

**PENGAPLIKASIAN PUPUK ANORGANIK DAN PUPUK ORGANIK
BERBAHAN *TEA WASTE* TERHADAP POPULASI BAKTERI PELARUT
FOSFAT DAN PRODUKSI TANAMAN TEH (*Camellia sinensis*) DI
PERKEBUNAN PPTK GAMBUNG JAWA BARAT**

(Skripsi)

Oleh

**TITA PUSPITA LOKA
2217021124**



**JURUSAN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

PENGAPLIKASIAN PUPUK ANORGANIK DAN PUPUK ORGANIK BERBAHAN *TEA WASTE* TERHADAP POPULASI BAKTERI PELARUT FOSFAT DAN PRODUKSI TANAMAN TEH (*Camellia sinensis*) DI PERKEBUNAN PPTK GAMBUNG JAWA BARAT

Oleh

Tita Puspita Loka

Pemupukan merupakan faktor penting dalam upaya meningkatkan produktivitas tanaman teh (*Camellia sinensis*) serta menjaga kesuburan tanah secara biologis. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh aplikasi pupuk anorganik dan pupuk organik berbahan tea waste terhadap populasi bakteri pelarut fosfat (PSB) dan produksi tanaman teh di Perkebunan PPTK Gambung, Jawa Barat. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) dengan 16 perlakuan dan 3 ulangan. Parameter yang diamati meliputi populasi PSB (CFU g⁻¹ tanah), produksi pucuk per plot selama September–Desember 2025, pH tanah, dan densitas akar. Data dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA) pada taraf nyata 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan pemupukan tidak berpengaruh nyata terhadap produksi pucuk tanaman teh pada seluruh periode pengamatan ($p > 0,05$). Meskipun demikian, terdapat variasi nilai produksi antar perlakuan pada setiap bulan pengamatan. Sebaliknya, perlakuan pemupukan menunjukkan respons terhadap populasi bakteri pelarut fosfat, dengan populasi tertinggi diperoleh pada perlakuan T3K0 sebesar $7,3 \times 10^6$ CFU g⁻¹ tanah. Secara umum, aplikasi tea waste berpotensi mendukung peningkatan populasi bakteri pelarut fosfat di dalam tanah, meskipun belum memberikan pengaruh yang signifikan terhadap produksi tanaman teh selama periode penelitian.

Kata kunci : *Camellia sinensis*, bakteri pelarut fosfat, *tea waste*, produksi pucuk.

ABSTRACT

Application of Inorganic and Tea Waste-Based Organic Fertilizers on Phosphate Solubilizing Bacteria Population and Tea Plant (*Camellia sinensis*) Production at PPTK Gambung Plantation, West Java

Oleh

Tita Puspita Loka

Fertilization is an important factor in improving tea (*Camellia sinensis*) productivity while maintaining soil biological fertility. This study aimed to analyze the effect of inorganic fertilizer and tea waste-based organic fertilizer application on phosphate-solubilizing bacteria (PSB) populations and tea yield at PPTK Gambung Plantation, West Java. The experiment was arranged in a Randomized Complete Block Design (RCBD) consisting of 16 treatments with three replications. Observed parameters included PSB population (CFU g⁻¹ soil), shoot yield per plot from September to December 2025, soil pH, and root density. Data were analyzed using analysis of variance (ANOVA) at a 5% significance level. The results showed that fertilization treatments had no significant effect on tea shoot yield during all observation periods ($p > 0.05$). However, variations in yield values among treatments were observed in each month. In contrast, fertilization treatments influenced the population of phosphate-solubilizing bacteria, with the highest population recorded in treatment T3K0 at 7.3×10^6 CFU g⁻¹ soil. In general, the application of tea waste has the potential to enhance soil biological activity through increasing PSB populations, although it has not significantly improved tea production within the duration of this study

Kata kunci : *Camellia sinensis*, phosphate-solubilizing bacteria, tea waste, shoot yield

**PENGAPLIKASIAN PUPUK ANORGANIK DAN PUPUK ORGANIK
BERBAHAN *TEA WASTE* TERHADAP POPULASI BAKTERI PELARUT
FOSFAT DAN PRODUKSI TANAMAN TEH (*Camellia sinensis*) DI
PERKEBUNAN PPTK GAMBUNG JAWA BARAT**

Oleh

Tita Puspita Loka

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Biologi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



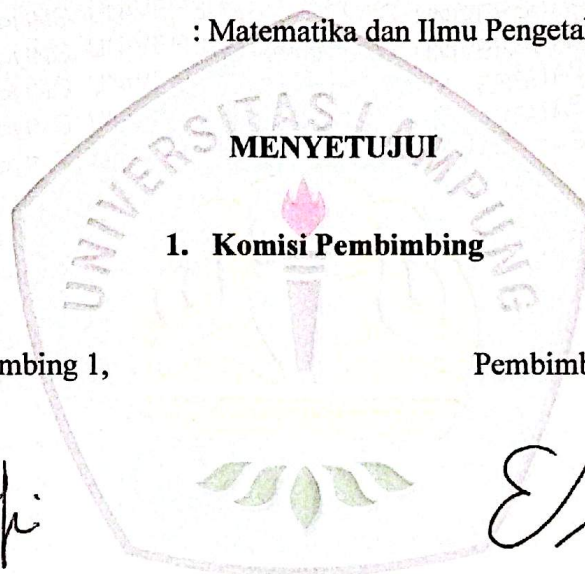
**JURUSAN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2026**

Judul Skripsi : Pengaplikasian Pupuk Anorganik dan Pupuk Organik Berbahan *Tea Waste* Terhadap Populasi Bakteri Pelarut Fosfat dan Produksi Tanaman Teh (*Camellia sinensis*) Di Perkebunan PPTK Gambung Jawa Barat

Nama : Tita Puspita Loka

Nomor Pokok Mahasiswa : 2217021124

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Pembimbing 1,

Pembimbing 2,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'B. Irawan', positioned to the left of the Pembimbing 1 label.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Elia Laila Rizqiyah', positioned to the right of the Pembimbing 2 label.

Prof. Dr. Bambang Irawan, M.Sc.
NIP.196503031992031006

Elia Laila Rizqiyah, S.P., M.Sc.
NIP. 600200125006

2. Ketua Jurusan Biologi FMIPA

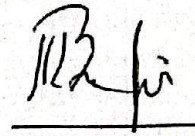
A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Jani Master', positioned above the name of the Dean of the Biology Department.

Dr. Jani Master, S.Si., M.Si.
NIP. 198301312008121001

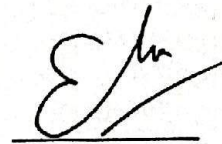
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua Penguji : **Prof. Dr. Bambang Irawan, M.Sc.**



Anggota Penguji : **Elia Laila Rizqiyah, S.P., M.Sc.**



Penguji Utama : **Dr. Kusuma Handayani, M.Si.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.SI., M.Si

NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **11 Juni 2026**

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Tita Puspita Loka
NPM : 2217021124
Jurusan : Biologi
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa skripsi saya yang berjudul **“Pengaplikasian Pupuk Anorganik dan Pupuk Organik Berbahan Tea Waste terhadap Populasi Bakteri Pelarut Fosfat dan Produksi Tanaman Teh (*Camellia sinensis*) di Perkebunan PPTK Gambung, Jawa Barat”**.

Baik gagasan, metode, hasil, pembahasan dan analisisnya adalah benar karya saya sendiri berdasarkan pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Skripsi ini saya susun dengan mengikuti pedoman dan norma akademik yang berlaku dan saya memastikan bahwa karya ini tidak berisi material yang telah dipublikasi sebelumnya atau plagiat dari orang lain.

Demikian pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ilmiah ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 11 Juni 2026

Yang menyatakan



Tita Puspita Loka
NPM. 221702112

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kota Bandar Lampung, Kecamatan Tanjung Karang Pusat, Provinsi Lampung pada tanggal 23 Oktober 2002 sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara, dari pasangan Bapak Ahmad Riva'i Harjakusumah dan Ibu Painsi Mujiati.

Penulis memulai pendidikan formal di SDN Makbul pada tahun 2007. Pada tahun 2014, penulis melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 1 Ciwidey. Selanjutnya, pada tahun 2017 penulis melanjutkan pendidikan di SMK Budi Bakti Ciwidey dan menyelesaikan pendidikan menengah pada tahun 2020. Pada tahun 2022, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam kegiatan organisasi, di antaranya sebagai anggota Bidang Komunikasi dan Informasi (Kominhum) Himpunan Mahasiswa Biologi (HIMBIO) FMIPA Universitas Lampung serta terlibat dalam kegiatan Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) FMIPA Universitas Lampung.

Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada bulan Juli–Agustus 2025 di Desa Kelapa Tiga, Kecamatan Tanjung Karang Pusat. Pada bulan Desember 2024 hingga Januari 2025, penulis melaksanakan Kerja Praktik di Pusat Penelitian Teh dan Kina (PPTK) Gambung, Provinsi Jawa Barat, dengan judul “Pemanfaatan Media Cair Berbasis molase untuk Perbanyak Jamur Entomopatogen *Beauveria bassiana* dan Analisis Kerapatan Konidia di Perkebunan PPTK Gambung, Jawa Barat”. Penulis melaksanakan penelitian tugas

akhir pada bulan Agustus 2025 sampai dengan Januari 2026 di Pusat Penelitian Teh dan Kina (PPTK) Gambung, Provinsi Jawa Barat dengan judul “Pengaplikasian Pupuk Anorganik dan Pupuk Organik Berbahan *Tea Waste* Terhadap Populasi Bakteri Pelarut Fosfat dan Produksi Tanaman Teh (*Camellia sinensis*) Di Perkebunan PPTK Gambung Jawa Barat”.

PERSEMBAHAN

Puji syukur ke hadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, atas rahmat dan ridanya, penulis mempersembahkan karya ini kepada:

Almarhum Bapak dan Almarhumah Ibu tercinta, yang semasa hidupnya telah mencurahkan kasih sayang, doa, serta pengorbanan yang tiada henti bagi penulis. Semoga Allah SWT menempatkan keduanya di tempat terbaik di sisi-Nya.

Bapak dan Ibu Dosen, yang telah membimbing, mendidik, dan memberikan ilmu pengetahuan kepada penulis dengan penuh ketulusan dan keikhlasan.

Kakak-kakak tercinta, yang senantiasa memberikan dukungan, semangat, dan doa kepada penulis dalam setiap langkah perjalanan hidup.

Sahabat dan rekan-rekan selama perkuliahan, yang telah memberikan kebersamaan, dukungan, serta warna dalam perjalanan pendidikan penulis.

Almamater tercinta, Universitas Lampung.

MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya.”

(Q.S. Al-Baqarah (2): 286)

“Dan Tuhanmu tidak meninggalkan engkau dan tidak pula membencimu.”

(Q.S. Ad-Dhuha (93): 3)

“Orang yang hanya sibuk mengejar kepentingan diri sendiri akan menciptakan banyak lawan. “

(Ahmad Riva'i Harjakusumah)

“Meskipun itu adalah jalan penuh duri, kami tetap berlari.”

(Min Yoongi BTS)

“Tetap berjalan meski tidak semua orang memahami. Sebab usaha yang dilakukan dengan sepuh hati tidak pernah benar-benar sia-sia.”

(Tita Puspita Loka)

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, atas rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaplikasian Pupuk Anorganik dan Pupuk Organik Berbahan Tea Waste terhadap Populasi Bakteri Pelarut Fosfat dan Produksi Tanaman Teh (*Camellia sinensis*) di Perkebunan PPTK Gambung, Jawa Barat”**.

Mengingat keterbatasan kemampuan penulis dalam melaksanakan penelitian dan penyusunan skripsi ini, penulis telah mendapatkan banyak bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., IPM., ASEAN Eng., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Jani Master, M.Si., selaku Ketua Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
4. Bapak Prof. Dr. Bambang Irawan, M.Sc., selaku dosen pembimbing utama yang telah dengan sabar memberikan bimbingan, arahan, ilmu, serta motivasi kepada penulis sejak awal hingga terselesaikannya skripsi ini.
5. Ibu Elia Laila Rizqiyah, S.P., M.Sc., selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan banyak masukan, perhatian, serta bimbingan yang sangat berarti dalam proses penyusunan skripsi ini.

6. Ibu Dr. Kusuma Handayani, M.Si., selaku dosen pembahas yang telah memberikan kritik, saran, dan masukan yang membangun demi penyempurnaan skripsi ini.
7. Bapak Dr. Mahfut, M.Sc., selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan arahan dan dukungan kepada penulis selama menempuh pendidikan di Universitas Lampung.
8. Bapak dan Ibu peneliti di Pusat Penelitian Teh dan Kina (PPTK) Gambung, Jawa Barat, yang telah memberikan ilmu, pengalaman, serta membantu kelancaran pelaksanaan penelitian penulis.
9. Staf karyawan dan tenaga kerja lapangan di Pusat Penelitian Teh dan Kina (PPTK) Gambung, Jawa Barat, yang telah membantu penulis selama pelaksanaan penelitian.
10. Staf bagian administrasi Jurusan Biologi FMIPA Universitas Lampung yang telah membantu dalam kelancaran urusan administrasi penulis selama perkuliahan.
11. Almarhum Bapak dan Almarhumah Ibu tercinta, terima kasih atas kasih sayang, doa, perjuangan, dan ketulusan yang menjadi kekuatan bagi penulis hingga mampu menyelesaikan pendidikan ini. Skripsi ini penulis persembahkan sebagai bentuk cinta, bakti, dan terima kasih yang tak terhingga.
12. Saudara-saudari penulis, Aa Aditya Wira Pratama, Mba Widya Restuning Sari, dan Tete Diah Mutia Rahmawati, yang selalu memberikan dukungan, doa, serta semangat kepada penulis.
13. Sahabat-sahabat penulis, Ajeng Rapih, Dhea Oktavia, dan Rina Pitria, terima kasih atas doa, dukungan, semangat, dan ketulusan yang selalu diberikan. Kehadiran kalian menjadi salah satu kekuatan yang membantu penulis bertahan hingga mencapai titik ini. Kebersamaan dan ketulusan kalian akan selalu menjadi kenangan berharga bagi penulis.
14. Rena Ardita, selaku rekan penelitian dan magang penulis, yang telah menjadi partner perjuangan selama proses penelitian hingga kegiatan magang di PPTK Gambung. Terima kasih atas kebersamaan, dukungan, dan kerja sama yang telah diberikan. Di tengah berbagai tantangan dan kelelahan,

kehadiranmu menjadi penyemangat yang membuat perjalanan ini terasa lebih ringan. Terima kasih karena telah berjuang dan bertahan bersama hingga mencapai titik ini.

15. Teman-teman Sayembara, yaitu Aulia Zahra Dian Maharani, Galuh Pratiwi, Nadzifa Maulidia Putri, Nadya Shafa Nurul Haya Supriyadi, Miranda Zalfa Safira, Sari Junita Putri, dan Titiannisa Maharani. Terima kasih atas kebersamaan, kenangan, dan cerita yang telah menjadi bagian dari perjalanan perkuliahan penulis. Kenangan indah yang pernah tercipta akan selalu menjadi bagian berharga dalam hidup penulis.
16. Teman-teman Gamboeng Geulis, Terima kasih atas persahabatan, dukungan, serta keceriaan yang terus terjaga, sehingga menjadi bagian berharga dalam perjalanan penulis.
17. Terakhir, untuk diri penulis sendiri, Tita Puspita Loka. Terima kasih karena telah bertahan dan tidak menyerah hingga mampu menyelesaikan perjalanan ini. Skripsi ini menjadi bukti bahwa setiap proses, air mata, dan perjuangan yang telah dilalui tidak pernah sia-sia. Semoga langkah kecil ini menjadi awal dari mimpi-mimpi besar yang akan diwujudkan di masa depan.

Akhir kata, penulis berharap semoga Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, memberikan rahmat dan pahala yang berlimpah kepada mereka, dan menjadikan jasanya sebagai amal jariyah. Terkait skripsi ini, penulis sadar sepenuhnya bahwa masih terdapat banyak kekurangan di dalamnya, sehingga masih jauh dari kata sempurna. Penulis berharap skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi orang-orang yang memerlukannya di masa mendatang.

Bandar Lampung, 11 Juni 2026
Penulis,

Tita Puspita Loka

DAFTAR ISI

SAMPUL DEPAN	i
ABSTRAK	iii
HALAMAN JUDUL DALAM	v
HALAMAN PERSETUJUAN	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	viii
RIWAYAT HIDUP	ix
PERSEMBAHAN	xi
MOTTO	xii
SANWACANA	iv
DAFTAR ISI	xviii
DAFTAR GAMBAR	xx
DAFTAR TABEL	xxi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Kerangka Pemikiran.....	3
1.4 Hipotesis Penelitian.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tanaman Teh	5
2.1.1 Karakteristik Tanaman Teh (<i>Camellia sinensis</i>).....	5
2.1.2 Kebutuhan Nutrisi Tanaman Teh	7
2.1.3 Produksi Tanaman Teh	9
2.2 Bakteri Pelarut Fosfat	10
2.2.1 Karakteristik dan Jenis-jenis Bakteri Pelarut Fosfat	10

2.2.2	Mekanisme Bakteri Pelarut Fosfat Melarutkan Fosfat.....	12
2.2.3	Faktor yang Mempengaruhi Kelimpahan PSB di Tanah	13
2.3	Pupuk Anorganik.....	14
2.4	Pupuk Organik <i>Tea Waste</i>	15
III.	METODE PENELITIAN.....	17
3.1	Waktu dan Tempat.....	17
3.2	Alat dan Bahan	17
3.3	Rancangan Penelitian	18
3.4	Prosedur Kerja.....	19
3.4.1	Persiapan Lahan dan <i>Plotting area</i>	19
3.4.2	Pengaplikasian Pupuk.....	20
3.4.3	Pengamatan Produksi Tanaman Teh.....	20
3.4.4	Pengamatan pH tanah.....	21
3.4.5	Pengamatan Populasi Bakteri Pelarut Fosfat.....	22
3.4.6	Pengamatan Densitas Akar	23
3.4.7	Analisis Data	24
3.4.8	Diagram Alir	25
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1	Hasil Penelitian	26
4.1.1	Hasil Produksi Tanaman Teh.....	26
4.1.2	<i>Plucking Point</i> sebagai Indikator Potensi Produksi.....	29
4.1.3	Hasil Pengamatan pH Tanah.....	32
4.1.4	Hasil Pengamatan Morfologi & Populasi Bakteri Pelarut Fosfat	34
4.1.5	Hasil Pengamatan Densitas Akar Tanaman Teh	38
4.2	Pembahasan.....	40
V.	SIMPULAN DAN SARAN	50
5.1	SIMPULAN	50
5.2	SARAN	50
	DAFTAR PUSTAKA.....	51
	LAMPIRAN.....	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Morfologi Tanaman Teh (<i>Camellia sinensis</i>).....	6
2. Pucuk Burung (A), Pucuk Peko (B).....	7
3. Morfologi bakteri pelarut fosfat yang diamati menggunakan mikroskop menunjukkan bentuk sel batang (basil) yang merupakan karakteristik umum genus <i>Bacillus</i> (Wang <i>et al.</i> , 2022).	11
4. Mekanisme Kerja Bakteri Pelarut Fosfat	12
5. Rata-rata Produksi Tanaman Teh pada berbagai periode pengamatan September-Desember.	29
6. Fluktuasi populasi bakteri pelarut fosfat selama periode pengamatan (September–Desember) pada berbagai kombinasi perlakuan pemupukan.	37

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Denah Perlakuan RAKL	18
2. Komposisi dan Kebutuhan Pupuk Anorganik serta <i>Tea Waste</i> pada Setiap Perlakuan Percobaan	19
3. Hasil Analisis Ragam (ANOVA) Produksi Pucuk Teh.	26
4. Produksi Tanaman Teh per Plot pada Berbagai Perlakuan Pemupukan Bulan September–Desember 2025.....	27
5. Rata-rata Plucking Point, Bobot Pucuk, dan Persentase Peko Tanaman Teh pada Berbagai Perlakuan Pemupukan.....	30
6. Nilai pH Tanah Sebelum Perlakuan Pemupukan.	32
7. Nilai pH Tanah Setelah Perlakuan Pemupukan.....	33
8. Karakteristik morfologi bakteri pelarut fosfat.....	34
9. Populasi Bakteri Pelarut Fosfat Tanah Sebelum Perlakuan Pemupukan. .	35
10. Populasi Bakteri Pelarut Fosfat Tanah Sesudah Perlakuan Pemupukan...	36
11. Densitas Akar Tanaman Teh Sebelum Pemupukan.....	38
12. Densitas Akar Tanaman Teh Setelah Pemupukan.	39

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teh (*Camellia sinensis*) menjadi salah satu komoditas perkebunan yang memiliki nilai ekonomi penting di Indonesia, baik sebagai produk konsumsi domestik maupun komoditas ekspor. Menurut Badan Pusat Statistik pada tahun 2023 Indonesia tercatat sebagai salah satu dari sepuluh negara produsen teh terbesar dunia, dengan produksi mencapai sekitar 120–134 ribu ton per tahun dan ekspor sekitar 45 ribu ton, senilai lebih dari Rp 1,5 triliun. Perkebunan teh, terutama di daerah dataran tinggi seperti Jawa Barat, berperan penting dalam menyerap tenaga kerja dan mendukung ekonomi masyarakat pedesaan. Namun, di balik kontribusinya terhadap perekonomian, budidaya teh menghadapi tantangan besar dalam menjaga produktivitas dan keberlanjutan lingkungan, terutama menyangkut pengelolaan tanah dan pemupukan.

Penggunaan pupuk anorganik atau pupuk anorganik secara intensif dan jangka panjang, terutama tanpa diimbangi dengan bahan organik, dapat menyebabkan penurunan kualitas tanah seperti pengasaman tanah, ketidakseimbangan unsur hara, serta penurunan kandungan bahan organik dan aktivitas mikroorganisme tanah, termasuk bakteri pelarut fosfat. Menurut penelitian Vidana *et al.* (2025), penggunaan *tea waste* atau limbah teh pada perkebunan teh memberikan banyak manfaat bagi tanah dan tanaman. Aplikasi limbah teh secara jangka panjang mampu meningkatkan kandungan karbon organik tanah, memperbaiki struktur dan agregasi tanah, menurunkan kerapatan isi serta meningkatkan porositas dan kemampuan tanah menahan air. Selain itu, *tea waste* juga menurunkan konduktivitas dan difusivitas panas

tanah, sehingga tanah lebih mampu menstabilkan suhu dan mengurangi dampak fluktuasi iklim ekstrem terhadap akar tanaman teh. Penggunaan pupuk anorganik pada tanaman teh memang dapat meningkatkan hasil panen dan beberapa komponen mutu daun teh, seperti kandungan asam amino dan kafein, namun juga membawa dampak negatif yang signifikan. Pada perkebunan teh yang umumnya berada di daerah dataran tinggi dengan curah hujan tinggi, penggunaan pupuk anorganik secara intensif berpotensi menimbulkan pencemaran tanah dan air. Unsur nitrogen dan fosfat yang tidak terserap tanaman dapat tercuci ke lingkungan perairan melalui limpasan permukaan, menyebabkan eutrofikasi, serta mempercepat pengasaman tanah yang berdampak pada penurunan aktivitas mikroorganisme tanah, termasuk bakteri pelarut fosfat. (Zhou *et al.*, 2016). Salah satu kelompok mikroba tanah yang sangat penting dalam mendukung pertumbuhan tanaman adalah bakteri pelarut fosfat (*Phosphate Solubilizing Bacteria* (PSB)), yang mampu mengubah bentuk fosfat tidak larut menjadi bentuk yang dapat diserap oleh tanaman. Keberadaan dan aktivitas bakteri ini sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan tanah dan jenis pupuk yang diaplikasikan. Pemberian fosfor (P) pada tanaman teh memiliki beberapa efek penting terhadap pertumbuhan dan lingkungan perakarannya. Aplikasi fosfor meningkatkan ketersediaan P di tanah, biomassa tanaman, serta kandungan fosfor dalam jaringan teh. Fosfor berperan penting dalam proses fisiologis seperti fotosintesis, pembelahan sel, dan transfer energi, sehingga cukupnya suplai P membantu pertumbuhan tanaman dan kualitas hasil teh (Yang *et al.*, 2022).

Penggunaan pupuk organik berbahan dasar limbah teh (*tea waste*) merupakan salah satu strategi pemanfaatan limbah agroindustri yang berpotensi meningkatkan kesuburan tanah secara biologis. Limbah teh (*tea waste*) mengandung berbagai senyawa bioaktif seperti asam organik, polifenol, senyawa humat, alkaloid, serta polisakarida yang berperan sebagai sumber karbon dan energi bagi mikroorganisme tanah. Keberadaan senyawa-senyawa tersebut dapat mendukung pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme tanah, khususnya bakteri pelarut fosfat (*Phosphate Solubilizing Bacteria*/PSB),

melalui peningkatan ketersediaan karbon, perbaikan lingkungan rizosfer, serta pelarutan fosfat terikat di dalam tanah. Keberadaan karbon organik, asam humat, dan nutrisi mikro dalam pupuk organik *tea waste* dapat menjadi sumber energi dan nutrisi penting bagi mikroba tanah (Satyaprakash *et al.*, 2017). Menurut Lee *et al.* (2023), bahan organik juga berperan dalam memperbaiki sifat fisik tanah seperti porositas, aerasi, dan kapasitas menahan air, sehingga menciptakan lingkungan yang lebih mendukung bagi kehidupan mikroba. Kombinasi pupuk anorganik dan pupuk organik berbahan *tea waste* menjadi alternatif strategi pemupukan yang berkelanjutan untuk meningkatkan produktivitas tanaman teh.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh aplikasi pupuk anorganik dan pupuk organik berbahan *tea waste* terhadap peningkatan kelimpahan bakteri pelarut fosfat pada tanaman teh (*Camellia sinensis*).
2. Mengetahui pengaruh aplikasi anorganik dan pupuk organik berbahan *tea waste* terhadap peningkatan produksi tanaman teh (*Camellia sinensis*).

1.3 Kerangka Pemikiran

Tanaman teh (*Camellia sinensis*) merupakan salah satu komoditas perkebunan penting di Indonesia yang banyak dibudidayakan pada tanah Andisol di daerah dataran tinggi. Meskipun memiliki sifat fisik dan kimia yang mendukung pertumbuhan tanaman, tanah perkebunan teh umumnya bereaksi masam sehingga ketersediaan fosfor (P) sering menjadi faktor pembatas. Pada kondisi tersebut, fosfor mudah terikat oleh Al dan Fe sehingga sulit diserap tanaman. Oleh karena itu, ketersediaan fosfor di tanah perkebunan teh sangat dipengaruhi oleh pH tanah serta aktivitas mikroorganisme yang mampu melarutkan fosfor terikat menjadi bentuk yang tersedia bagi tanaman.

Penggunaan pupuk anorganik secara intensif dan dalam jangka panjang pada perkebunan teh berpotensi menurunkan kualitas kimia dan biologis tanah.

Aplikasi pupuk anorganik dengan dosis tinggi dapat mempercepat pengasaman tanah, menurunkan aktivitas mikroorganisme tanah, serta meningkatkan risiko pencucian unsur hara, khususnya nitrogen dan fosfor. Kondisi tersebut menyebabkan efisiensi pemupukan fosfat menjadi rendah dan berkontribusi terhadap menurunnya ketersediaan fosfor yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman teh.

Interaksi antara jenis pupuk dan aktivitas mikroorganisme tanah menjadi faktor penting dalam menentukan ketersediaan hara fosfor dan produktivitas tanaman teh. Oleh karena itu, perlu dikaji pengaruh pemberian pupuk anorganik dan pupuk kandang terhadap kelimpahan bakteri pelarut fosfat dan hubungannya dengan produksi tanaman teh, sehingga dapat diperoleh strategi pemupukan yang mendukung produktivitas dan keberlanjutan agroekosistem teh.

1.4 Hipotesis Penelitian

Adapun hipotesis dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. H₁: Aplikasi pupuk anorganik dan pupuk organik berbahan *tea waste* berpengaruh secara signifikan terhadap peningkatan kelimpahan bakteri pelarut fosfat pada tanah tanaman teh.
2. H₂: Aplikasi pupuk anorganik dan pupuk organik berbahan *tea waste* berpengaruh secara signifikan terhadap peningkatan produksi tanaman teh (*Camellia sinensis*).

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Teh

2.1.1 Karakteristik Tanaman Teh (*Camellia sinensis*)

Tanaman teh (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) merupakan tanaman perkebunan tahunan yang berasal dari daerah subtropis dan di Indonesia umumnya dibudidayakan di daerah pegunungan. Tanaman ini memerlukan penyinaran serta curah hujan yang relatif merata sepanjang tahun. Dalam budidaya, tinggi tanaman teh dipertahankan sekitar 1 meter melalui pemangkasan rutin untuk mendorong pertumbuhan percabangan. Secara morfologi, tanaman teh (*Camellia sinensis*) memiliki sistem perakaran yang kuat dengan akar tunggang dan akar lateral, serta daun yang tersusun berseling dan berbentuk elips dengan tepi bergerigi. Daun muda umumnya memiliki rambut halus di bawahnya dan kandungan senyawa lebih tinggi dibanding daun tua. Bunga teh berwarna putih hingga beragam nuansa lain dan tumbuh tunggal atau berkelompok kecil, sedangkan buahnya berupa kapsul tiga-sel dengan biji kecil di dalamnya. Perawatan seperti pemangkasan berperan penting dalam mempertahankan produksi dan kualitas daun teh. (Kumar *et.al.*, 2025). Morfologi umum tanaman teh (*Camellia sinensis*) dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Morfologi Tanaman Teh (*Camellia sinensis*)

Berdasarkan buku Taksonomi Tumbuhan oleh Tjitrosoepomo (2018), klasifikasi tanaman teh (*Camellia sinensis*) adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae
Divisio	: Spermatophyta
Subdivisio	: Angiospermae
Class	: Dicotyledonae
Subclass	: Magnoliidae
Order	: Theales
Family	: Theaceae
Genus	: <i>Camellia</i>
Species	: <i>Camellia sinensis</i>

Daun merupakan bagian utama tanaman teh (*Camellia sinensis*) yang dimanfaatkan dalam produksi teh. Daun teh tersusun berseling, berbentuk elips dengan tepi bergerigi, dan mengalami perbedaan kualitas sesuai tingkat kematangannya. Daun muda memiliki kandungan senyawa kimia yang lebih tinggi dibandingkan daun tua, sehingga menjadi bagian utama yang dipanen. Pucuk teh merupakan bagian tanaman yang paling aktif tumbuh dan menjadi sasaran utama pemetikan. Pucuk peko adalah pucuk muda yang masih menggulung dan tertutup daun muda serta memiliki mutu lebih tinggi, sedangkan pucuk burung merupakan pucuk yang telah berkembang lebih lanjut dengan kualitas relatif lebih rendah. Perbedaan antara pucuk peko dan

pucuk burung disajikan pada Gambar 2. Perbandingan antara pucuk peko dan pucuk burung sering digunakan sebagai indikator mutu hasil pemetikan daun teh.



Gambar 2. Pucuk Burung (A), Pucuk Peko (B)

2.1.2 Kebutuhan Nutrisi Tanaman Teh

Tanaman teh (*Camellia sinensis*) merupakan tanaman tahunan (perennial) yang memerlukan ketersediaan unsur hara makro dan mikro secara seimbang guna mendukung pertumbuhan yang optimal serta meningkatkan hasil produksi. Menurut Penelitian Zohora dan Biswas (2025), tanaman teh (*Camellia sinensis*) membutuhkan berbagai makro dan mikronutrien untuk pertumbuhan optimal dan produksi daun berkualitas tinggi. Unsur hara utama yang diperlukan meliputi nitrogen, fosfor, kalium, kalsium, magnesium, dan seng, dengan kisaran kandungan pada daun teh sehat yaitu nitrogen 2,95–5,18%, fosfor 0,28–0,49%, kalium 0,56–1,88%, kalsium 0,12–0,49%, magnesium 0,07–0,08%, dan seng 0,002–0,004%. Kekurangan unsur-unsur ini dapat menyebabkan gejala defisiensi seperti pertumbuhan terhambat, perubahan warna daun, dan penurunan hasil panen.

Tanaman teh (*Camellia sinensis*) tidak hanya membutuhkan unsur hara makro untuk mendukung pertumbuhannya, tetapi juga sangat bergantung pada keberadaan unsur hara mikro (mikronutrien) yang berperan penting dalam berbagai proses fisiologis dan biokimia. Mikronutrien seperti seng (Zn), tembaga (Cu), mangan (Mn), besi

(Fe), dan selenium (Se) merupakan elemen penting yang diperlukan dalam jumlah kecil namun memiliki pengaruh besar terhadap kesehatan tanaman dan produktivitasnya. Zinc berperan dalam aktivitas berbagai enzim dan hormon pertumbuhan seperti auksin, yang berdampak langsung pada perkembangan akar dan daun. Tembaga penting untuk proses respirasi dan lignifikasi sel tanaman, sedangkan mangan berperan dalam reaksi redoks fotosintesis dan metabolisme nitrogen. Besi merupakan komponen vital dalam pembentukan klorofil dan transfer elektron dalam rantai respirasi. Sementara itu, selenium meskipun bukan unsur esensial utama bagi tanaman, diketahui memiliki peran protektif sebagai antioksidan dan meningkatkan ketahanan terhadap stres lingkungan (Chowdhury dan Barooah, 2020).

Tanaman teh juga menghasilkan beragam senyawa metabolit sekunder seperti polifenol (terutama katekin dan flavonoid), alkaloid (termasuk kafein dan teobromin), asam amino (terutama theanine), saponin, polisakarida, dan senyawa aroma volatil. Kandungan ini sangat bervariasi tergantung pada jenis teh (hijau, hitam, oolong, putih, kuning, dan dark tea), bagian tanaman (daun muda, batang, akar), serta tahap perkembangan dan teknik pengolahan pascapanen. Polifenol dan flavonoid seperti *epigallocatechin gallate* (EGCG) merupakan komponen dominan yang bertanggung jawab terhadap aktivitas antioksidan dan rasa sepat teh. Theanine, asam amino unik pada teh, memberikan rasa umami dan memiliki efek menenangkan. Senyawa metabolit sekunder pada tanaman teh sangat dipengaruhi oleh ketersediaan nutrisi dan faktor lingkungan (Wang *et al.* 2022). Pengelolaan pemupukan yang tepat sangat penting karena tanah di perkebunan teh sering kehilangan unsur hara akibat pencucian, erosi, dan panen. Stres lingkungan seperti keasaman tanah tinggi, aluminium, dan fluorida juga dapat memengaruhi penyerapan nutrisi dan kualitas hasil teh. Dengan demikian, pemenuhan kebutuhan nutrisi yang

seimbang sangat penting untuk menjaga produktivitas, kualitas, dan ketahanan tanaman teh terhadap stres lingkungan (Peng *et al.*, 2023).

Bakteri PSB mempunyai peran penting dalam menunjang kesuburan tanah dan efisiensi pemupukan. Bakteri ini mampu melarutkan fosfat yang terikat dalam bentuk tak larut seperti kalsium fosfat, besi fosfat, dan aluminium fosfat, menjadi bentuk fosfat yang tersedia dan dapat diserap oleh tanaman. PSB bekerja melalui produksi asam organik dan enzim yang mampu memobilisasi fosfor dari senyawa tak larut di tanah, sehingga meningkatkan ketersediaan fosfor bagi tanaman dan mengurangi ketergantungan pada pupuk anorganik (Elhaissofi *et al.*, 2021). PSB juga berperan dalam memperbaiki struktur komunitas mikroba tanah dan meningkatkan aktivitas enzim tanah yang berhubungan dengan siklus fosfor.

2.1.3 Produksi Tanaman Teh

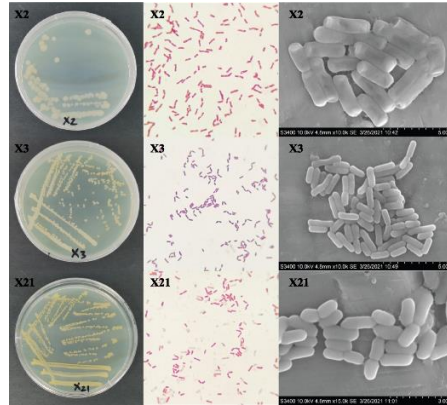
Produksi tanaman teh ditentukan oleh berbagai faktor yang saling berinteraksi, seperti kondisi lingkungan (seperti curah hujan, suhu, dan pH tanah), manajemen agronomi, faktor genetik tanaman serta kualitas tanah dan komunitas mikroba di dalamnya. Salah satu indikator utama produksi teh adalah jumlah pucuk yang dapat dipetik (*plucking point*), yang mencerminkan pertumbuhan aktif tunas-tunas muda. Faktor iklim memegang peranan penting dalam menentukan hasil produksi teh. Faktor utama yang mempengaruhi produktivitas teh meliputi suhu rata-rata bulanan, curah hujan, intensitas hujan, dan variabilitas iklim. Menurut Penelitian Duncan *et.al.* (2016), suhu udara yang terlalu tinggi, khususnya di atas 26,6 °C, terbukti menurunkan hasil produksi teh karena mempengaruhi laju pertumbuhan tunas muda yang menjadi bagian utama hasil panen. Selain itu, intensitas hujan yang tinggi dan distribusi curah hujan yang tidak merata (misalnya terlalu banyak hari tanpa hujan atau hujan sangat deras dalam waktu singkat) juga berdampak negatif terhadap produksi. Hal ini disebabkan oleh

menurunnya penyerapan air dan terganggunya proses fisiologis tanaman teh akibat stres air atau genangan. Selain faktor iklim, produktivitas juga ditentukan oleh aspek agronomi seperti praktik pemangkasan (tahun pangkas), frekuensi pemetikan pucuk (*plucking cycle*), dan manajemen pemupukan. Kombinasi antara penggunaan pupuk yang tepat serta keberadaan mikroorganisme tanah seperti bakteri pelarut fosfat juga berperan dalam meningkatkan ketersediaan unsur hara dan mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal.

2.2 Bakteri Pelarut Fosfat

2.2.1 Karakteristik dan Jenis-jenis Bakteri Pelarut Fosfat

Bakteri pelarut fosfat atau *Phosphate Solubilizing Bacteria* (PSB) merupakan kelompok mikroorganisme tanah yang berperan penting dalam meningkatkan ketersediaan unsur fosfor (P) bagi tanaman. Bakteri ini memiliki kemampuan untuk meningkatkan ketersediaan fosfor di tanah melalui proses pelarutan fosfat yang terikat. PSB bekerja dengan mensekresikan asam organik dan enzim fosfatase yang mampu melepaskan fosfor dari bentuk yang tidak larut menjadi bentuk yang dapat diserap oleh tanaman. Aktivitas metabolik PSB di habitat aslinya sangat mempengaruhi efisiensi pelarutan fosfat di dalam tanah. Selain itu, PSB mampu beradaptasi terhadap berbagai tipe tanah dan perlakuan pemupukan, sehingga kelimpahan dan aktivitasnya dapat bervariasi tergantung pada kondisi lingkungan (Zhu *et al.*, 2024). Menurut Joshi *et al.* (2023), PSB juga sering memiliki sifat tambahan sebagai bakteri pemacu pertumbuhan tanaman, seperti kemampuan memproduksi hormon pertumbuhan indole-3-acetic acid (IAA), siderofor, serta senyawa antimikroba yang mendukung kesehatan dan pertumbuhan tanaman.



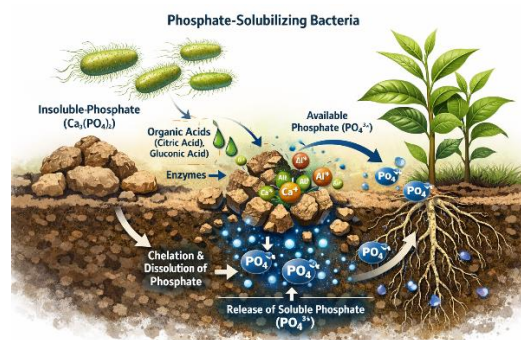
Gambar 3. Morfologi bakteri pelarut fosfat yang diamati menggunakan mikroskop menunjukkan bentuk sel batang (basil) yang merupakan karakteristik umum genus *Bacillus* (Wang *et al.*, 2022).

Bakteri pelarut fosfat (*Phosphate Solubilizing Bacteria/PSB*) terdiri atas berbagai spesies bakteri yang secara alami terdapat di dalam tanah dan memiliki kemampuan melarutkan fosfat tidak larut melalui mekanisme biologis. Beberapa jenis PSB yang umum ditemukan di lingkungan pertanian antara lain *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Enterobacter*, *Serratia*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*, dan *Klebsiella*. Gambar 3, menunjukkan morfologi bakteri pelarut fosfat yang diamati menggunakan mikroskop, di mana sel bakteri tampak berbentuk batang (basil) dengan ukuran relatif seragam. Bentuk sel tersebut merupakan karakteristik yang umum dijumpai pada bakteri pelarut fosfat dari genus *Bacillus*. Bakteri ini umumnya bersifat Gram positif dan dikenal mampu melarutkan fosfat melalui produksi asam organik serta senyawa metabolit lain yang berperan dalam melepaskan fosfat terikat di dalam tanah. Keberadaan bakteri berbentuk batang seperti *Bacillus* sp. banyak ditemukan di tanah pertanian dan perkebunan, sehingga berperan penting dalam meningkatkan ketersediaan fosfor bagi tanaman. Setiap genus PSB memiliki karakteristik spesifik dalam memproduksi asam organik, enzim fosfatase, serta kemampuan adaptasi terhadap kondisi tanah tertentu (Janati *et al.*, 2023). Keanekaragaman dan efektivitas PSB sangat

dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti pH tanah, tekstur tanah, kandungan nutrisi, dan tingkat salinitas (Teles *et al.*, 2024). Oleh karena itu, PSB berpotensi besar dikembangkan sebagai biofertilizer ramah lingkungan untuk meningkatkan produktivitas pertanian dan memperbaiki kualitas tanah secara berkelanjutan.

2.2.2 Mekanisme Bakteri Pelarut Fosfat Melarutkan Fosfat

Bakteri pelarut fosfat merupakan kelompok bakteri tanah yang berperan dalam meningkatkan ketersediaan fosfor dengan mengubah fosfat tidak larut menjadi bentuk yang dapat diserap oleh tanaman teh. Fosfat di dalam tanah umumnya terikat oleh kation logam seperti kalsium (Ca^{2+}), aluminium (Al^{3+}), dan besi (Fe^{3+}), sehingga tidak tersedia bagi akar tanaman. Bakteri pelarut fosfat melarutkan fosfat tersebut melalui sekresi asam-asam organik berberat molekul rendah, seperti asam glukonat, asam sitrat, dan asam oksalat, serta enzim-enzim tertentu. Asam-asam organik ini menurunkan pH mikro di sekitar perakaran dan mengkelat ion logam pengikat fosfat, sehingga fosfat terlepas dan berubah menjadi bentuk ion fosfat terlarut (PO_4^{3-}) yang dapat diserap oleh tanaman.



Gambar 4. Mekanisme Kerja Bakteri Pelarut Fosfat

Mekanisme kerja bakteri pelarut fosfat tersebut divisualisasikan pada Gambar 4, yang menunjukkan aktivitas bakteri di daerah perakaran dalam melarutkan fosfat tidak tersedia menjadi fosfat terlarut. Selain melalui produksi asam organik, beberapa bakteri pelarut fosfat juga menghasilkan gas CO_2 dan berkontribusi terhadap perubahan kondisi mikro lingkungan tanah, yang selanjutnya dapat memengaruhi

komunitas mikroba tanah. Interaksi ini secara keseluruhan berperan dalam meningkatkan ketersediaan fosfor di dalam tanah dan mendukung pertumbuhan serta produktivitas tanaman teh (Pan & Cai, 2023).

2.2.3 Faktor yang Mempengaruhi Kelimpahan PSB di Tanah

Kelimpahan bakteri pelarut fosfat di tanah dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan dan karakteristik tanah. Faktor utama meliputi kondisi iklim (seperti suhu dan curah hujan), status nutrisi tanah (terutama ketersediaan fosfor dan karbon), tekstur tanah, pH, kandungan bahan organik, serta penggunaan pupuk dan praktik pengelolaan lahan seperti rotasi tanaman atau perubahan tutupan vegetasi (Janati *et.al.*, 2023). Menurut penelitian Zheng *et.al.* (2018), Faktor utama yang memengaruhi kelimpahan PSB adalah pH tanah, di mana PSB cenderung lebih melimpah pada tanah dengan pH netral hingga basa, karena pH memengaruhi ketersediaan fosfat dan aktivitas mikroba. Kandungan karbon organik dan ketersediaan fosfor juga berperan penting dalam kelimpahan PSB di dalam tanah, tanah dengan kandungan bahan organik dan fosfor yang tinggi cenderung memiliki populasi PSB yang lebih besar (Hegyí *et.al.*, 2021).

Menurut penelitian Pastore *et.al.* (2020), kandungan P total di tanah sangat berpengaruh terhadap kelimpahan PSB. PSB lebih melimpah di tanah miskin fosfor, hal ini karena tekanan selektif di lingkungan rendah P mendorong keberadaan mikroba yang mampu melarutkan P terikat untuk bertahan dan tumbuh. Sebaliknya, tanah kaya P cenderung memiliki populasi PSB yang lebih rendah karena ketersediaan P yang tinggi mengurangi kebutuhan akan pelarutan P oleh mikroba. Praktik pemupukan, terutama penggunaan pupuk nitrogen dalam jangka panjang, dapat menurunkan kelimpahan PSB akibat penurunan pH tanah. Keberagaman dan kelimpahan PSB sangat dipengaruhi oleh interaksi kompleks antara faktor fisik, kimia, dan

biologis tanah, sehingga pengelolaan tanah yang berkelanjutan sangat penting untuk menjaga populasi PSB yang optimal.

2.3 Pupuk Anorganik

Pupuk anorganik secara umum dibuat melalui proses industri dan mengandung unsur hara makro esensial seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), serta dalam beberapa formulasi juga terdapat unsur mikro seperti magnesium (Mg), kalsium (Ca), dan sulfur (S). Nitrogen berperan penting dalam pembentukan klorofil dan daun muda, sehingga sangat dibutuhkan untuk meningkatkan jumlah dan kualitas pucuk teh. Fosfor membantu pertumbuhan akar dan merangsang pembentukan tunas baru, sedangkan kalium berperan dalam pengangkutan hasil fotosintesis serta meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman lingkungan dan penyakit (Singh, 2024). Penggunaan pupuk anorganik pada tanaman bertujuan untuk memenuhi kebutuhan hara tanaman secara cepat dan efisien karena unsur hara tersedia dalam bentuk yang mudah diserap oleh akar tanaman. penggunaan pupuk anorganik meningkatkan produktivitas tanaman secara nyata. Penggunaan pupuk anorganik dianggap lebih praktis dibandingkan pupuk organik karena kebutuhannya lebih sedikit pada dosis hara yang sama, sehingga penggunaan pupuk organik mulai ditinggalkan. Namun, peningkatan produksi semakin melandai dan terus menurun. Menurut penelitian Bai *et.al.* (2020), pemakaian pupuk anorganik yang berlebihan dapat menimbulkan berbagai masalah lingkungan dan kesehatan, seperti penurunan kualitas tanah, akumulasi logam berat, pencemaran air, dan gangguan pada mikroorganisme tanah yang bermanfaat.

Penggunaan pupuk anorganik pada tanaman teh (*Camellia sinensis*) merupakan salah satu praktik agronomis yang umum dilakukan untuk menunjang pertumbuhan vegetatif dan meningkatkan produktivitas pucuk teh yang merupakan hasil utama dari tanaman ini. Menurut penelitian Qiao *et.al.* (2018), Penggunaan pupuk anorganik, khususnya pupuk nitrogen sintetis, pada tanaman teh (*Camellia sinensis*) secara signifikan dapat meningkatkan

hasil panen hingga hampir 70%, namun juga menyebabkan perubahan kualitas pucuk teh, seperti peningkatan kadar asam amino, kafein, dan ekstrak air, serta penurunan gula terlarut. Namun, aplikasi pupuk anorganik secara intensif juga mempercepat pengasaman tanah dan ketidakseimbangan nutrisi, yang dapat memperburuk akumulasi ion aluminium beracun di tanah dan menimbulkan dampak lingkungan negatif jangka Panjang Oleh karena itu, meskipun pupuk anorganik efektif dalam meningkatkan hasil tanaman teh dalam jangka pendek, penggunaannya perlu dilakukan secara bijak dan disesuaikan dengan kebutuhan tanaman berdasarkan analisis tanah. Penggabungan pupuk anorganik dengan pupuk organik atau biofertilizer menjadi strategi yang disarankan untuk menjaga kesehatan tanah dan meningkatkan efisiensi pemupukan, serta mendukung sistem budidaya teh yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

2.4 Pupuk Organik *Tea Waste*

Tea waste adalah limbah yang dihasilkan dari industri teh atau hasil samping dari pengolahan teh. Limbah teh kaya akan unsur hara seperti nitrogen, fosfor, kalium, karbon organik, serta senyawa bioaktif seperti asam organik, polifenol, senyawa humat, alkaloid, serta polisakarida yang berperan sebagai sumber karbon dan energi bagi mikroorganisme tanah (Sarkar *et.al.* 2022). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sembiring *et.al* (2024), Limbah teh memiliki potensi besar sebagai bahan organik, terutama karena kandungan selulosa yang tinggi (sekitar 37%), lignin, hemiselulosa (14%), dan polifenol (25%). *Tea waste* juga memiliki rasio C/N yang rendah, artinya kaya nitrogen, sehingga sangat cocok untuk digunakan sebagai bahan kompos pengganti pupuk anorganik. Selain sebagai sumber hara, kandungan karbon tinggi dalam *tea waste* berfungsi sebagai amelioran tanah, yaitu sebagai penyangga tanah (*soil buffer*), yang dapat meningkatkan kapasitas tanah dalam menyerap air dan menjaga kelembapan. Karakteristik ini menjadikan *tea waste* berguna dalam memperbaiki sifat fisik tanah serta mendukung kehidupan mikroorganisme tanah. Selain meningkatkan pertumbuhan tanaman, *tea waste* juga berperan dalam memperbaiki kualitas tanah. Struktur

fisiknya yang halus serta kandungan bahan organik yang tinggi membuat tanah lebih mampu menyimpan dan menyediakan unsur hara bagi tanaman. Kompos dari limbah teh juga membantu meningkatkan retensi air dan menjaga kelembapan tanah, yang sangat penting dalam mendukung aktivitas mikroba dan perkembangan akar. Keunggulan lainnya adalah sifat *tea waste* yang mudah dikomposkan, sehingga mempermudah proses daur ulang limbah menjadi pupuk yang siap digunakan (Bhuiyan *et al.* 2023). Pemanfaatan *tea waste* sebagai pupuk organik sejalan dengan konsep pengelolaan limbah berkelanjutan dan strategi *zero waste*. Limbah teh dari pabrik pengolahan teh yang biasanya dibuang begitu saja kini dapat diolah menjadi produk yang bernilai guna tinggi dalam bidang pertanian. Dengan demikian, penggunaan *tea waste* tidak hanya mendukung pertumbuhan tanaman dan memperbaiki tanah, tetapi juga menjadi solusi dalam mengurangi timbulan limbah organik dan dampak pencemaran lingkungan.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus hingga Desember 2025 di Laboratorium Proteksi Tanaman Pusat Penelitian Teh dan Kina dan Aplikasi pupuk anorganik dan pupuk organik berbahan tea waste pada tanaman teh dilakukan di kebun percobaan Blok B5 tahun pangkas III PPTK Gambung, Jawa Barat.

3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu timbangan digital, cangkul, pH meter, gunting panen, Patok bambu, Plastik, label sampel, pinset, oven pengering, penggaris, inkubator, tabung reaksi, cawan petri, mikropipet, *colony Counter*, *laminar air flow*, *autoklaf*, ose, Bunsen, wadah panen, buku catatan, dan kalkulator.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu satu blok tanaman teh varietas *Assamica* klon GMB 7, pupuk anorganik (Urea, TSP, KCL dan Kiserit), pupuk organik *tea waste*, air steril, media Pikovskaya's agar, alkohol 70%, larutan buffer, dan Kertas label.

3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) dengan 16 perlakuan dan 3 ulangan sehingga terdapat 48 satuan percobaan. Denah perlakuan disajikan pada Tabel 1. Perlakuan yang diberikan merupakan kombinasi empat taraf dosis *tea waste* (0, 1000, 2000, dan 3000 kg/ha/tahun) dan empat taraf pupuk anorganik (100%, 75%, 50%, dan 0% dari dosis rekomendasi) yang disajikan pada Tabel 2. Parameter yang diamati dalam penelitian ini meliputi produksi tanaman teh (kg/plot), jumlah *plucking point* sebagai indikator potensi produksi, populasi bakteri pelarut fosfat (CFU g⁻¹ tanah), pH tanah, serta densitas akar tanaman. Parameter produksi, *plucking point*, dan pH tanah diamati pada setiap satuan percobaan, sedangkan pengamatan populasi bakteri pelarut fosfat dan densitas akar dilakukan melalui analisis laboratorium.

Tabel 1. Denah Perlakuan RAKL

Nama Plot	Ulangan 1	Nama Plot	Ulangan 2	Nama Plot	Ulangan 3
Baris 1	T0K0	Baris 32	T2K7	Baris 33	T1K7
Baris 2	T1K1	Baris 31	T0K7	Baris 34	T2K5
Baris 3	T1K0	Baris 30	T1K5	Baris 35	T1K0
Baris 4	T1K5	Baris 29	T2K5	Baris 36	T2K1
Baris 5	T3K0	Baris 28	T3K0	Baris 37	T0K1
Baris 6	T3K5	Baris 27	T0K1	Baris 38	T0K7
Baris 7	T2K1	Baris 26	T3K7	Baris 39	T0K0
Baris 8	T3K7	Baris 25	T2K0	Baris 40	T1K1
Baris 9	T0K1	Baris 24	T2K1	Baris 41	T3K7
Baris 10	T3K1	Baris 23	T1K0	Baris 42	T3K1
Baris 11	T2K0	Baris 22	T3K1	Baris 43	T0K5
Baris 12	T0K5	Baris 21	T1K7	Baris 44	T2K7
Baris 13	T0K7	Baris 20	T3K5	Baris 45	T1K5
Baris 14	T2K7	Baris 19	T0K0	Baris 46	T2K0
Baris 15	T1K7	Baris 18	T0K5	Baris 47	T3K0
Baris 16	T2K5	Baris 17	T1K1	Baris 48	T3K5

Tabel 2. Komposisi dan Kebutuhan Pupuk Anorganik serta Tea Waste pada Setiap Perlakuan Percobaan

Perlakuan	Tea Waste (kg/ha/th)	% anorganik	Luas plot (m ²)	Kebutuhan Pupuk (Kg)				
				Kompos Tea waste	Urea	TSP	KCl	Kiserit
T0K1	0	100%	50	0	1,8	0,5	0,7	0,8
T1K1	1000	100%	50	5	1,8	0,5	0,7	0,8
T2K1	2000	100%	50	10	1,8	0,5	0,7	0,8
T3K1	3000	100%	50	15	1,8	0,5	0,7	0,8
T0K7	0	75%	50	0	1,3	0,4	0,5	0,6
T1K7	1000	75%	50	5	1,3	0,4	0,5	0,6
T2K7	2000	75%	50	10	1,3	0,4	0,5	0,6
T3K7	3000	75%	50	15	1,3	0,4	0,5	0,6
T0K5	0	50%	50	0	0,9	0,3	0,3	0,4
T1K5	1000	50%	50	5	0,9	0,3	0,3	0,4
T2K5	2000	50%	50	10	0,9	0,3	0,3	0,4
T3K5	3000	50%	50	15	0,9	0,3	0,3	0,4
T0K0	0	0%	50	0	0,0	0,0	0,0	0,0
T1K0	1000	0%	50	5	0,0	0,0	0,0	0,0
T2K0	2000	0%	50	10	0,0	0,0	0,0	0,0
T3K0	3000	0%	50	15	0,0	0,0	0,0	0,0

3.4 Prosedur Kerja

3.4.1 Persiapan Lahan dan *Plotting area*

Prosedur kerja diawali dengan pembagian lahan menjadi 48 plot berukuran masing-masing 50 m² sesuai dengan 16 perlakuan dan 3 ulangan dalam Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL). Setiap blok (ulangan) terdiri atas 16 petak perlakuan yang diacak, dengan jarak antarplot minimal 1 meter yang digunakan sebagai batas dan jalur inspeksi. Penandaan plot dilakukan dengan pemasangan patok bambu pada setiap plot yang mencantumkan kode perlakuan T0K1, T1K1, dan seterusnya. Setelah proses *plotting* selesai, lahan dibersihkan dari gulma dan sisa tanaman tanpa merusak tanaman teh yang sudah ada dengan menggunakan herbisida. Selanjutnya, dilakukan dokumentasi denah dan posisi plot sebagai acuan selama penelitian berlangsung.

3.4.2 Pengaplikasian Pupuk

Pupuk anorganik dan pupuk organik berbahan *tea waste* diaplikasikan pada masing-masing plot sesuai dengan dosis perlakuan. Pupuk anorganik ditimbang terlebih dahulu sesuai kebutuhan per plot (50 m²), kemudian diaplikasikan dengan metode ditugal atau *placement* di sekitar tanaman teh dan selanjutnya ditutup kembali dengan tanah. Sementara itu, pupuk organik berbahan *tea waste* diaplikasikan dengan cara disebar di sekitar perakaran tanaman teh. Metode aplikasi pupuk anorganik mengacu pada penelitian Ma dan Ruan (2021), di mana pengaplikasian pupuk secara ditugal atau *placement*, khususnya metode *deep side dressing* (penempatan pupuk secara dalam di sisi tanaman), dilakukan dengan memasukkan pupuk ke dalam tanah pada kedalaman sekitar 10–15 cm di sekitar perakaran tanaman teh sesuai dosis perlakuan. Pengaplikasian pupuk organik berbahan *tea waste* mengacu pada penelitian Hu *et al.* (2022), yaitu dengan metode sebar (*broadcast*), yaitu pemberian pupuk dengan cara menaburkan pupuk secara merata di permukaan tanah. Metode ini diketahui mampu meningkatkan kesuburan tanah baik pada zona rhizosfer maupun non-rhizosfer, memperbaiki sifat kimia tanah seperti pH dan kandungan bahan organik, serta meningkatkan ketersediaan unsur hara (N, P, K, Ca, dan Mg) dan biomassa tanaman teh. Aplikasi pupuk dilakukan secara serempak pada seluruh plot agar kondisi perlakuan tetap setara. Setiap plot dicatat dosis dan tanggal aplikasi pupuknya.

3.4.3 Pengamatan Produksi Tanaman Teh

Pengamatan produksi tanaman teh dilakukan melalui penghitungan *plucking point*, yaitu jumlah pucuk siap petik yang digunakan sebagai indikator potensi produktivitas tanaman teh. *Plucking point* digunakan untuk memperkirakan jumlah produksi yang akan diperoleh pada saat panen sesungguhnya. Pengamatan dilakukan tiga hari sebelum jadwal panen, yang dilaksanakan setiap 25–30 hari sekali sesuai dengan siklus pemetikan di Kebun Teh PPTK Gambung. Waktu pengamatan tersebut

mengacu pada penelitian Aaqil *et al.* (2023), yang menyatakan bahwa pengamatan *plucking point* tiga hari sebelum panen dilakukan pada fase fisiologis optimal, yaitu ketika pucuk telah mencapai ukuran dan umur petik ideal (dua daun dan satu pucuk), namun belum melewati titik optimum fisiologis. Pengamatan dilaksanakan selama empat bulan dengan pencatatan jumlah *plucking point* setiap bulan. Sementara itu, pengukuran produksi aktual dilakukan pada saat panen dengan memetik seluruh pucuk pada masing-masing plot, kemudian ditimbang untuk memperoleh data produksi dalam satuan kg per plot. Data *plucking point* digunakan sebagai indikator potensi produksi, sedangkan data hasil panen digunakan untuk menentukan produksi aktual tanaman teh pada setiap perlakuan.

3.4.4 Pengamatan pH tanah

Pengamatan pH tanah dilakukan sebanyak dua kali, yaitu sebelum aplikasi pupuk (awal penelitian) dan setelah aplikasi pupuk (akhir penelitian pada bulan keempat). Sebelum perlakuan, pengambilan sampel tanah dilakukan secara komposit dengan mengambil sampel perwakilan dari seluruh 48 perlakuan sebanyak ± 500 gram. Sampel komposit tersebut kemudian dianalisis di laboratorium sebagai data pH awal tanah. Setelah seluruh perlakuan pupuk diaplikasikan selama empat bulan, pengambilan sampel tanah untuk pengamatan pH dilakukan kembali pada seluruh 48 perlakuan. Setiap sampel diambil dari tiga titik acak pada masing-masing plot pada kedalaman 0–20 cm menggunakan cangkul, kemudian dicampur menjadi satu sampel komposit per plot dan dimasukkan ke dalam kantong plastik yang telah diberi label sesuai kode perlakuan. Pengukuran pH tanah dilakukan di laboratorium menggunakan metode tanah–air dengan perbandingan 1:2,5, yaitu 10 gram tanah dicampur dengan 25 mL air suling. Campuran diaduk dan didiamkan selama 30 menit, kemudian diukur menggunakan pH meter digital yang telah dikalibrasi. Nilai pH dari

masing-masing sampel dicatat sebagai data pH awal dan pH akhir penelitian.

3.4.5 Pengamatan Populasi Bakteri Pelarut Fosfat

Pengamatan populasi bakteri pelarut fosfat (PSB) dilakukan dua kali, yaitu sebelum aplikasi pupuk (awal penelitian) dan setelah aplikasi pupuk. Pada pengamatan awal, sampel tanah diambil sebelum perlakuan untuk mengetahui kondisi awal populasi PSB di lahan penelitian. Pengambilan sampel dilakukan secara komposit dari seluruh satuan percobaan, kemudian dicampur hingga homogen sehingga diperoleh satu sampel komposit sebanyak ± 500 g. Sampel dimasukkan ke dalam plastik steril berlabel dan dianalisis di laboratorium menggunakan metode yang sama dengan pengamatan setelah perlakuan.

Analisis populasi PSB dilakukan dengan metode pengenceran berseri dan penanaman menggunakan metode sebar (*spread plate*). Sebanyak 10 g tanah dimasukkan ke dalam 90 mL larutan NaCl 0,85% steril untuk memperoleh pengenceran 10^{-1} , kemudian dihomogenkan menggunakan shaker selama 30 menit (Putri et al., 2024). Selanjutnya dilakukan pengenceran berseri hingga 10^{-6} . Sebanyak 0,1 mL suspensi dari pengenceran 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , dan 10^{-6} diinokulasikan pada media Pikovskaya's agar menggunakan metode sebar. Media Pikovskaya's agar terdiri atas: 5 g $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$; 0,5 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; 0,2 g NaCl; 0,1 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,2 g KCl; 10 g glukosa; 0,5 g *yeast extract*; 0,002 g $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$; 0,002 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 20 g agar; dan 1 L akuades. Selanjutnya diinkubasi pada suhu 28–30°C selama 3–5 hari (Panjaitan et al., 2020). Koloni PSB diidentifikasi berdasarkan terbentuknya zona bening (halo) di sekitar koloni. Koloni yang tumbuh (25–250 koloni) dihitung dan dinyatakan dalam satuan CFU g^{-1} tanah menggunakan rumus (Utami et al., 2021):

$$\text{Total koloni (CFU/g)} = \frac{\text{Jumlah Koloni} \times \text{Faktor Pengenceran}}{\text{Volume Inokulum}}$$

Data populasi PSB yang diperoleh dari sampel komposit setiap perlakuan disajikan secara deskriptif dan tidak dianalisis menggunakan uji statistik.

3.4.6 Pengamatan Densitas Akar

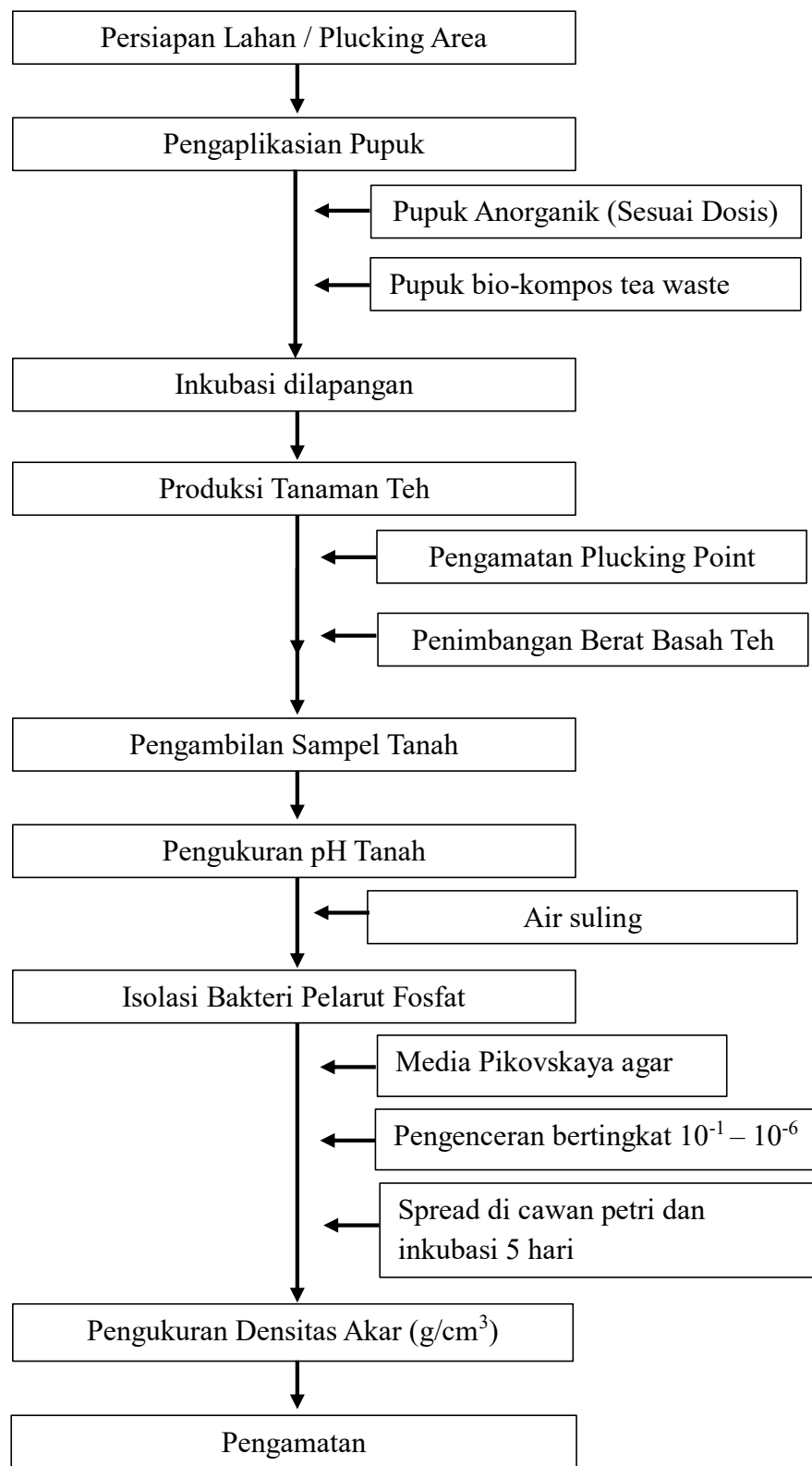
Pengamatan densitas akar dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh perlakuan pupuk terhadap pertumbuhan akar tanaman teh.

Pengambilan sampel akar dilakukan dua kali, yaitu sebelum dan setelah aplikasi pupuk. Pada pengamatan awal, sampel akar diambil dari seluruh plot percobaan dan dikompositkan menjadi satu sampel perwakilan. Pada pengamatan setelah perlakuan, sampel akar diambil dari setiap perlakuan dan dikompositkan dari tiga ulangan sehingga diperoleh 16 sampel komposit. Akar yang diambil terdiri atas akar pensil dan *feeder root*. Sampel akar dibersihkan dari tanah, kemudian dipisahkan berdasarkan jenisnya. Selanjutnya, akar ditimbang untuk memperoleh bobot basah, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 60–70 °C selama 48 jam atau hingga mencapai bobot kering konstan. Setelah itu, akar ditimbang kembali untuk memperoleh bobot kering. Data bobot kering yang diperoleh digunakan untuk menghitung densitas akar, yang dinyatakan sebagai perbandingan antara bobot kering akar terhadap volume akar (g cm^{-3}). Data densitas akar yang diperoleh dari sampel komposit setiap perlakuan disajikan secara deskriptif dan tidak dianalisis menggunakan uji statistik.

3.4.7 Analisis Data

Setelah seluruh perlakuan dan pengamatan selesai, data dari setiap satuan percobaan disusun ke dalam tabel. Data yang diperoleh dari parameter produksi tanaman teh, jumlah *plucking point*, dan pH tanah dianalisis secara statistik menggunakan analisis ragam (ANOVA) untuk mengetahui pengaruh perlakuan. Sebelum dilakukan analisis, data diuji normalitas dan homogenitas sebagai syarat analisis statistik. Apabila hasil analisis menunjukkan perbedaan yang signifikan, maka dilanjutkan dengan uji lanjut Duncan Multiple Range Test (DMRT) pada taraf 5%. Analisis data dilakukan menggunakan perangkat lunak statistik SPSS, dan hasilnya disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memudahkan interpretasi. Sementara itu, data populasi bakteri pelarut fosfat (PSB) dan densitas akar tidak dianalisis secara statistik, melainkan disajikan secara deskriptif karena pengambilan sampel dilakukan secara komposit pada setiap perlakuan.

3.4.8 Diagram Alir



V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 SIMPULAN

1. Aplikasi pupuk anorganik dan pupuk organik berbahan *tea waste* memengaruhi kelimpahan bakteri pelarut fosfat (PSB). Populasi PSB tertinggi diperoleh pada perlakuan T3K0 sebesar $7,3 \times 10^6$ CFU g⁻¹ tanah, sehingga perlakuan tersebut dinyatakan paling efektif dalam meningkatkan kelimpahan PSB.
2. Aplikasi pupuk anorganik dan pupuk organik berbahan tea waste tidak memberikan pengaruh nyata terhadap produksi tanaman teh pada seluruh periode pengamatan.

5.2 SARAN

Penelitian selanjutnya disarankan dilakukan dengan periode pengamatan yang lebih panjang serta dilengkapi analisis sifat kimia dan biologi tanah secara komprehensif, sehingga dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai hubungan antara dinamika populasi bakteri pelarut fosfat, ketersediaan hara, dan produksi tanaman teh, serta menjadi dasar dalam penyusunan strategi pemupukan yang efektif dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aaqil, M., Peng, C., Kamal, A., Nawaz, T., Zhang, F., dan Gong, J. 2023. Tea Harvesting and Processing Techniques and Its Effect on Phytochemical Profile and Final Quality of Black Tea: A Review. *Foods*. 12, 4467. <https://doi.org/10.3390/foods12244467>
- Adesemoye, A. O., & Kloepper, J. W. (2009). Plant–microbes interactions in enhanced fertilizer-use efficiency. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85, 1–12. <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2196-0>
- Agegnehu, G., Bass, A. M., Nelson, P. N., & Bird, M. I. (2017). Benefits of biochar, compost and biochar–compost for soil quality, maize yield and greenhouse gas emissions in a tropical agricultural soil. *Science of the Total Environment*, 543, 295–306. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.054>
- Anjarsari, I.R.D. 2022. Rekayasa Budidaya dan Penanganan Pascapanen untuk Meningkatkan Kualitas Teh Indonesia Sebagai Minuman Fungsional Kaya Antioksidan. *Jurnal Kultivasi*. 21(2):152-157. <https://doi.org/10.24198/kultivasi.v21i2.36027>
- Bai, Y.C., Chang, Y.Y., Hussain, M., Lu, B., Zhang, J.P., Song, X.B., Lei, X.S., dan Pei, D. 2020. Soil chemical and microbiological properties are changed by long-term chemical fertilizers that limit ecosystem functioning. *Microorganisms*. 8(5), 694. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8050694>
- Bhuiyan, M. A. R., Abdal, S. T. M., Aurnab, I. T., Shanto, R. A., & Ferdous, Z. (2023). Crop growth enhancement: Investigating the significance of tea waste compost applied as organic fertilizer on the growth response of maize (*Zea mays*) plant. *Journal of Wastes and Biomass Management*, 5(2), 54–58. <https://doi.org/10.26480/jwbm.02.2023.54.58>
- Badan Pusat Statistik. (2023). *Produksi dan ekspor teh Indonesia*. Diakses dari: <https://www.bps.go.id> pada tanggal 14 september 2025 pukul 09.23.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2017). *The nature and properties of soils* (15th ed.). Pearson Education.

- Chen, Y.P., Rekha, P.D., Arun, A.B., Shen, F.T., Lai, W.A., & Young, C.C. (2006). Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil. *Applied Soil Ecology*, 34: 33–41.
- Chang, Y., Wu, Z., Peñuelas, J., Sardans, J., Chen, Y., Jiang, F., & Wang, F. (2025). Organic management improves soil P availability via increasing inorganic P solubilization in tea plantations. *Environmental Technology & Innovation*, 39, 104223. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2025.104223>
- Chowdhury, P., dan Barooah, A.K. 2020. Tea Bioactive Modulate Innate Immunity: In Perception to COVID-19 Pandemic. *Frontiers in Immunology*. 11:590716.[https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.590716:contentReference\[oaicite:0\]{index=0}](https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.590716:contentReference[oaicite:0]{index=0})
- Duncan, J. M. A., Saikia, S. D., Gupta, N., dan Biggs, E. M. 2016. Observing climate impacts on tea yield in Assam India. *Applied Geography*. (77): 64–71. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.10.004>
- Elhaissofi, W., Ghoulam, C., Barakat, A., Zeroual, Y., dan Bargaz, A. 2021. Phosphate bacterial solubilization: A key rhizosphere driving force enabling higher P use efficiency and crop productivity. *Journal of Advanced Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2021.08.014>
- Fadhilah, Z.H., Perdana, F., dan Syamsudin, R.M.A. 2021. Review: Telaah kandungan senyawa Katekin dan epigalokatekin galat (EGCG) sebagai antioksidan pada berbagai jenis teh. *Jurnal Pharmascience*. 8(1):31–44.
- Fageria, N.K., & Baligar, V.C. (2008). Ameliorating soil acidity of tropical soils for sustainable crop production. *Advances in Agronomy*, 99: 345–399.
- Ganti, N. W. S. L. S., Ginting, S., dan Leomo, S. 2023. Pengaruh pemberian pupuk organik terhadap sifat kimia tanah masam dan hasil tanaman jagung (*Zea mays* L.). *Berkala Penelitian Agronomi*, 11(1), 24–34. <https://doi.org/10.33772/bpa.v11i1.400>
- Guo, M., Wang, C., & Wu, W. (2026). Root-zone application of vermicompost to enhance phosphorus mineralization in saline soil. *Soil Ecology Letters*, 8(1), 250365.
- Hanafi, A., Syahrian, H., Rahadi, P.V. dan Prayoga, K.M. 2025. Analisis Karakter Pertumbuhan 16 Klon Teh Tipe Assamica (*Camellia sinensis* var. Assamica) pada Fase Pembibitan. *Jurnal Sains Teh dan Kina*. 4(1):1-13.
- Havlin, J.L., Tisdale, S.L., Nelson, W.L., & Beaton, J.D. (2014). *Soil Fertility and Fertilizers*. Pearson Education.
- Hegyí, A., Nguyen, T. B. K., dan Posta, K. 2021. Metagenomic analysis of bacterial communities in agricultural soils from Vietnam with special attention to phosphate solubilizing bacteria. *Microorganisms*, 9(9), 1796. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9091796>

- Hindersah, R., B. Adityo, dan P. Suryatama. 2016. Populasi bakteri dan jamur serta pertumbuhan tanaman teh (*Camellia sinensis* L.) pada dua jenis media tanam setelah inokulasi *Azotobacter*. *J. Agrologia*. 5(1): 1-9.
- Hu, Z., Ji, L., Wan, Q., Li, H., Li, R., & Yang, Y. (2022). Short-Term Effects of Bio-Organic Fertilizer on Soil Fertility and Bacterial Community Composition in Tea Plantation Soils. *Agronomy*. 12(9), 2168. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092168>
- Hussain, M., Zhang, X., & Ali, Z. (2025). Integrated organic–inorganic fertilization improves root morphology and nutrient uptake in plantation crops. *Agronomy Journal*, 117(3), 234–248.
- Janati, W., Bouabid, R., Mikou, K., ElGhadraoui, L., dan Errachidi, F. 2023. Phosphate solubilizing bacteria from soils with varying environmental conditions: Occurrence and function. *PLOS ONE*, 18(12), e0289127. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0289127>
- Joshi, S., Gangola, S., Jaggi, V., dan Sahgal, M. 2023. Functional characterization and molecular fingerprinting of potential phosphate solubilizing bacterial candidates from Shisham rhizosphere. *Scientific Reports*. 13, 7003. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33217-9>
- Krisyando, P., Indradewa, D., dan Waluyo, S. (2012). Potensi Hasil dan Toleransi Kekeringan Seri Klon Teh (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) PGL di Kebun Produksi Pagilaran Bagian Andongsili. *Vegetalika*. 1(1):1–13.
- Kumar, P., Chaudhary, S., Sood, S., Mahant, S., Pundir, S., Kalia, P., & Kumar, R. (2025). Tea beyond the cup: A comprehensive review of *Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze. *Clinical Phytoscience*, 11, 23. <https://doi.org/10.1186/s40816-025-00413-1>
- Lee, J., Jo, N.-Y., Shim, S.-Y., Linh, L. T. Y., Kim, S.-R., Lee, M.-G., dan Hwang, S.-G. 2023. Effects of Hanwoo (Korean cattle) manure as organic fertilizer on plant growth, feed quality, and soil bacterial community. *Frontiers in Plant Science*. 14, 1135947. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1135947>
- Li, M., Li, X., Xue, D., Bao, C., Zhang, K., Chen, L., Li, Q., & Guo, R. (2024). Enhanced plant growth through composite inoculation of phosphate-solubilizing bacteria: Insights from plate and soil experiments. *Agronomy*, 14(11), 2461. <https://doi.org/10.3390/agronomy14112461>
- Li, X., Chen, L., & Zhou, Y. (2024). Balanced nutrition effects on photosynthesis and tea yield: Roles of nitrogen and phosphorus. *Journal of Plant Nutrition*, 47(12), 825–839.
- Ma, L. dan Ruan, J. 2021. Deep placement of nitrogen fertilizer in autumn improves N utilization by spring tea (*Camellia sinensis* L.). *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 184(4): 430-438. <https://doi.org/10.1002/jpln.202000140>

- Maxiselly, Y., Anjarsari, D. R.I. dan Sari, N.D. 2023. *Pemanfaatan Limbah Daun Teh dan Kulit Kopi Sebagai Bentuk Hilirisasi Ke Dalam Beberapa Produk Layak Guna*. Deepublish Digitsl. Yogyakarta.
- Pan, L., & Cai, B. (2023). Phosphate-solubilizing bacteria: Advances in their physiology, molecular mechanisms and microbial community effects. *Microorganisms*, 11(12), 2904. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11122904>
- Panjaitan, F. J., Bachtiar, T., Arsyad, I., & Lele, O. K. (2020). Isolasi dan karakteristik bakteri pelarut fosfat (BPF) dari rhizosfer tanaman jagung fase vegetatif dan fase generatif. *Jurnal Agroplasma*. 7(2), 53–60.
- Pastore, G., Kernchen, S., dan Spohn, M. 2020. Microbial solubilization of silicon and phosphorus from bedrock in relation to abundance of phosphorus-solubilizing bacteria in temperate forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 151, 108050. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.108050>
- Peng, A., Yu, K., Yu, S., Li, Y., Zuo, H., Li, P., Li, J., Huang, J., Liu, Z., dan Zhao, J. 2023. Aluminum and fluoride stresses altered organic acid and secondary metabolism in tea (*Camellia sinensis*) plants: Influences on plant tolerance, tea quality and safety. *International Journal of Molecular Sciences*. 24(5). 4640. <https://doi.org/10.3390/ijms24054640>
- Putri, J. D., Sumardi, S., Farisi, S., & Agustina, R. (2024). Isolasi dan karakterisasi bakteri pelarut fosfat dari rhizosfer pisang Cavendish (*Musa acuminata* L.). *Jurnal Ilmiah Biologi UMA (JIBIOMA)*. 6(2), 103–119. <https://doi.org/10.31289/jibioma.v6i2.4708>
- Qiao, C., Xu, B., Han, Y., Wang, J., Wang, X., Liu, L., Liu, W., Wan, S., Tan, H., Liu, Y., dan Zhao, X. 2018. Synthetic nitrogen fertilizers alter the soil chemistry, production and quality of tea: A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*. 38(1), 10. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0485-z>
- Salamat, S. S., Hassan, M. A., Shirai, Y., Hanif, A. H. M., Norizan, M. S., Zainudin, M. H. M., Mustapha, N. A., Isa, M. N. M., dan Abu Bakar, M. F. 2021. Effect of inorganic fertilizer application on soil microbial diversity in an oil palm plantation. *BioResources*, 16(2), 2279–2302. <https://www.researchgate.net/publication/349493342>
- Sarkar, S., Majumder, S., Ghosh, A., Saha, S., Acharyya, S., Chakraborty, S., & Bhattacharya, M. (2022). Metabolomic exploration of CTC tea manufacturing waste validates its potentiality as organic fertilizer. *Turkish Journal of Food and Agriculture Sciences*, 4(2), 41-48. <https://doi.org/10.53663/turjfas.1164579>
- Satyaprakash, M., Nikitha, T., Reddi, E. U. B., Sadhana, B., dan Vani, S. S. 2017. A review on phosphate solubilizing microorganisms and their role in plant growth promotion. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(4), 2133–2144. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.604.251>

- Sembiring, M., Pakpahan, G. M., Muklis, Razali, & Hidayat, B. (2024). Isolation and potential testing of cellulolytic fungi from tea processing waste. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1302, 012036. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1302/1/012036>
- Sharma, S. B., Sayyed, R. Z., Trivedi, M. H., & Gobi, T. A. (2013). Phosphate solubilizing microbes: Sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *SpringerPlus*, 2, 587. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-587>
- Singh, R. (2024). The hidden dangers of chemical fertilizers. *International Journal for Multidisciplinary Research (IJFMR)*. 6(3), 1–5. <https://www.ijfmr.com/IJFMR240323134>
- Sipayung, P. E., Mu'in, A., dan Santosa, T. N. B. 2024. Pengaruh Pemberian Macam Pupuk Kandang yang Berbeda terhadap Pertumbuhan Beberapa Klon Stek Tanaman Teh. *Jurnal INSTIPER*. Vol. 2(1), 256–259.
- Srinivasan, K., Ramakrishnan, B., & Varma, A. (2023). Enhancement of soil microbial phosphate solubilization and plant growth through organic amendments. *Soil Biology & Biochemistry*, 170, 108790.
- Supriadi, H., dan D.N. Rokhmah. 2014. Teknologi Adaptasi untuk Mengatasi Perubahan Iklim pada Tanaman Teh. *SIRINOV*. 2(3):147-156.
- Syamsiyah, J., Fitriatin, B. N., dan Yulianti, R. 2021. Pengaruh kombinasi pupuk kandang dan pupuk anorganik terhadap pertumbuhan tanaman teh dan karakteristik tanah Andisol. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 8(1), 33–40. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2021.008.1.4>
- Teles, E. A. P., Xavier, J. F., Arcênio, F. S., Amaya, R. L., Gonçalves, J. V. S., Rouws, L. F. M., Zonta, E., dan Coelho, I. S. 2024. Characterization and evaluation of potential halotolerant phosphate solubilizing bacteria from *Salicornia fruticosa* rhizosphere. *Frontiers in Plant Science*. 14, 1324056. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1324056>
- Tjitrosoepomo, G. (2018). *Taksonomi Tumbuhan (Spermatophyta)*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Utami, S., Lidar, S., & Rizal, M. (2021). Isolasi dan karakterisasi bakteri dan jamur pelarut fosfat pada berbagai lokasi. *Jurnal Agrotela*. 1(1), 33–42.
- Vidana Gamage, D.N., Peiris, T., Kasthuriarachchi, I., Mohotti, K.M., & Biswas, A. (2025). Enhancing Soil Resilience to Climate Change: Long-Term Effects of Organic Amendments on Soil Thermal and Physical Properties in Tea-Cultivated Ultisols. *Sustainability*. 17(3), 1184. <https://doi.org/10.3390/su17031184>

- Wang, C., Han, J., Pu, Y., & Wang, X. (2022). Tea (*Camellia sinensis*): A Review of Nutritional Composition Potential Applications, and Omics Research. *Applied Sciences*. 12(12), 5874. [https://doi.org/10.3390/app12125874:contentReference\[oaicite:0\]{index=0}](https://doi.org/10.3390/app12125874:contentReference[oaicite:0]{index=0).
- Wang, Z., Zhang, H., Liu, L., Li, S., Xie, J., Xue, X., & Jiang, Y. (2022). Screening of phosphate-solubilizing bacteria and their abilities of phosphorus solubilization and wheat growth promotion. *BMC Microbiology*, 22, 296. <https://doi.org/10.1186/s12866-022-02715-7>
- Widdig, M., Schleuss, P.-M., Weig, A. R., Guhr, A., Biederman, L. A., Borer, E. T., Crawley, M. J., Kirkman, K. P., Seabloom, E. W., Wragg, P. D., dan Spohn, M. 2019. Nitrogen and Phosphorus Additions Alter the Abundance of Phosphorus-Solubilizing Bacteria and Phosphatase Activity in Grassland Soils. *Frontiers in Environmental Science*. 7, 185. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00185>
- Wijayanto, D., Indradewa, D. dan Putra, S.T.A. 2015. Kuantitas dan Kualitas Hasil Pucuk Enam Klon Teh Sinensis (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze var *Sinensis*) di Bagian Kebun Kayulandak, PT. Pagilaran. *Vegetalika*.4(3):42-56.
- Winarno, N. A., dan Prayoga, M. K. (2021). *Deskripsi dan Karakteristik Klon Teh Seri GMB*. <https://iritc.org/artikelilmiah/karakteristik-klon-seri-gmb/> Diakses pada tanggal 17 Juni pukul 08.15.
- Yang, H., Ji, L., Long, L., Ni, K., Yang, X., Ma, L., Guo, S., & Ruan, J. (2022). *Effect of Short-Term Phosphorus Supply on Rhizosphere Microbial Community of Tea Plants*. *Agronomy*, 12(10), 2405. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102405>
- Zheng, B.X., Zhang, D.P., Wang, Y., Hao, X.L., Wadaan, M. A. M., Hozzein, W. N., Peñuelas, J., Zhu, Y.G., dan Yang, X.R. 2019. Responses to soil pH gradients of inorganic phosphate solubilizing bacteria community. *Scientific Reports*, 9(1), 25. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37003-w>
- Zhou, J., Guan, D., Zhou, B., Zhao, B., Ma, M., Qin, J., dan Li, J. 2016. Influence of 34-years fertilization on bacterial communities in an intensively cultivated black soil in northeast China. *Applied Soil Ecology*, 105, 187–195. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.04.010>
- Zhu, Y.-G., Li, H.-Z., Peng, J., Yang, K., Zhang, Y.-Y., Chen, Q.-L., dan Cui, L. 2024. Single-cell exploration of active microbiota in solubilizing fixed phosphorus in soils. *Nature Food*. <https://doi.org/10.1038/s43016-024-01024-8>
- Zohora, K. F. T., dan Biswas, A. 2025. An Assessment of Nutritional Deficiency Symptoms in the Tea Plant (*Camellia sinensis* L.) Through Field Survey. *Turkish Journal of Agriculture Food Science and Technology*. 13(1), 118–127. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v13i1.118-127.6888>