

Upaya Peningkatan Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Edamame melalui Pemberian PGPR Akar Edamame dan Asam Amino Ikan Lemuru

Efforts to Increase Edamame Plant Growth and Production by Providing Edamame Root PGPR and Lemuru Fish Amino Acids

Widiya Ulfa¹, Rudi Wardana², Ilham Muhklisin³, Anni Nuraisyah⁴, Jumiatusun*⁵

¹²³⁵Teknologi Produksi Tanaman Pangan, Produksi Pertanian, Politeknik Negeri Jember, Jember, Indonesia.

⁴Budidaya Tanaman Perkebunan, Produksi Pertanian, Politeknik Negeri Jember, Jember, Indonesia

*Corresponden Author: jumiatusun@polije.ac.id

Received: 15 Oktober 2025

Accepted: 20 November 2025

Available online: 25 Desember 2025

ABSTRACT

Edamame is a legume with high economic value and requires large amounts of NPK nutrients to support its growth and production. This study aimed to analyze the effect of Plant Growth-Promoting Rhizosphere Bacteria (PGPR) and NPK nutrient uptake on the growth and yield of edamame (*Glycine max* (L.) Merril). The experiment used a Factorial Randomized Block Design with two factors: edamame root PGPR (0 ml/l and 150 ml/l) and lemuru fish amino acids (0, 5, 10, 15, and 20 ml/l). Data were analyzed using ANOVA, followed by DMRT test at a significance level of 5% or 1% if there was a significant difference. The results showed that PGPR and amino acids did not significantly affect plant height, number of leaves, root length, shoot-root ratio, total pod weight, number of pods, or nutrient availability. However, amino acids and PGPR significantly increased the number of pods and reduced the percentage of empty pods. This shows that although PGPR and amino acids do not affect vegetative growth, they increase pod filling efficiency, thus contributing to increased edamame yield.

Keywords: Amino acid, Biofertilizer, Edamame, Nutrient availability, PGPR

I. PENDAHULUAN

Edamame (*Glycine max* L. Merril.) adalah tanaman legum dengan kualitas premium yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Edamame banyak dikonsumsi karena kandungan nutrisinya seperti protein nabati, asam amino esensial, serat, vitamin, dan mineral (Zhang *et al.*, 2019). Peminat edamame terus mengalami peningkatan di pasar domestik maupun internasional, sehingga komoditas ini memiliki prospek yang cerah dalam sektor pertanian Indonesia (Badan Pusat Statistik, 2021). Berdasarkan data Kementan tahun 2019, Indonesia mampu mengekspor edamame hingga 6.790,7 ton, dan 66,6% atau sekitar 4.525,82 ton di antaranya berasal dari Jember. Hal ini menunjukkan bahwa produksi edamame memiliki potensi besar untuk terus dikembangkan. Namun, ada beberapa hambatan dalam peningkatan produksi, terutama kualitas kesuburan tanah yang rendah, pH tanah yang kurang ideal, serta gangguan dari serangan hama dan penyakit. Berbagai kendala tersebut dapat mempengaruhi pertumbuhan dan hasil produktivitas edamame, sehingga

diperlukan upaya perbaikan kesuburan tanah, saluran irigasi, pengelolaan lahan dan pencegahan serta penanganan hama dan penyakit untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas produksi edamame secara berkelanjutan.

NPK merupakan unsur hara esensial yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang banyak guna menunjang pertumbuhan dan produksi. Nitrogen menjadi unsur yang mudah diserap, tapi ketersediaannya rendah karena mudah menguap, tercuci, atau terbawa air (Apriani *et al.*, 2024). Pada tanaman edamame, nitrogen lebih efisien karena mampu bersimbiosis dengan bakteri rhizobium penambat N. Unsur P juga berperan penting dalam pembentukan polong dan perkembangan biji (Vebiola *et al.*, 2022). Struktur tanah yang padat serta rendahnya bahan organik dan pori aerasi menyebabkan akar sulit berkembang sehingga penyerapan N dan P menjadi kurang optimal (Rochman *et al.*, 2021). Unsur K, yang salah satunya berasal dari pupuk KCl juga dibutuhkan saat fase generatif untuk meningkatkan jumlah cabang, polong

bernas, dan rasa manis pada edamame (Riyantini et al., 2016). Aplikasi pupuk NPK 225 kg/ha terbukti meningkatkan pertumbuhan dibandingkan tanpa aplikasi pupuk NPK, sedangkan pupuk organik cenderung lebih lambat diserap oleh tanaman (Natawijaya et al., 2023).

PGPR merupakan inovasi pupuk organik yang mengandung bakteri penambat N, pelarut P dan K, serta penghasil fitohormon (Noor & Nurhadi, 2022). PGPR terbukti meningkatkan pertumbuhan akar, efisiensi nitrogen, dan hasil tanaman (Supriyadi et al., 2020), serta memberikan pengaruh positif pada pertumbuhan dan produksi pada berbagai dosis (Adi Pratama, 2019; Wanantari et al., 2022).

Asam amino adalah salah satu pupuk organik cair berbahan dasar ikan lemuru yang kaya protein dan mengandung unsur hara NPK lengkap sehingga dapat memperbaiki kesuburan tanah yang menurun (Habsy, 2024). Pengaplikasian PGPR dan asam amino diharapkan mampu meningkatkan produksi edamame secara berkelanjutan tanpa ketergantungan berlebihan pada pupuk kimia. Asam amino berfungsi memperbaiki sistem kekebalan tanaman, meningkatkan mutu hasil, serta menambah kehijauan daun (Jumiatun et al., 2025). Selain itu, asam amino menjadi sumber mineral penting bagi tanah (Dani Kusuma, 2025) dan membantu percepatan pertumbuhan, pembentukan bunga dan buah, serta meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stress akibat transplantasi dan cuaca ekstrim (Soniya et al., 2024).

II. Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di lahan Politeknik Negeri Jember pada bulan April sampai Agustus 2024. Bahan yang digunakan meliputi benih edamame varietas Ryoko 305, PGPR akar edamame yang diformulasikan dari molase, EM4, akar edamame, terasi, bekatul, nanas, dan kentang, serta asam amino berbahan dasar ikan lemuru dan fertilizer. Peralatan yang digunakan mencakup timbangan, cangkul, sprayer, meteran, timba, kompor, saringan dan pisau.

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok Faktorial (RAKF) dengan dua faktor, yaitu PGPR akar edamame dua taraf (0 ml/L sebagai kontrol dan 150 ml/L) serta asam amino ikan lemuru lima taraf (0, 5, 10, 15, dan 20 ml/L). Masing-masing perlakuan diulang sebanyak tiga kali sehingga diperoleh 30 unit percobaan. Aplikasi asam amino dilakukan pada umur 14, 21, 28, dan 49 HST, sedangkan PGPR diaplikasikan pada umur 14 dan 28 HST. Data dianalisis menggunakan Analisis Ragam (ANOVA). Apabila hasil menunjukkan pengaruh yang nyata, maka dilakukan uji lanjut DMRT 5%, dan bila berbeda sangat nyata, dilanjutkan dengan DMRT 1%. Tahapan penelitian meliputi pembuatan PGPR dan asam amino, persiapan lahan, penanaman, aplikasi perlakuan, pemeliharaan, pengamatan, pemanenan hingga analisis data. Variabel yang diamati meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, panjang akar, jumlah bintil akar, rasio tajuk akar, berat polong total, jumlah polong, persentase polong

hampa serta ketersediaan hara NPK dan C-organik dalam tanah.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengamatan di lapang dan dilakukan analisis diperoleh hasil sebagai berikut.

TABEL 1

Rekapitulasi Hasil Analisis Ragam Variabel Pengamatan

No	Variabel Pengamatan	Notasi		
		Asam Amino (A)	PGPR (P)	Interaksi (A x P)
1	Tinggi Tanaman	ns	ns	ns
2	Jumlah Daun	ns	ns	ns
3	Panjang Akar	ns	ns	ns
4	Jumlah Bintil Akar	ns	ns	ns
5	Rasio Tajuk Akar	ns	ns	ns
6	Jumlah Polong	*	ns	ns
7	Berat Polong Total	ns	ns	ns
8	Persentase polong hampa	*	*	ns

Keterangan: Notasi (ns) menunjukkan hasil berbeda tidak nyata, (*) menunjukkan beda nyata

Tabel 1 menunjukkan pola respon yang sangat spesifik antara fase vegetatif dan generatif tanaman edamame terhadap perlakuan asam amino dan PGPR. Secara statistik, hampir seluruh variabel vegetatif dan akar (tinggi tanaman, jumlah daun, panjang akar, jumlah bintil akar, serta rasio tajuk akar) tidak berbeda nyata, baik terhadap faktor asam amino, PGPR, maupun interaksi keduanya. Sebaliknya, jumlah polong dan persentase polong hampa, justru menunjukkan respon yang nyata. Jumlah polong dipengaruhi oleh asam amino, sedangkan persentase polong hampa dipengaruhi oleh asam amino dan PGPR. Tidak adanya interaksi A x P pada seluruh variabel menandakan bahwa pengaruh asam amino dan PGPR bersifat independen.

Respon yang berbeda tidak nyata pada variabel tinggi tanaman dan jumlah daun pada semua perlakuan mengindikasikan bahwa pertumbuhan vegetatif edamame lebih didominasi oleh faktor genetik varietas dan kondisi lingkungan dasar, dibandingkan oleh input biostimulan (Zhang *et al.*, 2019). Varietas Ryoko 305 secara genetik memiliki pola pertumbuhan yang relatif stabil sehingga tambahan asam amino dan PGPR tidak cukup untuk menggeser laju pertumbuhan tinggi tanaman maupun pembentukan daun. Hal ini lazim terjadi pada legum yang sudah dibekali kemampuan fiksasi nitrogen melalui simbiosis dengan rhizobium; selama suplai hara dasar dan air masih dalam kisaran memadai, perubahan moderat pada lingkungan rizosfer tidak selalu tercermin dalam perbedaan nyata pada parameter vegetatif.

Hal yang sama terlihat pada panjang akar, jumlah bintil akar, dan rasio tajuk akar. PGPR dan asam amino secara teoritis dapat merangsang pembentukan akar lateral, memperbanyak bintil, dan menyeimbangkan alokasi biomassa antara tajuk dan akar. Namun, tidak adanya perbedaan nyata pada variabel ini menunjukkan bahwa sistem perakaran edamame pada lahan penelitian telah bekerja cukup efisien dalam kondisi awal tanah yang ada, sehingga respon tambahan terhadap biostimulan menjadi kecil.

Bintil akar adalah salah satu jaringan abnormal yang terletak dibagian akar tanaman yang terbentuk akibat terjadinya interaksi antara akar tanaman dan bakteri *Rhizobium* yang berfungsi sebagai pendukung penambat N bebas. Pembentukan bintil akar dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yang umumnya merupakan faktor abiotik seperti pH tanah, jenis *Rhizobium*, suhu dan kondisi tanah (Anugrahtama et al., 2020).

PGPR yang menghasilkan auksin dapat merangsang perkembangan akar yang lebih baik, sehingga tanaman dapat menyerap lebih banyak air dan nutrisi untuk meningkatkan kapasitas tanaman dalam mengisi polong dan biji yang lebih banyak (Zhang et al., 2019). PGPR juga dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap faktor stres lingkungan yang dapat menyebabkan polong hampa, seperti kekeringan atau kekurangan hara dan dapat merangsang pertumbuhan akar dan tajuk (Bashan et al., 2014). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa tanaman yang diberi PGPR lebih tahan terhadap stres kekurangan air, yang seringkali menyebabkan pengisian polong tidak sempurna. Tanaman yang diberikan PGPR sering menunjukkan tingkat produksi hormon yang lebih tinggi, seperti sitokinin, yang dapat merangsang perkembangan polong dan meminimalisir terjadinya polong hampa (Egamberdieva et al., 2017).

Berat polong total yang juga tidak berbeda nyata memperkuat indikasi bahwa perlakuan tidak mengubah total biomassa generatif secara substansial. Hal ini sangat mempengaruhi hasil produksi tanaman, semakin berat bobot brangkas kering tajuk maka semakin bertambah berat biji, hal ini dikarenakan semakin banyak asimilat yang terbentuk maka akan menambah akumulasi bahan kering ke dalam biji (Puspitasari & Elfarsina, 2017). Pengamatan pada berat kering tajuk tanaman edamame memegang peranan penting saat pembentukan biji (Surtinah, 2017). Tidak adanya perbedaan yang nyata dalam berat polong total setelah pemberian PGPR menunjukkan bahwa dalam kondisi penelitian ini, PGPR tidak cukup efektif dalam mempengaruhi kemampuan tanaman untuk menghasilkan biomassa generatif. Faktor-faktor seperti kondisi tanah, genetik tanaman, serta efektivitas PGPR dalam meningkatkan produksi polong menjadi variabel penting yang mempengaruhi hasil tanaman. Dalam kondisi yang sudah mendukung pertumbuhan, PGPR tidak memberikan dampak yang nyata terhadap pembentukan polong, karena tanaman sudah mampu menghasilkan biomassa generatif yang optimal. Dengan kata lain, tanaman cenderung

mempertahankan total hasil yang sama, tetapi mengatur ulang jumlah polong berisi, ukuran biji, dan proporsi polong hampa sebagai respons terhadap perlakuan.

Pada sisi lain, jumlah polong yang dipengaruhi nyata oleh asam amino menunjukkan bahwa biostimulan ini lebih berperan pada proses inisiasi dan diferensiasi bunga atau polong, bukan pada ekspansi jaringan vegetatif. Asam amino berfungsi sebagai sumber N organik siap pakai dan prekursor sintesis protein serta fitohormon, sehingga pada fase transisi vegetatif ke generatif dapat memperbaiki pembentukan primordia bunga dan polong. Peningkatan jumlah polong tanpa diikuti peningkatan berat polong total mengindikasikan bahwa terbentuk lebih banyak organ sink, tetapi sumber asimilat (source) tidak bertambah seiring, sehingga sebagian sink tersebut tidak terisi secara optimal (Sari et al., 2019). Meskipun demikian, peningkatan ketersediaan nitrogen ini lebih berpengaruh pada proses fisiologis lainnya seperti pembentukan biji atau buah, dan mungkin tidak secara langsung meningkatkan jumlah daun dalam kondisi penelitian ini. Hal ini dapat dijelaskan dengan studi yang dilakukan oleh Supriyadi et al. (2020), yang menemukan bahwa PGPR dapat meningkatkan hasil tanaman, namun pengaruhnya terhadap parameter morfologis seperti jumlah daun yang lebih terbatas.

Persentase polong hampa yang berbeda nyata terhadap asam amino dan PGPR memberikan informasi penting tentang efisiensi pengisian biji. Asam amino diduga memperbaiki status nitrogen tanaman pada fase pengisian, sehingga mengurangi kegagalan pengisian polong. PGPR, melalui perbaikan penyerapan hara dan toleransi stres, dapat menjaga fungsi fisiologis daun dan akar selama fase reproduktif, sehingga aliran fotosintat ke polong menjadi lebih stabil dan mengurangi polong yang tidak terisi. Fakta bahwa kedua faktor mempengaruhi persentase polong hampa tetapi tidak mengubah berat polong total menunjukkan bahwa respons utama terletak pada efisiensi, bukan pada peningkatan kapasitas produksi total. Dalam istilah fisiologi hasil, perlakuan cenderung meningkatkan efisiensi sink filling daripada memperbesar kapasitas source.

Tidak ada interaksi antara asam amino dan PGPR pada seluruh variabel menunjukkan bahwa dalam penelitian ini kedua perlakuan bekerja melalui jalur yang berbeda dan tidak saling memperkuat ataupun saling menekan. Secara praktis, hal ini berarti bahwa penambahan asam amino dan PGPR dapat dipertimbangkan sebagai dua teknologi yang berdiri sendiri, dengan kontribusi utama asam amino pada pembentukan jumlah polong dan kontribusi utama PGPR pada penurunan polong hampa. Untuk menghasilkan peningkatan hasil yang lebih nyata, kombinasi keduanya kemungkinan perlu didukung oleh perbaikan manajemen hara makro (khususnya N dan K) dan penyesuaian waktu aplikasi agar bertepatan dengan fase kritis pembentukan dan pengisian polong. Dengan demikian, Tabel 1 tidak hanya menunjukkan pola signifikansi statistik, tetapi juga menggambarkan bahwa

peran biostimulan pada edamame lebih kuat pada aspek efisiensi reproduktif dibanding pada ekspansi vegetatif.

Hasil uji lanjut DMRT pada Tabel 2 menunjukkan bahwa pemberian asam amino memberikan pengaruh nyata terhadap jumlah polong yang dihasilkan. Perlakuan A4 (20 ml/l) dan A2 (10 ml/l) menghasilkan jumlah polong tertinggi, masing-masing 102.60 dan 102.40, dan berada dalam kelompok huruf yang sama, sehingga keduanya merupakan respon optimum dalam meningkatkan pembentukan polong. Sebaliknya, perlakuan A1 (5 ml/l) menghasilkan nilai terendah (79.80) dan berbeda nyata dari A4 dan A2. Pola respons ini menunjukkan bahwa efektivitas asam amino dalam merangsang pembentukan polong bersifat dose-dependent, dengan rentang dosis optimum berada pada 10–20 ml/l.

TABEL 2

Hasil Uji Lanjut Variabel Jumlah Polong pada Perlakuan Asam Amino

Perlakuan	Jumlah Polong
A4	102.60 a
A2	102.40 a
A3	91.80 ab
A0	89.50 ab
A1	79.80 b

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama menunjukkan berbeda tidak nyata berdasarkan Uji DMRT 5%.

Secara fisiologis, peningkatan jumlah polong pada perlakuan asam amino berkaitan dengan perannya sebagai sumber nitrogen organik yang tersedia cepat serta penyusun enzim, protein struktural, dan fitohormon yang berperan pada fase pembungaan dan inisiasi polong. Ketersediaan asam amino yang lebih tinggi memperkuat proses diferensiasi meristem reproduktif, memperbanyak jumlah bunga yang layak menjadi polong, dan mengurangi gugurnya primordia polong pada fase awal pembentukan. Dengan demikian, respon peningkatan jumlah polong pada A2 dan A4 menggambarkan bahwa asam amino mampu meningkatkan kapasitas sink tanaman melalui stimulasi pembentukan organ reproduktif.

Peningkatan jumlah polong tidak bersifat linear terhadap dosis, terlihat dari posisi A3 (15 ml/l) dan A0 (kontrol) dalam kelompok statistik yang sama (ab). Hal ini menegaskan bahwa pembentukan polong dipengaruhi oleh interaksi kompleks antara suplai nitrogen, ketersediaan fotosintat, dan kondisi fisiologis tanaman pada fase R1–R3. Dosis moderat (10 ml/l) dan tinggi (20 ml/l) memberikan pengaruh pada pembentukan polong, tetapi dosis 15 ml/l berada pada titik transisi di mana peningkatan nitrogen organik belum cukup meningkatkan pembentukan polong secara signifikan, atau sudah mulai mendekati batas kemampuan tanaman dalam memanfaatkan nitrogen tambahan tersebut. Kondisi ini diduga terjadi karena proses pengisian polong berlangsung sangat cepat disertai dengan

remobilisasi bahan kering serta unsur N dari bagian tajuk menuju biji, sehingga sebagian polong tidak terisi sempurna (Ian Surya et al., 2020).

Selain mekanisme berbasis nitrogen, asam amino juga berfungsi sebagai osmoregulator dan antioksidan yang mendukung stabilitas metabolisme tanaman selama fase reproduktif. Dampak ini sangat relevan pada edamame, yang memiliki periode pembungaan dan pengisian polong yang singkat. Dengan meningkatnya stabilitas fisiologis, tanaman lebih mampu mempertahankan bunga dan primordia polong sehingga meningkatkan jumlah polong total. Pada tanaman edamame, fase pengisian polong (R5) berlangsung sekitar 14–15 hari karena panen dilakukan pada fase R6, yaitu saat polong masih muda. Dengan demikian, aplikasi asam amino dan PGPR akar edamame belum sepenuhnya mampu memaksimalkan laju pengisian polong yang telah terbentuk. Hal ini sejalan dengan pendapat Yusdian (2023) yang menyatakan bahwa pertumbuhan edamame akan optimal apabila unsur hara terpenuhi.

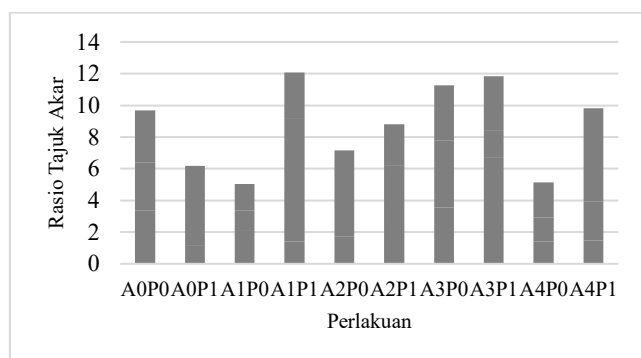
Peningkatan pada jumlah polong, bukan pada berat polong total (yang tidak berbeda nyata pada Tabel 1), menunjukkan bahwa peningkatan jumlah polong tidak selalu diikuti peningkatan akumulasi biomassa generatif. Artinya, perlakuan asam amino lebih efektif memperbesar jumlah sink tetapi tidak memperkuat supply fotosintat secara proporsional. Ketidakseimbangan ini menjelaskan mengapa penelitian juga menemukan adanya persentase polong hampa yang masih cukup tinggi di seluruh perlakuan, menandakan bahwa kapasitas pengisian polong tetap dibatasi oleh faktor lain seperti ketersediaan nitrogen anorganik dan kalium yang rendah pada tanah penelitian.

Secara keseluruhan, Tabel 2 menggambarkan bahwa asam amino memiliki kemampuan nyata untuk meningkatkan jumlah polong edamame melalui perbaikan proses fisiologis pada fase diferensiasi generatif, tetapi peningkatan tersebut masih perlu diimbangi dengan suplai hara makro dan manajemen sink–source agar potensinya dapat dimaksimalkan pada tingkat biomassa dan hasil panen akhir.

Pada Gambar 1 menunjukkan variasi rasio tajuk–akar pada umur 30 HST akibat perlakuan asam amino dan PGPR. Pola grafik memperlihatkan fluktuasi antar perlakuan yang relatif besar, namun tanpa kecenderungan yang konsisten atau terarah. Hal ini sejalan dengan hasil analisis ragam pada Tabel 1 yang menunjukkan bahwa rasio tajuk–akar tidak berbeda nyata di seluruh perlakuan. Secara fisiologis, ketidakberbedaan ini menunjukkan bahwa pengaturan alokasi biomassa antara organ atas (tajuk) dan organ bawah (akar) pada edamame lebih dipengaruhi oleh kendali internal tanaman dibandingkan oleh input eksternal berupa asam amino dan PGPR.

Rasio tajuk akar (shoot-to-root ratio) adalah perbandingan antara massa atau panjang tajuk (bagian atas tanaman) dengan akar. Rasio ini memberikan gambaran tentang bagaimana tanaman mengalokasikan source yang tersedia untuk pertumbuhan tajuk (batang dan daun)

dibandingkan dengan pertumbuhan akar. Rasio tajuk akar yang optimal dapat mendukung keberhasilan tanaman dalam memperoleh air dan unsur hara serta memastikan fotosintesis yang efisien. Berat tajuk dan berat akar adalah dua parameter yang sering digunakan untuk mengukur biomassa tanaman dan memberikan indikasi tentang keberhasilan pertumbuhannya. Biomassa tanaman, yang mencakup berat bagian atas (tajuk) dan akar adalah indikator penting dari efisiensi tanaman dalam mengalokasikan energi dan sumber untuk pertumbuhan vegetatif dan reproduktif. PGPR (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria) umumnya diaplikasikan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan nutrisi dan memperbaiki pertumbuhan tanaman, dengan harapan dapat meningkatkan berat tajuk dan akar tanaman.



Gambar 1. Rerata Rasio Tajuk Akar pada Umur 30 HST

Pada umur 30 HST, edamame berada pada fase akhir vegetatif menuju awal reproduktif. Pada fase ini, tanaman cenderung mempertahankan keseimbangan alokasi biomassa yang stabil untuk memastikan transisi pertumbuhan berjalan optimal. Rasio tajuk–akar dipengaruhi oleh ketersediaan nitrogen, fosfor, dan air. Namun kondisi tanah penelitian menunjukkan kandungan nitrogen rendah dan pH masam, keduanya merupakan faktor pembatas pertumbuhan akar dan efektivitas mikroba rizosfer. Hal ini menunjukkan bahwa sistem akar edamame mungkin sudah berfungsi secara optimal dalam penelitian ini, sehingga tambahan PGPR memberikan hasil yang tidak nyata. Tanaman yang memiliki akar panjang mempunyai kemampuan yang lebih baik dalam mengabsorpsi air dibandingkan dengan tanaman yang memiliki akar pendek (Hasanah *et al.*, 2020).

Gambar 1 menunjukkan bahwa beberapa perlakuan seperti A1P1 dan A3P1 menunjukkan rasio tajuk–akar yang lebih tinggi dibandingkan perlakuan lain. Meskipun perbedaan ini tidak signifikan secara statistik, pola tersebut memberi indikasi bahwa kombinasi asam amino dan PGPR pada dosis tertentu diduga meningkatkan pertumbuhan tajuk lebih besar daripada pertumbuhan akar. Sebaliknya, perlakuan A1P0 dan A4P0 menunjukkan rasio tajuk–akar yang lebih rendah. Kecenderungan ini mengarah pada peningkatan proporsi biomassa akar, meskipun tidak signifikan. PGPR secara teoritis dapat meningkatkan

pertumbuhan akar melalui sintesis auksin, namun data ini menunjukkan bahwa efek tersebut tidak muncul pada umur 30 HST, kemungkinan karena kondisi pH tanah masam membatasi aktivitas mikroba dan ketersediaan hara.

Secara keseluruhan, Gambar 1 mempertegas bahwa pada umur 30 HST, strategi alokasi biomassa edamame lebih dikendalikan oleh faktor endogen dan kondisi lingkungan awal dibanding pengaruh perlakuan asam amino dan PGPR. Tidak adanya tren peningkatan atau penurunan rasio tajuk–akar pada kombinasi perlakuan mengindikasikan bahwa biostimulan tersebut belum mampu menggeser keseimbangan pertumbuhan, terutama pada kondisi tanah dengan keterbatasan nitrogen dan pH yang kurang ideal. Dengan demikian, Gambar 1 mendukung simpulan bahwa respon tanaman terhadap biostimulan lebih kuat muncul pada fase reproduktif (jumlah polong dan polong hampa) dibanding pada fase vegetatif atau struktur alokasi biomassa awal.

Hasil uji lanjut pada Tabel 3 menunjukkan bahwa perlakuan asam amino dan PGPR memberikan pengaruh nyata terhadap persentase polong hampa, sehingga keduanya berperan penting dalam menentukan efisiensi pengisian polong pada edamame. Perlakuan asam amino memperlihatkan pola respon yang tidak linear. Dosis terendah (A1: 5 ml/l) menghasilkan persentase polong hampa terendah yaitu 44.60%, sedangkan dosis tinggi seperti A4 (20 ml/l) dan A2 (10 ml/l) justru menunjukkan nilai polong hampa tertinggi, masing-masing 60.28% dan 58.30%. Pola ini mengindikasikan bahwa asam amino pada dosis rendah mampu memperbaiki proses pengisian biji melalui peningkatan ketersediaan nitrogen organik dan stabilisasi metabolisme tanaman, namun pada dosis yang lebih tinggi terjadi ketidakseimbangan antara jumlah polong yang terbentuk dan suplai fotosintat yang tersedia. Dengan kata lain, dosis tinggi asam amino memang mendorong pembentukan polong (sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2), tetapi peningkatan jumlah polong tersebut tidak diikuti oleh peningkatan kapasitas fotosintesis atau aliran asimilat, sehingga kompetisi antar sink meningkat dan menghasilkan proporsi polong hampa yang lebih tinggi.

TABEL 3

Hasil Uji Lanjut Variabel Persentase Polong Hampa		
Perlakuan	Taraf	Persentase Polong Hampa (%)
Asam Amino	A4	60.28 a
	A2	58.30 a
	A0	52.85 ab
	A3	51.50 ab
	A1	44.60 b
PGPR	P0	57.31 a
	P1	49.70 b

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama menunjukkan berbeda tidak nyata berdasarkan Uji DMRT 5%.

PGPR memberikan respon yang lebih konsisten, di mana perlakuan P1 menurunkan persentase polong hampa dari 57.31% (P0) menjadi 49.70%. Penurunan ini menunjukkan bahwa PGPR berperan dalam meningkatkan efisiensi fisiologis tanaman selama fase pengisian biji. Mekanisme ini dapat dijelaskan melalui peningkatan penyerapan unsur hara, terutama nitrogen dan fosfor, serta produksi fitohormon seperti auksin dan sitokinin yang memperbaiki transport fotosintat ke organ reproduktif. Efek PGPR pada variabel ini sejalan dengan konsep bahwa mikroba rizosfer lebih efektif mendukung proses-proses fisiologis yang bersifat sink-dependent seperti pengisian biji, dibandingkan proses pembentukan polong itu sendiri. Meskipun PGPR tidak meningkatkan berat polong total, kemampuannya menurunkan polong hampa menunjukkan bahwa mikroba tersebut meningkatkan efisiensi internal sink filling, terutama pada kondisi tanah penelitian yang memiliki nitrogen rendah dan pH masam.

Tidak adanya interaksi antara asam amino dan PGPR menegaskan bahwa kedua perlakuan bekerja melalui mekanisme yang berbeda tetapi saling melengkapi. Asam amino lebih berperan meningkatkan pembentukan polong, sementara PGPR memperkuat keberhasilan pengisian biji. Dengan demikian, Tabel 3 memberikan pemahaman bahwa keberhasilan produksi edamame tidak hanya ditentukan oleh jumlah polong yang terbentuk, tetapi terutama oleh kemampuan tanaman mengalokasikan fotosintat secara efektif selama fase kritis pengisian biji.

Pada Tabel 4 menunjukkan bahwa tanah pada lokasi penelitian memiliki karakteristik kesuburan yang relatif terbatas untuk mendukung pertumbuhan optimal tanaman edamame. Kandungan nitrogen total yang hanya sebesar 0.161% berada pada kategori rendah, yang mengindikasikan bahwa pasokan nitrogen mineral di dalam tanah tidak mencukupi untuk memenuhi kebutuhan tanaman legum pada fase awal pertumbuhan. Nitrogen merupakan unsur esensial dalam pembentukan klorofil, sintesis protein, dan perkembangan organ vegetatif, sehingga kondisi ini dapat menjadi faktor pembatas yang signifikan. Rendahnya nitrogen tanah juga menjelaskan mengapa perlakuan PGPR pada penelitian ini tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap pertumbuhan vegetatif (Tabel 1), karena aktivitas fiksasi nitrogen oleh mikroba maupun pemanfaatan nitrogen oleh tanaman sangat dipengaruhi oleh ketersediaan N awal dan kondisi lingkungan yang mendukung interaksi rizosfer.

TABEL 4

Kesuburan tanah sebelum penelitian

No	Unsur yang diujikan	Hasil analisis	Kategori
1.	N-Total (%)	0,161	Rendah
2.	C-Organik (%)	1,315	Sedang
3.	pH	5,6	Masam

Hasil diatas merupakan hasil analisis yang dilakukan dilaboratorium biosains Polije

Nilai C-organik sebesar 1.315% termasuk kategori sedang, namun berada pada batas bawah yang mengindikasikan kualitas bahan organik tanah kurang optimal untuk mendukung aktivitas mikroba dan perbaikan struktur tanah. Kandungan C-organik mempengaruhi kemampuan tanah dalam menahan air, memperbaiki agregasi, serta menyediakan sumber energi bagi mikroorganisme tanah. Pada tingkat ini, aktivitas PGPR maupun efektivitas asam amino kemungkinan tidak dapat termaksimalkan, karena dinamika mikroba sangat bergantung pada ketersediaan bahan organik sebagai substrat metabolisme. Rendahnya respon tanaman terhadap perlakuan pada beberapa parameter vegetatif dan penyerap hara mencerminkan kondisi tanah yang belum mampu mendukung peningkatan aktivitas biologis secara signifikan.

Selain itu, pH tanah sebesar 5.6 termasuk kategori masam, yang dapat memengaruhi beberapa aspek fisiologi tanaman maupun ketersediaan unsur hara. Pada kondisi masam, kelarutan fosfor cenderung menurun akibat pengikatan oleh Al dan Fe, sehingga P tersedia menjadi terbatas meskipun secara keseluruhan P merupakan unsur penting bagi pembentukan polong dan perkembangan biji. Kondisi pH yang masam juga dapat menghambat perkembangan bintil akar pada tanaman legum dan menurunkan efisiensi kerja PGPR. Hal ini konsisten dengan hasil penelitian yang menunjukkan bahwa jumlah bintil akar, panjang akar, serta rasio tajuk-akar tidak berbeda nyata antar perlakuan, karena aktivitas mikrobial dan perkembangan akar sangat sensitif terhadap pH tanah. Dengan demikian, pH masam menjadi salah satu faktor lingkungan penting yang perlu diperhatikan dalam interpretasi hasil penelitian ini.

Secara keseluruhan, kondisi tanah sebelum penelitian, yang ditandai oleh rendahnya nitrogen, sedangkan C-organik, dan pH masam, memberikan konteks penting untuk memahami rendahnya respon tanaman terhadap perlakuan biostimulan pada parameter vegetatif. Tanaman edamame cenderung mempertahankan pertumbuhan minimal dan lebih responsif terhadap perlakuan hanya pada fase reproduktif, seperti terlihat pada pengaruh asam amino terhadap jumlah polong dan pengaruh PGPR terhadap penurunan polong hampa. Dengan demikian, Tabel 4 menegaskan bahwa kondisi awal tanah merupakan faktor pembatas utama yang memengaruhi efektivitas PGPR dan asam amino, serta menjadi dasar rekomendasi bahwa peningkatan hara makro dan perbaikan pH tanah diperlukan agar biostimulan dapat bekerja lebih optimal.

Hasil analisis tanah pada Tabel 5 menunjukkan bahwa seluruh perlakuan memiliki kandungan nitrogen total yang tetap berada pada kategori rendah, berkisar antara 0.137–0.200%. Rendahnya kandungan nitrogen pada semua plot percobaan menunjukkan bahwa aplikasi PGPR maupun asam amino belum mampu meningkatkan N-total tanah secara signifikan dalam satu musim tanam. Hal ini dapat terjadi karena nitrogen anorganik yang

ditambahkan melalui pupuk maupun nitrogen organik dari asam amino cepat dimanfaatkan oleh tanaman selama fase pertumbuhan, sehingga tidak tersisa dalam jumlah besar pada tanah akhir musim. Selain itu, kondisi tanah dengan pH masam (Tabel 4) turut menghambat fiksasi nitrogen oleh mikroba serta mengurangi efisiensi kerja PGPR, sehingga peningkatan N-total yang diharapkan dari aktivitas mikroba penambat N tidak tercapai. Fakta bahwa perlakuan P1 (PGPR) tidak menunjukkan kenaikan N-total dibanding P0 mendukung interpretasi bahwa kondisi lingkungan, bukan variabel perlakuan, menjadi penentu utama kemampuan tanah menyimpan nitrogen.

Pada Tabel 4 dan 5 analisa C-Organik sebelum tanam tergolong rendah yaitu 1,315%. Sedangkan hasil analisa setelah tanam pada kontrol A0P0 mengalami penurunan yaitu 1,311%. Pada semua perlakuan asam amino dan PGPR akar edamame C-Organik mengalami kenaikan 1,606% hingga 2,383%. Hal ini diperkuat dengan pernyataan Salsavira, 2024 bahwasannya kandungan C-organik di dalam tanah mengalami peningkatan saat ditambahkan bahan organik, karena C-organik di dalam tanah berperan penting dalam proses reproduksi mikroorganisme di dalam tanah melalui proses respirasi.

TABEL 5
Rekapitulasi Hasil Analisis Kandungan N,P,K pada Tanah Plot Penelitian

No.	Perlakuan	N (%)	Kategori	P(ppm)	Kategori	K(ppm)	Kategori	C-organik	Kategori
1	A0P0	0,160	Rendah	23,110	Rendah	739,77	Rendah	1,31	Rendah
2	A0P1	0,195	Rendah	33,180	Sedang	963,31	Rendah	1,61	Rendah
3	A1P0	0,137	Rendah	28,073	Rendah	961,79	Rendah	2,00	Sedang
4	A1P1	0,200	Rendah	44,136	Tinggi	1124,10	Rendah	1,96	Rendah
5	A2P0	0,189	Rendah	50,861	Tinggi	1020,46	Rendah	1,68	Rendah
6	A2P1	0,183	Rendah	37,321	Sedang	980,24	Rendah	1,87	Rendah
7	A3P0	0,158	Rendah	35,658	Tinggi	992,38	Rendah	2,30	Sedang
8	A3P1	0,163	Rendah	39,869	Tinggi	1231,58	Rendah	2,38	Sedang
9	A4P0	0,157	Rendah	42,353	Tinggi	1048,98	Rendah	2,19	Sedang
10	A4P1	0,150	Rendah	29,820	Rendah	1102,85	Rendah	2,04	Sedang

Hasil diatas merupakan hasil analisis yang dilakukan dilaboratorium biosains Polije

Berbeda dengan nitrogen, kandungan fosfor menunjukkan variasi yang lebih jelas antar perlakuan. Beberapa kombinasi perlakuan, seperti A1P1, A2P0, A3P0, A3P1, dan A4P0, menunjukkan kenaikan fosfor hingga kategori sedang hingga tinggi. Pola ini mengindikasikan bahwa asam amino dan PGPR, baik secara terpisah maupun bersamaan, memiliki potensi meningkatkan ketersediaan P melalui mekanisme mineralisasi bahan organik (oleh asam amino) ataupun solubilisasi fosfat (oleh PGPR). Peningkatan kandungan fosfor pada beberapa perlakuan juga konsisten dengan peran PGPR sebagai agen pelarut P, meskipun peningkatan tersebut tidak merata pada semua kombinasi perlakuan. Meskipun demikian, kenaikan P tidak serta-merta meningkatkan hasil generatif, sebagaimana terlihat dari berat polong total yang tetap tidak berbeda nyata (Tabel 1). Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan P dalam tanah belum sepenuhnya diterjemahkan menjadi peningkatan aliran assimilate ke polong, kemungkinan karena faktor pembatas lain seperti nitrogen dan kalium tetap rendah.

Kandungan kalium pada semua perlakuan berada pada kategori rendah, meskipun beberapa kombinasi menunjukkan nilai relatif lebih tinggi (misalnya A3P1 dan A4P1). Kalium merupakan unsur penting dalam pengaturan tekanan turgor, pembukaan stomata, dan transport fotosintat melalui floem. Rendahnya kandungan kalium pada seluruh perlakuan menegaskan bahwa proses pengisian biji (sink filling) tidak didukung oleh suplai K

yang memadai. Kondisi ini menjelaskan mengapa persentase polong hampa masih tinggi pada sebagian besar perlakuan (Tabel 3), karena pengisian biji sangat bergantung pada efisiensi transport karbon yang dimediasi oleh kalium. Dengan demikian, meskipun PGPR mampu menurunkan polong hampa, pencapaian maksimal tetap terhambat oleh ketersediaan K yang rendah pada tanah penelitian.

C-organik menunjukkan peningkatan yang lebih konsisten dibanding unsur lainnya. Hampir semua perlakuan dengan asam amino atau PGPR menunjukkan peningkatan C-organik ke kategori sedang, misalnya pada A1P0 (2.00%), A3P0 (2.30%), dan A3P1 (2.38%). Peningkatan ini menunjukkan bahwa penambahan asam amino dan aktivitas mikroba dalam PGPR berkontribusi pada penambahan biomassa mikroba dan residu organik dalam tanah. Peningkatan C-organik sangat penting karena merupakan indikator perbaikan kualitas tanah yang berkaitan dengan peningkatan aktivitas mikroba, kapasitas penyangga pH, retensi air, serta kemampuan tanah menyediakan unsur hara dalam jangka panjang. Meskipun peningkatan ini belum sepenuhnya meningkatkan pertumbuhan atau hasil tanaman pada musim penelitian, perbaikan kualitas tanah yang terlihat pada Tabel 5 berpotensi menghasilkan respons tanaman yang lebih baik pada musim tanam berikutnya.

Secara keseluruhan, Tabel 5 memperlihatkan bahwa asam amino dan PGPR memberikan dampak yang lebih

nyata pada peningkatan P dan C-organik dibandingkan pada N dan K. Dari perspektif agronomi, hasil ini menunjukkan bahwa efektivitas biostimulan sangat dipengaruhi oleh konteks hara tanah. Nitrogen dan kalium yang tetap rendah menjadi faktor pembatas utama yang menghambat peningkatan biomassa generatif meskipun terdapat perbaikan pada komponen kesuburan tanah lainnya. Dengan demikian, peningkatan hasil edamame tidak dapat dicapai hanya melalui aplikasi biostimulan, tetapi memerlukan keseimbangan pemupukan makro, terutama penambahan N dan K, serta manajemen pH untuk mendukung efektivitas PGPR dan asam amino secara optimal.

Satu diantara berbagai macam aspek penting keseimbangan hara total ialah kandungan C-organik dan N-Total, keduanya adalah kandungan penting yang berada di dalam tanah. Nisbah C/N berpengaruh terhadap ketersediaan unsur hara karena C/N berbanding terbalik dengan ketersediaan unsur hara. Jika C/N terlalu tinggi maka kandungan unsur hara sedikit tersedia untuk tanaman karena bahan organiknya belum terurai sempurna, sedangkan jika C/N berada pada tingkat yang lebih rendah, maka ketersediaan unsur hara akan meningkat dan tanaman dapat memenuhi kebutuhan hidupnya (Astari et al., 2016). Rendahnya kandungan C-Organik tanah menyebabkan tanah terdegradasi. Kandungan C-Organik yang rendah (<2 %) pada beberapa jenis tanaman atau dalam kondisi lingkungan tertentu, menunjukkan bahwa PGPR tidak menunjukkan pengaruh yang nyata terhadap tanaman edamame.

Menurunnya kandungan N-Total setelah dilakukan penanaman bisa terjadi akibat diserapnya unsur hara oleh tanaman untuk menunjang pertumbuhannya. Bahan organik memiliki hubungan yang erat dengan nitrogen. Apabila tingkat nitrogen berada pada angka yang tinggi, maka bahan organik yang terdapat di dalam tanah juga akan melimpah, dan sebaliknya. Rasio Karbon-Nitrogen (C/N) digunakan sebagai indikator untuk mengukur keberadaan nitrogen. Rasio C/N pada bahan organik dapat membantu dalam mengidentifikasi adanya kekurangan nitrogen serta memahami persaingan antara mikroba dan tanaman dalam memanfaatkan nitrogen yang tersedia dalam tanah. Di samping itu, tekstur tanah dan tingkat pH turut mempengaruhi kuantitas nitrogen yang ada dalam tanah (Patti et al., 2020). Akibatnya saat proses pembentukan akar edamame kurang optimal disebabkan oleh hara di dalam tanah yang tidak terikat. Pengaplikasian POC saat musim hujan diduga menyebabkan pemberian pupuk organik cair tidak efektif dikarenakan mengalami pencucian (Lutfiana et al., 2022).

IV. PENUTUP

Berdasarkan data diatas, perlakuan PGPR 150 ml/l mampu menurunkan persentase polong hampa dan asam amino 10 ml/l mampu meningkatkan jumlah polong dan menurunkan persentase polong hampa. Perlakuan keduanya tidak terdapat interaksi pada semua perlakuan.

Kandungan N dan K tanah pada seluruh perlakuan masih tergolong rendah sehingga belum optimal dalam mendukung pertumbuhan tanaman, sementara kandungan fosfor P dan C-organik menunjukkan peningkatan pada beberapa kombinasi perlakuan. Perlakuan PGPR 150 ml/l dan asam amino 15 ml/l merupakan kombinasi perlakuan dengan kandungan tanah yang meningkat untuk kandungan P dan C-organik. Kondisi tersebut menunjukkan paling efektif dalam meningkatkan kesuburan tanah dan memperbaiki ketersediaan hara serta kualitas tanah secara keseluruhan, sehingga berpotensi lebih baik dalam mendukung pertumbuhan dan produksi tanaman.

UCAPAN TERIMA KASIH.

Kami ucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu, membimbing dan mensupport kegiatan penelitian ini dan kami ucapkan terimakasih kepada Direktorat Akademik Pendidikan Tinggi Vokasi yang telah mendanai penelitian ini melalui kegiatan PKM-RE 2024.

REFERENSI

- Adi Pratama, R. (2019). Aplikasi Benzyl Amino Purine (Bap) Dan Plant Growth Promoting Rhizobacteria (Pgpr) Terhadap Produksi Edamame (*Glycine max* (L.) Merrill). *Agro Wiralodra*, 2(1), 23–28.
- Anugrahtama, P. C., Supriyanta, S., & Taryono, T. (2020). Pembentukan Bintil Akar dan Ketahanan Beberapa Aksesi Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.) Pada Kondisi Salin. *Agrotechnology Innovation (Agrinova)*, 3(1), 20.
- Apriani, N., Susilowati, L. E., Kusuma Jaya, D., & Suriadi, A. (2024). *Population of Nitrogen-Fixing Bacteria, Total Soil Nitrogen, and Nitrogen Uptake in Corn Plants Under Varying Irrigation and Organic Material Treatments*. 34(3).
- Astari, K., Sofyan, E. T. Y. A., & Setiawati, M. R. (2016). Pengaruh Kombinasi Pupuk N, P, K DAN Vermikompos terhadap Kandungan C-Organik, N total, C/N dan Hasil Kedelai (*Glycine max* L. Merrill) Kultivar Edamame pada Inceptisols Jatinangor. *Jur. Agroekotek* 8, 8(2), 95–103.
- Badan Pusat Statistik. (2021). *Statistik Indonesia 2021*. BPS - Statistics Indonesia.
- Bashan, Y., de-Bashan, L. E., Prabhu, S. R., & Hernandez, J.-P. (2014). Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: Formulations and practical perspectives (1998–2013). *Plant and Soil*, 378(1-2), 1-33.
- Dani Kusuma, M. (2025). Uji Macam Kandungan dan Total Kadar Asam Amino Berbahan Ikan Lemuru (*Sardinella longiceps*). *Jagad Tani: Jurnal Ilmu Pertanian*, 2(1), 61–82.
- Egamberdieva, D., Wirth, S., Alqarawi, A. A. A., Abd Allah, E. F., & Hashem, A. (2017). Pengaruh rhizobacteria pemacu pertumbuhan tanaman terhadap produksi hormon sitokinin dan perkembangan

- polong. *Jurnal Internasional Pertanian*
- Habsy, S. M. Al. (2024). Aplikasi Teknologi Sinergitas Mikrobial Terhadap Pertumbuhan Dan Produksi Tanaman Tebu (*Saccharum Officinarum* L.) Di Kebun Traktakan PG Prajekan PTPN XI. 2(1), 39–60.
- Ian Surya, I. K., Sudadi, & Purwanto, B. H. (2020). Pengaruh pupuk organik cair berbahan dasar limbah sawit dan asam amino terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kedelai (*Glycine max* L.) varietas Anjasromo. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 7(1), 101-108.
- Jumiatusun, Wardana R, Mukhlisin I, Nurraisyah A, A. S. (2025). *Aplikasi Asam Amino Ikan Lemuru dan PGPR Akar Edamame Terhadap Pengisian Polong*. 25(1), 1–8.
- Lutfiana, R., Wardati, W., & Husin, E. (2022). Pengaplikasian POC saat musim hujan diduga menyebabkan pemberian pupuk organik cair tidak efektif dikarenakan mengalami pencucian. *Jurnal Agrotek Tropika*, 10(1), 188–194.
- Natawijaya, Danil, Pramono, Dedi, Studi, Program, Agroteknologi, Magister, Universitas, Pascasarjana, Organik, & Pupuk. (2023). *Pengaruh Jenis Pupuk Organik Dan Pupuk Npk Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Kedelai Edamame (Glycine max L. Merrill) The Influence Of Organic and NPK Fertilizers on The Growth and Yield of Edamame Soybeans (Glycine max L. Merrill)*. 8(2), 59–71.
- Noor, S., & Nurhadi, N. (2022). Manfaat, Cara Perbanyak Dan Aplikasi Plant Growth Promoting Rhizobacteria (Pgpr) Benefits, Method of Propagation and Applications of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (Pgpr). *Jurnal Agriekstensi*, 21(1), 64–71.
- Patti, P. S., Kaya, E., & Silahooy, C. (2020). *Patti, P. S., Kaya, E., & Silahooy, C. (2020). Analisis Status Nitrogen Tanah Dalam Kaitannya Dengan Serapan N Oleh Tanaman Padi Sawah Di Desa Waimital, Kecamatan Kairatu, Kabupaten Seram Bagian Barat. Agriologia*, 2(1). . 2(1), 78–79.
- Puspitasari, A., & Elfarisna. (2017). Respon Pertumbuhan Dan Produksi Kedelai Varietas Grobogan Dengan Penambahan Pupuk Organik Cair Dan Pengurangan Dosis Pupuk Anorganik. *Jurnal UMJ, December 2016*, 204–212.
- Riyantini, I. P., Sudiarso, & Tyasmoro, S. Y. (2016). Pengaruh Pupuk Kandang Kambing Dan Pupuk Kcl Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Edamame (*Glycine max* (L.) Merr.). *Jurnal Produksi Tanaman*, 3(2), 97–103.
- Rochman, A., Maryanto, J., & Herliana, O. (2021). Serapan Nitrogen dan Fosfor serta Hasil Kedelai Edamame (*Glycine max* (L.) Merrill) pada Tanah Alfisol akibat Aplikasi Biochar dan Vermikompos. *Buletin Palawija*, 19(1), 22. <https://doi.org/10.21082/bulpa.v19n1.2021.p22-30>
- Salsavira, K. (2024). Analisa Kandungan C-Organik Tanah dan Total Populasi Mikroorganisme Tanah Sebelum dan Setelah Aplikasi Pupuk Organik Blotong Pada Lahan Tebu PTPN XI Di Kebun Mrawan dan Kebun RVO Tapen. *Jagad Tani: Jurnal Ilmu Pertanian*, 1(1), 1–11.
- Sari, P., Intara, Y. I., & Dewi Nazari, A. P. (2019). Pengaruh Jumlah Daun Dan Konsentrasi Rootone-F Terhadap Pertumbuhan Bibit Jeruk Nipis Lemon (*Citrus Limon* L.) Asal Stek Pucuk. *Ziraa'Ah Majalah Ilmiah Pertanian*, 44(3), 365.
- Soniya, I. G., Sathina, R., Awwala, S. H., Widayanti, S., & Sandrina, L. (2024). Penggunaan Pupuk Asam Amino Dari Leri Sebagai Alternatif Pengendalian Biaya Usahatani Di Desa Sukanagalih. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 4(2), 113–117.
- Supriyadi, H., Widyastuti, R., & Setiadi, Y. (2020). Pengaruh Aplikasi PGPR terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kedelai di Lahan Kering. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 48(1), 45–52.
- Surtinah. (2017). *Korelasi Pertumbuhan Organ Vegetatif Dengan Produksi Kedelai (Glycine Max, (L) Merrill)*. L, 81–85.
- Vebiola, F., Warganda, W., & Surachman, S. (2022). Respon Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Kedelai Edamame Pada Pemberian Biochar Sekam Padi Dan Pupuk P Di Tanah Gambut. *Jurnal Sains Pertanian Equator*, 11(4), 150.
- Wanantari, F., Suroso, B., & Wijaya, I. (2022). *Potensi Pemanfaatan PGPR dari Akar Bambu dan Pemberian Pupuk Kandang Sapi terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kedelai Edamame (Glycine max (L.) Merrill)*. *Agritrop: Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian (Journal of Agricultural Sciences)*, 20 (2), 147–146.
- Yusdian, Y., D. M. Minangsih, dan D. Herawati. 2023. PENGARUH kombinasi dosis pupuk npk (15:15:15) dan kcl terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman edamame (*glycine max* (l.) merrill) varietas ryoko-75. *Agro Tatanen | Jurnal Ilmiah Pertanian*. 5(1):12–18.
- Zhang, J., Chen, G., & Wang, Y. (2019). Nutritional and Functional Characteristics of Edamame: A Comprehensive Review. *Food Chemistry*, 276, 157–167.