

REKAYASA LINGKUNGAN PERAKARAN MELALUI SISTEM RORAK UNTUK MENINGKATKAN SERAPAN HARA PADA TANAMAN KAKAO

ROOT ENVIRONMENTAL MANIPULATION THROUGH THE RORAK SYSTEM TO INCREASE NUTRIENT UPTAKE IN COCOA PLANT

Ita Mowidu^{1*}, Endang Sri Dewi HS¹

¹Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Sintuwu Maroso,
Jl. P. Timor No. 1, Poso 94619, Indonesia

*Penulis Korespondensi

e-mail: itamowidu@unsimar.ac.id

Masuk : 12-05-2022, Revisi: 20-05-2022, Diterima untuk diterbitkan: 18-06-2022

ABSTRAK

Indonesia menjadi negara penghasil biji kakao terbesar ketiga di dunia setelah Pantai Gading dan Ghana. Meskipun demikian, produksi kakao masih rendah jika dibandingkan dengan kedua negara tersebut. Rendahnya produksi kakao antara lain disebabkan oleh produktivitas tanah yang rendah yang tidak mampu menyediakan unsur hara yang cukup untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman kakao. Oleh sebab itu perlu dilakukan rekayasa lingkungan perakaran untuk meningkatkan ketersediaan dan serapan hara oleh tanaman kakao. Penelitian ini dilaksanakan di Kebun petani di Desa Lape Kecamatan Poso Pesisir pada bulan September sampai Desember 2021. Unit percobaan diatur menurut rancangan bujur sangkar latin (RBSL). Perlakuan yang diterapkan adalah pembuatan rorak pada pertanaman kakao tua klon Sulawesi yang terdiri dari kontrol (tanpa rorak), rorak 1, 2 dan 4. Tiap perlakuan diulang 4 kali dan setiap unit percobaan terdiri dari 1 tanaman sehingga seluruhnya terdapat 16 tanaman percobaan. Penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh aplikasi rorak terhadap sifat kimia tanah dan serapan hara N dan P tanaman kakao. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi rorak pada pertanaman kakao tua meningkatkan kadar N total dan P tersedia dalam tanah. Pada kondisi tanah dengan kandungan bahan kasar tinggi, aplikasi rorak menurunkan kadar C organik dan KTK tanah pada 2 bulan setelah aplikasi. Serapan N tanaman lebih tinggi pada aplikasi rorak, tetapi serapan P lebih rendah pada 2 bulan setelah aplikasi rorak.

Kata Kunci: Kakao; Ketersediaan hara; rorak; Serapan hara

ABSTRACT

Indonesia is the third largest cocoa bean producer in the world after Pantai Gading and Ghana. However, cocoa production is still low compared to the two countries. The low cocoa production is partly due to the low productivity of the soil which is unable to provide sufficient nutrients for the growth and development of cocoa plants. Therefore, it is necessary to manipulate the root environment to increase the availability and uptake of nutrients by cocoa plants. This research was carried out at the farmer's garden in Lape Village, Poso Pesisir District, from September to December 2021. Experimental units were arranged according to the Latin square design (LSD). The treatment applied was making rorak on old cocoa clones of Sulawesi which consisted of control (without rorak), rorak 1, 2 and 4. Each treatment was repeated 4 times and each experimental unit consisted of 1 plant so that in total there were 16 experimental plants. The aim of the study was to determine the effect of rorak application on soil chemical properties and N and P nutrient uptake of cocoa plants. The results showed that rorak application on old cocoa plantations increased the levels of total-N and available P in the soil. In soil conditions with high crude material content, rorak application reduced organic C content and soil CEC at 2 months after application. Plant N uptake was higher on rorak application, but lower P uptake at 2 months after rorak application.

Keywords: Cocoa; nutrient availability; nutrient uptake; rorak

Pendahuluan

Kakao merupakan komoditas unggulan non migas nasional setelah kelapa sawit dan karet, yang berfungsi ganda, baik sebagai sumber devisa negara maupun penunjang pendapatan asli daerah. Perkebunan kakao nasional tersebar hampir di seluruh daerah di Indonesia dengan sentra perkebunan di daerah Sulawesi dengan luas 59,12 % (BPS, 2016). Menurut Dirjend Perkebunan 2019), pada tahun 2018, luas areal kakao di Sulawesi adalah 933.062 ha (58% dari total luas lahan kakao nasional atau 59% dari luas perkebunan rakyat nasional) dengan total produksi 456.033 ton (produktivitas 489 kg/ha). Dari sumber yang sama diperoleh bahwa luas areal kakao di Sulawesi Tengah adalah 283.626 ha (30% dari luas kakao di Sulawesi) dengan produksi 125.473 ton (produktivitas 442 kg/ha), dan kabupaten Poso memiliki luas areal kakao sebesar 38.873 ha (14% dari luas areal Sulawesi Tengah) dengan produksi 24.409 ton (produktivitas 628 kg/ha). Data tersebut menunjukkan bahwa kabupaten Poso merupakan penyumbang kakao yang cukup penting di Sulawesi Tengah dan produktivitasnya lebih tinggi, baik di tingkat provinsi maupun nasional.

Perkebunan kakao saat ini didominasi oleh perkebunan rakyat (98%) yang tersebar di beberapa provinsi. Kondisi lahan pada perkebunan kakao rakyat didominasi oleh tanah marginal, yang telah tercuci akibat curah hujan yang tinggi dan merata sepanjang tahun. Tingkat kesuburan tanah yang rendah tidak menguntungkan untuk pertumbuhan tanaman. Berdasarkan keadaannya, kesuburan tanah dibedakan atas kesuburan tanah aktual dan kesuburan tanah potensial. Kesuburan tanah aktual adalah kesuburan tanah alamiah yang apa adanya, sedangkan kesuburan tanah potensial adalah kesuburan tanah yang dapat dimaksimalkan melalui penerapan teknologi (Foth, 1995).

Kakao membutuhkan jenis tanah yang relatif subur dengan mineral hara yang kaya, dan yang memiliki struktur dan tekstur yang baik untuk meningkatkan pertumbuhan. Pada tanaman kakao tingkat kesuburan tanah merupakan faktor penting yang harus diperhatikan untuk memastikan hasil kakao berkualitas baik. Pengolahan tanah teknik

ekstensif, semi-intensif dan intensif harus menjadi dasar pengoptimalan kegiatan untuk tanaman kakao. Tingkat hasil yang digunakan adalah rata-rata hasil untuk setiap aktivitas tanaman (Taher, 1996).

Kekurangan air akan merusak hasil dari pertanaman kakao dewasa dan secara negatif mempengaruhi pertumbuhan bibit kakao. Selanjutnya, respon fisiologi dari kakao akan dipengaruhi oleh kandungan air yang di bawah 60-70% dari ketersediaan kapasitas air tanah maksimum. Pada tanaman kakao, keluaran karbon daun secara tajam mengalami penurunan apabila keadaan potensial air antara -0,8 dan -2,0 Mpa. Adanya reduksi tersebut berkaitan dengan asimilasi CO₂ (Zanetti *et al.*, 2016).

Untuk menjaga agar tanah tetap memiliki daya tahanan air dan unsur hara yang tinggi dapat dilakukan dengan rekayasa lingkungan perakaran melalui sistem rorak. Rorak merupakan salah satu teknologi yang diduga dapat meningkatkan kualitas fisik tanah karena mampu menampung bahan organik dalam tanah. Bahan organik yang dimasukkan dalam rorak dapat menyediakan lingkungan yang baik untuk pertumbuhan mikroorganisme tanah yang berperan aktif dalam memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah.

Menurut Danial dan Hidayanto (2012), pemanfaatan rorak dapat dikaitkan dengan pengelolaan sumber bahan organik di lingkungan perkebunan, seperti daun penaung, kulit buah kakao, dan seresah lainnya. Pada lahan miring, rorak dapat mengurangi aliran permukaan yang bisa menyebabkan erosi. Hasil penelitian Maharany dkk. (2011) menunjukkan bahwa penempatan seresah dengan metode biopori dan mulsa vertical meningkatkan secara nyata permeabilitas, N-total, C-organik, kation tertukar dan KTK tanah di perkebunan kakao, baik pada lahan datar maupun miring. Pratiwi dan Salim (2013) menemukan bahwa aplikasi rorak mampu mengurangi laju aliran permukaan dan erosi, menekan kehilangan unsur hara, serta memberikan pertumbuhan yang lebih baik terhadap tinggi dan diameter tanaman *Gmelina arborea* Roxb. dibandingkan tanpa rorak.

Meskipun demikian, aplikasi rorak belum dilakukan oleh petani. Oleh karena itu penelitian rekayasa lingkungan perakaran

melalui sistem rorak untuk meningkatkan serapan hara pada tanaman kakao ini dilakukan.

Bahan dan Metode

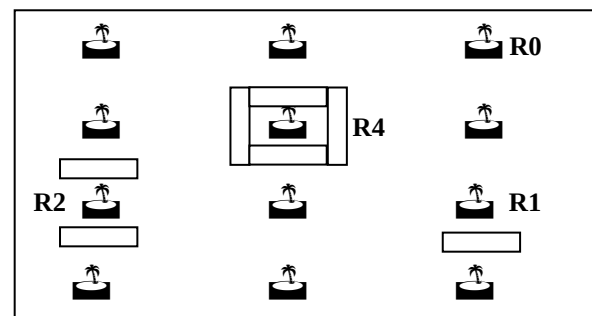
Penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh aplikasi rorak terhadap sifat kimia tanah dan serapan hara N dan P tanaman kakao. Perlakuan yang diterapkan adalah pembuatan rorak di antara tanaman yang terdiri dari:

- Rorak 0: Tanpa rorak
- Rorak 1: Pembuatan satu rorak pada satu tanaman sampel
- Rorak 2: Pembuatan dua rorak pada satu tanaman sampel
- Rorak 4: Pembuatan empat rorak pada satu tanaman sampel

Setiap perlakuan diulang 4 (empat) kali sehingga terdapat 16 unit percobaan yang disusun dengan pola rancangan bujur sangkar latin (RBSL). Setiap unit percobaan terdiri dari 1 tanaman, sehingga seluruhnya terdapat 16 tanaman sampel. Tanaman kakao yang menjadi obyek penelitian ditanam pada tahun 1998 dan pada tahun 2009 disambung samping dengan klon Sulawesi.

Aplikasi rorak diterapkan pada pertanaman kakao tua klon Sulawesi dengan tekstur tanah sangat kasar. Rorak dibuat pada jarak 1 m dari pohon dengan ukuran Panjang x Lebar x kedalaman yaitu 2,5 m x 0,4 m x 0,3 m. Rorak 1 artinya terdapat 1 saluran drainase buntu pada salah satu sisi pohon kakao, rorak 2 terdapat 2 saluran drainase buntu pada dua sisi pohon yang saling berseberangan dan rorak 4 terdapat 4 saluran yang saling berhubungan pada keempat sisi pohon kakao, sebagaimana ditunjukkan dalam gambar 1. Selanjutnya, lubang rorak diisi seresah daun kakao yang jatuh dan hasil pangkasan. Lubang rorak yang telah berisi seresah dibiarkan selama 2 bulan lalu diambil

sampel tanah dan tanaman untuk dianalisis di laboratorium.



Gambar 1. Sketsa pembuatan rorak

Pengamatan dilakukan terhadap kadar N dan P tanaman. Sifat tanah yang diamati adalah kadar N total, P tersedia, C organik, bahan organik, nisbah C/N dan kapasitas tukar kation (KTK). Kadar N dan P dianalisis ragam (Anova) dan apabila perlakuan berpengaruh nyata akan diuji lanjut dengan uji beda nyata terkecil (LSD) pada taraf nyata 5%. Sifat kimia tanah diperoleh dari sampel komposit. Setiap unit percobaan diambil sampel tanah pada keempat sisi tanaman. Tanah yang terkumpul dikeringanginkan, dihaluskan lalu diayak lolos ayakan 2 mm. Selanjutnya sampel dikompositkan menurut perlakuan. Hasil analisis sampel komposit tersebut dideskripsikan. Kadar hara N dan P tanaman diperoleh dari sampel daun ketiga dan keempat dari pohon perlakuan yang terkena sinar matahari. Sampel daun dikeringanginkan lalu dianalisis kadar N dan P-nya. Analisis sampel tanah dan tanaman dilakukan di Laboratorium ilmu tanah Fakultas Pertanian Universitas Tadulako Palu.

Hasil dan Pembahasan

Sifat Kimia Tanah

Hasil analisis sifat kimia tanah disajikan pada Tabel di bawah ini.

Tabel 1. Sifat kimia tanah pada dua bulan setelah aplikasi rorak

Perlak	C organik		N total		Bahan organik		C/N		P tsd (Olsen)		KTK	
	kadar %	Kat*	kadar %	Kat.	kadar %	Kat.	Nilai	Kat.	kadar ppm	Kat.	kadar cmol(+)/kg	Kat.
Rorak 0	4.07	T	0.18	R	7.017	T	22.61	T	16.73	T	29.29	T
Rorak 1	3.68	T	0.24	S	6.344	T	15.33	S	21.82	ST	22.29	S
Rorak 2	3.45	T	0.28	S	5.948	T	12.32	S	15.09	S	22.9	S

Perlak	C organik		N total		Bahan organik		C/N		P tsd (Olsen)		KTK	
	kadar %	Kat*	kadar %	Kat.	kadar %	Kat.	Nilai	Kat.	kadar ppm	Kat.	kadar cmol(+)/kg	Kat.
Rorak 4	3.67	T	0.27	S	6.327	T	13.59	S	18.61	T	23.11	S

Ket.: Kat*= kategori (menurut Eviati & Sulaeman, 2005); R = rendah; S = sedang; T = tinggi; ST = sangat tinggi;

Kadar bahan organik tanah termasuk kategori tinggi, baik dengan maupun tanpa rorak. Kadar N total kategori rendah pada tanpa rorak, sedangkan pada aplikasi rorak termasuk kategori sedang. Hasil penelitian Pratiwi dan Salim (2013) menunjukkan bahwa aplikasi rorak mampu menekan kehilangan unsur hara dari dalam tanah, baik melalui aliran permukaan maupun erosi. Unsur N yang hilang melalui aliran permukaan maupun melalui sedimen cukup besar. Nisbah C/N kategori tinggi pada tanpa rorak dan kategori sedang pada aplikasi rorak. Data tersebut menunjukkan bahwa ketersediaan N lebih baik pada aplikasi rorak. Utomo dkk. (2016) menyatakan nisbah C/N menentukan kandungan hara, laju dekomposisi dan kemampuannya dalam konservasi tanah dan air. Nisbah C/N tinggi menunjukkan bahan organik sulit terdekomposisi dan dapat menyebabkan kekahatan hara N karena imobilisasi. Sedangkan nisbah C/N sedang menunjukkan proses imobilisasi dan mineralisasi N relatif seimbang.

Kadar P tersedia secara umum lebih tinggi pada aplikasi rorak dibandingkan tanpa rorak. Kategori P tersedia dalam tanah mulai dari sedang sampai sangat tinggi. Hasil penelitian Pratiwi dan Salim (2013) menunjukkan bahwa kehilangan P dalam tanah lebih tinggi akibat erosi dibandingkan aliran permukaan dan kehilangan tanpa rorak lebih tinggi dibandingkan yang diaplikasi rorak. Topografi pada penelitian ini yang hanya melandai dan tekstur tanah yang sangat kasar tidak memungkinkan terjadinya erosi. Oleh karena itu P tersedia dalam tanah tinggi.

Menurut Utomo dkk. (2016), ketersediaan P dalam tanah dipengaruhi oleh suhu, tingkat kemasaman dan kelembaban tanah. Suhu yang rendah dapat menghambat ketersediaan P. Bentuk P yang tersedia untuk tanaman adalah sebagai anion H_2PO_4^- dan HPO_4^{2-} . Rosmarkam & Yuwono (2002) menyatakan perbandingan anion H_2PO_4^- dan

HPO_4^{2-} sangat dipengaruhi oleh pH tanah. Pada pH masam, H_2PO_4^- dominan dalam larutan tanah. Sebaliknya, pada pH alkalis HPO_4^{2-} dominan. Perbandingan H_2PO_4^- dan HPO_4^{2-} hampir sama pada pH 6,5-7,0. Kelembaban tanah yang tinggi dapat meningkatkan ketersediaan P. Kadar P tersedia yang tinggi pada aplikasi rorak mungkin disebabkan oleh pH tanah dan kelembaban tanah yang lebih tinggi. Menurut Reddy & Delaune (2008) P tsd sebagai spesies H_2PO_4^- tinggi pada rentang pH 4-6,5. Havlin *et al.* (2015) menyatakan konsentrasi maksimum ketersediaan P terjadi pada pH 6,0-6,5, sedangkan menurut Prasad & Power (1977) 5,5-6,5. Hal itu menunjukkan bahwa rentang pH bagi ketersediaan P adalah pada pH masam sampai netral (5,5-7,0), yaitu suatu rentang pH yang cukup lebar.

Kapasitas tukar kation (KTK) tanah tanpa rorak termasuk kategori tinggi, sedangkan pada aplikasi rorak kategorinya sedang. Hal ini terjadi karena akibat galian rorak, lapisan tanah di bawahnya terdiri dari bahan kasar yang relatif belum melapuk. Bahan mineral koloidal sangat kurang dan hanya mengandalkan koloid organik dari hasil pelapukan bahan organik. Oleh karena itu KTK tanahnya sedang. Sebaliknya, pada sampel tanah tanpa rorak, tanah permukaannya memiliki tekstur lebih halus dan mengandung koloid mineral lebih tinggi yang bergabung dengan koloid organik hasil lapukan seresah yang menutupi permukaan tanah menghasilkan KTK tanah yang tinggi. Hanafiah (2010) menyatakan KTK tanah adalah jumlah muatan negatif tanah yang bersumber dari permukaan koloid anorganik (liat) dan koloid organik (humus) yang merupakan situs pertukaran kation-kation. Menurut Hardjowigeno (2015), tanah-tanah dengan kandungan bahan organik atau dengan kadar liat tinggi mempunyai KTK lebih tinggi daripada tanah-tanah dengan kandungan bahan organik rendah atau tanah-tanah berpasir. Lapisan bawah dalam lubang galian rorak bertekstur sangat kasar dan

pelapukan bahan organiknya belum sempurna sehingga KTK tanahnya lebih rendah.

Hasil penelitian Maharany dkk (2011) menunjukkan bahwa pemberian mulsa secara vertikal pada pertanaman kakao meningkatkan P tersedia, KTK, C organik, N total dan menurunkan nisbah C/N. Pada penelitian ini, N total dan P tersedia lebih tinggi pada aplikasi rorak. Selain itu, nisbah C/N pada aplikasi rorak lebih rendah. Hasilnya mirip dengan temuan Maharany dkk. (2011). Dapat pula diartikan bahwa aplikasi mulsa secara vertikal mirip dengan aplikasi rorak.

Serapan Hara N dan P Tanaman

Aplikasi rorak berpengaruh tidak nyata terhadap kadar N dan P tanaman. Rata-rata kadar N dan P jaringan tanaman disajikan pada Tabel berikut.

Tabel 2. Rata-rata kadar N dan P jaringan tanaman

Perlakuan	Kadar N (%)	Kadar P (%)
Rorak 0	1.70	0.05
Rorak 1	1.30	0.04
Rorak 2	1.91	0.03
Rorak 4	2.53	0.04

Meskipun aplikasi rorak berpengaruh tidak nyata terhadap kadar N tanaman, hasil analisis jaringan menunjukkan bahwa kadar N tanaman pada rorak 2 dan 4 lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa rorak. Jika berat kering tanaman diasumsikan sama, maka dapat dikatakan bahwa serapan N tanaman pada rorak 4 lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Hal itu bisa berarti bahwa aplikasi rorak meningkatkan serapan N tanaman kakao.

Menurut Havlin et al. (2014) tanaman menyerap N dalam jumlah besar dalam bentuk nitrat (NO_3^-) dan ammonium (NH_4^+). Selain itu, dalam jumlah kecil, tanaman juga dapat menyerap N dalam bentuk NO_2^- dan N-organik (Darmawan dan Baharsjah, 2010). Bahan organik yang mengalami dekomposisi dan mineralisasi menjadi sumber utama N di dalam tanah. Menurut Havlin et al. (2014) N-amonium diserap tanaman secara pasif, sedangkan N-nitrat secara aktif. Wiraatmaja (2016) menyatakan serapan hara secara

pasif (*apoplastik*) adalah angkutan hara melalui daerah bebas (DB) di antara sel-sel akar, sedangkan serapan aktif (*simplastik*) adalah angkutan hara melalui *plasmodesmata* (benang-benang protoplasma yang menghubungkan sel satu dengan yang lain), dengan menghindari vakuola. Serapan pasif terjadi pada hara atau senyawa yang memiliki berat molekul (BM) kecil, sedangkan hara atau senyawa yang memiliki BM besar masuk ke dalam akar melalui serapan aktif. Serapan aktif memerlukan energi dari respirasi atau fotosforilasi. Serapan pasif terjadi melalui dua cara, yaitu (1) secara difusi di daerah *Water Free Space* (WFS) atau *Outer Space* (OS), dan (2) pertukaran ion di daerah *Donan Free Space* (DFS). *Water Free Space* atau *Outer Space* adalah daerah pada akar dimana hara dapat masuk dengan bebas secara difusi biasa. *Donan Free Space* adalah daerah di akar dimana hara masuk karena pertukaran kation (*cation exchange*).

Daerah akar yang dapat dimasuki hara secara pasif disebut Daerah Bebas (DB) atau *Affarent Free Space*. *Space* atau ruang itu meliputi *Rhizodermis* dan kortek akar, meliputi $\pm 10\%$ dari total volume akar (Wiraatmaja, 2016). Serapan pasif terjadi pada ujung akar dimana diferensiasi sel belum sempurna dan pada pangkal akar dimana akar lateral menembus endodermis sehingga terjadi kebocoran. Menurut Maghfiroh et al. (2020) aplikasi rorak memotong akar dan memicu pertumbuhan rambut akar yang baru. Berdasarkan informasi tersebut, meskipun pada penelitian ini jumlah akar tidak diamati, dapat diperkirakan luas permukaan serapan hara pada aplikasi rorak meningkat akibat peningkatan pertumbuhan rambut akar baru. Selain itu, Dewi et al. (2020) menyatakan absorpsi hara rendah pada status kesuburan tanah rendah disebabkan oleh ketersediaan hara di dalam tanah lebih rendah. Pada Tabel 1 terlihat bahwa kadar N total tanah lebih tinggi pada aplikasi rorak dan hal ini memungkinkan tanaman menyerap N lebih banyak.

Kadar P tanaman lebih rendah dibandingkan dengan tanpa rorak. Jika bobot kering tanaman diasumsikan sama, maka aplikasi rorak menurunkan serapan P

tanaman kakao. Menurut Sopandie (2014) bagian tanaman yang aktif menyerap P adalah jaringan muda dekat ujung akar. Meskipun Maghfiroh *et al.* (2020) menemukan peningkatan pertumbuhan rambut akar baru akibat aplikasi rorak, namun karena penyerapan P dari tanah oleh tanaman adalah penyerapan aktif yang melawan gradien konsentrasi (Clarkson dan Grignon, 1991 *dalam* Sopandie, 2014), maka dibutuhkan energi untuk bisa menarik P masuk ke dalam akar. Menurut Sopandie (2014) untuk membawa 1 mol P ke dalam sel akar dibutuhkan energi minimal 25-40 kJ, setara dengan energi bebas yang dilepas dari hidrolisis 1 mol ATP. Dijelaskan pula bahwa energi dari hidrolisis ATP digunakan untuk memompa proton keluar membran plasma, menciptakan gradien pH antara sitoplasma dan *apoplast* (dinding sel). Ion fosfat akan masuk ke dalam sitoplasma bersama proton ataupun OH/anion *antiport* yang difasilitasi oleh protein khusus (*transporter*). Oleh karena sebagian akar terputus akibat galian rorak, maka sebagian energi digunakan untuk pemulihan tanaman. Akibatnya, serapan P tanaman rendah.

Kesimpulan

Aplikasi rorak pada pertanaman kakao tua meningkatkan kadar N total dan P tersedia dalam tanah. Pada kondisi tanah dengan kandungan bahan kasar tinggi, aplikasi rorak menurunkan kadar C organik dan KTK pada 2 bulan setelah aplikasi. Serapan N tanaman lebih tinggi pada aplikasi rorak, tetapi serapan P lebih rendah pada 2 bulan setelah aplikasi rorak.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada LPPM Unsimar yang telah membiayai penelitian ini melalui dana APBU tahun 2021.

Daftar Pustaka

Baah, F., V. Anchirinah, and F.A. Armah. 2011. Soil fertility management practices of cocoa farmers in the eastern region of Ghana. *Agriculture and Biology Journal of North America*

- Badan Pusat Statistik. 2016. Data produksi Perkebunan Rakyat. Jakarta. Indonesia
- Buijitz. B, E. J. M. Feskens, F. J. Kok and D. Kromhout., 2006. Cocoa Intake, Blood Pressure and Cardiovascular Mortality. *Journal Archives of Internal medicine* Vol 166 (4):411-417.
Doi:10.1001/archinte.166.4.411.
- Danial, D dan M. Hidayanto, 2012. Rorak pada tanaman kakao. *Buletin No 02/folder-gernas kakao/bptp-kaltim/2012*. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Kalimantan Timur
- Darmawan, J. & J.S. Baharsjah, 2010. *Dasar-dasar Ilmu Fisiologi Tanaman*. SITC. Jakarta.
- Dewi HS ES, Yudono P, Putra ETS, and Purwanto BH. 2020. Physiological, biochemical activities of cherelle wilt on three cocoa clones (*Theobroma cacao*) under two levels of soil fertilities. *Biodiversitas* 21: 187-194.
- Dirjend Perkebunan, 2019. *Statistik Perkebunan Indonesia 2018-2020*. Sekretariat Direktorat Jenderal Perkebunan. Direktorat Jenderal Perkebunan Kementerian Pertanian.
- Duarte, W. F., D. R. Dias, J. M. Oliveira, J. A. Teixeira, J. B. de Almeida e Silva and R. F. Schwan. 2010. Characterization of Different Fruit of Wines Made From Cacao, Cuppuasu, Gabiroba, Jaticaba and Umbu. *Food Science. Technology*. 43:1564-1572
- Foth, H.D., 1995. *Dasar-dasar Ilmu Tanah*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hanafiah, K.A., 2010. *Dasar-dasar Ilmu Tanah*. PT Rajagrafindo Persada. Jakarta.
- Hardjowigeno, S. 2015. *Ilmu Tanah*. Akademika Pressindo. Jakarta.
- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Nelson & W.L. Nelson, 2005. *Soil Fertility and Fertilizers: an Introduction to Nutrient Management*. Pearson Prentice Hall. New Jersey.
- Havlin, J.L., S.L. Tisdale, W.L. Nelson and J.D. Beaton. 2014. *Soil fertility and*

- fertilizers; an introduction to nutrient management. Pearson. Boston.
- Kim, H., Keeney, P.G., 1984. (-)Epicatechin content in fermented and unfermented cocoa beans. *J. Food Sci.* 49, 1090–1092.
- Kono, Y., Shibata, H., Kodama, Y., and Sawa, Y. 1995. The suppression of the N-mitosating reaction by chlorogenic acid. *Biochemistry*, 312, 947-953.
- Maghfiroh CN, Putra ETS, Dewi HSES. 2020. Root detection by resistivity imaging and physiological activity with the dead-end trench on three clones of cocoa (*Theobroma cacao*). *Biodiversitas* 21: 2794-2803.
- Maharany, R., A. Rauf dan T. Sabrina. 2011. Perbaikan Sifat Tanah Kebun Kakao pada Berbagai Kemiringan Lahan dengan Menggunakan Teknik iopori dan Mulsa Vertikal. *Jurnal Ilmu Pertanian Kultivar* Vol. 5(2):75-82.
- Misnawi. 2003. Influences of Cocoa Polyphenols and Enzyme Reaction on The Flavor Development of Unfermented and Under-Fermented Cocoa Beans. Thesis of Doctor of Philosophy Universiti Putra, Malaysia. 329p.
- Njukeng, N.J. and V.C Baligar. 2016. Soil physical and chemical properties of cacao farms in the South Western Region of Cameroon. *International Journal of Plant & Soil Science* Vol 11(6).
- Prasad R., & J.F. Power, 1977. *Soil Fertility Management for Sustainable Agriculture*. CRC Lesi Publisher. New York.
- Pratiwi dan A.G. Salim. 2013. Aplikasi teknik konservasi tanah dengan sistem rorak pada tanaman Gmelina (*Gmelina arborea* Roxb.) di KHDTK Carita, Banten. *Jurnal Penelitian dan Konservasi Alam* Vol 10 (13):273-282.
- Reddy, K.R. & R.D. Delaune, 2008. *Biogeochemistry of Wetlands: Science and Applications*. CRC Press.
- Rosmarkam, A. & N.W. Yuwono, 2002. *Ilmu Kesuburan Tanah*. Kanisius. Yogyakarta.
- Sanbongi. C, Osakabe. N, Natsume. M, Takizawa. T, Gomi. S and T. Osawa. 1998. Antioxidative Polyphenols Isolated from *Theobroma cacao*. *Journal AgricultureFood Chemical*. 46(2): 454-457
- Sopandie, D. 2014. *Fisiologi adaptasi tanaman terhadap cekaman abiotik pada agrosistem tropika*. IPB Press. Bogor.
- Taher, S. 1996. *Factors Influencing Smallholder Cocoa Production: a management analysis of behavioural decision-making processes of technology adoption and application*. Koninklijke Bibliotheek, Wageningen. Den Haag.
- Utomo, M., T. Sabrina, Sudarsono, J. Lumbanraja, B. Rusman dan Wawan. 2016. *Ilmu anah: Dasar-dasar dan pengelolaan*. Prenadamedia Grup. Jakarta.
- Wiraatmaja, I Made. 2016. *Pergerakan hara mineral dalam tanah*. Bahan Ajar. Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Udayana. Bali.
- Zanetti, L.V.Z., C.R.D. Milanez., V.N. Gama., M.A.G. Aguilar., C.A.S. Souza., A. Campostrini., T.M. Ferras., and F.A.M.M.A. Fegueiredo. 2016. Leaf application of silicon in young cacao plants subjected to water deficit. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.51, n.3