

Peningkatan Produksi Kedelai Hitam dan Efisiensi Penggunaan Air dengan Aplikasi Bio-Nano Ortho-Silicic-Acid pada Lahan Kering Masam di Lampung

Increasing Production of Black Soybean and Efficiency of Water Use with The Application Of Ortho-Silicic-Acid Bio-Nano in Acry Dry Land in Lampung

Donny N. Kalbuadi^{1*}, Laksmi P. Santi¹, Didiek H. Goenadi¹, Junita Barus², Ai Dariah³

¹Pusat Penelitian Bioteknologi dan Bioindustri Indonesia, Bogor, Indonesia

²Balai Pengkajian Teknologi Pertanian, Lampung, Indonesia

³Balai Penelitian Tanah, Bogor, Indonesia

*Email: donny.nugroho33@gmail.com, laksmi.santi@gmail.com

Disubmit: 12 September 2019 Direvisi: 15 Desember 2019 Diterima: 13 Januari 2020

Abstrak: Lahan kering masam memiliki karakteristik kandungan bahan organik dan nilai pH yang rendah. Budidaya pada lahan tersebut tidak dapat maksimal karena terdapat beberapa masalah seperti toksisitas aluminium dan atau ketersediaan fosfor (P) pada tanah yang rendah, serta cekaman kekeringan. Makalah ini menyajikan hasil kegiatan riset mengenai pengaruh aplikasi Bio-Nano-Silika dalam bentuk asam ortosilik (OSA) pada lahan kering masam untuk meningkatkan hasil panen, mengurangi dosis pupuk kimia, dan meningkatkan efisiensi penggunaan air (EPA) dari kedelai hitam yang tumbuh pada lahan tersebut. Penelitian ini dilakukan di daerah Natar, Lampung Selatan, dari bulan April hingga Juli 2018, menggunakan rancangan acak lengkap dengan enam perlakuan dan tiga ulangan. Bio-Nano OSA diaplikasikan sebanyak 4 L ha⁻¹, sedangkan pupuk tunggal N, P, dan K diberikan sebanyak 0, 50, 75, dan 100% dari tingkat yang direkomendasikan. Dosis pupuk NPK yang direkomendasikan adalah pupuk Urea 75 kg ha⁻¹, SP36 100 kg ha⁻¹, dan KCL 100 kg ha⁻¹. Ukuran plot dari setiap perlakuan seluas 300 m². Sebagai pembanding digunakan plot kontrol (100% dosis pupuk NPK) dan plot praktek standar petani (100% dosis pupuk NPK + 2 ton ha⁻¹ bahan organik). Bio-Nano OSA dipersiapkan dari pasir kuarsa dengan metode ekstraksi larutan asam-basa dan mengandung 5% H₄SiO₄ dengan ukuran partikel 18 nm yang dikombinasikan dengan mikroba pelarut silika. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi Bio-Nano OSA pada 4 L ha⁻¹ dengan 50-75% dosis pupuk NPK mampu meningkatkan efisiensi penggunaan hara dan EPA serta produksi varietas kedelai hitam Detam-1 pada tanah Ultisol Natar.

Kata kunci: Kedelai Hitam, Ultisols, Asam Orthosilik, Lahan Kering Masam.

Abstract: As an effort to fulfill the needs of domestic soybean, especially black soybean, acid dry land (ADL) soil could be utilized because the availability of fertile soils has been decreased. Acid dry land soil characterized by low organic matter content and pH value. The cultivation of the land can not be maximum due to the present of some problems such as aluminum toxicity and/or low availability of phosphorus (P) of the soil, as well as the drought stress. This paper presents the result of research activities on the effect of the application of bio-nano-silica in the form orthosilicic acid (OSA) in acid dry land soil to improve yield, reduce chemical fertilizer dosage, and increase water use efficiency (WUE) of black soybean grown on such soil. The research was conducted in Natar area, South Lampung, from April to July 2018, by using a randomized block design with six treatments and three replicates. Bio-nano OSA was applied at 4 L.ha⁻¹, whereas single N, P, and K fertilizers were given at 0, 50, 75, and 100% of recommended. The recommended NPK fertilizer dosages is Urea fertilizer 75 kg ha⁻¹, SP36 100 kg ha⁻¹, and KCL 100 kg ha⁻¹. The plot size of each treatment is 300 m². As a comparison this research used control plot (100% N, P, and K) and farmer's standard practice plot (100% N, P, and K + 2-ton ha⁻¹ of organic matter) as comparison. Bio-nano OSA was prepared from quartz sand using acid-base solution extraction method and contained 5% H₄SiO₄ with 18 nm particle size applied in combination with selected Si-solubilizing microorganism. The results indicated that the application of bio-nano OSA at 4 L ha⁻¹ with 50-75% NPK fertilizer dosages was able to improve nutrient use efficiency and WUE as well as yield Detam-1 black soybean variety on Ultisol soil of Natar..

Keywords: Black Soybean, Ultisols, Orthosilicic Acid, Acid Dry Land.

PENDAHULUAN

Kedelai merupakan salah satu dari komoditas pangan utama di Indonesia, tetapi produksi nasional sejauh ini masih mengalami defisit untuk memenuhi kebutuhan. Sebagai upaya untuk memenuhi kebutuhan kedelai dalam negeri, terutama kedelai hitam, lahan kering masam (LKM) dapat dimanfaatkan karena ketersediaan lahan subur telah berkurang. Lahan kering masam merupakan lahan dengan potensi cukup besar karena cukup banyak lahan kering masam di Indonesia yang kurang optimal dalam pemanfaatannya. Masalah di lahan kering masam khususnya di daerah Lampung antara lain adalah intensifnya musim kemarau sehingga jika tanpa pengairan tanaman akan mengalami kekeringan akibat evapotranspirasi yang berlebihan (Cristancho dan Restrepo, 2014; Diedrich et al. 2012). Selain itu, kesuburan tanah juga merupakan permasalahan di lahan kering masam karena pada lahan kering memiliki sifat-sifat seperti pH rendah, kapasitas tukar kation (KTK) rendah, C-organik rendah, kandungan aluminium (Al) tinggi, dan fiksasi P tinggi (Mulyani, Rachman, dan Dariah, 2009).

Penambahan unsur silika di lahan kering masam merupakan salah satu upaya dalam mengatasi permasalahan pada lahan kering masam. Unsur silika (Si) sudah mulai dikenal mampu meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman kekeringan karena mampu mengendalikan pembukaan stomata. Di dalam tanah, silika dapat berkompetisi mengikat Al sehingga unsur P yang terjerap pada mineral liat dapat dilepaskan dan menjadi tersedia bagi tanaman (Farooq et al. 20019; Santi, Haris, dan Mulyanto, 2018). Chidrawar et al. (2014) menyebutkan bahwa tanaman menyerap Si sama banyaknya dengan beberapa unsur hara makro, meskipun Si belum dikenal sebagai unsur hara makro.

Produk pupuk silika sudah mulai banyak tersedia dalam beberapa tahun terakhir. Akan tetapi, kebanyakan pupuk silika tersebut menggunakan kandungan total SiO₂ sebagai dasar kualitas meskipun kandungan tersebut belum tentu semuanya tersedia bagi tanaman karena silika yang tersedia bagi tanaman dalam bentuk H₄SiO₄ (Heckman, 2013). Bio-Nano OSA merupakan formula yang berasal pasir kuarsa yang mengandung >5% H₄SiO₄ (Santi et al. 2017). Tujuan dari studi ini adalah untuk menentukan pengaruh dari aplikasi Bio-Nano-Silika dalam bentuk asam ortosilik (OSA) pada lahan kering masam untuk meningkatkan hasil panen, mengurangi dosis pupuk kimia, dan meningkatkan efisiensi penggunaan air (EPA) kedelai hitam pada lahan kering masam.

METODE PENELITIAN

Kegiatan penelitian ini dilaksanakan di Kebun Percobaan Natar, Badan Pengkajian Teknologi Pertanian, Lampung pada Bulan April hingga Juli 2018. Tanah di lokasi penelitian diklasifikasikan sebagai Kanhapludults jenis tanah Ultisol di regim kelembaban udik dengan horison penciri kandik ini memiliki kesuburan yang tergolong rendah [21]. Beberapa karakteristik tanah di lokasi tersebut ditunjukkan oleh pH tanah 5,6; fraksi pasir 29,17%; fraksi debu 18,14%; fraksi liat 52,69%; P₂O₅ 0,031%; K₂O 0,026%; c-organik 1,55%; total SiO₂ 24,80%; Si tersedia (H₄SiO₄) 2,6 ppm; KTK 11,49 Cmol+ kg⁻¹; dan kejenuhan basa 14,55%.

Rancangan percobaan pada penelitian ini menggunakan rancangan acak kelompok (RAK) dengan total 6 perlakuan (kombinasi dosis pupuk dengan 4 L ha⁻¹ Bio-Nano OSA) dan masing-masing perlakuan dilakukan 3 ulangan. Ukuran masing-

masing petak perlakuan adalah 20 x 15 m atau seluas 300 m². Dosis pupuk NPK yang direkomendasikan adalah pupuk Urea 75 kg ha⁻¹, SP36 100 kg ha⁻¹, dan KCL 100 kg ha⁻¹ yang diaplikasikan pada waktu 14 HST dengan cara dibenamkan. Adapun perlakuan pada percobaan ini disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Perlakuan Percobaan di Lapang.

Kode	Perlakuan
P0	Blanko
P1	100% dosis rekomendasi pupuk NPK
P2	P1 + 2 ton ha ⁻¹ pupuk organik
P3	50% P1 + 4 L ha ⁻¹ Bio-Nano OSA
P4	75% P1 + 4 L ha ⁻¹ Bio-Nano OSA
P5	P1 + 4 L ha ⁻¹ Bio-Nano OSA

Bio-Nano OSA merupakan pupuk silika yang diekstrak dari pasir kuarsa serta diperkaya dengan mikroba pelarut silika, yaitu *Aeromonas punctata*, *Burkholderia cenocepacia*, *B. vietnamiensis*, dan *Aspergillus niger* (Santi dan Goenadi, 2017; Santi, Mulyanto dan Goenadi, 2017). Penelitian ini menggunakan kedelai hitam varietas Detam-1 yang ditanam dengan jarak tanam 20x40 cm dan di setiap lubangya diberikan dua biji kedelai hitam. Benih kedelai hitam yang akan ditanam terlebih dahulu dicoating dengan mikroba penambat N dan pelarut P untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman pada fase vegetatif awal (Goenadi dan Santi, 2009; Hafif dan Santi, 2016). Sebelum dilakukan penanaman, lahan sudah dilakukan pengapuran dengan dosis 500 kg CaO ha⁻¹ atau setara 1.500 kg ha⁻¹ dolomit. Sebanyak 4 L ha⁻¹ Bio-Nano OSA diaplikasikan dua kali penyemprotan di tanah sekitar tanaman. Waktu aplikasi pada 28 dan 48 hari setelah tanam (HST) dengan pengenceran 100 kali menggunakan air bersih.

Parameter pengamatan penelitian ini adalah vegetatif tanaman (tinggi tanaman dan jumlah daun), produksi tanaman dan efisiensi penggunaan air (EPA). Parameter efisiensi penggunaan air (EPA) dilakukan dengan penetapan kebutuhan air pada kedelai hitam dengan menggunakan metode yang digunakan secara umum yaitu berdasarkan hasil pengukuran evapotranspirasi (**Persamaan 1**) (angpromma et al. 2012; Songsri et al. 2009; Suryanti et al. 2015).

$$ETc = ETo \times Kc \quad (1)$$

Dimana, ETc = kebutuhan air tanaman (mm/tanaman); ETo = evapotranspirasi, Kc = koefisien tanaman kedelai.

Perhitungan Kc dilakukan pada tanaman berumur 56 HST dengan menggunakan **Persamaan 2**.

$$KC = \frac{(KAkl - KAtlp)}{(KAjen - KAtlp)} \quad (2)$$

Dimana, Kc = Koefisien tanaman kedelai, KAKl = kadar air tanah pada saat kapasitas lapang, KAtlp = kadar air tanah pada saat titik layu permanen, KAjen = kadar air tanah pada saat jenuh (Dwidjopuspito, 1986).

Nilai evapotranspirasi potensial (ETo) didapatkan dari data iklim 4 bulan terakhir yang dihitung menggunakan aplikasi *FAO Cropwat 8.0*. Penetapan EPA (g/mm) dilakukan dengan menghitung volume air yang digunakan untuk menghasilkan per

satuan berat produk hasil panen dengan menggunakan **Persamaan 3** (Anyia dan Herzog,2014; Singh, Madramootoo, dan Smith, 2014) dengan memodifikasi pada berat kering tanaman diganti dengan berat kering biji kedelai yang dihasilkan.

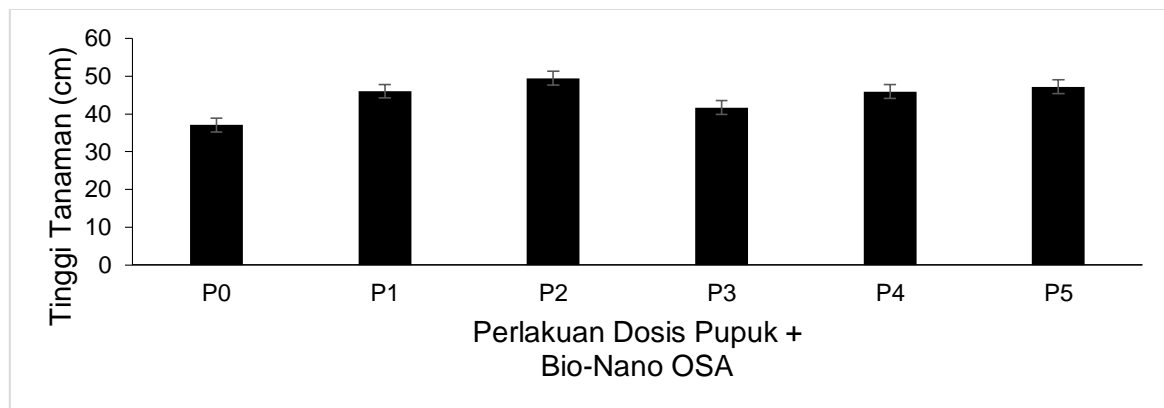
$$EPA = \frac{\text{Berat Kering Biji Kedelai}}{\text{Kebutuhan Air Tiap Tanaman}} \quad (3)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

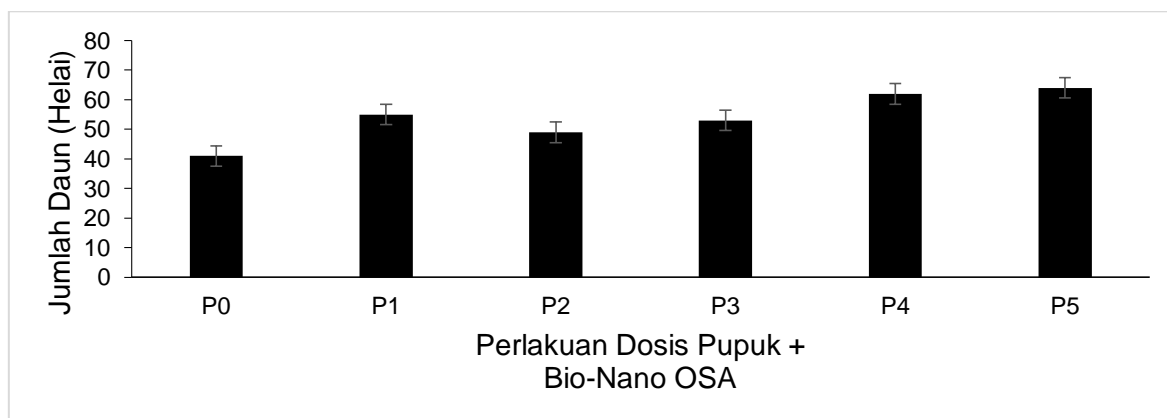
Hasil dan Pembahasan

Vegetatif tanaman

Hasil pengamatan mengindikasikan bahwa penggunaan Bio-Nano OSA cenderung mampu meningkatkan performa vegetatif tanaman. Terlihat pada pengamatan vegetatif kedelai hitam varietas Detam-1 yang dilakukan dengan parameter tinggi tanaman (**Gambar 1**) dan jumlah daun (**Gambar 2**).



Gambar 1. Hasil pengamatan tinggi tanaman kedelai hitam Detam-1 pada Ultisol Natar dengan beberapa perlakuan aplikasi pupuk dan Bio-Nano OSA.



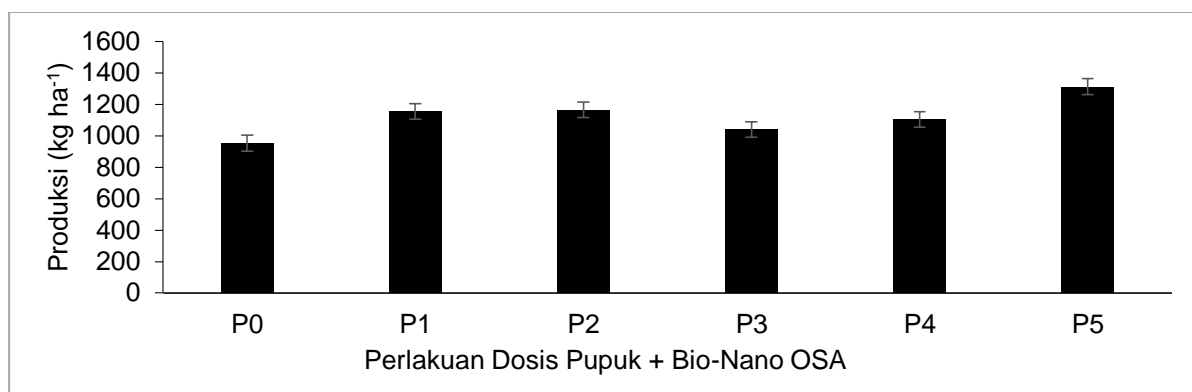
Gambar 2. Hasil pengamatan jumlah daun kedelai hitam Detam-1 pada Ultisol Natar dengan beberapa perlakuan aplikasi pupuk dan Bio-Nano OSA.

Perlakuan Bio-Nano OSA mampu menghasilkan tinggi tanaman yang lebih baik jika dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Perlakuan 100% dosis pupuk NPK + 4 L ha⁻¹ Bio-Nano OSA merupakan perlakuan terbaik dengan tinggi tanaman 47,17 cm.

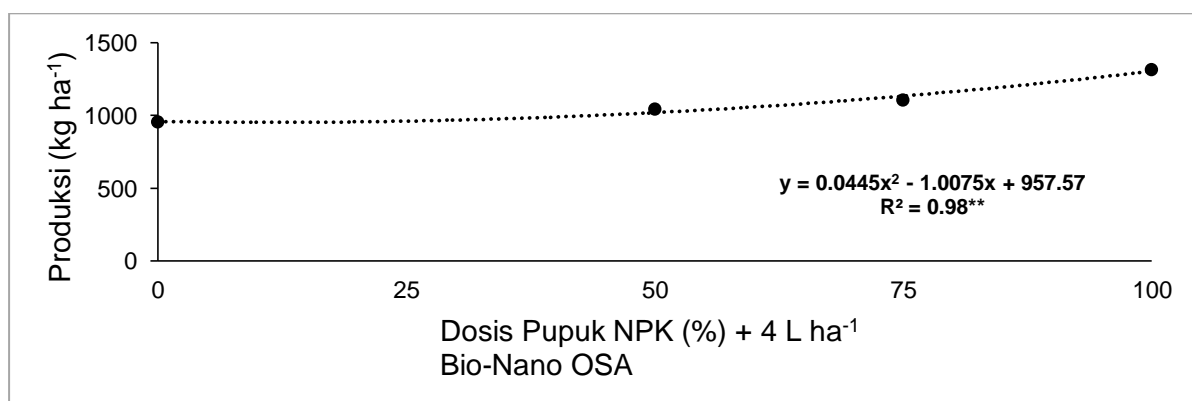
Jumlah daun pada tanaman kedelai hitam juga menunjukkan respon yang positif pada perlakuan Bio-Nano OSA dengan menghasilkan jumlah daun yang lebih banyak dari perlakuan lainnya. Perlakuan 100% dosis pupuk NPK + 4 L ha⁻¹ Bio-Nano OSA merupakan perlakuan terbaik dengan jumlah daun sebanyak 64 helai.

Produksi Kedelai Hitam

Data hasil panen kedelai hitam varietas Detam-1 dari setiap perlakuan disajikan pada **Gambar 3**. Secara umum, perlakuan penggunaan Bio-Nano OSA cenderung mampu meningkatkan produksi tanaman terutama pada perlakuan 100% dosis pupuk NPK + 4 L ha⁻¹ Bio-Nano OSA, yaitu sebesar 1,3 ton ha⁻¹. Akan tetapi, hasil produksi masih belum mencapai dari potensi produksi genetik yaitu sebesar 2,5 ton ha⁻¹ (Adie, Suharsono, dan Sudaryono, 2009). Hal ini diakibatkan oleh cekaman kekeringan yang sangat intensif dimana berdasarkan data curah hujan BMKG (2018) pada waktu penanaman dibulan April-Juli 2018 memiliki curah hujan rata-rata per bulan sebesar 123,9 mm bulan⁻¹.



Gambar 3. Produksi kedelai hitam varietas Detam-1 menggunakan 4 L ha⁻¹ Bio-Nano OSA pada Ultisol Natar.



Gambar 4. Hubungan antara dosis pupuk NPK dan produksi kedelai hitam varietas Detam-1 menggunakan 4 L ha⁻¹ Bio-Nano OSA pada Ultisol Natar.

Penggunaan 4 L ha⁻¹ Bio-Nano OSA memiliki hubungan dengan dosis pupuk kimia N, P, dan K seperti disajikan pada **Gambar 4**. Hubungan interaksi sangat nyata antara pupuk N, P, dan K dengan hasil produksi kedelai hitam varietas Detam-1 pada aplikasi 4 L ha⁻¹ Bio-Nano OSA adalah $R^2 = 0,98$. Dengan adanya penambahan dosis pupuk NPK yang ditambahkan dengan 4 L ha⁻¹ Bio-Nano OSA maka mampu menghasilkan produksi yang lebih tinggi. Akan tetapi, meskipun dengan adanya

pengurangan dosis pemupukan sebesar 25-50% pada perlakuan P3 dan P4 produksi kedelai hitam varietas Detam-1 masih dapat menghasilkan produksi yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan kontrol maupun perlakuan standar petani.

Hasil produksi kedelai hitam varietas Detam-1 dengan pengaplikasian Bio-Nano OSA pada tanaman mampu menyerap unsur N, P, dan K secara optimal meskipun terdapat pengurangan dosis 25-50% sehingga dosis pupuk dapat dihemat tanpa mempengaruhi hasil produksi (Guntzer, Keller, dan Meunier, 2012). Hal tersebut sesuai dengan yang dilaporkan Santi et al. (2018) bahwa aplikasi Bio-Nano OSA dapat meningkatkan produksi tanaman kedelai hitam di lahan kering masam.

Efisiensi Penggunaan Air (EPA)

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa aplikasi Bio-Nano OSA cenderung mampu menekan kebutuhan air sehingga penggunaan air oleh tanaman menjadi lebih efisien seperti yang disajikan pada **Tabel 2**. Meskipun kebutuhan air tanaman tertinggi pada perlakuan 100% dosis pupuk NPK + 4 L ha⁻¹ Bio-Nano OSA (P5) yaitu sebesar 4,89 mm hari⁻¹, akan tetapi perlakuan tersebut mampu menghasilkan penggunaan air yang lebih efisien jika dibandingkan dengan perlakuan lainnya yaitu sebesar 2,236 g/mm/tanaman.

Tabel 2. Efisiensi penggunaan air Produksi kedelai hitam Detam-1 pada Ultisol Natar dengan beberapa perlakuan aplikasi pupuk dan Bio-Nano OSA.

Perlakuan	Kebutuhan Air Tanaman (mm/hari)	EPA (g/mm/tanaman)
P0*	4,59 ab**	1,731 a
P1	4,55 ab	2,121 a
P2	4,61 ab	2,108 a
P3	4,10 b	2,122 a
P4	4,13 b	2,234 a
P5	4,89 a	2,236 a
CV (%)	5,4	13,1

Keterangan: *) Blanko (P0), 100% dosis rekomendasi pupuk NPK (P1), P1 + 2 ton ha⁻¹ pupuk organik (P2), 50% P1 + 4 L ha⁻¹ Bio-Nano OSA (P3), 75% P1 + 4 L ha⁻¹ Bio-Nano OSA (P4) dan P1 + 4 L ha⁻¹ Bio-Nano OSA (P5) **) Angka dalam kolom yang sama diikuti dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji jarak ganda Duncan (P<0,05)

Aplikasi Bio-Nano OSA pada tanaman kedelai hitam varietas Detam-1 memberikan dampak yang positif pada efisiensi penggunaan air (EPA) melalui mekanisme aktivitas membuka dan menutupnya stomata (Ashraf dan Harris, 2013; Santi, Haris, dan Mulyanto, 2018). Adapun mekanisme tersebut terjadi dikarenakan kondisi lahan yang mengalami cekaman kekeringan dapat mengakibatkan sel penjaga menjadi kehilangan turgornya. Sehingga menyebabkan sel mesofil menggunakan hormon asam abisat untuk memberikan sinyal pada sel penjaga untuk menutup stomata sebagai upaya menahan laju transpirasi. Stomata yang tertutup menyebabkan fotosintesis menjadi terhambat sehingga berdampak pada penurunan produksi. Ketersediaan silika yang ada pada jaringan daun kedelai hitam, dapat mencegah proses kehilangan air lebih lanjut melalui proses transpirasi. Akibat laju respirasi yang rendah sehingga memungkinkan stomata tetap terbuka dan proses

fotosintesis berjalan normal (Malav dan Ramani, 2017; Santi, Haris, dan Mulyanto, 2018).

SIMPULAN

Aplikasi Bio-Nano OSA pada tanah Ultisol di lahan kering masam mampu memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan perlakuan kontrol. Bio-Nano OSA mampu meningkatkan produksi kedelai hitam varietas Detam-1 hingga 38% serta efisiensi penggunaan air (EPA) sebesar 29%. Namun, studi lebih lanjut diperlukan untuk mengkonfirmasi hasil yang sudah didapatkan dengan melakukan kegiatan pengujian pada lokasi yang berbeda.

SANWACANA

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Badan Litbang Pertanian yang telah memberikan dukungan pendanaan dalam Proyek Kerjasama Penelitian, Pengkajian dan Pengembangan Pertanian Strategis (KP4S) (kontrak nomor: 31.64/PL. 040/H. 1/02/2018. K, 12 Februari 2018) dan Balai Pengkajian Teknologi Pertanian, Lampung atas izin penggunaan lahan percobaan untuk kegiatan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA (12 pt)

- Adie MM, Suharsono, Sudaryono. 2009. Prospek kedelai hitam varietas Datam-1 dan Detam-2. *Buletin Palawija* 18: 66-72.
- Anyia A.O., Herzog H. 2014. Water-use efficiency, leaf area and leaf gas exchange of cowpeas under mid-season drought. *European Jurnal Agronomi* 20(4): 327-339.
- Ashraf M, Harris PJC. 2013. Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica* 51(2): 163-190.
- Chidrawar J.N.S., Thorat V., Shah P., Rao V. 2014. Ortho silicic acid (OSA) based formulations facilitates improvement in plant growth and development. 6th Internat. *Confrence Silicon in Agricultural* 26-30 August 2014. Stockholm, Sweden.
- Cristancho R.J.A., Restrepo F. 2014. Silicon in agriculture – New development in Latin America (2014). 6th Internat. *Confrence Silicon in Agricultural* 26-30 August 2014. Stockholm, Sweden.
- Diedrich T., Dybowska A., Schott J., Valsami-Jones E., Oelkers E.H. 2012. The dissolution rates of SiO₂ nanoparticles as a function of particle size. *Environment Science Technology* 46(9) 4909-4915
- Dwidjopuspito T. 1986. Soil Moisture Prediction. *Dissertation*. Univ. Phillippines at Los Banos, Phillippines.
- Farooq M, A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita, dan S. M. A. Basra. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy Sustainable Development* 29: 185–212.
- Goenadi D.H., Santi L.P. 2009. Introduction of microbial inoculants to improve functional relationship between above- and below-ground bio-diversity. *Menara Perkebunan* 77(1): 58-67.

- Guntzer F., Keller C., Meunier J.D. 2012. Benefits of plant silicon for crops: a review. *Agronomy Sustainable Development* 32: 201–213.
- Hafif B, Santi LP. 2016 Optimasi produksi kedelai (*Glycine max* L. Merr) melalui aplikasi pupuk hayati dan budidaya jenuh air di lahan rawa. *Menara Perkebunan* 84(2): 88-97.
- Heckman J. 2013. Silicon: A Beneficial Substance. *Better Crops* 97(4): 14-16.
- Jangpromma N., Thammasirirak S., Jaisil P., Songsri P. 2012. Effects of drought and recovery from maladroght stress on above ground and root growth, and water use efficiency in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *Australian Journal Crop Science* 6(8): 1298-1304.
- Malav JK, Ramani VP. 2017. Effect of silicon on nitrogen use efficiency, yield and nitrogen and silicon contents in rice under loamy sand soil. *Research Journal Chemical Environmental* 21(4): 58-63.
- Mulyani A, Rachman A, Dariah A. 2009. Penyebaran Lahan Masam, Potensi dan Ketersediaannya Untuk Pengembangan Pertanian. Buku Fosfat Alam: Pemanfaatan Fosfat Alam yang Digunakan Langsung sebagai Pupuk Sumber P. Penerbit Balai Penelitian Tanah (elektronik).
- Santi LP, Goenadi DH, Barus J, Dariah A. 2018. Pengaruh bio-nano silika terhadap hasil dan efisiensi penggunaan air kedelai hitam di lahan kering masam. *Jurnal Tanah dan Iklim* 42(1): 43-52.
- Santi LP, Goenadi DH. 2017. Solubilization of silicate from quartz mineral by potential silicate solubilizing bacteria. *Menara Perkebunan* 85(2): 96-104.
- Santi LP, Mulyanto D, Goenadi DH. 2017. Double Acid-Base Extraction of Silicic Acid from Quartz Sand. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering* 5(6): 362-373.
- Santi, L.P., N. Haris, dan D. Mulyanto. 2018. Effect of bio-silica on drought tolerance in plants. *IOP Confrence Series Earth Environmental Science* 183.
- Singh A.K., Madramootoo C.A., Smith D.L. 2014. Impact of different water management scenarios on corn water use efficiency. *America Society of Agricultural Biological Enggineering* 57(5): 1319-1328.
- Soil Survey Staff. 2014. *Keys to Soil Taxonomy*. 14th Edition. United States Departement of Agriculture. Natural Resources Conservation Service, Washington, DC. 372p.
- Songsri P, Jogloy S, Holbrook CC, Kesmala T, Vorasoot N, Akkasaeng C, Patanothai A. 2009. Association of root, specific leaf area and SPAD chlorophyll meter reading to water use efficiency of peanut under different soil water. *Agricultural Water Management* 96(5): 790-798.
- Suryanti S., Indradewa D., Sudira P., Widada J. 2015. Kebutuhan air, efisiensi penggunaan air dan ketahanan kekeringan kultivar kedelai. *Agritech*. 35(1): 114-120.