadap Pertumbuhan dan Produksi Kedelai Edamame. *Jurnal Ilmiah Ilmu Terapan Universitas Jambi*, 5(2), 180–192. <https://doi.org/10.22437/jiituj.v5i2.15953>
- Soyano, T., Akamatsu, A., Takeda, N., Watahiki, M. K., Goh, T., Okuma, N., ..., & Kawaguchi, M. (2024). Periodic Cytokinin Responses in Lotus Japonicus Rhizobium Infection and Nodule Development. *Science*, 385(6706), 288–294. <https://doi.org/10.1126/science.adk5589>
- Wangiyana, W., Arianti, D. F., & Ngawit, I. K. (2023). Improvement of Growth and Yield of Several Varieties of Soybean Following Paddy Rice Using Rhizobium Biofertilizer with Reduced NPK Doses. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1253(1), 012054. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1253/1/012054>
- Werner, S., Bartrina, I., Novák, O., Strnad, M., Werner, T., & Schmülling, T. (2021). The Cytokinin Status of the Epidermis Regulates Aspects of Vegetative and Reproductive Development in Arabidopsis Thaliana. *Frontiers in Plant Science*, 12(1), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.613488>
- Widhasari, E., Hariyono, K., & Soeparjono, S. (2023). Optimalisasi Pertumbuhan, Hasil dan Kualitas Kedelai Edamame: Efek Dosis Pupuk Npk dan Jarak Tanam. *Jurnal Agroqua: Media Informasi Agronomi Dan Budidaya Perairan*, 21(1), 78–88. <https://doi.org/10.32663/ja.v21i1.3503>