



IMPLEMENTASI TEKNOLOGI *SLOW-RELEASE FERTILIZER* PADA USAHATANI TEMBAKAU KELOMPOK TANI MAMMINASA DECENG DI KABUPATEN SOPPENG

Sukmawati^{*1)}, Bahruddin²⁾, Suherman¹⁾, Iradhatullah Rahim¹⁾, Nur Hapsa³⁾, Sri Nur Qadri¹⁾, Syamsiar Zamzam¹⁾, Irmayani⁴⁾, Munir⁴⁾, Rahmawati Semaun⁴⁾, Edi Kurniawan³⁾, Abd Rahim³⁾, Ramlayani¹⁾, Sukardi¹⁾, Abdullah¹⁾, dan Sarina¹⁾

*e-mail: sukmaarsyil1976@gmail.com.

¹⁾ Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Peternakan, Perikanan, Universitas Muhammadiyah Parepare, Kota Parepare, Sulawesi Selatan, 91111.

²⁾ Program Studi Manajemen, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Muhammadiyah Parepare, Kota Parepare, Sulawesi Selatan, 91111.

³⁾ Program Studi Agribisnis, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Muhammadiyah Parepare, Kota Parepare, Sulawesi Selatan, 91111.

⁴⁾ Program Studi Peternakan, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Muhammadiyah Parepare, Kota Parepare, Sulawesi Selatan, 91111.

Diserahkan tanggal 12 November 2024, disetujui tanggal 20 Januari 2025

ABSTRAK

Peningkatan retensi nitrogen pada lahan tembakau merupakan strategi penting peningkatan mutu dan produksi tembakau. Pupuk *slow release* dari biochar sumber nitrogen dari pupuk kimia, urin sapi dan bakteri diyakini mampu meningkatkan retensi nitrogen dan efisien serapan hara. Oleh karena itu kegiatan ini bertujuan untuk mengimplementasikan penggunaan pupuk *slow release* pada budidaya tembakau. Metode pelaksanaan kegiatan meliputi: 1) penyuluhan penggunaan bahan pembenah tanah; 2) pendampingan produksi pupuk *slow release*; 3) pendampingan pembibitan tembakau standar SNI; 4) demplot penerapan GAP pada budidaya tembakau; dan 5) pemantauan aplikasi pupuk *slow release* dan pertumbuhan tanaman. Hasil kegiatan menunjukkan partisipasi aktif petani dari 2 kelompok tani yakni Mamminasa Deceng dan Alemarajae serta perwakilan dari GAPOKTAN Ujung Rilau, dimana berhasil diproduksi pupuk *slow release* sebanyak tiga formula, yakni 1) Biochar + SP36; 2) Biochar + SP36 + urin sapi; dan 3) Biochar + SP36 + urin sapi + Azotobacter. Keempat formulasi pupuk telah distandarisasi oleh lembaga sertifikasi karbon internasional Biochar Life, sehingga dapat direkomendasikan untuk diterapkan di lahan pertanian khususnya lahan tembakau.

Kata kunci: Bina desa, retensi nitrogen, efisiensi serapan hara, produktivitas.

ABSTRACT

Increasing nitrogen retention in tobacco fields is an important strategy to improve tobacco quality and production. Slow-release fertilizer from biochar, a source of nitrogen from chemical fertilizers, cow urine and bacteria, is believed to be able to increase nitrogen retention and efficient nutrient absorption. Therefore, this activity aims to implement the use of slow-release fertilizer in tobacco cultivation. The implementation methods of the activity include: 1) counseling on the use of soil



Sukmawati, Bahruddin, Suherman, Iradhatullah Rahim, Nur Hapsa, Sri Nur Qadri, Syamsiar Zamzam, Irmayani, Munir, Rahmawati Semaun, Edi Kurniawan, Abd. Rahim, Ramlayani, Sukardi, Abdullah, dan Sarina: *Implementasi Teknologi Slow-Release Fertilizer pada Usahatani Tembakau Kelompok Tani Mamminasa Deceng di Kabupaten Soppeng.*

conditioners; 2) assistance in the production of slow-release fertilizers; 3) assistance in the production of SNI standard tobacco; 4) demonstration plots for the application of GAP in tobacco cultivation and; 5) monitoring the application of slow-release fertilizers and plant growth. The results of the activity showed the active participation of farmers from 2 farmer groups, namely Mamminasa Deceng and Alemarajae, and representatives from GAPOKTAN Ujung Rilau, where three formulas of slow-release fertilizers were successfully produced, namely 1) Biochar + SP36; 2) Biochar + SP36 + Cow urine; and 3) Biochar + SP36 + Cow urine + Azotobacter. The four fertilizer formulations have been standardized by the international carbon certification body Biochar Life so that they can be recommended for application on agricultural land, especially tobacco land.

Keywords: *Village development, nitrogen retention, nutrient uptake efficiency, productivity.*

PENDAHULUAN

Kabupaten Soppeng memiliki masalah pengembangan tembakau yang merupakan komoditas unggulan daerah. Luas panen tembakau mengalami penurunan secara signifikan dari 118 ha pada tahun 2022 menjadi 99,70 ha (BPS, 2024). Hal ini mempengaruhi jumlah produksi sebesar 131,49 ton dan hanya berkontribusi sebesar 9% total produksi tembakau di Sulawesi Selatan. Walaupun demikian, tanaman tembakau merupakan sektor basis dengan produktivitas cukup tinggi yakni 1,31 ton/ha melebihi produktivitas tembakau nasional (1,1 ton/ha). Hanya saja, jangkauan pemasaran masih sempit terbatas pada pasar lokal dan belum masuk pasar industri. Hal ini disebabkan karena kualitas maupun kuantitas belum memenuhi standar industri.

Kondisi ini berdampak pada jumlah petani yang membudidayakan tembakau semakin berkurang, sementara kondisi lahan semakin rusak sangat menghambat produktivitas tem-

bakau sehingga berdampak pada perekonomian dan kesejahteraan petani.

Tanaman tembakau membutuhkan nitrogen dalam jumlah yang tinggi, sehingga retensi nitrogen tanah sangat penting untuk menjamin efisiensi pemupukan dan produktivitas tanaman. Nitrogen masuk ke dalam struktur semua protein, klorofil dan enzim yang terakumulasi dalam daun, sehingga secara langsung mempengaruhi hasil dan kualitas tembakau (Kurt & Kinay, 2021). Selain itu hara mikro seperti boron (B), mangan (Mn), molibdenum (Mo), nikel (Ni), Cu, Fe, dan Zn sangat penting untuk produksi dan kualitas daun tembakau (Lisuma et al., 2021) dimana C-organik mengubah mikronutrien menjadi bentuk yang tersedia bagi tanaman. Hasil dan kualitas daun tembakau sangat dipengaruhi oleh kelembaban tanah (Kurt & Kinay, 2021).

Beberapa penelitian melaporkan tentang pupuk *slow-release* berbasis biochar, diantaranya: meningkatkan waktu dan laju pelepasan N di lingkungan air dan tanah (Cen & Wei,

2021) dapat menggantikan pupuk kimia tanpa mengurangi hasil panen (Sepúlveda et al., 2021) mengurangi emisi N₂O tanah (Zhou et al., 2021; Rasse et al., 2022). Biochar merupakan bahan adsorben atau pembawa untuk menghasilkan pupuk *slow-release* berbasis karbon (Pang et al., 2018). Karena memiliki karakteristik potensial seperti luas permukaan yang besar, mikromorfologi berpori, struktur grafit, dan gugus fungsional yang banyak (Ahmad et al., 2014; Wang et al., 2021). Biochar, yang ditandai dengan luas permukaan dan porositas spesifik yang tinggi serta adanya berbagai gugus fungsi, dapat menjadi matriks yang sangat baik untuk membuat pupuk yang melepaskan unsur hara secara perlahan (pupuk lepas lambat dan pupuk lepas terkendali) (Oleszczuk, 2022). Namun, biochar murni memiliki keterbatasan meretensi nutrisi, terutama nitrogen, sehingga memodifikasi biochar sangat penting untuk meningkatkan kualitas pupuk (Wang et al., 2022; Korsmeyer-peppas, 2023).

Aktivasi permukaan biochar melalui pengayaan bakteri penghasil alginat meningkatkan kemampuannya meretensi hara dan air (Sukmawati, et al., 2020). Mekanisme yang terjadi adalah bakteri penghasil alginat dapat meningkatkan fiksasi nitrogen (Sukmawati, et al., 2020; Nosrati et al., 2012a; Contreras-abara et al., 2023) dengan memberi perlindungan terhadap kerusakan enzim nitrogenase dari kekerigan (Goh et al., 2012; Nosrati et al., 2012a) dan peningkatan kelembaban tanah (Nasser, et al., 2008). Melalui reaksi kimia,

gugus karboksilat alginat bermuatan negatif berikatan dengan ion positif (Noviyanti, n.d.) sehingga mampu mengikat makronutrien seperti Cu, Mn, Mg, Fe, Ca (Costa et al., 2018; Davis et al., 2003) dan memperkuat daya ikat tanah liat agar tidak terdispersi (Barreca et al., 2014) sehingga berpotensi mengurangi input kimia dalam bidang pertanian (Etesami & Maheshwari, 2018). Azotobacter merupakan bakteri Gram Negatif yang mampu menghasilkan alginat (Nosrati et al., 2012b).

Oleh karena itu kegiatan ini bertujuan untuk mengimplementasikan penggunaan pupuk *slow-release* dari biochar tongkol jagung yang diperkaya Azotobacter dengan sumber nitrogen dari urin sapi untuk optimalisasi lahan tembakau kelompok tani Maminasa Deceng dalam meningkatkan mutu dan produksi tembakau.

METODE PELAKSANAAN

A. Lokasi dan Partisipan Kegiatan.

Lokasi Pemberdayaan Kegiatan Masyarakat dilaksanakan di Desa Parenring Kecamatan Lirilau Kabupaten Soppeng Sulawesi Selatan. Partisipan yang terlibat adalah Kelompok Tani Mamminasa Deceng (15 orang), Kelompok Tani Alemarajae (15 orang), perwakilan Gapoktan Ujung Rilau (5 orang), empat mahasiswa MBKM Bina Desa Prodi Agroteknologi Universitas Muhammadiyah Parepare (UMPAR), serta sebelas orang Dosen dari Fakultas Pertanian, Peternakan dan Perikanan UMPAR.

Sukmawati, Bahruddin, Suherman, Iradhatullah Rahim, Nur Hapsa, Sri Nur Qadri, Syamsiar Zamzam, Irmayani, Munir, Rahmawati Semaun, Edi Kurniawan, Abd. Rahim, Ramlayani, Sukardi, Abdullah, dan Sarina: Implementasi Teknologi Slow-Release Fertilizer pada Usahatani Tembakau Kelompok Tani Mamminasa Deceng di Kabupaten Soppeng.

B. Metode Pelaksanaan.

Pelaksanaan Program PKM dibagi atas lima tahapan kegiatan yakni 1) Penyuluhan penggunaan biochar sebagai bahan pembenah tanah; 2) Pendampingan produksi pupuk slowrelase untuk tembakau; 3) Pendampingan pembibitan standar SNI; 4) Demplot penarapan *Good Agriculture Practice* (GAP) pada budidaya tembakau dan; 5) Pemantauan aplikasi pupuk *slow relase* dan pertumbuhan tanaman tembakau. Kegiatan PKM ini melibatkan empat mahasiswa aktif prodi Agroteknologi dalam bentuk MBKM Binadesa yang mengkonversi kegiatan KKN dan Penelitian, sebagai salah satu strategi percepatan penyelesaian mahasiswa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Profil Mitra.

Mitra penerima manfaat pada kegiatan ini adalah Kelompok Tani Mamminasa Deceng Desa Parenring, Kecamatan Lilirilau, Kabupaten Soppeng, Sulawesi Selatan. Kelompok tani ini memiliki anggota sebanyak 75 orang dengan luas lahan 103 ha. Rata-rata anggota

kelompok tani memiliki lahan seluas 1-2 ha yang digarap sendiri. Lahan yang dimiliki merupakan lahan kering dengan topografi miring (Gambar 1). Kelompok tani ini melaksanakan usaha tani tembakau pada musim kemarau setelah penanaman jagung.

B. Sosialisasi Penggunaan Bahan Pembenah Tanah.

Sosialisasi penggunaan bahan pembenah tanah merupakan tahap awal kegiatan yang dirangkaikan dengan penyuluhan penggunaan biochar sebagai bahan pembenah tanah. Kegiatan ini melibatkan berbagai pihak diantaranya: 1) Pemerintah Desa Parenring; 2) Balai Penyuluh Pertanian Kecamatan Lilirilau 3) Gapoktan Ujung Rilau dan Kelompok Tani Mamminasa Deceng. Materi pada kegiatan ini adalah pentingnya peningkatan bahan organik tanah dalam meningkatkan kemampuan tanah menyimpan air. Dalam kegiatan ini dipaparkan juga Biochar sebagai sumber karbon yang stabil sebagai bahan pembenah tanah, serta pemanfaatan limbah tongkol jagung sebagai bahan baku biochar (Gambar 2).



Gambar 1. Kondisi fisik lahan dan pertanaman tembakau Kelompok Tani Maminasa Deceng.



Gambar 2. Penyuluhan penggunaan bahan pembenah tanah bersama mitra kelompok tani (atas), sosialisasi penggunaan biochar di lahan pertanian bersama mitra Biochar Life (mitra trading karbon) kepada pemerintah Daerah Kabupaten Soppeng (bawah).

C. Pembuatan Pupuk *Slow-release*.

Kegiatan pendampingan pembuatan pupuk *slow-release* melibatkan Kelompok Tani Mamminasa Deceng sebanyak 15 orang. Kegiatan dibagi dalam tiga kelompok produksi yang melibatkan 5 anggota kelompok tani.

Pembuatan pupuk *slow-release* diperuntukkan untuk tanaman tembakau (Gambar 3). Pupuk *slow-release* dibuat dalam tiga formulasi, yakni: Biochar + SP36; Biochar + SP36 + urin Sapi; dan Biochar + SP36 + Urin sapi + Azotobacter.



Gambar 3. Pendampingan produksi pupuk *slow-release* dari biochar tongkol jagung.

Sukmawati, Bahruddin, Suherman, Iradhatullah Rahim, Nur Hapsa, Sri Nur Qadri, Syamsiar Zamzam, Irmayani, Munir, Rahmawati Semaun, Edi Kurniawan, Abd. Rahim, Ramlayani, Sukardi, Abdullah, dan Sarina: Implementasi Teknologi Slow-Release Fertilizer pada Usahatani Tembakau Kelompok Tani Mamminasa Deceng di Kabupaten Soppeng.

D. Pembibitan Tembakau Standar SNI.

Pembibitan tembakau melibatkan perwakilan dari Gapoktan Ujung Rilau sebanyak 25 orang. Standar SNI pembibitan tembakau yang diadopsi adalah penggunaan bibit tembakau nasional yang bersertifikat. Ada tiga varietas yang digunakan yakni Pranca, Paiton, dan Jinten. Benih tembakau diperoleh dari Balai Penelitian Serat dan pemanis Malang. Penggunaan bahan organik kaya karbon dari biochar diperkaya mikoriza. Lahan pembibitan dibuat dalam bentuk bedengan dengan ukuran 1 x 1,5 meter. Sebelum dibuat bedengan, lahan digemburkan menggunakan kultivator

mini. Selanjutnya tanah dicampur dengan biochar yang sudah diperkaya dengan mikoriza dan SP36 sebanyak 20 kg per bedengan. Proses pembibitan dilakukan setelah 7 hari aplikasi biochar. Proses pembibitan dimulai dengan perendaman ketiga varietas tembakau kedalam air hangat, larutan bakteri dan biohumic. Selanjutnya penyemaian dilakukan dengan teknik penyemprotan benih agar merata dipermukaan bedengan kemudian ditutup dengan serbuk gergaji. Penyiraman dilakukan pagi dan sore hari untuk menjaga kelembaban tanah (Gambar 4).



Gambar 4. Proses perendaman benih tembakau, pembuatan bedengan untuk pembibitan (atas). Pendampingan pembibitan kepada petani dan pelibatan mahasiswa Prodi Agroteknologi (bawah).

E. Demplot Penerapan GAP Budidaya Tembakau.

Penerapan GAP dalam bentuk demplot budidaya tembakau meliputi: Pengolahan ta-

nah dengan menggunakan kultivator mini untuk meningkatkan aerasi tanah, penggunaan biochar untuk meningkatkan kandungan bahan organik tanah, Penggunaan mulsa

untuk mengurangi evaporasi dan pertumbuhan gulma, penggunaan pupuk *slow-release* dan biohumic untuk efisiensi serapan nitrogen dan pemberantasan hama penyakit.

Budidaya tembakau dibuat dalam bentuk demplot pada lahan seluas 15 x 25 meter pada lahan tembakau milik kelompok tani (Gambar 5). Untuk demplot penggunaan mulsa dibagi atas dua belas bedengan sesuai dengan formulasi pupuk *slow-release* yang diaplikasi untuk tembakau. Hal ini bertujuan untuk memberikan beberapa alternatif formula pupuk *slow-release* berdasarkan kemampuan petani. Dalam hal ini, semua formula pupuk distandarisasi dan diverifikasi oleh mitra sertifikasi karbon dari Biochar Life dari Singapura. Selanjutnya kegiatan ini diaudit

dan dipantau oleh lembaga audit internasional CERES yang berbasis di Jerman. Bedengan dibuat dengan ukuran 1 x 25 meter. Sebelumnya digemburkan menggunakan kultivator mini. Penggunaan biochar sebagai bahan pembenah tanah diformulasi menggunakan biochar dari tongkol jagung dan SP36 sebanyak 5 karung setara dengan 100 kg biochar. Jumlah ini berdasarkan pada BD tanah (2,4 g/g tanah). Penambahan nutrisi ke dalam matriks biochar sangat penting agar biochar tidak menyerap nutrisi yang berada di dalam tanah. Bedengan yang sudah siap kemudian disiram dan ditutup menggunakan mulsa plastik. Penanaman tembakau dilakukan setelah 7 hari aplikasi pupuk dasar.



Gambar 5. Demplot budidaya tembakau

F. Pemantauan Penerapan Pupuk *Slow-release*.

Program Pemberdayaan Kemitraan Masyarakat melibatkan lembaga sertifikasi karbon internasional Biochar life dan lembaga audit internasional CERES. Hal ini dilakukan untuk memonitoring aplikasi biochar sebagai pupuk *slow-release* yang harus dosisnya sesuai

dengan jenis tanaman. Selain itu, menjadi salah satu syarat untuk memperoleh kredit karbon, dimana biochar yang diproduksi petani kemudian diaplikasi di lahan tembakau sebagai pupuk *slow-release* memenuhi standar perdagangan karbon dalam kredit karbon eq.CO₂.

Sukmawati, Bahruddin, Suherman, Iradhatullah Rahim, Nur Hapsa, Sri Nur Qadri, Syamsiar Zamzam, Irmayani, Munir, Rahmawati Semaun, Edi Kurniawan, Abd. Rahim, Ramlayani, Sukardi, Abdullah, dan Sarina: Implementasi Teknologi Slow-Release Fertilizer pada Usahatani Tembakau Kelompok Tani Mamminasa Deceng di Kabupaten Soppeng.



Gambar 6. Pemantau aplikasi pupuk *slow-release* oleh lembaga sertifikasi karbon Biochar Life dan Lembaga Audit Internasional CERES.

SIMPULAN

Penerapan pupuk *slow-release* pada usaha tani tembakau mengurangi penggunaan pupuk kimia, dan berpotensi meningkatkan serapan nitrogen. Dimana pupuk *slow-release* dibuat dari biochar yang diperkaya dengan urin sapi dan Azotobakter. Selain itu, kegiatan ini mendapat sambutan positif dari petani, dimana mereka menggunakan pupuk *slow-release* ini secara mandiri di lahan tembakau. Kegiatan ini juga memperoleh apresiasi dari pemerintah kabupaten untuk diterapkan pada wilayah yang lebih luas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kegiatan ini merupakan Program Pemberdayaan Kemitraan Masyarakat yang didanai oleh KEMENDIKBUD. Kegiatan ini juga didukung oleh Rektor UMPAR, LPPM dan FAPETRIK. Terima kasih Kepada Kelompok Tani Mamminasa Deceng, Pemerintah Desa Parenring, Dinas TPHPKP kabupaten Soppeng, Biochar Life Singapura, dan CERES.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, M., Rajapaksha, A. U., Lim, J. E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., Vithanage, M., Lee, S. S., & Ok, Y. S. (2014). Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review. In *Chemosphere*. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.10.071>
- Barreca, S., Orecchio, S., & Pace, A. (2014). The effect of montmorillonite clay in alginate gel beads for polychlorinated biphenyl adsorption: Isothermal and kinetic studies. *Applied Clay Science*, 99, 220–228. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2014.06.037>
- BPS, S. (2024). Katalog/Catalog : 1102001.7312.
- Cen, Z., & Wei, L. (2021). Assessment of a Biochar-Based Controlled Release Nitrogen Fertilizer Coated with Polylactic Acid Assessment of a Biochar-Based Controlled Release Nitrogen Fertilizer Coated with Polylactic Acid. May. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00497-x>
- Contreras-abara, P., Castillo, T., Urtuvia, V., & Peña, C. (2023). Continuous Bioproduction of Alginate Bacterial under

- Nitrogen Fixation and Nonfixation Conditions. 1–14.
- Costa, O. Y. A., Raaijmakers, J. M., & Kuramae, E. E. (2018). Microbial extracellular polymeric substances: Ecological function and impact on soil aggregation. *Frontiers in Microbiology*, 9(JUL), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01636>
- Davis, T. A., Volesky, B., & Mucci, A. (2003). A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae. 37, 4311–4330. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(03\)00293-8](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00293-8)
- Etesami, H., & Maheshwari, D. K. (2018). Use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) with multiple plant growth promoting traits in stress agriculture: Action mechanisms and future prospects. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 156(October 2017), 225–246. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.03.013>
- Goh, C. H., Heng, P. W. S., & Chan, L. W. (2012). Alginates as a useful natural polymer for microencapsulation and therapeutic applications. *Carbohydrate Polymers*, 88(1), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.11.012>
- Korsmeyer-peppas, T. (2023). Preparation and characterization of biochar-based slow-release nitrogen fertilizer and its effect on maize growth. 1, 28–30.
- Kurt, D., & Kinay, A. (2021). Industrial Crops & Products Effects of irrigation , nitrogen forms and topping on sun cured tobacco. *Industrial Crops & Products*, 162(November 2020), 113276. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.11.3276>
- Lisuma, J. B., Mbega, E. R., & Ndakidemi, P. A. (2021). The Effects of Cultivating Tobacco and Supplying Nitrogenous Sandy Soils.
- Nasser, A. Mingelgrin, U. and Gerstl, Z. (2008). Effect of Soil Moisture on the Release of Alachlor from Alginate-Based Controlled-Release Formulations. 1322–1327. <https://doi.org/doi:10.1021/jf0718392>.
- Nosrati, R., Owlia, P., Saderi, H., Olamaee, M., Rasooli, I., & A, A. T. (2012a). Correlation between nitrogen fixation rate and alginate productivity of an indigenous *Azotobacter vinelandii* from Iran. 4(3), 153–159.
- Nosrati, R., Owlia, P., Saderi, H., Olamaee, M., Rasooli, I., & A, A. T. (2012b). Correlation between nitrogen fixation rate and alginate productivity of an indigenous *Azotobacter vinelandii* from Iran. 4(3), 153–159. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3465543/>
- Noviyanti, E. D. (n.d.). Penggunaan kompleks polielektrolit alginat-gelatin sebagai matriks dalam sediaan tablet lepas lambat = The use of alginate-gelatin polyelectrolyte complex as matrix for sustained release tablet. 5, 478.
- Oleszczuk, P. (2022). Biochar and engineered biochar as slow- and controlled-release fertilizers. 339(March).
- Pang, W., Hou, D., Wang, H., Sai, S., Wang, B., Ke, J., Wu, G., Li, Q., & Holtzapf, M. T. (2018). Preparation of Microcapsules of Slow-Release NPK Compound Fertilizer and the Release Characteristics. 29(11), 2397–2404.
- Rasse, D. P., Weldon, S., Joner, E. J., Joseph, S., Kammann, C. I., Liu, X., Toole, A. O., Pan, G., & Schumacher, N. P. K. (2022). Enhancing plant N uptake with biochar-based fertilizers: limitation of sorption and prospects. *Plant and Soil*, 213–236. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05365-w>
- Sepúlveda, C., Jhon, C., Maicol, H. R., Evelyn, T., & Agudelo, B. (2021). Evaluation of a Biochar - Based Slow - Release P Fertilizer to Improve *Spinacia oleracea* P Use , Yield , and Nutritional Quality. *Journal of Soil Science and Plant*

Sukmawati, Bahruddin, Suherman, Iradhatullah Rahim, Nur Hapsa, Sri Nur Qadri, Syamsiar Zamzam, Irmayani, Munir, Rahmawati Semaun, Edi Kurniawan, Abd. Rahim, Ramlayani, Sukardi, Abdullah, dan Sarina: Implementasi Teknologi Slow-Release Fertilizer pada Usahatani Tembakau Kelompok Tani Mamminasa Deceng di Kabupaten Soppeng.

Nutrition, 0123456789.
<https://doi.org/10.1007/s42729-021-00583-0>

Sukmawati, Ala, A., Baharuddin, & Gusli, S. (2020). Biochar interventions enriched with alginate-producing bacteria support the growth of maize in degraded soils. Biochar interventions enriched with alginate-producing bacteria support the growth of maize in degraded soils. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 484 (2020) 012133. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/486/1/012133>

Sukmawati, Ala, A., Patandjengi, B., & Gusli, S. (2020). Exploring of promising bacteria from the rhizosphere of maize, cocoa and lamtoro. Biodiversitas, 21(12), 5665–5673. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d211224>

Wang, C., Luo, D., Zhang, X., Huang, R., Cao, Y., Liu, G., Zhang, Y., & Wang, H. (2022). Biochar-based slow-release of fertilizers

for sustainable agriculture: A mini review. Environmental Science and Ecotechnology, 10, 100167. <https://doi.org/10.1016/j.esse.2022.100167>

Wang, C., Sun, R., & Huang, R. (2021). Highly dispersed iron-doped biochar derived from sawdust for Fenton-like degradation of toxic dyes. Journal of Cleaner Production, 297, 126681. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126681>

Zhou, J., Qu, T., Li, Y., Zwieter, L. Van, Wang, H., Chen, J., Song, X., Lin, Z., Zhang, X., Luo, Y., & Cai, Y. (2021). Biochar-based fertilizer decreased while chemical fertilizer increased soil N₂O emissions in a subtropical Moso bamboo plantation. Catena, 202(February), 105257. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105257>