

PENGARUH APLIKASI BIOCHAR DIPERKAYA BAKTERI PELARUT FOSFAT TERHADAP KETERSEDIAAN P PADA ANDISOL DAN ULTISOL

SRI INTAN AINDO



**PROGRAM STUDI ILMU TANAH
FAKULTAS PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Pengaruh Aplikasi Biochar diperkaya Bakteri Pelarut Fosfat terhadap Ketersediaan P pada Andisol dan Ultisol” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2026

Sri Intan Aindo
A1501231013

RINGKASAN

SRI INTAN AINDO. Pengaruh Aplikasi Biochar diperkaya Bakteri Pelarut Fosfat terhadap Ketersediaan P pada Andisol dan Ultisol. Dibimbing oleh RAHAYU WIDYASTUTI dan DARMAWAN

Fosfor (P) merupakan unsur hara esensial yang berperan penting dalam berbagai proses fisiologis tanaman. Namun, ketersediaan P di dalam tanah umumnya rendah karena sebagian besar fosfor terfiksasi oleh mineral tanah sehingga tidak dapat diserap oleh tanaman. Kondisi ini banyak ditemukan pada Andisol dan Ultisol. Pada Andisol, fosfor terjerap kuat oleh mineral amorf seperti alofan dan imogolit, sedangkan pada Ultisol fosfor terikat oleh aluminium (Al) dan besi (Fe) membentuk senyawa yang sukar larut. Salah satu alternatif untuk meningkatkan ketersediaan P adalah pemanfaatan bakteri pelarut fosfat (BPF), yang mampu melarutkan fosfat tidak tersedia melalui produksi asam organik dan enzim fosfatase. Akan tetapi, efektivitas BPF di lapangan sering terkendala oleh rendahnya viabilitas bakteri setelah diaplikasikan ke tanah. Oleh karena itu, diperlukan bahan pembawa (*carrier*) yang mampu mempertahankan kelangsungan hidup dan aktivitas BPF. Biochar memiliki karakteristik fisik dan kimia yang mendukung kehidupan mikroba sehingga berpotensi digunakan sebagai *carrier* BPF. Pemanfaatan biochar berbahan baku bambu dan limbah ekstrak bromelin (LEB) juga mendukung konsep pengelolaan limbah yang berkelanjutan.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari kemampuan biochar berbahan baku bambu dan limbah ekstrak bromelin (LEB) sebagai *carrier* dalam mempertahankan viabilitas dan aktivitas BPF dan kemampuan biochar yang diperkaya BPF dalam meningkatkan ketersediaan fosfor (P) pada Andisol dan Ultisol. Lebih lanjut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak peningkatan ketersediaan P akibat aplikasi biochar diperkaya BPF dan pertumbuhan tanaman. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah bagi pengembangan teknologi *biofertilizer* berbasis biochar dan BPF yang adaptif, efisien, dan berkelanjutan pada tanah dengan ketersediaan P rendah.

Penelitian dilaksanakan dari Agustus 2024 hingga Juli 2025 dan terdiri atas percobaan laboratorium serta percobaan rumah kaca. Tahap laboratorium meliputi isolasi BPF dari rhizosfer tanaman kacang panjang, uji patogenitas, identifikasi molekuler berbasis gen 16S rRNA, pengujian kemampuan kelarutan fosfat, inokulasi BPF pada biochar bambu dan biochar LEB, pengujian viabilitas bakteri selama penyimpanan, serta pengujian kemampuan kelarutan fosfat pada media Pikovskaya. Tahap rumah kaca menggunakan rancangan acak kelompok faktorial dengan tiga faktor, yaitu jenis biochar, jenis tanah (Andisol dan Ultisol), serta dosis pupuk anorganik (0%, 50%, dan 100% dosis rekomendasi). Parameter yang diamati meliputi populasi BPF, P-tersedia tanah, tinggi tanaman, jumlah daun, dan berat kering tanaman sawi. Data dianalisis menggunakan ANOVA dan uji lanjut DMRT pada taraf 5%.

Hasil isolasi menghasilkan tiga isolat bakteri pelarut fosfat, yaitu *Burkholderia territorii* SS27, *Bacillus* sp. VPS11, dan *Burkholderia multivorans*

APB. Ketiga isolat menunjukkan hasil negatif pada uji hipersensitivitas dan hemolisis, sehingga dinyatakan aman untuk aplikasi pertanian. Uji kuantitatif menunjukkan bahwa *Burkholderia multivorans* APB memiliki kemampuan pelarutan fosfat tertinggi sebesar 597,14 ppm.

Pengujian viabilitas menunjukkan bahwa biochar bambu dan biochar LEB mampu mempertahankan populasi BPF hingga delapan minggu penyimpanan. Viabilitas tertinggi terjadi pada minggu kedua, kemudian menurun secara bertahap hingga minggu kedelapan. Biochar bambu secara umum lebih efektif mempertahankan populasi bakteri dibandingkan biochar LEB, diduga karena memiliki porositas dan luas permukaan yang lebih tinggi. Pada akhir masa penyimpanan, *Bacillus* sp. VPS11 menunjukkan viabilitas tertinggi yang berkaitan dengan kemampuannya membentuk endospora. Pengujian kemampuan pelarutan fosfat pada biochar menunjukkan bahwa kombinasi biochar dan BPF secara nyata meningkatkan konsentrasi fosfat terlarut dibandingkan kontrol. Perlakuan terbaik diperoleh pada biochar LEB yang diinokulasi *Burkholderia multivorans* APB dengan nilai P-terlarut sebesar 158,42 ppm. Namun, *Bacillus* sp. dipilih untuk percobaan rumah kaca karena memiliki stabilitas dan daya tahan yang lebih baik sebagai inokulan.

Pada percobaan rumah kaca, aplikasi biochar diperkaya *Bacillus* sp. meningkatkan pertumbuhan tanaman sawi, terutama pada tinggi tanaman dan jumlah daun. Perlakuan biochar LEB memberikan respons pertumbuhan terbaik dibandingkan biochar bambu dan kontrol. Selain itu, aplikasi biochar diperkaya *Bacillus* sp. mampu meningkatkan populasi BPF dan ketersediaan fosfor di tanah. Jenis tanah berpengaruh nyata terhadap berat kering tanaman, di mana Ultisol menghasilkan berat kering lebih tinggi dibandingkan Andisol. Sebaliknya, dosis pupuk anorganik tidak berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan tanaman, yang mengindikasikan bahwa biochar terinokulasi BPF telah mampu menyediakan fosfor dalam jumlah yang mencukupi bagi tanaman.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa biochar bambu dan limbah ekstrak bromelin berpotensi digunakan sebagai *carrier* BPF yang efektif. Kombinasi biochar dan BPF mampu meningkatkan viabilitas bakteri, ketersediaan fosfor tanah, serta pertumbuhan tanaman, sehingga berpotensi dikembangkan sebagai teknologi pupuk hayati yang ramah lingkungan dan berkelanjutan untuk tanah dengan tingkat fiksasi fosfor yang tinggi.

Kata kunci: Andisol, Bakteri Pelarut P, Biochar, Fosfor tersedia, Ultisol

SUMMARY

SRI INTAN AINDO. Effect of Biochar Enriched with Phosphate-Solubilizing Bacteria on Phosphorus Availability in Andisols and Ultisols. Supervised by RAHAYU WIDYASTUTI and DARMAWAN.

Phosphorus (P) is an essential nutrient that plays a crucial role in various plant physiological processes. However, P availability in soils is generally low because most phosphorus is fixed by soil minerals and therefore cannot be absorbed by plants. This condition is commonly found in Andisols and Ultisols. In Andisols, phosphorus is strongly adsorbed by amorphous minerals such as allophane and imogolite, whereas in Ultisols, phosphorus is bound to aluminum (Al) and iron (Fe), forming sparingly soluble compounds. One alternative approach to increase P availability is the utilization of phosphate-solubilizing bacteria (PSB), which are capable of solubilizing unavailable phosphate through the production of organic acids and phosphatase enzymes. However, the effectiveness of PSB under field conditions is often constrained by their low viability after application to the soil. Therefore, a carrier material capable of maintaining the survival and activity of PSB is required. Biochar possesses physical and chemical characteristics that support microbial life, making it a promising carrier for PSB. The utilization of biochar produced from bamboo waste and bromelain extraction waste (BEW) also supports the concept of sustainable waste management.

This study aimed to evaluate the ability of biochar derived from bamboo waste and bromelain extraction waste (BEW) to serve as a carrier for maintaining the viability and activity of phosphate-solubilizing bacteria (PSB), as well as to assess the effectiveness of PSB-enriched biochar in increasing phosphorus availability in Andisols and Ultisols. Furthermore, this study aimed to analyze the effects of enhanced phosphorus availability resulting from the application of PSB-enriched biochar on soil phosphorus status and plant growth. Therefore, this study is expected to provide a scientific basis for the development of adaptive, efficient, and sustainable biochar- and PSB-based biofertilizer technology for soils with low phosphorus availability.

The study was conducted from August 2024 to July 2025 and consisted of laboratory and greenhouse experiments. The laboratory phase included the isolation of PSB from the rhizosphere of yardlong bean plants, pathogenicity testing, molecular identification based on the 16S rRNA gene, phosphate-solubilization assays, inoculation of PSB into bamboo biochar and BEW biochar, evaluation of bacterial viability during storage, and assessment of phosphate-solubilization activity in Pikovskaya medium. The greenhouse experiment was arranged in a factorial randomized complete block design with three factors: biochar type, soil type (Andisol and Ultisol), and inorganic fertilizer rates (0%, 50%, and 100% of the recommended dose). The observed parameters included PSB population, soil available P, plant height, leaf number, and plant biomass. Data were analyzed using analysis of variance (ANOVA), followed by Duncan's Multiple Range Test (DMRT) at the 5% significance level. vi

The isolation process yielded three phosphate-solubilizing bacterial isolates, namely *Burkholderia territorii* SS27, *Bacillus* sp. VPS11, and *Burkholderia multivorans* APB. All isolates showed negative results in hypersensitivity and



hemolysis tests, indicating that they were safe for agricultural application. Quantitative phosphate-solubilization assays revealed that *Burkholderia multivorans* APB exhibited the highest phosphate-solubilizing ability, reaching 597.14 ppm.

The viability assessment demonstrated that both bamboo biochar and BEW biochar were able to maintain PSB populations for up to eight weeks of storage. The highest viability was observed at the second week and then gradually declined until the eighth week. In general, bamboo biochar was more effective in maintaining bacterial populations than BEW biochar, presumably due to its higher porosity and larger surface area. At the end of the storage period, *Bacillus* sp. VPS11 exhibited the highest viability, which was associated with its ability to form endospores. The phosphate-solubilization assay using biochar-based carriers showed that the combination of biochar and PSB significantly increased soluble phosphate concentrations compared with the control. The highest soluble P concentration (158.42 ppm) was obtained from BEW biochar inoculated with *Burkholderia multivorans* APB. However, *Bacillus* sp. was selected for the greenhouse experiment because of its greater stability and persistence as an inoculant.

In the greenhouse experiment, the application of biochar inoculated with *Bacillus* sp. improved the growth of mustard greens (*Brassica juncea* L.), particularly plant height and leaf number. BEW biochar produced the best growth response compared with bamboo biochar and the control treatment. In addition, the application of PSB-inoculated biochar increased both PSB populations and soil phosphorus availability. Soil type significantly affected plant dry weight, with Ultisol producing greater dry weight than Andisol. In contrast, inorganic fertilizer rates did not significantly affect plant growth, indicating that PSB-inoculated biochar was able to supply sufficient phosphorus for plant growth.

Overall, the results demonstrated that biochar derived from bamboo waste and bromelain extraction waste has considerable potential as an effective carrier for phosphate-solubilizing bacteria. The combination of biochar and PSB enhanced bacterial viability, soil phosphorus availability, and plant growth, suggesting its potential for development as an environmentally friendly and sustainable biofertilizer technology for soils with high phosphorus fixation capacity.

Keywords: Andisol, available phosphorus, biochar, phosphate-solubilizing bacteria, Ultisol.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

PENGARUH APLIKASI BIOCHAR DIPERKAYA BAKTERI PELARUT FOSFAT TERHADAP KETERSEDIAAN P PADA ANDISOL DAN ULTISOL

SRI INTAN AINDO

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Sains pada
Program Studi Ilmu Tanah

**PROGRAM STUDI ILMU TANAH
FAKULTAS PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**

@Hak cipta milik IPB University

IPB University





@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Penguji pada Ujian Tesis:
Dr.Ir. R.A Dyah Tjahyandari Suryaningtyas M. Appl. Sc

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

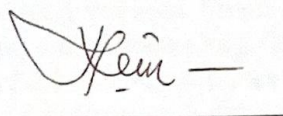
Judul Tesis : Pengaruh Aplikasi Biochar diperkaya Bakteri Pelarut Fosfat terhadap Ketersediaan P pada Andisol dan Ultisol

Nama : Sri Intan Aindo

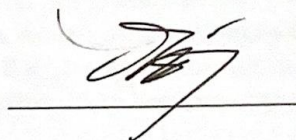
NIM : A1501231013

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Dr. Dra. Rahayu Widyastuti, M.Sc., Agr



Pembimbing 2:
Dr. Ir. Darmawan, M.Sc



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Dr. Ir. Darmawan, M.Sc
NIP. 196311031990021001



Dekan Fakultas Pertanian:
Prof. Dr. Ir. Suryo Wiyono, M.Sc., Agr
NIP: 196902121992031003




Tanggal Ujian: 26 Juni 2026

Tanggal lulus: 29 JUL 2026



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Juli 2024 hingga Agustus 2025, berjudul “Pengaruh Aplikasi Biochar diperkaya Bakteri Pelarut Fosfat terhadap Ketersediaan P pada Andisol dan Ultisol”.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada dosen pembimbing Dr. Dra. Rahayu Widyastuti, M.Sc., Agr dan Dr. Ir. Darmawan, M.Sc atas bimbingan dan saran berharga yang telah diberikan selama penyusunan tesis ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada moderator seminar dan penguji luar komisi pembimbing yang telah memberikan masukan berharga. Penulis juga menyampaikan rasa terima kasih kepada staf Laboratorium Bioteknologi Tanah, Laboratorium Kimia dan Kesuburan Tanah IPB serta Pengelola Rumah Kaca Ilmu Tanah tempat dilaksanakannya penelitian ini, atas dukungan dan bantuannya selama proses penelitian dan pengumpulan data. Tidak lupa, penulis mengucapkan terima kasih kepada teman-teman seangkatan dan seperjuangan yang telah memberikan bantuan serta dukungan selama pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih yang tulus juga disampaikan kepada Ibu, Bapak, serta seluruh keluarga besar yang selalu memberikan dukungan, motivasi, doa, dan kasih sayangnya.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2026

Sri Intan Aindo



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Hipotesis Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Biochar.....	4
2.2 Mekanisme Pelarutan Fosfat oleh Bakteri	4
III. METODOLOGI PENELITIAN	6
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	6
3.2 Alat dan Bahan.....	6
3.3. Tahapan Penelitian.....	7
3.4 Percobaan Laboratorium.....	7
3.5 Percobaan Rumah Kaca	10
3.6 Analisis Data	11
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	12
4.1. Isolasi Bakteri Pelarut Fosfat	12
4.2. Uji Patogenitas Bakteri Pelarut Fosfat.....	13
4.3. Identifikasi Molekuler Isolat Bakteri Pelarut Fosfat.....	14
4.4. Uji Kuantitatif Kemampuan Bakteri Pelarut Fosfat.....	15
4.5 Viabilitas Bakteri Pelarut Fosfat dalam Biochar.....	16
4.6 Uji Kemampuan Biochar diperkaya BPF pada 2 Minggu Waktu Inkubasi .	18
4.7 Pengaruh Biochar diperkaya <i>Bacillus sp.</i> terhadap Populasi BPF pada Andisol dan Ultisol	20
4.8 Pengaruh Biochar diperkaya <i>Bacillus sp.</i> terhadap P- Tersedia Tanah	21
4.9 Pengaruh Biochar diperkaya <i>Bacillus sp.</i> terhadap Pertumbuhan Sawi	23
V. PENUTUP.....	26
5.1. Kesimpulan	26
5.2. Saran	26

DAFTAR PUSTAKA	27
LAMPIRAN	31
RIWAYAT HIDUP	41

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University



DAFTAR TABEL

1.	Rincian kombinasi percobaan laboratorium	9
2.	Rincian kombinasi percobaan rumah kaca	11
3.	Morfologi koloni bakteri yang diisolasi dari kebun pendidikan Cikabayan, IPB	13
4.	Uji hipersensitivitas dan uji hemolisis Isolat bakteri pelarut fosfat	14
5.	Perbandingan sekuens 16S rRNA dan homologi isolat BPF dengan strain lain pada Gene Bank NCBI	15
6.	Populasi BPF dan kemampuannya melarutkan fosfat	16
7.	Populasi BPF $\times 10^7$ CFU g^{-1} pada bahan pembawa biochar	17
8.	Uji kemampuan BPF di bahan pembawa biochar pada 2 minggu waktu inkubasi	19
9.	Pengaruh biochar diperkaya <i>Bacillus sp.</i> terhadap populasi BPF $\times 10^7$ CFU g^{-1} pada <i>rhizosfer</i> tanaman sawi umur 4 minggu	20
10	Pengaruh biochar diperkaya <i>Bacillus sp.</i> P-tersedia sampel tanah <i>rhizosfer</i> tanaman sawi umur 4 minggu	21

DAFTAR GAMBAR

1.	Diagram alur penelitian	7
2.	Bakteri pelarut fosfat yang diisolasi dari <i>rhizosfer</i> tanaman kacang Panjang	12
3.	Uji hipersensitivitas isolat bakteri pelarut fosfat pada daun tembakau	13
4.	Uji hemolisis isolat bakteri pelarut fosfat pada media <i>blood</i> agar	14
5.	Pohon filogenetik yang direkonstruksi menggunakan metode minimum-likelihood Mega 11 (1000x bootstrap)	15
6.	Pengaruh biochar dan jenis tanah terhadap tinggi tanaman Sawi	23
7.	Pengaruh biochar dan jenis tanah terhadap jumlah daun tanaman Sawi	24
8.	Pengaruh jenis tanah terhadap berat kering tanaman Sawi	24

DAFTAR LAMPIRAN

1.	Perhitungan kebutuhan tanah polibag	32
2.	Rekomendasi perhitungan pupuk anorganik	33
3.	Hasil analisis anova dan duncan's multiple range test	33