

Pengaruh Bio-Nano Silika Terhadap Hasil dan Efisiensi Penggunaan Air Kedelai Hitam di Lahan Kering Masam

Effects of Bio-Nano Silica on Yield and Water Use Efficiency of Black Soybean in Acid Dry Land Soil

Laksmi Prima Santi*¹, Didiek Hadjar Goenadi¹, Junita Barus², Ai Dariah³

¹ Pusat Penelitian Bioteknologi dan Bioindustri Indonesia, Jl. Taman Kencana No. 1, Bogor 16128, Indonesia

² Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Lampung, Jl. Zainal Abidin Pagar Alam No. 1A, Rajabasa, Bandar Lampung 35144, Indonesia

³ Balai Penelitian Tanah, Jl. Tentara Pelajar No. 12, Cimanggu, Bogor 16124, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima: 05 Juli 2018

Direview: 09 Juli 2018

Disetujui: 19 Agustus 2018

Kata kunci:

Lahan kering masam

Bio-nano silika

Ketahanan kekeringan

Mikroorganisme pelarut silika

Keywords:

Acid upland soil

Bio-nano silica

Drought tolerance

Silica solubilizing microorganism

Abstrak. Kebutuhan kedelai hitam nasional masih tergantung pada pasokan dari luar negeri dan terkendala oleh rendahnya produktivitas. Oleh karena itu, pemanfaatan lahan marginal secara optimal perlu didorong untuk budidaya kedelai hitam. Optimalisasi lahan kering masam dihadapkan pada faktor utama pembatas tanah antara lain kemasaman tanah tinggi, air tersedia terbatas, dan efisiensi penggunaan unsur hara rendah. Silika (Si) dalam bentuk yang siap diserap oleh tanaman (asam silikat) mampu meningkatkan toleransi tanaman terhadap cekaman kekeringan dan meningkatkan efisiensi penggunaan hara. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh aplikasi bio-nano silika di lahan kering yang bereaksi masam terhadap: (i) hasil kedelai hitam, dan (ii) efisiensi penggunaan air. Kegiatan lapang dilaksanakan di Jatitujuh, Majalengka, Jawa Barat, pada bulan Juli-Oktober 2017 dengan menggunakan rancangan acak kelompok (RAK). Pupuk bio-nano silika diberikan dengan dosis 0, 2, 4, dan 6 l ha⁻¹, sedang pupuk N, P, dan K tunggal diberikan setara dengan 0, 50, 75, dan 100% dosis rekomendasi. Plot kontrol berupa perlakuan standar petani (100% N, P, dan K + 2 t ha⁻¹ pupuk organik). Plot berukuran 100 m² dari setiap perlakuan ditanami kedelai hitam varietas Detam-1. Pupuk bio-nano silika diekstraksi dari pasir kuarsa 325 mesh menggunakan larutan asam dan basa. Pupuk bio-nano silika mengandung kadar H₄SiO₄ > 5% dengan ukuran partikel 18 nm dan dalam aplikasinya diperkaya dengan mikroorganisme pelarut Si, yaitu *Aeromonas punctata*, *Burkholderia cenocepacia*, *B. vietnamiensis*, dan *Aspergillus niger*. Hasil percobaan menunjukkan bahwa hasil biji kedelai nyata tertinggi diperoleh pada perlakuan 75% NPK + 2 l bio-nano silika per hektar. Aplikasi 4 l ha⁻¹ bio-nano silika dapat menghemat dosis pupuk N, P, dan K sampai dengan 32%. Sementara aplikasi dengan dosis 6 l ha⁻¹ bio-nano silika dapat meningkatkan hasil kedelai hitam var. Detam-1 sampai dengan 36,7% dan menekan kebutuhan air tanaman hingga 65%.

Abstract. National black soybean demand is still dependent on import supply and limited by its low productivity. Therefore, the utilization of marginal land needs to be driven for development of black soybean cultivation. The main limiting factors of acid dry land soils are high soil acidity, limited water availability and low nutrients use efficiency. Silica (Si) in plant-available form (silicic acid) is able to improve plant drought tolerance and nutrient use efficiency. The objective of this study was to determine the effect of the application of bio-nano-silica in acid dry land to: (i) black soybean productivity, and (ii) the efficiency of water use. The research was conducted in Jatitujuh area, Majalengka, West Java, in July-October 2017, by using a randomized block design. Bio-nano silica was applied at 0, 2, 4, and 6 l ha⁻¹, whereas single N, P, and K fertilizers were given at 0, 50, 75, and 100% of recommended rate in three replicates and on a 100 m² plot size each, with control plot and farmer's standard practice plot (100% N, P, and K + 2-t ha⁻¹ of organic matter). Bio-nano silica was prepared from a 325-mesh quartz sand using acid base solution extraction method and containing > 5% H₄SiO₄ with 18 nm particle size applied in combination with selected Si-solubilizing microorganism, i.e. *Aeromonas punctata*, *Burkholderia cenocepacia*, *B. vietnamiensis*, and *Aspergillus niger*. The results showed that the highest yield of soybean seed obtained in treatment 75% NPK + 2 l bio-nano silica per hectare. Application of 4 l ha⁻¹ bio-nano silica saved of 32% N, P, and K fertilizer dosage. Furthermore, 6 l ha⁻¹ bio-nano silica improved bean production of Detam-1 var up to 36.7% and reduced water consumption by 65%.

Pendahuluan

Produktivitas kedelai pada lahan kering masam (LKM) di Indonesia umumnya rendah, antara lain disebabkan oleh keterbatasan tingkat kesuburan tanah untuk mendukung

pertumbuhan dan produksi secara maksimal. Unsur kesuburan tersebut adalah rendahnya ketersediaan unsur hara dan efisiensi penggunaan air (Hafif dan Santi 2016). Areal budidaya kedelai di LKM tergolong cukup luas, misal di Jawa Barat dan Lampung yang luasan areanya

*Corresponding author: laksmi.santi@gmail.com

mencapai hampir 2,5 juta hektar (Ritung *et al.* 2015). Berbagai upaya telah banyak dilakukan untuk meningkatkan produktivitas kedelai hitam pada lahan kering masam, namun hasilnya belum maksimal, khususnya yang diakibatkan oleh pengaruh keracunan aluminium dan/atau ketersediaan unsur P tanah yang rendah, dan cekaman kekeringan (Diedrich *et al.* 2012; Cristancho dan Restrepo 2014). Pengelolaan lahan kering masam untuk budidaya kedelai umumnya dilakukan pengapuran dengan menggunakan dolomit atau kapur, namun ketersediaan kedua bahan tersebut pada saat tanam sering sulit diperoleh. Oleh karena itu, paket teknologi budidaya yang lebih efisien diperlukan dan ketersediaannya pada saat musim tanam terjamin.

Kedelai merupakan tanaman kacang-kacangan yang mampu menambat N_2 bebas dari udara melalui bintil akar. Bintil akar pada kedelai terbentuk akibat infeksi oleh bakteri penambat N_2 , seperti *Bradyrhizobium* yang dikombinasikan dengan bakteri pelarut fosfat *Aeromonas punctata* (Goenadi dan Santi 2009). Proyeksi tahun 2020 konsumsi nasional kedelai diperkirakan akan mencapai 2,87 juta ton. Setelah menghitung angka kebutuhan dan mempertimbangkan kemampuan produksi kedelai dalam negeri, defisit pasokan kedelai Indonesia akan semakin meningkat. Peningkatan defisit ini diperkirakan akan berlanjut sampai tahun 2020, meskipun pada periode yang sama prediksi produksi meningkat namun laju pertumbuhan produksi lebih rendah dari laju konsumsi nasional. Pada tahun 2020 defisit pasokan kedelai diperkirakan mencapai 1,91 juta ton atau turun 0,71% dari tahun 2019 yang mengalami defisit sebesar 1,92 juta ton (Kementerian Pertanian 2016).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kedelai sangat responsif terhadap bahan organik (Afrida *et al.* 2015), radiasi matahari (Kawasaki *et al.* 2016), sulfur (Moreira dan Moraes 2016), dan air (Desclaux *et al.* 2000). Kedelai sering mengalami kekurangan air pada stadia pertumbuhan generatif, yang merupakan fase kritis tanaman terhadap kekurangan air. Kekurangan air selama fase pembungaan berakibat pada berkurangnya jumlah polong, jumlah biji per polong, dan ukuran biji (Desclaux *et al.* 2000). Cekaman kekeringan menghambat distribusi karbohidrat dari daun ke polong sehingga jumlah dan ukuran biji menurun (Liu *et al.* 2004). Cekaman kekeringan selama fase R3, R5, dan R6 menurunkan hasil masing-masing 33, 31, dan 50% (Dogon *et al.* 2007). Kekurangan air meningkatkan nisbah akar terhadap tajuk sehingga meningkatkan efisiensi penggunaan air (Uddin *et al.* 2010), tetapi tidak berpengaruh terhadap distribusi perakaran kedelai (Benjamin dan Nielson 2006). Kedelai hitam merupakan salah satu varietas kedelai yang kebutuhan nutrisinya relatif sama dengan kedelai kuning.

Varietas ini mengandung hara mikro dan antioksidan yang lebih tinggi dibandingkan kedelai kuning. Kadar karbohidrat dalam kedelai hitam lebih rendah tetapi kadar serat, protein, vitamin, K, Fe, Mg, Cu, Mn, dan riboflavin lebih tinggi (Anonim 2013).

Ketersediaan air bagi tanaman di lahan kering umumnya rendah terutama pada musim kering. Penggunaan silika menjadi salah satu alternatif untuk mengatasi kendala ketersediaan air dan penjerapan unsur P dan K dalam tanah. Silika merupakan salah satu unsur terbanyak dalam kerak bumi. Komposisi silika dalam tanah adalah 27,7% dari total berat (Chanchal *et al.* 2016). Penggunaan unsur silika, khususnya dalam bentuk ortho-silicic-acid (H_4SiO_4) dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kekeringan dan menurunkan potensi keracunan aluminium (Diedrich *et al.* 2012, Ashraf dan Harris 2013, Djajadi 2013, Edward 2014). Silika diyakini dapat meningkatkan kekuatan dinding sel melalui proses biosilifikasi sel daun (Farooq *et al.* 2009), sehingga lebih tahan terhadap kekeringan. Silika dapat menurunkan kejenuhan Al melalui mekanisme kompetisi anion seperti fosfat, yang dapat meningkatkan ketersediaan fosfat dalam tanah (Chidrawar *et al.* 2014).

Pada saat ini silika telah dinyatakan sebagai suatu unsur penting oleh *Association of American Plant Food Control Officials* (AAPFCO). Silika dapat berupa bahan kristalin atau senyawa amorf seperti kalsium silikat ($CaSiO_3$), magnesium silikat ($MgSiO_3$), natrium silikat (Na_2SiO_3), atau kalium silikat (K_2SiO_3). Asam silikat atau asam monosilikat [$Si(OH)_4$, atau H_4SiO_4] merujuk pada bentuk Si tersedia (Heckman 2013). Mutu pupuk silika yang tersedia di pasar saat ini beragam dan umumnya mengandung Si-terlarut rendah ($\leq 1\%$). Kegiatan riset pendahuluan yang dilakukan di Pusat Penelitian Bioteknologi dan Bioindustri Indonesia telah memperoleh Si dalam bentuk cair yang prospektif untuk meningkatkan ketahanan tanaman kelapa sawit terhadap cekaman kekeringan dan/atau keracunan Al (Santi *et al.* 2017a).

Aplikasi bio-nano silika pada LKM bermanfaat untuk meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk dan air karena fungsinya dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman kekeringan. Dalam hal budidaya kedelai hitam di lahan kering masam, manfaat bio-nano silika diharapkan dapat berdampak terhadap peningkatan kualitas dan produktivitas kedelai hitam, sehingga ketersediaan kedelai hitam lebih terjamin dan impor bisa berkurang. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh aplikasi bio-nano silika di lahan kering yang bereaksi masam terhadap: (i) hasil kedelai hitam, dan (ii) efisiensi penggunaan air.

Bahan dan Metode

Pembuatan Bio-nano Silika

Biakan bakteri dan fungi pelarut silika dipelihara dalam agar miring berisi medium Bunt dan Rovira dengan komposisi: 20 g glukosa; 1 g pepton; 1 g ekstrak khamir; 0,5 g $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$; 0,4 g K_2HPO_4 ; 0,1 g MgCl_2 ; 0,01 g FeCl_3 ; 250 ml ekstrak tanah; 20 g agar bakteriologi; 750 ml akuades; pH ditetapkan 6,6-7,0, atau dapat pula digunakan ekstrak tanah agar dengan komposisi: 1,0 g glukosa; 0,5 g K_2HPO_4 ; 100 ml ekstrak tanah; 20 g agar bakteriologi; 900 ml akuades; dan pH ditetapkan menjadi pH 7,0-7,2. Kedua jenis medium uji diperkaya dengan 0,25% (b/v) magnesium trisilikat sebagai indikator keefektifan bakteri dalam melarutkan silika (Vasanthi *et al.* 2013). Inkubasi dilakukan pada temperatur ruang ($30 \pm 2^\circ\text{C}$) selama tujuh hari. Setelah itu dilakukan pengamatan terhadap intensitas pertumbuhan inokulan, luasan zona jernih yang terbentuk, dan kelarutan silika dari aktivitas bakteri dan fungi pelarut silika secara kuantitatif dalam medium cair Bunt dan Rovira (Santi dan Goenadi 2017).

Bio-nano silika dibuat dengan cara mengekstraksi mineral pembawa Si dengan menggunakan larutan asam dan basa. Kadar Si terlarut yang diperoleh dari hasil ekstraksi ini rata-rata sebesar 7,5%. Selanjutnya dalam aplikasinya, bio-nano silika ini diperkaya dengan bakteri dan fungi pelarut Si dengan populasi 10^4 - 10^7 koloni ml^{-1} .

Lokasi dan Rancangan Percobaan

Penelitian dilaksanakan di wilayah PG Jatitujuh, PT Rajawali Nusantara Indonesia, Majalengka, Jawa Barat, yang terletak pada posisi geografis $6^\circ 31' 2''$ - $6^\circ 36' 40''$ LS dan $108^\circ 6' 3''$ - $108^\circ 16' 24''$ BT dengan ketinggian 3-50 m dpl dan beriklim C sesuai klasifikasi yang disampaikan oleh Schmidt dan Ferguson (1951), dengan curah hujan < 1.500 mm tahun⁻¹ dan bulan kering 7-8 bulan. Karakteristik tanah di area demplot adalah pH 5,2; fraksi pasir, debu, liat masing-masing 39,8, 26,7, 33,5%; kadar P Bray (5,3 ppm); P_2O_5 (0,038 %); N (0,1%); K_2O (0,003%); CaO (0,242%); C-organik 1,02%; SiO_2 total (43,79%); Si terlarut (2,2-2,4 ppm); KTK (25,04 cmol kg^{-1}); Al-dd (0,09 cmol kg^{-1}); NTK-Na (0,1 cmol kg^{-1}); NTK-K (0,06 cmol kg^{-1}); NTK-Ca (17,27 cmol kg^{-1}); NTK-Mg (1,30 cmol kg^{-1}); NTK total (18,73 cmol kg^{-1}); B (3,0 ppm); Al-total (1,16 ppm); Co (1,2 ppm); dan Pb (12,6 ppm).

Percobaan lapangan dilakukan dalam rancangan acak kelompok (RAK) dengan 17 perlakuan dan tiga ulangan. Pupuk bio-nano silika diberikan dengan dosis 0, 2, 4, dan 6 l ha^{-1} , sedangkan pupuk N, P, dan K tunggal diberikan setara dengan 0, 50, 75, dan 100% dosis rekomendasi pada plot berukuran 100 m^2 untuk setiap perlakuan. Plot kontrol

berupa perlakuan standar petani (100% N, P, dan K + 2 t ha^{-1} pupuk organik). Data yang diperoleh diolah dengan analisis ragam dan apabila ada beda nyata dilanjutkan dengan Uji Jarak Berganda Duncan pada taraf 5% (Steel dan Torrie 1980).

Pemupukan dan Pengamatan

Dalam pengujian di lapang sebelum dimasukkan ke dalam lubang tanam, benih kedelai hitam varietas Detam-1 terlebih dahulu *dicoating* dengan bakteri penambat N_2 dan pelarut fosfat. Benih ditanam dengan jarak tanam 20×40 cm. Setiap lubang tanam diletakkan dua butir benih kedelai hitam. Dosis pupuk yang diberikan untuk kedelai hitam var Detam-1 yang ditanam di lahan kering masam adalah 75 kg Urea + 100 kg SP36 + 100 kg KCl ha^{-1} + 500 kg CaO ha^{-1} (setara 1.500 kg dolomit). Pupuk urea, SP36 dan KCl diberikan paling lambat setelah tanaman berumur 14 hari. Pupuk diberikan dengan cara dilarrik 5-10 cm dari tanaman, dan ditutup tanah. Kapur (dolomit) ditebar sebelum tanam saat pengolahan lahan kedua. Pemberian pupuk NPK dalam setiap plot pengujian dilakukan sesuai dosis pengujian yang ditetapkan yaitu 0, 50, 75, dan 100% dari dosis standar rekomendasi. Aplikasi bio-nano silika masing-masing dengan dosis 0, 2, 4, dan 6 l ha^{-1} dilakukan pada saat 28 hari setelah tanam (HST) dengan cara disemprotkan ke arah tanah di sekitar perakaran kedelai hitam. Pengamatan mencakup parameter: (i) hasil kedelai hitam, (ii) bobot kering biomassa kedelai hitam, (iii) hara tanah yang ditetapkan sebelum dan setelah perlakuan, (iv) daya simpan air tanah, (v) kadar klorofil, dan (vi) pembukaan stomata dengan menggunakan *scanning electro microscope* (SEM).

Penetapan Hasil Produksi Kedelai Hitam di Lapang

Panen kedelai hitam dilakukan apabila 95% polong pada batang utama telah berwarna kuning kecoklatan atau kehitaman dan sebagian besar daunnya sudah rontok, serta polong sudah terisi penuh. Penghitungan panen dilakukan pada petak ubinan berukuran 1×1 m dengan tiga ulangan dari setiap plot perlakuan dan kontrol. Tanaman kedelai yang telah dipanen kemudian dijemur agar polong menjadi kering. Setelah polong kering kemudian biji kedelai dipipil. Biji kedelai hitam hasil panen selanjutnya dikering-ovenkan 40°C selama 2-3 hari sampai kadar air biji mencapai 12-14% dan ditimbang untuk bobot biji per tanaman.

Analisis Tanah, Daun, dan Penetapan Efisiensi Penggunaan Air

Contoh tanah dikeringanginkan dan disaring hingga lolos saringan berukuran 2 mm. Analisis hara dalam tanah

dan daun mengacu pada metode yang digunakan Balai Penelitian Tanah (2009). Kadar bahan organik ditetapkan berdasarkan metode Walkley-Black, N dengan Kjeldahl, pH tanah dalam suspensi air 1:2,5 (w/v) diukur dengan pH meter, Ca, Mg, K, Na, dan kapasitas tukar kation (KTK) diekstrak 1 N NH_4OAc dan diukur dengan metode perkolasi-titrasi sampai terjadi perubahan warna (AOAC 2005; Survey Laboratory Methods 2014). Kadar Al dan H yang dapat dipertukarkan ditetapkan dengan metode van Reeuwijk (2002). Sementara itu panduan klasifikasi tanah menggunakan Soil Taxonomy (Soil Survey Staff 2014).

Efisiensi penggunaan air (EPA) ditetapkan melalui pendekatan berdasarkan volume konsumsi air per kg biji kedelai yang diproduksi (Anyia dan Herzog 2004, Singh *et al.* 2014, dan Suryanti *et al.* 2015). Kebutuhan air tanaman (KAT) ditetapkan dengan metode perkalian nilai evapotranspirasi dengan koefisien tanaman (Jangpromma *et al.* 2012). Koefisien tanaman (k_c) ditetapkan berdasarkan nilai perhitungan kadar air pada tanah saat jenuh, kapasitas lapang, dan titik layu permanen menurut Dwidjopuspito (1986) yang diambil pada saat panen.

Analisis Klorofil

Kandungan pigmen daun (klorofil) ditetapkan dengan melakukan ekstraksi pigmen dan analisis kandungan pigmen. Pengukuran kandungan klorofil daun dimulai dengan melakukan pengambilan daun kedelai yang sehat, tidak terserang penyakit atau berlubang karena dimakan serangga, dan daun berwarna hijau. Masing-masing diambil dua helai daun dari satu tanaman kedelai sampling yaitu daun kedua dan ketiga yang terletak pada percabangan ketiga dari pucuk. Selanjutnya dilakukan ekstraksi menggunakan pelarut aseton 80%. Daun yang telah diiris tipis ditimbang sebanyak 1,0 g, dihaluskan dengan mortar, lalu ditambahkan 10 ml aseton 80%, digerus kuat dan disaring. Filtrat yang diperoleh ditampung dalam labu takar 50 ml. Ekstraksi diulang kembali dengan menambahkan aseton 80% sebanyak 3 ml, lalu disaring. Filtrat kedua yang diperoleh disatukan dengan filtrat pertama. Ekstraksi terhadap ampas daun minimal dilakukan sebanyak tiga kali. Volume filtrat ditepatkan hingga tanda tera dengan menambahkan aseton 80% (Wellburn 1994). Ekstrak pigmen dalam pelarut aseton 80% diukur serapannya dengan menggunakan spektrofotometer UV-mini-1240 Shimadzu, pada panjang gelombang 663 nm untuk klorofil a dan 646 nm untuk klorofil b. Konsentrasi klorofil a dan b maupun klorofil total dihitung menggunakan formula berikut:

$$\text{Klorofil total (mg g}^{-1}\text{)} = 17,30.A_{646} + 7,18.A_{663}$$

$$\text{Klorofil a (mg g}^{-1}\text{)} = 12,21.A_{663} - 2,81.A_{646}$$

$$\text{Klorofil b (mg g}^{-1}\text{)} = 20,13.A_{646} - 5,03.A_{663}$$

Pengamatan Stomata

Struktur anatomi stomata pada masing-masing perlakuan diamati menggunakan *scanning electron microscope* (SEM). Persiapan preparat terdiri atas 3 tahapan. Pertama adalah tahap fiksasi, sampel direndam dalam larutan *caccodylate buffer* (*sodium caccodylate trihydrate*, HCl dan H_2O dengan pH 7,4). Proses perendaman dilakukan selama ± 2 jam, dan direndam dalam larutan glutaraldehida 2,5% selama dua jam dan setelah itu dalam larutan asam tanat 2% selama 24 jam. Kedua adalah tahap dehidrasi, yaitu sampel direndam secara berurutan dengan alkohol 50% selama 4 x 5 menit, alkohol 70% selama 20 menit, dan alkohol 85% selama 20 menit pada suhu 4°C. Selanjutnya direndam dalam alkohol 95% selama 20 menit, alkohol absolut 2 x 10 menit dan t-butanol selama 2 x 10 menit pada suhu ruang. Ketiga adalah tahap perekatan, yaitu sampel dengan ukuran 1 x 1 cm direkatkan pada silinder logam steril yang diletakkan ke dalam pelapis ion untuk divakum, lalu dilapisi dengan logam Pt-Au menggunakan pelapis ion (Talbot dan Rosemary 2013).

Hasil dan Pembahasan

Pembuatan Bio-nano Silika

Bio-nano silika dihasilkan melalui modifikasi teknik ekstraksi mineral pembawa Si yang berdasarkan metode yang dikemukakan oleh Santi *et al.* (2017b). Modifikasi teknik ekstraksi tanpa pencucian dengan asam kuat dalam suhu tinggi menghasilkan Si terlarut tetap tinggi pada kisaran 7,5%. Dalam aplikasinya, larutan silika yang dihasilkan diperkaya dengan bakteri dan fungi pelarut Si, yaitu *Aeromonas punctata*, *Burkholderia cenocepacia*, *Burkholderia vietnamiensis*, dan *Aspergillus niger* yang merupakan koleksi Pusat Penelitian Bioteknologi dan Bioindustri Indonesia (PPBBI). Bakteri dan fungi ini memiliki kemampuan melarutkan Si sukar larut (Santi dan Goenadi 2017).

Berdasarkan analisis ukuran partikel nano silika di Laboratorium Nanoteknologi, Badan Litbang Pertanian, Cimanggu, Bogor, pasir kuarsa yang direaksikan dengan basa kuat memiliki ukuran 368 nm. Campuran ini terdiri atas senyawa sodium metasilikat (Na_2SiO_3) yang bersifat *reversible* dan dapat berubah menjadi Si (H_4SiO_4) yang larut dalam air. Hasil analisis lebih lanjut dengan difraksi sinar-X menunjukkan bahwa ukuran kristalit kuarsa berkisar 18 nm yang diperoleh berdasar perhitungan dengan formula Scherrer (Cullity dan Stock 2001).

Hasil Produksi Kedelai Hitam di Lapang

Hasil pengamatan produktivitas kedelai hitam var. Detam-1 pada 80 HST yang mencakup bobot biji, bobot biomassa tanaman, dan total klorofil terlihat pada Tabel 1. Pengaruh dosis bio-nano silika terhadap bobot biji cenderung kuadrat dengan hasil tertinggi dicapai pada perlakuan 75% NPK + 2 liter bio-nano silika. Sebaliknya, pengaruh dosis pemupukan masih cenderung linier dengan peningkatan persentase dosis. Angka-angka yang dicapai dari percobaan ini tergolong rendah dibandingkan dengan potensi kedelai hitam Detam-1 yang disampaikan oleh Ginting *et al.* (2009), Rasyid (2013), dan Aulia *et al.* (2014). Hal ini diakibatkan oleh cekaman kekeringan yang sangat intensif dimana selama percobaan bulan Juli-Oktober 2017 di lokasi hampir tidak ada hujan. Meskipun sudah diupayakan dengan penyiraman, namun intensitas pemberian air masih di bawah yang dibutuhkan. Hasil konversi produksi per hektar dalam kegiatan ini hanya mencapai 50% dari potensi produksi var. Detam-1.

Hubungan interaksi nyata antara dosis pupuk N, P, dan K dengan hasil kedelai hitam var. Detam-1 pada masing-masing dosis bio-nano silika adalah $R^2 = 0,71$; $0,97$; dan $0,99$ (Gambar 1) yang mengindikasikan bahwa makin tinggi dosis bio-nano silika makin erat hubungannya dengan dosis pupuk NPK. Pemberian bio-nano silika

hingga taraf 4 l ha^{-1} memberikan hasil lebih tinggi dibandingkan dengan pemupukan N, P, dan K tanpa aplikasi bio-nano silika. Dari Gambar 1 dapat ditetapkan dosis optimum pupuk N, P, dan K dalam kombinasinya dengan bio-nano silika. Makin tinggi dosis bio-nano silika maka makin banyak dosis pupuk N, P, dan K tunggal yang dapat dihemat. Dari masing-masing perlakuan bio-nano silika 2, 4, dan 6 l ha^{-1} diperoleh dosis optimum pupuk N, P, dan K sebesar 100, 68, dan 74%. Penghematan dosis terbesar pada dosis bio-nano silika 4 l ha^{-1} yaitu sebesar 32%. Berdasarkan data berat 100 butir biji kedelai, aplikasi 6 l ha^{-1} bio-nano silika dapat meningkatkan berat 36,7% dibanding pemupukan standar petani.

Analisis kandungan klorofil dan stomata dilakukan untuk melihat dampak cekaman kekeringan terhadap fisiologi tanaman kedelai hitam Detam-1. Menurut Ashraf dan Harris (2013), pada saat terjadi kondisi kekeringan dengan ketersediaan air yang terbatas, maka biosintesis klorofil akan menurun. Aplikasi bio-nano silika diharapkan dapat meningkatkan kandungan klorofil a dan b ataupun total klorofil seperti yang dilaporkan oleh Silva *et al.* (2012). Berdasarkan hasil penelitian ini diketahui bahwa total klorofil pada daun kedelai hitam yang diaplikasikan dengan 50-75% NPK+ 6 l bio-nano silika nyata lebih tinggi jika dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari foto SEM diketahui

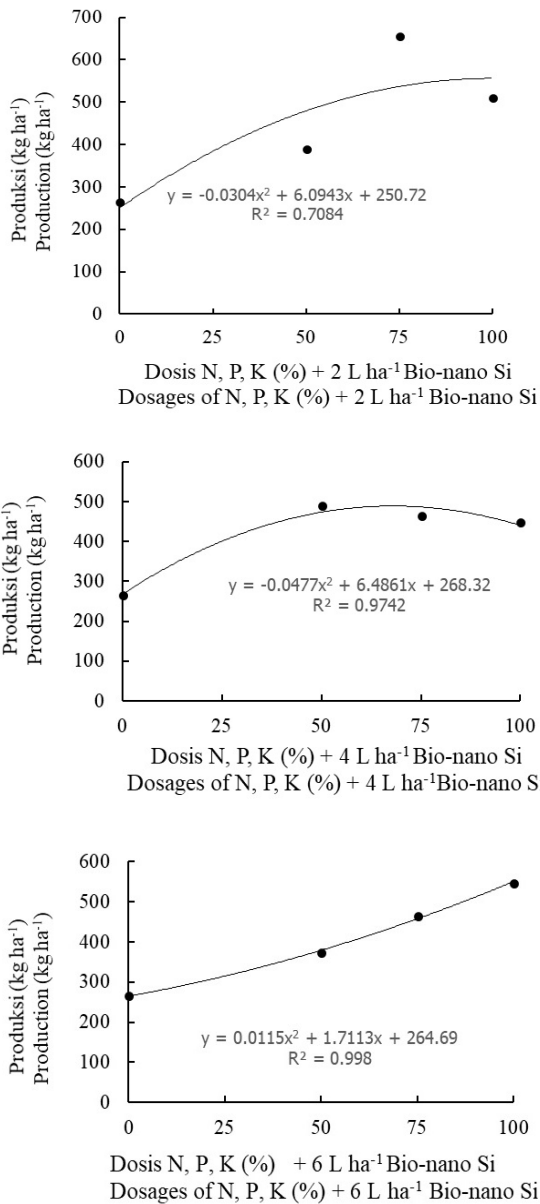
Tabel 1. Bobot biji, rasio klorofil, dan bobot kering biomassa kedelai hitam var. Detam-1 dengan beberapa variasi perlakuan pupuk tunggal N, P, dan K dan bio-nano Si

Table 1. Bean weight, chlorophyll ratio, and biomass weight of black soybean var. Detam-1 affected by bio-nano Si and single N, P, and K fertilizer application treatments

| Notasi perlakuan | Perlakuan | Bobot biji | Bobot biomassa | Total klorofil |
|------------------|---|---------------------------------|----------------|----------------|
| | | g tan ⁻¹ | | |
| B1 | Bio-Nano Si 2 L ha ⁻¹ | 2,1 fg ¹ | 11,2 b | 8,3 g |
| B2 | Bio-Nano Si 4 L ha ⁻¹ | 2,9 bc | 13,1 a | 12,5 d |
| B3 | Bio-Nano Si 6 L ha ⁻¹ | 2,8 cd | 13,6 a | 14,0 c |
| P1 | 50% NPK | 1,7 g | 7,4 g | 8,8 fg |
| P2 | 75% NPK | 2,6 cde | 8,1 efg | 13,9 c |
| P3 | 100% NPK | 2,8 cd | 8,6 ef | 10,1 e |
| P1B1 | 50% NPK + 2 L Bio-Nano Si ha ⁻¹ | 2,4 def | 8,1 efg | 12,2 d |
| P2B1 | 75% NPK + 2 L Bio-Nano Si ha ⁻¹ | 4,0 a | 9,7 cd | 12,2 d |
| P3B1 | 100% NPK + 2 L Bio-Nano Si ha ⁻¹ | 3,1 bc | 10,6 bc | 12,4 d |
| P1B2 | 50% NPK + 4 L Bio-Nano Si ha ⁻¹ | 3,0 bc | 8,7 efg | 9,5 ef |
| P2B2 | 75% NPK + 4 L Bio-Nano Si ha ⁻¹ | 2,8 cd | 8,2 efg | 10,0 e |
| P3B2 | 100% NPK + 4 L Bio-Nano Si ha ⁻¹ | 2,7 cde | 8,7 ef | 10,0 e |
| P1B3 | 50% NPK + 6 L Bio-Nano Si ha ⁻¹ | 2,3 ef | 7,8 efg | 17,3 a |
| P2B3 | 75% NPK + 6 L Bio-Nano Si ha ⁻¹ | 2,8 cd | 11,2 b | 15,9 b |
| P3B3 | 100% NPK + 6 L Bio-Nano Si ha ⁻¹ | 3,3 b | 10,6 bc | 12,9 cd |
| K1 | Blanko (tanpa pupuk) | 1,6 g | 3,7 h | 7,9 h |
| K2 | 100% NPK + 20 kg Bahan organik | 2,7 cde | 8,0 efg | 11,7 d |

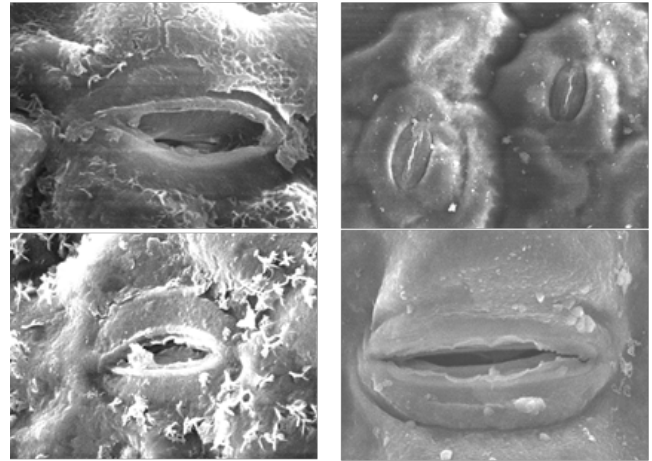
¹Angka dalam kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji jarak ganda Duncan ($P < 0,05$)

bahwa aplikasi bio-nano silika memberikan dampak yang baik terhadap aktivitas membuka dan menutupnya stomata daun kedelai hitam. Stomata daun kedelai hitam yang diberi perlakuan bio-nano silika tetap terbuka dalam kondisi curah hujan yang sangat rendah saat kegiatan ini dilaksanakan. Sementara pada kondisi yang sama, tanpa perlakuan bio-nano silika (kontrol), stomata daun kedelai hitam tertutup (Gambar 2).



Gambar 1. Hubungan antara dosis pupuk N, P, dan K dan produksi kedelai hitam Detam-1 dengan aplikasi 2 l ha⁻¹ (atas), 4 l ha⁻¹ (tengah), dan 6 l ha⁻¹ (bawah) bio-nano silika

Figure 1. The relationship between N, P, and K fertilizer dose and black soybean production of Detam-1 var. using 2 l ha⁻¹ (upper), 4 l ha⁻¹ (middle), and 6 l ha⁻¹ (bottom) bio-nano silika



Gambar 2. Scanning electron microscope (SEM) daun kedelai hitam Detam-1, dengan pembesaran 5.000x. Perlakuan: 75% N, P, K + 4 l ha⁻¹ bio-nano silika (i); 100% N, P, dan K (ii); 50% N, P, dan K + 6 l ha⁻¹ bio-nano silika; dan (iii) 4 l ha⁻¹ bio-nano silika (iv)

Figure 2. Scanning electron microscope (SEM) view of black soybean leaf Detam-1, 5,000x magnification. Treatments: 75% N, P, K + 4 l bio-nano silica ha⁻¹ (i); 100% N, P, and K (ii); 50% N, P, and K + 6 l bio-nano silica ha⁻¹ (iii); and Bio-nano silica 4 l ha⁻¹ (iv)

Dalam kondisi cekaman kekeringan dan kekurangan air, sel penjaga (sel epidermis yang dilengkapi kloroplas) dapat kehilangan turgornya. Hormon asam absisat yang dihasilkan di dalam sel mesofil sebagai tanggapan terhadap kekurangan air akan memberikan sinyal pada sel penjaga untuk menutup stomata sebagai upaya untuk menahan laju transpirasi. Respon ini dapat memperlambat fotosintesis yang pada akhirnya berdampak pula terhadap penurunan produksi. Ketersediaan silika pada jaringan di bawah kutikula daun kedelai hitam, dapat mencegah proses kehilangan air lebih lanjut melalui jaringan permukaan daun (transpirasi). Dengan adanya laju transpirasi yang rendah akan memungkinkan stomata tetap terbuka dan proses fotosintesis dapat berjalan dengan normal.

Pengaruh Terhadap Sifat Tanah

Tanah di lokasi percobaan tergolong tanah dengan tingkat pelapukan lanjut yang ditandai dengan adanya pengendapan liat, tanah berwarna coklat kekuningan dengan struktur gumpal bersudut. Tanah di Jatitujuh tergolong Alfisol, memiliki pH 5,2 (masam) dengan regim kelembaban udik (kering lembab) dan memiliki karakter vertikal dengan terjadinya retakan tanah ketika mengalami kekeringan serta bulan kering yang nyata (7-8 bulan tahun⁻¹).

Retakan cukup lebar dan diduga mampu memutus perakaran tanaman sehingga mengganggu pertumbuhan dan produktivitasnya.

Ciri kimia lainnya adalah pH rendah, KTK sedang, kadar C-organik, N, P tersedia, dan K rendah. Seperti terlihat pada Tabel 2 bahwa aplikasi dolomit sebelum tanam kedelai hitam meningkatkan pH tanah dari 5,2 menjadi rata-rata pH 6. Bagaimanapun juga, hasil aplikasi bio-nano silika belum menunjukkan pola hubungan yang jelas antara perlakuan dan sifat kimia tanah, khususnya yang terkait dengan aplikasi bio-nano silika terhadap kadar P, nilai pH, dan/atau sumber kemasaman tanah (H-dd). Pengaruh aplikasi pupuk Si yang tidak nyata terhadap sifat kimia tanah juga dilaporkan oleh Faradiba (2016) pada tanaman padi sawah, dan menurut laporan Trisnawati *et al.* (2017) bahwa terjadi sifat antagonis antara pemberian N dan Si yang berpengaruh terhadap perkembangan hama *Spodoptera litura* pada kedelai.

Efisiensi Penggunaan Air

Tanaman kedelai merupakan jenis tanaman lahan kering yang tetap memerlukan air untuk mendukung pertumbuhan dan produksinya. Konsumsi penggunaan air tanaman ditetapkan berdasarkan informasi yang diperoleh dari kurva pF dan perhitungan berdasarkan evapotranspirasi dan koefisien tanaman kedelai seperti yang dilaporkan oleh Suryanti *et al.* (2015) dan beberapa

peneliti lainnya (Visser 2014; Prastowo *et al.* 2016; dan Adha *et al.* 2016). Berdasarkan kurva pF dari seluruh plot percobaan di Jatitujuh, kadar air tersedia berkisar antara 7,5 dan 15,1% (% volume), sedangkan ruang pori total berkisar antara 43,2 dan 51,2 % (% volume). Aplikasi bio-nano silika menekan kebutuhan air tanaman secara nyata dibanding dengan perlakuan dosis pupuk (Tabel 3). Kombinasinya dengan dosis pemupukan tidak menunjukkan pola yang jelas antara perlakuan dan KAT, tetapi pola jelas terlihat antara perlakuan dan EPA. Kombinasi bio-nano silika sampai dengan 6 L ha⁻¹ dapat menghemat dosis pupuk hingga 50% dan lebih tinggi daripada perlakuan standar petani (K2). Dosis ini juga nyata lebih hemat air dibandingkan dengan kontrol tanpa bio-nano-silika (50% pupuk). Peran silika dalam hal menekan kebutuhan air bagi tanaman disampaikan oleh Sapre dan Vakharia (2016), silika meningkatkan pertahanan enzim antioksidan yang merupakan mekanisme pertahanan pertama bagi tanaman pada saat terjadi defisit air. Silika juga berfungsi menghambat senyawa oksidatif penyebab cekaman seperti hidrogen peroksida serta meningkatkan aktivitas enzim antioksidan seperti superoksida dismutase (SOD), katalase (CAT) dan glutatin reductase (GR). Penggunaan air paling efisien diperoleh dari perlakuan 4 L bio-nano silika per hektar yang dikombinasikan dengan pupuk NPK 75% dosis rekomendasi. Pemupukan NPK dosis 75% yang dikombinasi dengan bio-nano silika 6 L ha⁻¹ menghasilkan EPA tertinggi yang tidak berbeda nyata dengan 4 L ha⁻¹

Tabel 2. pH, C-organik, dan kadar hara tanah plot perlakuan kedelai hitam var Detam-1, tiga bulan setelah aplikasi dengan N, P, K dan bio-nano silika

Table 2. pH, organic C, and soil nutrient levels of black soy bean Detam-1 var. at three months after N, P, K, and bio-nano silica application

| Notasi perlakuan | Perlakuan | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | MgO | C-org | KTK | pH H ₂ O | H-dd |
|------------------|---|---------------|-------------------------------|------------------|------|------|-------|--------------------------|---------------------|--------------------------|
| | | % | | | | | | Cmol(+) kg ⁻¹ | | Cmol(+) kg ⁻¹ |
| B1 | Bio-nano Si 2 L ha ⁻¹ | 0,11 | 0,09 | 0,01 | 0,11 | 0,01 | 1,29 | 20,02 | 5,9 | 0,10 |
| B2 | Bio-nano Si 4 L ha ⁻¹ | 0,12 | 0,07 | 0,01 | 0,07 | 0,01 | 1,36 | 18,81 | 6,5 | 0,20 |
| B3 | Bio-nano Si 6 L ha ⁻¹ | 0,12 | 0,07 | 0,01 | 0,08 | 0,01 | 1,13 | 19,26 | 6,5 | 0,10 |
| P1 | 50% NPK | 0,12 | 0,07 | 0,01 | 0,12 | 0,01 | 1,27 | 19,55 | 5,7 | 0,10 |
| P2 | 75% NPK | 0,12 | 0,07 | 0,01 | 0,08 | 0,01 | 1,34 | 19,95 | 6,5 | 0,10 |
| P3 | 100% NPK | 0,11 | 0,08 | 0,01 | 0,08 | 0,01 | 1,22 | 17,93 | 6,4 | 0,29 |
| P1B1 | 50% NPK + 2 L Bio-nano Si ha ⁻¹ | 0,12 | 0,08 | 0,01 | 0,07 | 0,10 | 1,18 | 18,13 | 6,3 | 0,20 |
| P2B1 | 75% NPK + 2 L Bio-nano Si ha ⁻¹ | 0,11 | 0,09 | 0,01 | 0,15 | 0,01 | 1,25 | 16,58 | 6,3 | 0,20 |
| P3B1 | 100% NPK + 2 L Bio-nano Si ha ⁻¹ | 0,12 | 0,08 | 0,01 | 0,17 | 0,01 | 1,15 | 18,32 | 6,3 | 0,19 |
| P1B2 | 50% NPK + 4 L Bio-nano Si ha ⁻¹ | 0,12 | 0,08 | 0,01 | 0,17 | 0,01 | 1,30 | 18,32 | 6,1 | 0,20 |
| P2B2 | 75% NPK + 4 L Bio-nano Si ha ⁻¹ | 0,11 | 0,14 | 0,01 | 0,16 | 0,01 | 1,16 | 16,41 | 6,3 | 0,20 |
| P3B2 | 100% NPK + 4 L Bio-nano Si ha ⁻¹ | 0,11 | 0,06 | 0,01 | 0,15 | 0,01 | 1,00 | 16,44 | 6,1 | 0,39 |
| P1B3 | 50% NPK + 6 L Bio-nano Si ha ⁻¹ | 0,12 | 0,08 | 0,01 | 0,17 | 0,01 | 1,32 | 17,11 | 6,3 | 0,29 |
| P2B3 | 75% NPK + 6 L Bio-nano Si ha ⁻¹ | 0,12 | 0,09 | 0,01 | 0,09 | 0,01 | 1,33 | 16,81 | 6,3 | 0,20 |
| P3B3 | 100% NPK + 6 L Bio-nano Si ha ⁻¹ | 0,12 | 0,06 | 0,01 | 0,08 | 0,01 | 1,19 | 16,08 | 6,0 | 0,20 |
| K1 | Blanko (tanpa pupuk) | 0,10 | 0,07 | 0,01 | 0,06 | 0,01 | 1,41 | 18,17 | 6,5 | 0,20 |
| K2 | 100% NPK + 20 kg bahan organik | 0,16 | 0,07 | 0,01 | 0,11 | 0,01 | 1,39 | 17,07 | 6,2 | 0,29 |

Tabel 3. Kebutuhan air kedelai hitam Detam-1 dan evapotranspirasi dari masing-masing perlakuan yang diuji

Table 3 Water use of black soybean Detam-1 var. and evapotranspiration from each treatment

| Notasi perlakuan | Perlakuan | Kebutuhan air tanaman | EPA |
|------------------|---|-----------------------|--------------------|
| | | mm | g mm ⁻¹ |
| B1 | Bio-Nano Si 2 L ha ⁻¹ | 3,39 hi ¹ | 3,32 c |
| B2 | Bio-Nano Si 4 L ha ⁻¹ | 2,87 ij | 4,12 b |
| B3 | Bio-Nano Si 6 L ha ⁻¹ | 2,67 j | 5,33 a |
| P1 | 50% NPK | 7,82 bcd | 1,25 ef |
| P2 | 75% NPK | 8,45 ab | 1,23 ef |
| P3 | 100% NPK | 8,82 a | 1,19 f |
| P1B1 | 50% NPK + 2 L Bio-Nano Si ha ⁻¹ | 7,20 de | 1,48 def |
| P2B1 | 75% NPK + 2 L Bio-Nano Si ha ⁻¹ | 5,42 f | 1,87 de |
| P3B1 | 100% NPK + 2 L Bio-Nano Si ha ⁻¹ | 4,19 g | 3,15 c |
| P1B2 | 50% NPK + 4 L Bio-Nano Si ha ⁻¹ | 7,02 e | 1,97 d |
| P2B2 | 75% NPK + 4 L Bio-Nano Si ha ⁻¹ | 3,31 hij | 3,95 b |
| P3B2 | 100% NPK + 4 L Bio-Nano Si ha ⁻¹ | 3,86 gh | 2,79 c |
| P1B3 | 50% NPK + 6 L Bio-Nano Si ha ⁻¹ | 6,66 e | 1,83 def |
| P2B3 | 75% NPK + 6 L Bio-Nano Si ha ⁻¹ | 2,90 ij | 4,19 b |
| P3B3 | 100% NPK + 6 L Bio-Nano Si ha ⁻¹ | 4,09 g | 3,04 c |
| K1 | Blanko (tanpa pupuk) | 8,40 abc | 1,36 def |
| K2 | 100% NPK + 20 kg Bahan organik | 7,72 cd | 1,37 def |

¹ Angka dalam kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji jarak berganda Duncan (P<0,05).

bio-nano silika. Diperoleh indikasi bahwa aplikasi bio-nano silika hingga 6 L ha⁻¹ dapat menekan kebutuhan air hingga 65%.

Kesimpulan

Aplikasi bio-nano silika hingga 6 l ha⁻¹ di tanah lahan kering masam dapat meningkatkan produktivitas tanaman kedelai hitam varietas Detam-1 hingga 36,7%. Secara umum, perlakuan bio-nano silika dengan dosis 4 l ha⁻¹ dapat menghemat dosis pupuk hingga 32%. Hasil tertinggi dicapai pada perlakuan 75% NPK + 2 liter bio-nano silika. Aplikasi bio-nano silika hingga 6 L ha⁻¹ terindikasi dapat menekan kebutuhan air tanaman sampai 65%.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada karyawan dan pimpinan Puslit Agro, PG Jatitujuh, PT Rajawali II, PT Rajawali Nusantara Indonesia (Persero) atas ijin penggunaan lahan percobaan, dan kepada Badan Litbang Pertanian yang telah menyediakan dukungan pendanaan dalam Proyek Kerjasama Penelitian, Pengkajian, dan Pengembangan Pertanian Strategis (KP4S).

Daftar Pustaka

- Adha F, Manik TK, Rosadi RAB. 2016. Evaluasi penggunaan lysimeter untuk menduga evapotranspirasi standar dan evapotranspirasi tanaman kedelai (*Glycine max* (L) Merrill). J. Teknotan. 10(2): 71-79.
- Afrida E, Rauf A, Hanum H, Harnowo D. 2015. Residual effect of organic fertilizer and addition inorganik fertilizer to nutrient uptake, growth and productions of black soy bean (*Glycine max* L. merr) at rainfed areas. Int. J. Sci. Technol. Res. 4(2): 182-190.
- Anonim. 2013. Pedoman Teknis Pengelolaan Produksi Kedelai. Ditjen Tanaman Pangan. Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Anyia AO, Herzog H. 2014. Water-use efficiency, leaf area and leaf gas exchange of cowpeas under mid-season drought. European J. Agron. 20(4): 327-339.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemist). 2005. Journal of the Association of Official.
- Agri cultural Chemists. 18th Edition. Horwitz (Ed). AOAC International Suite 500, 481 North Frederick Avenue Gaithersburg, Mary Land 20877-2417, USA.
- Ashraf M, Harris PJC. 2013. Photosynthesis under stressful environments: An overview. Photosynthetica. 51(2): 163-190.
- Aulia R, Rosmayati, Bayu ES. 2014. Respon pertumbuhan dan produksi beberapa varietas kedelai hitam (*Glycine max* L.) berdasarkan ukuran biji. J. Agroekotekno. 2(4): 1324-1331.

- Balai Penelitian Tanah. 2009. Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk. ISBN 978-602-8039-21-5. Bogor, Balai Penelitian Tanah. 234p.
- Benjamin JG, Nielsen DC. 2006. Water deficit effects on root distribution of soybean, field pea and chickpea. *Field Crops Research*. 97:248-253.
- Chanchal MCH, Kapoor RT, Ganjewala D. 2016. Alleviation of abiotic and biotic stresses in plants by silicon supplementation. *Sci. Agri*. 13(2): 59-73.
- Chidrawar JNS, Thorat V, Shah P, Rao V. 2014. Ortho silicic acid (OSA) based formulations facilitates improvement in plant growth and development. 6th Internat. Conf. Silicon in Agric. 26-30 August 2014. Stockholm, Sweden.
- Cristancho RJA, Restrepo F. 2014. Silicon in agriculture – New development in Latin America (2014). 6th Internat. Conf. Silicon in Agric. 26-30 August 2014. Stockholm, Sweden.
- Cullity BD, Stock SR. 2001. Elements of X-ray Diffraction. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Desclaux D, Huynh TT, Roumet P. 2000. Identification of soybean plant characteristics that indicate the timing of drought stress. *Crop Sci*. 40:716-722.
- Diedrich T, Dybowska A, Schott J, Valsami-Jones E, Oelkers EH. 2012. The dissolution rates of SiO₂ nanoparticles as a function of particle size. *Environ. Sci. Technol*. 46(9): 4909-4915.
- Djajadi. 2013. Silika (Si): Unsur hara penting dan menguntungkan bagi tanaman tebu (*Saccharum officinarum* L.). *Perspektif*. 12(1): 47-55.
- Dogan E, Kirnak H, Copur O. 2007. Deficit irrigations during reproductive stages and CROPGRO-soybean simulations under semi-arid climatic conditions. *Field Crop Research*. 103:154-159.
- Dwidjospito T. 1986. Soil Moisture Prediction. *Dissertation*. Univ. Phillipines at Los Banos, Phillipines.
- Edward B. 2014. Silicon Solutions. Sestante Edizioni. Bergamo, Italy. 184 pp.
- Faradiba D. 2016. Pengaruh kombinasi pupuk daun silika dan pupuk NPK terhadap pertumbuhan dan produksi padi sawah. Skripsi S1. Dept. Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Faperta, IPB. Bogor. 41 hal.
- Farooq M, Wahid A, Kobayashi N, Fujita D, Basra SMA. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agron. Sustain. Dev*. 29: 185–212.
- Ginting E, Antarlina SS, Widowati S. 2009. Varietas unggul kedelai untuk bahan baku industri pangan. *Jurnal Litbang Pertanian*. 28(3): 79-87.
- Goenadi DH, Santi LP. 2009. Introduction of microbial inoculants to improve functional relationship between above- and below-ground bio-diversity. *Menara Perkebunan*. 77(1): 58-67.
- Haff 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 drought stress on above ground and root growth, and water use efficiency in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *Australian J. Crop Sci*. 6(8): 1298-1304.
- Kawasaki Y, Tanaka Y, Katsura K, Purrel LC, Shiraiwa T. 2016. Yield and dry matter productivity of Japanese and US soybean cultivars. *Plant Produc. Sci*. 19(2): 257-266.
- Kementerian Pertanian. 2016. Outlook Komoditas Pertanian Tanaman Pangan Kedelai. Pusat data dan sistem informasi Pertanian, 85 p.
- Liu F, Jensen CR, Anderson MN. 2004. Drought stress effect on carbohydrate concentration in soybean leaves and pods during early reproductive development: its implication in altering pod set. *Field Crops Research*. 86:1-13.
- Moreira A, Moraes LAC. 2016. Sulphur use efficiency in soybean cultivars adapted to tropical and subtropical conditions. *Comm. Soil Sci. Plant Anal*. 47(19): 2208–2217.
- Prastowo DR, Manik TK, Rosadi RAB. 2016. Penggunaan model CROPWAT untuk menduga evapotranspirasi standar dan penyusunan neraca air tanaman kedelai (*Glycine Max* (L) Merrill) di dua lokasi berbeda. *J. Teknik Pertanian Lampung*. 5(1): 1-12.
- Rasyid H. 2013. Peningkatan produksi dan mutu benih kedelai varietas hitam unggul nasional sebagai fungsi jarak tanam dan pemberian dosis pupuk P. *Jurnal Gamma*. 8(2): 46-63.
- Van Reeuwijk LP. 2002. Procedures for soil analysis (6th edition). Technical Paper No. 9, ISRIC, Wageningen.
- Ritung S, Suryani E, Subardja D, Sukarman, Nugroho K, Suparto, Hilmattullah, Mulyani A, Tafakresno C, Sulaeman Y, Subandiono RE, Wahyunto, Ponidi, Prasodjo N, Suryana U, Hidayat H, Priyono A, Supriyatna W. 2015. Sumberdaya Lahan Pertanian Indonesia. Luas, Penyebaran, dan Potensi Ketersediaan. *Dalam: Husen E, Agus F, Nursyamsi D* (Eds.). IAARD-PRESS.
- Santi LP, Goenadi DH. 2017. Solubilization of silicate from quartz mineral by potential silicate solubilizing bacteria. *Menara Perkebunan*. 85(2): 96-104.
- Santi LP, Harris N, Mulyanto D. 2017a. Effect of bio-silica on drought tolerance in plants. Poster Sessions International Biotechnology Conference on Estate Crops, Jakarta, 18-20 October 2017.
- Santi LP, Mulyanto D, Goenadi DH. 2017b. Double acid-base extraction of silicic acid from quartz sand. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*. 5(6): 362-373.
- Silva ON, Lobato AKS, Ávila FW, Costa RCL, Neto CFO, Filho BGS, Filho APM, Lemos RP, Pinho JM, Medeiros MBCL, Cardoso MS, Andrade IP. 2012. Silicon-induced increase in chlorophyll is modulated by the leaf water potential in two water-deficient tomato cultivars. *Plant Soil Environ*. 58 (11): 481–486.
- Sapre SS, Vakharia DN. 2016. Role of silicon under water deficit stress in wheat: (Biochemical perspective): A review. *Agricultural Reviews*. 37 (2): 109-116.
- Singh AK, Madramootoo CA, Smith DL. 2014. Impact of different water management scenarios on corn water use efficiency. *Am. Soc. Agric. Biol. Eng*. 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.

- Steel RGD, Torrie JH. 1980. Principles and Procedures of Statistics. A Biometrical approach. 2nd ed. New York, McGraw-Hill
- Survey Laboratory Methods Manual Soil Survey Investigations Report No. 42 Version 5.0. 2014. United States Department of Agriculture. 998p.
- Suryanti S, Indradewa D, Sudira P, Widada J. 2015. Kebutuhan air, efisiensi penggunaan air dan ketahanan kekeringan kultivar kedelai. *Agritech*. 35(1): 114-120.
- Talbot MJ, Rosemary GW. 2013. Methanol fixation of plant tissue for scanning electron microscopy improves preservation of tissue morphology and dimensions. *Plant Methods*. 9(36): 1-7.
- Trisnawati DW, Putra NS, Purwanto BH. 2017. Pengaruh nitrogen dan silika terhadap pertumbuhan dan perkembangan *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) pada kedelai. *Planta Tropika*. 5(1): 52-61.
- Uddin SU, Masateru S, Kengo I, Tawiah AJ. 2010. The effect of deficit irrigation on root/shoot ratio, water use efficiency and yield efficiency of soybean. *Journal of Rainwater Catchment Systems*. 15(2): 39-45.
- Vasanthi N, Saleena LM, Anthoni AR. 2013. Evaluation of media for isolation and screening of silicate solubilising bacteria. *Int. J. Curr. Res*. 5(2): 406-408.
- Visser B. 2014. Impact of varietal differences in water use efficiency on soybean yield under water stress. MS Thesis. Univ. Guelph, Ontario, Canada. 96p.
- Wellburn AR. 1994. The spectral determination of chlorophyll a and chlorophyll b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *J. Plant Physiol*. 144(3): 307-313.