

Remediasi Tanah Ultisol dengan Biosilika untuk Budidaya Tanaman Kedelai (*Glycine max*)

Remediation of Ultisol Soil by Biosilica for Cultivation of Soybean (*Glycine max*)

John Bimasri*, Nely Murniati

Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Musi Rawas, Jalan Pembangunan Komplek Pemkab Musi Rawas, Kel. Air Kuti, Kec. Lubuklinggau Timur I, Kota Lubuklinggau 31611, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: jbimasri@yahoo.co.id

ABSTRACT

Ultisol soil is erosion-sensitive and undergoes high nutrient leaching causing low silica content. This study aimed to improve the availability of silica in Ultisol soil by the addition of biosilica derived from rice husk ash for the cultivation of the soybean Derap 1 variety. This study WAS CARRIED OUT in Rahma Village, South Lubuklinggau I subdistrict, Lubuklinggau City, South Sumatera Province (-3018'10", 102054'41") on 110.5 meters above sea level. This study was conducted from August to November 2021. This was an experimental study that used Randomized Block Design (RBC) with 6 treatment levels and 4 blocks as replicates. The treatments tried were the provision of biosilica at 0 kg/ha (B0 as control), 75 kg/ha (B1), 150 kg/ha (B2), 225 kg/ha (B3), 300 kg/ha (B4) and 375 kg/ha (B5). This study used 24 plots with a size of 2 m × 2 m for every plot. The seeds were planted at a distance of 40 cm × 40 cm, the population of each plot is 20 plants, with 5 diagonally determined samples. Soybean yield was harvested at 84 days of age after planting. Plants were fertilized at doses of 23 kg/ha NO₃, 55 kg/ha K₂O, and 18 kg/ha P₂O₅ that were given twice. Variables observed included plant height, number of primary branches, number of pods of each plant, the weight of 100 seeds, and yield per ha. The data were analyzed by Analysis of Variance using SAS software version 9.4 and tested with a Diversity Coefficient at the test level of 1%. It can be concluded from this study that rice husk ash is 375 kg/ha was able to increase the pH of Ultisol soil. Soil Ultisol that was given biosilica from rice husk ash was able to increase the growth and yield of soybean. Derap 1 variety soybean yield from plants grown on the soil that was given biosilica from rice husk ash increased between 12 and 16%.

Keywords: Ash; Soybean; Rice Husk; Silica; Ultisol

ABSTRAK

Tanah Ultisol peka erosi dan mengalami pencucian hara yang tinggi yang menyebabkan kandungan silika yang rendah. Penelitian ini bertujuan untuk memperbaiki ketersediaan silika pada tanah Ultisol dengan penambahan biosilika yang berasal dari abu sekam padi untuk budidaya tanaman kedelai varietas Derap 1. Penelitian ini dilaksanakan di Kelurahan Rahma, Kecamatan Lubuklinggau Selatan I, Kota Lubuklinggau, Propinsi Sumatera Selatan (-3°18'10", 102°54'41"), dengan ketinggian tempat 110,5 m dpl, dari bulan Agustus sampai November 2021. Penelitian dilaksanakan secara eksperimental menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan 6 taraf perlakuan dan 4 kelompok sebagai ulangan. Perlakuan yang dicobakan adalah pemberian biosilika 0 kg/ha (B0 sebagai kontrol), 75 kg/ha (B1), 150 kg/ha (B2), 225 kg/ha (B3), 300 kg/ha (B4), dan 375 kg/ha (B5). Petak penelitian berukuran 2 meter × 2 meter sebanyak 24 petak. Benih ditanam dengan jarak 40 cm × 40 cm, populasi tiap petak 20 tanaman, dengan 5 sampel yang ditentukan secara diagonal. Hasil kedelai dipanen pada umur 84 hari setelah tanam. Tanaman dipupuk dengan dosis 23 kg/ha NO₃, 55 kg/ha K₂O, dan 18 kg/ha P₂O₅ yang diberikan 2 kali. Variabel yang diamati tinggi tanaman terdiri atas jumlah cabang primer, jumlah polong per tanaman, berat 100 biji, dan produksi per ha. Data diolah menggunakan Analisis Ragam (Anova) menggunakan software SAS Versi 9.4. dan diuji dengan Koefisien Keragaman pada taraf uji 1%. Kesimpulan yang dihasilkan pada penelitian ini adalah bahwa abu sekam padi sebanyak 375 kg/ha mampu meningkatkan pH tanah Ultisol. Tanah Ultisol yang diberi biosilika dari abu sekam padi mampu meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman kedelai. Produksi kedelai varietas Derap 1 dari tanaman yang tanahnya diberi biosilika dari abu sekam padi meningkat antara 12 sampai 16%.

Kata Kunci: Abu; Kedelai; Sekam padi; Silika; Ultisol;

PENDAHULUAN

Tanah Ultisol luasnya di Indonesia mencapai 46 juta, di pulau Sumatra luasnya mencapai 9,5 juta ha (Mulyani *et al.*, 2010), dan seluas 1,26 juta ha berada di Sumatra Selatan (Subagyo *et al.*, 2004), sedangkan di Kabupaten Musi Rawas terdapat seluas 2.415,72 ha (Badan Pusat Statistik, 2020). Tanah Ultisol memiliki potensi cukup besar untuk pengembangan tanaman pangan, tetapi harus dilakukan pengelolaan yang tepat. Masalah utama tanah Ultisol adalah kandungan hara yang rendah (Fitriatin *et al.*, 2014), peka erosi yang menyebabkan pencucian hara tinggi (Syahputra *et al.*, 2015), dan kandungan silika rendah (Suryadikarta dan Husnain, 2012).

Menurut Kardoni *et al.*, (2014) silika bagi tanaman kedelai berfungsi sebagai unsur mikro. Semakin tinggi jumlah silika yang diberikan maka jumlah hara yang dapat diserap tanaman semakin tinggi (Laksmita *et al.*, 2018). Silika mampu memberikan pengaruh menguntungkan bagi banyak tanaman (Ashtiani *et al.*, 2012). Ketersediaan silika

dalam jaringan tanaman lebih kecil dari 8,01 ppm akan menekan pertumbuhan dan produksi tanaman (Setiko *et al.*, 2019).

Penambahan silika pada tanah Ultisol untuk budidaya tanaman kedelai belum dilakukan, sehingga penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pemberian biosilika pada tanah Ultisol dalam budidaya tanaman kedelai. Salah satu sumber silika yang sangat potensial adalah sekam padi yang jumlahnya sangat melimpah. Sekam padi mengandung silika dan bila dibakar menghasilkan abu dengan kandungan silika tinggi (Surya *et al.*, 2019). Abu sekam padi mengandung silika sebanyak 90,23%, kalium oksida 0,39 %, alumina 2,54%, karbon 2,23%, besi oksida 0,21%, kalsium oksida 1,58%, dan magnesium oksida 0,53 % (Harahap *et al.*, 2020), dan mengandung nitrogen 1% serta kalium 2% (Harahap dan Sari, 2019).

Silika diserap tanaman dalam bentuk asam monosilikat atau asam orthanosilikat (H_4SiO_4) yang jumlahnya tergantung ketersediaan dalam larutan tanah (Djajadi *et al.*, 2016). Silika unsur bermanfaat bagi tanaman karena mampu mengurangi stres biotik dan abiotik pada tanaman (Rao dan Susmitha, 2017). Pemberian silika dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kekeringan dan menurunkan potensi keracunan aluminium (Diedrich *et al.*, 2012; Ashraf dan Harris 2013). Ketersediaan silika pada tanah yang tercemar logam berat mampu menurunkan penyerapan Cd (Kim *et al.*, 2014; Adrees *et al.*, 2015), sehingga menekan konsentrasi Cd di jaringan tanaman (Nurlaili *et al.*, 2020). Ketersediaan silika mampu meningkatkan pH dan ketersediaan P di dalam tanah (Zulputra, 2014; Wang *et al.*, 2019), serta meningkatkan daya oksidasi akar (Siregar, 2020).

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan Kelurahan Rahma Kecamatan Lubuklinggau Selatan I Kota Lubuklinggau Propinsi Sumatera Selatan ($-3^{\circ}18'10''$, $102^{\circ}54'41''$) dengan ketinggian tempat 110,5 meter diatas permukaan laut, dari bulan Agustus sampai November 2021.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan terdiri dari: benih kedelai varietas Derap 1, sekam padi, legin, pupuk urea, pupuk SP-36, pupuk KCl, pestisida. Sedangkan alat-alat yang dipakai adalah: ember, gayung, cangkul, gergaji, parang, Handsprayer, meteran, pisau, timbangan, dan alat tulis. Tanah dan abu sekam padi yang digunakan dianalisa sifat fisik dan kimianya dilaboratorium. Tanah Ultisol sebagai media tanam penelitian memiliki pH yang rendah (4,02), kandungan C-organik yang sangat rendah (1,68%), N-total sangat rendah (0,11%), memiliki kapasitas tukar kation dan kejenuhan ba sa yang rendah (19,83 cmol/kg, dan 21,63%), P tersedia sangat rendah (1,14 ppm), silika terlarut sangat rendah (3,9 mg/kg), dengan tekstur liat. Abu sekam padi yang diperoleh dari pembakaran sempurna sekam padi mengandung silika total yang tinggi (98,70%), silika terlarut sedang (25,93 mg/kg), dan mengandung C organik dan N total yang sangat rendah (0,36% dan 0,19%). Rata-rata curah hujan selama penelitian 343,75 mm, dengan rata-rata hari hujan sebanyak 16,25 hari hujan.

Metode

Penelitian dilaksanakan secara eksperimen menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) satu perlakuan dengan 6 level yang diulang 4 kali. Perlakuan yang dicobakan adalah pemberian biosilika 0 kg/ha (B0 sebagai kontrol), 75 kg/ha (B1), 150 kg/ha (B2), 225 kg/ha (B3), 300 kg/ha (B4), dan 375 kg/ha (B5). Petak penelitian berukuran 2 m \times 2 m sebanyak 24 petak. Tanah diolah dua kali, setelah pengolahan pertama tanah diberi abu sekam padi sesuai perlakuan.

Benih kedelai varietas Derap 1, sebelum ditanam 30 menit, lalu ditiriskan dan diberi legin dosis 5 g/kg benih. Jarak tanam 40 cm \times 40 cm, ditanam 3 butir per lubang, setelah 7 hari dilakukan penjarangan dengan menyisakan satu tanaman normal. Populasi 20 tanaman tiap petak dan sampel 5 tanaman ditentukan dengan sistem diagonal. Pupuk yang diberikan adalah 23 kg/ha NO_3 , 55 kg/ha K_2O , dan 18 kg/ha P_2O_5 diberikan saat 7 dan 40 hari setelah tanam masing-masing setengah dosis. Panen dilakukan dilakukan pada 84 hari setelah tanam saat daun telah menguning, gugur, dan 95% polong berwarna coklat. Parameter yang diamati terdiri dari tinggi tanaman, jumlah cabang primer, jumlah polong per batang, berat 100 biji, dan produksi per hektar. Data hasil pengamatan diolah menggunakan Analisis of Varians, pengaruh perlakuan dilihat dengan membandingkan nilai F-hitung dengan F-tabel, dan diuji dengan Koefisien Keragaman menggunakan software SAS Versi 9.4, selanjutnya diuji dengan Uji Beda Nyata Jujur (Tukey) 1%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tanah Ultisol yang digunakan sebagai lahan penanaman tanaman kedelai memiliki bertekstur liat dengan sifat kimia dan kandungan hara yang kurang baik. Hasil analisis tanah ultison yang digunakan sebagai media tanam disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat fisik dan kimia tanah Ultisol

No	Sifat Tanah	Kandungan		Kriteria
		Jumlah	Satuan	
1	Tekstur	-	-	Liat
2	pH	4,02	-	Masam
3	C-organik	1,68	%	sangat rendah
4	N-Total	0,11	%	sangat rendah
5	Kapasitas tukar kation (KTK)	19,83	cmol/kg	Rendah
6	Kejenuhan basa (KB)	21,63	%	Rendah
7	K	0,22	cmol/kg	Rendah
8	P tersedia	1,14	ppm	sangat rendah
9	Si Total	23,8	%	sedang
10	Si Terlarut	3,9	Mg/kg	sangat rendah

Tanah Ultisol yang digunakan sebagai lahan budidaya kedelai memiliki pH yang rendah yaitu 4,02, dengan kandungan hara (N, P, K, Si terlarut) antara rendah sampai sangat rendah, serta KTK dan KB yang rendah. Keasaman tanah yang rendah setelah pemberian biosilika dari abu sekam padi, terjadi peningkatan menjadi 5,60. Peningkatan pH tanah terjadi karena ion silika mampu mengikat Al dan Fe sehingga melepaskan ion OH⁻. Hal ini sesuai dengan yang dikemukakan oleh Yanai *et al.* (2016), bahwa kelarutan silika pada tanah akan mempengaruhi terjadinya peningkatan pH tanah. Pemberian pupuk sebanyak 23 kg/ha NO₃, 55 kg/ha K₂O, dan 18 kg/ha P₂O₅, dengan peningkatan pH tanah menjadi lebih optimal diserap tanaman karena kandungan hara tanah sangat rendah sampai rendah (Tabel 1).

Tekstur tanah yang liat menyebabkan struktur tanah menjadi padat dengan laju infiltrasi yang rendah, menyebabkan perkembangan sistem perakaran terhambat dan tanaman rentan kekurangan air. Pemberian abu sekam padi yang mampu berperan sebagai amilioran membuat struktur tanah menjadi lebih remah sehingga mampu meningkatkan aerasi dalam tanah yang menyebabkan laju pertumbuhan akar tanaman menjadi meningkat (Harahap dan Walida, 2020). Peningkatan perkembangan sistem perakaran tanaman menyebabkan tingkat serapan hara dan air yang dibutuhkan oleh tanaman kedelai bertambah.

Pemberian biosilika pada tanah Ultisol mampu meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman kedelai (Tabel 2). Tanaman kedelai yang mendapatkan asupan silika yang berasal dari abu sekam padi, pertumbuhan dan produksinya berbeda sangat nyata dibanding kedelai yang tidak diberi silika. Semakin banyak jumlah silika yang diberikan ke dalam tanah menunjukkan pertumbuhan dan produksi tanaman kedelai menjadi lebih baik.

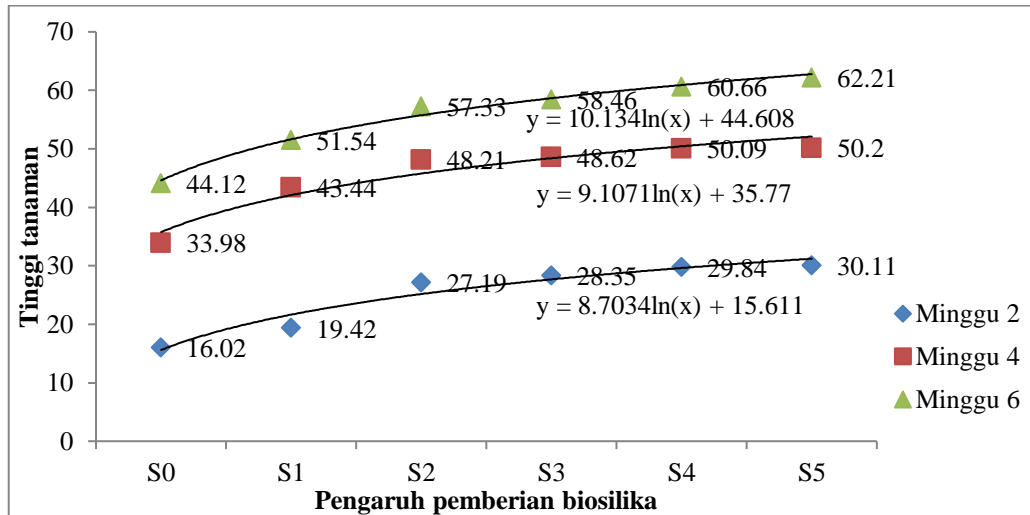
Tabel 2. Pertumbuhan dan produksi tanaman kedelai

Perlakuan	Tinggi Tanaman (cm)	Jumlah Cabang Primer (cabang)	Jumlah Polong (buah)	Berat 100 biji (g)	Produksi per hektar (ton/ha)
S0	44,12 A	2,36 A	38,96 A	15,23 A	1,75 A
S1	51,54 B	2,55 A	40,68 B	15,97 A	1,96 A
S2	57,33 C	2,58 A	41,43 B	16,80 B	2,10 BC
S3	58,46 D	3,22 B	42,78 CD	17,33 C	2,36 C
S4	60,66 E	3,71 B	43,58 D	17,55 C	2,66 D
S5	62,21 F	4,04 C	46,03 E	18,22 D	2,90 E
	BNJ 1% = 0,8	BNJ 1% = 0,49	BNJ 1% = 1,21	BNJ 1% = 1,04	BNJ 1% = 0,32

Keterangan: angka-angka pada kolom yang sama yang diikuti huruf yang berbeda berarti berbeda nyata berdasarkan BNJ 1%

Pemberian silika sebanyak 375 kg/ha (S5) menunjukkan pertumbuhan dan produksi yang berbeda sangat nyata dengan perlakuan lainnya, dan menunjukkan pertumbuhan dan produksi yang tertinggi. Peningkatan pertumbuhan dan produksi tanaman kedelai yang diberi silika menunjukkan bahwa ketersediaan silika di dalam tanah mampu meningkatkan serapan silika oleh tanaman. Tanah yang ketersediaan silikanya tinggi, mampu meningkatkan serapan unsur nitrogen, posfor dan kalium (Sultana, *et al.*, 2021).

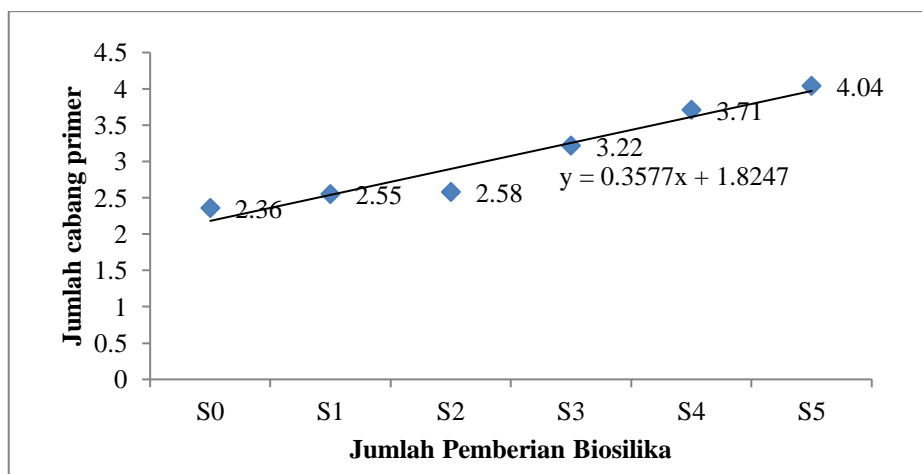
Biosilika dari abu sekam padi berpengaruh sangat nyata terhadap laju penambahan tinggi tanaman kedelai pada tanah Ultisol. Tanaman kedelai yang tanahnya diberi biosilika pertumbuhan tinggi tanamannya berbeda sangat nyata dibandingkan dengan kedelai yang tanahnya tidak diberi biosilika (Tabel 2). Tanaman kedelai yang diberi silika sebanyak 375 kg/ha silika (S5) berbeda sangat nyata dengan perlakuan lainnya. Tanaman yang tertinggi dihasilkan pada perlakuan S5, yaitu rata-rata setinggi 62,21 cm, sedangkan kedelai terendah dihasilkan pada perlakuan tanpa pemberian biosilika (S0) dengan rata-rata setinggi 44,12 cm (Gambar 1).



Gambar 1. Pengaruh biosilika terhadap tinggi tanaman kedelai

Pemberian silika sampai pada jumlah S5 mampu meningkatkan tinggi tanaman antara 16,82% sampai 41% atau terjadi penambahan tinggi antara 7,42 cm sampai 18,09 cm. Abu sekam padi mengandung silika yang tinggi (98,70%), apabila diberikan ke dalam tanah mampu meningkatkan ketersediaan posfor dalam tanah (Wang *et al.*, 2019). Peningkatan tinggi tanaman kedelai disebabkan karena silika yang diserap tanaman diakumulasi pada epidermis daun dan daun menjadi keras dan tegak. Daun yang tegak mampu menerima sinar matahari lebih maksimal, yang menyebabkan laju fotosintesis terjadi lebih optimal (Fitriani *et al.*, 2019).

Jumlah cabang primer yang dihasilkan oleh tanaman kedelai yang diberi biosilika pada perlakuan S5 berbeda sangat nyata dengan perlakuan lainnya dan menghasilkan jumlah cabang yang paling banyak, yaitu rata-rata sebanyak 4,04 cabang (Gambar 2). Semakin banyak cabang primer yang terbentuk jumlah polong yang dihasilkan semakin banyak. Perlakuan S5 menghasilkan polong rata-rata sebanyak 46,03 polong per batang (Gambar 3).

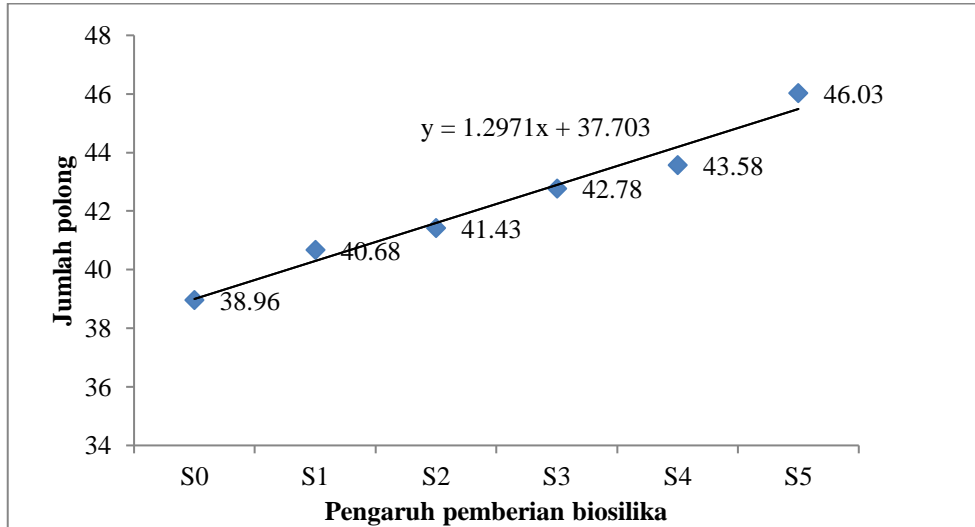


Gambar 2. Pengaruh biosilika terhadap jumlah cabang primer

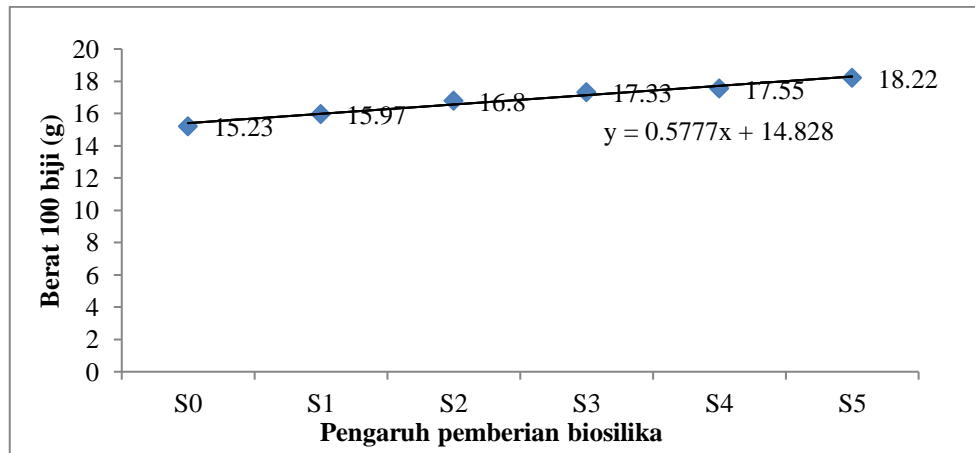
Tanaman kedelai yang tidak diberi biosilika hanya mampu menghasilkan jumlah cabang primer sebanyak 2,35 cabang. Dibandingkan dengan tanaman kedelai yang diberi biosilika dari sekam padi, maka jumlah cabang primernya bertambah menjadi rata-rata 2,55 sampai 4,04 cabang atau meningkat antara 8,05% sampai 71,19% seiring dengan peningkatan jumlah pemberian biosilika. Peningkatan jumlah cabang primer yang terjadi karena pemberian biosilika mampu meningkatkan sirkulasi udara dalam tanah yang meningkatkan pertumbuhan akar (Harahap dan Walida, 2020). Pertumbuhan akar yang baik mampu melakukan penyerapan hara dan air lebih maksimal. Peningkatan serapan hara oleh akar mampu memacu pertumbuhan cabang-cabang primer pada tanaman kedelai. Banyaknya cabang primer yang terbentuk pada tanaman kedelai, akan mempengaruhi jumlah polong yang terbentuk.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah cabang primer, maka jumlah polong yang terbentuk juga semakin banyak. Tanaman kedelai yang tidak diberi biosilika dari abu sekam padi, jumlah polong yang terbentuk hanya sebanyak 38,96 polong. Tanaman kedelai yang diberi biosilika jumlah polongnya meningkat menjadi rata-rata 40,68 sampai 46,03 polong atau meningkat antara 4,41% sampai 18,5%. Peningkatan jumlah polong

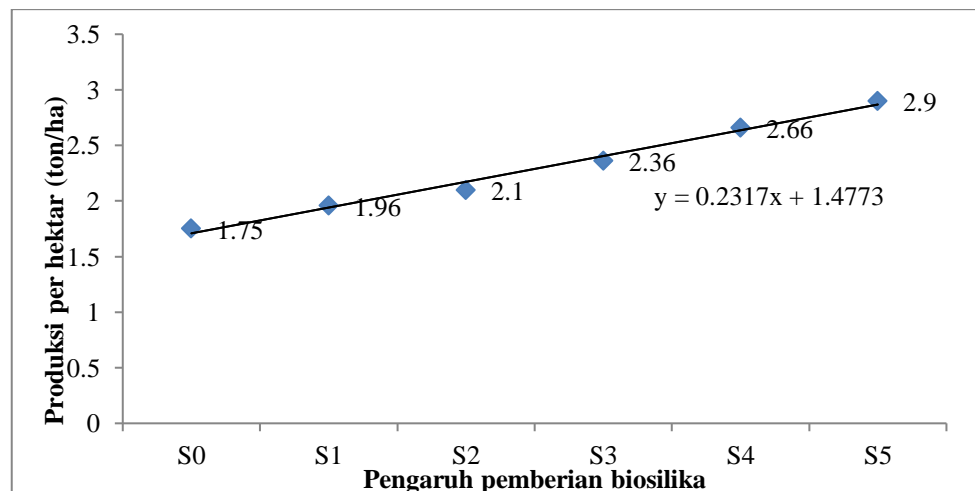
berimplikasi terhadap peningkatan jumlah dan kualitas produksi biji kedelai. Hasil pengamatan bobot 100 biji dan produksi per hektar (Gambar 4 dan 5), menunjukkan bahwa tanaman kedelai yang diberi asupan biosilika yang berasal dari abu sekam padi menunjukkan kualitas biji yang lebih baik dan jumlah produksi yang lebih tinggi. Tanaman kedelai yang tanahnya diberikan biosilika dari abu sekam padi pada perlakuan S5, bobot 100 bijinya paling berat dan berbeda sangat nyata dengan perlakuan lainnya yaitu rata-rata 18,22 gram per 100 biji (Gambar 4).



Gambar 3. Pengaruh biosilika terhadap jumlah polong



Gambar 4. Pengaruh biosilika pada berat 100 biji kedelai



Gambar 5. Pengaruh Biosilika terhadap produksi kedelai

Jumlah produksi per hektar yang tertinggi dihasilkan oleh tanaman kedelai pada perlakuan S5, dengan produksi rata-rata sebanyak 2,90 ton per hektar (Gambar 5). Kedelai yang tanpa pemberian biosilika bobot 100 bijinya hanya seberat 15 23 g, sedangkan yang diberi biosilika bobot 100 bijinya meningkat antara 15,97 g sampai 18,22 g atau meningkat sekitar 4,86 sampai 19,63%. Sama halnya dengan produksi per hektar, pemberian biosilika mampu meningkatkan produksi kedelai per hektar sebesar 12 sampai 16% dengan jumlah produksi tertinggi rata-rata sebanyak 2,9 ton ha⁻¹ pada tanaman kedelai yang diberi biosilika sebanyak 375 kg biosilika ha⁻¹. Hasil ini menunjang hasil penelitian Santi *et al* (2017), bahwa produksi kedelai meningkat bila dilakukan pemberian pupuk NPK 75% yang ditambah dengan 2 L/ha bionano silika. Silika mampu meningkatkan produksi tanaman kedelai, walaupun pengaruhnya secara tidak langsung. Senada dengan yang disampaikan oleh Santi *et al.* (2018), bahwa pemberian silika sebanyak 6 L/ha mampu meningkatkan produksi kedelai hitam varietas Detam-1 hingga 36,7% dan mengurangi kebutuhan air tanaman sampai 65%.

Peran silika dalam meningkatkan produksi tanaman melalui peningkatan kekerasan dan ketahanan sel-sel jaringan tanaman. Ketersediaan silika di dalam tanah juga mempengaruhi jumlah serapan hara yang dibutuhkan oleh tanaman untuk pertumbuhan maupun produksi (Greger *et al.*, 2018). Kecukupan silika di dalam tanah yang dapat diserap oleh tanaman menyebabkan meningkatnya kekuatan dinding sel karena proses biosilikasi sel daun (Farooq *et al.* 2009). Kekuatan dinding sel menyebabkan meningkatnya ketahanan terhadap serangan hama, sehingga kegagalan dan penurunan produksi dapat ditekan.

KESIMPULAN

Abu sekam padi sebanyak 375 kg/ha mampu meningkatkan pH tanah Ultisol. Tanah Ultisol yang diberi biosilika dari abu sekam padi mampu meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman kedelai. Produksi tanaman kedelai varietas Derap 1 yang tanahnya diberi biosilika dari abu sekam padi meningkat antara 12 sampai 16 %.

DAFTAR PUSTAKA

- Adrees, M., Ali, S., Rizwan, M., Rehman, M.Z., Abbas, F., Faris, M., Qayyum, M.F., & Irsyad, M.K. 2015. Mechanism of silicon mediated alleviation of heavy metal toxicity in plants. A Review, *Ecotoxicology Environment Safety*, 119: 186-197. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.05.011>
- Ashraf, M., & Harris, P.J.C. 2013. Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica*. 51(2): 163-190. <https://10.1007/s11099-013-0021-6>
- Ashtiani, F.A., Kadir, J., Nasehi, A., Rahaghi, S.R.H., & Sajili, H. 2012. Effect of silicon on rice blast disease. *Pertanika J. Trop. Agric. Sci.* 35: 1-12. <https://web.p.ebscohost.com/abstract?direct>
- Badan Pusat Statistik. 2020. Musi rawas dalam angka. Kantor badan Pusat Statistik Kabupaten Musi Rawas. Muara Beliti. <https://musirawaskab.bps.go.id/publication/2020/04/27/6da7764d8916c821be14e65f/kabupaten-musi-rawas-dalam-angka-2020.html>
- Diedrich, T., Dybowska, A., Schott, J., Valsami, J.E., & Oelkers, E.H. 2012. The dissolution rates of SiO₂ nanoparticles as a function of particle size. *Environ. Sci. Technol.* 46(9): 4909-4915. <https://doi.org/10.1021/es2045053>
- Djajadi, D., Hidayati, S. N., Syaputra, R., & Supriyadi, S. 2017. Pengaruh pemupukan silika cair terhadap produksi dan rendemen tebu. *Jurnal penelitian tanaman industri*, 22(4): 176-181. <http://dx.doi.org/10.21082/litri.v22n4.2016.176-181>
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., & Basra, S. M. A. 2009. Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development* 29: 185-212. <https://doi.org/10.1051/agro:2008021>
- Fitriani., Fajar, B.A., Putri, K.A., & Persada, A.Y. 2019. Analisis karakter morfologi tanaman padi yang diaplikasikan dengan silika dan kalium organik. *J Jeumpa* 6(2), 277-296. <https://doi.org/10.33059/jj.v6i2.1794>
- Fitriatin, B. N., Yuniarti, A., Turmuktini, T., & Ruswandi, F.K. 2014. The effect of phosphate solubilizing microbe producing growth regulators on soil phosphate, growth and yield of maize and fertilizer efficiency on Ultisol. *Eurasian J. of Soil Sci. Indonesia*. 2(3): 101-107. <https://doi.org/10.1839/ejss.34313>.
- Greger, M., Landberg, T., & Vaculik, M. 2018. Silicon influences soil availability and accumulation of mineral nutrients in various plant species. *J. Plants* 7(2):1-16. <https://doi.org/10.3390/plants7020041>
- Harahap, F.S. & Sari, P.M., 2019. Growth and production response of plant pakcoy (*Brassica Rapa* L) on use of nasa light organic fertilizer. *Jurnal Pertanian Tropik* 6(2): 222-226. <https://jurnal.usu.ac.id/index.php/Tropik>.
- Harahap, F.S. & Walida, H., 2020. Respon dua varietas bawang merah (*Allium ascalonicum* L.) dalam meningkatkan produksi dengan pemberian pupuk KCl di Kecamatan Rantau Selatan. *Jurnal Agroplasma* 7(1): 20-27. <https://doi.org/10.36987/agroplasma.v7i1.1686>
- Harahap, F.S., Walida, H., Dalimunthe, B.A., Rauf, A., Sidabuke, S.H., & Hasibuan, R. 2020. The use of municipal solid waste composition in degraded waste soil effectiveness in aras Kabu Village, Beringin Subdistrict, Deli Serdang District. *Agrinula* 3(1):19- 27. <https://doi.org/10.36490/agri.v3i1.85>.
- Kardoni, F. S.J.S. M., Sara P., & Malihe, E.T. 2014. Effect of salinity stress and silicon application on yield and component yield offaba bean (*Vicia faba*). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 6(12):814-818. <https://ijagcs.com/.../814-818.pdf>
- Kim, Y.H., Khan, A.L., Kim, D.H., Lee, S.Y., Kim, K.M., & Muhammad, W. 2014. Silicon mitigates heavy metal stress by regulating P-type heavy metal ATP ases, *Oryza sativa* low silicon genes and endogenous phytohormones. *BMC Plant Biology* 14: 13. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-14-13>.

- Laksmi, A. P., Suedy, S. W. A., & Parman, S. 2018. Pengaruh pemberian pupuk nanosilica terhadap pertumbuhan dan kandungan serat kasar tanaman rumput gajah (*Pennisetum purpureum* Schum.) sebagai bahan pakan ternak. *Bulletin Anatomy and Physiology* 3(1):29-38. <https://doi.org/10.14710/baf.3.1.2018.29-38>.
- Mulyani, A., Rachman, A., & Dairah, A. 2010. Penyebaran lahan masam, potensi dan ketersediaannya untuk pengembangan pertanian. Prosiding Simposium Nasional Pendayagunaan Tanah Masam. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Bogor, 23-34
- Nurlaili, R.A., Rahayu, Y.S., & Dewi, S.K. 2020. Pengaruh mikoriza vesikular arbuskular (MVA) dan silika (Si) terhadap pertumbuhan tanaman *Brassica juncea* pada tanah tercemar kadmium (Cd).. *LenteraBio* 9(3): 185-193. <https://journal31.unesa.ac.id/index.php/lenterabio/article/view/8377/5995>
- Rao, G.B., & Susmitha, P. 2017. Silicon uptake, transportation, and accumulation in rice. *J. Pharmacog. Phytochem.* 6:290-293
- Santi, L.P., Goenadi, D.H., Barus, J., & Dariah, A. 2018. Pengaruh bio-nano silika terhadap hasil dan efisiensi penggunaan air kedelai hitam di lahan kering masam. *J Tanah dan Iklim* 42(1): 43-52. <http://ejournal.litbang.pertanian.go.id/index.php/jti/article/view/9156>
- Santi, L.P., Harris, N., & Mulyanto, D. 2017. Effect of bio-silica on drought tolerance in plants. Poster Sessions International Biotechnology Conference on E state Crops, Jakarta, 18-20 October 2017. DOI: <https://10.1088/1755-1315/183/1/012014>
- Setiko, P.H., & Setiko, M.M.R. 2019. Faktor pembatas dan kecukupan silika dalam tanaman padi sawah di tanah. *J Agro Tatanen* 1(2):36-40. <https://www.ejournal.unibba.ac.id/index.php/agrotatanen/article/view/222>
- Siregar, A.F., & Yusuf, W.A. 2020. Ameliorasi berbasis unsur hara silika di lahan rawa. *J Sumber Daya Lahan* 14(1): 37-47.
- Subagyo, H., Suharta, N., & Siswanto, A.B. 2004. Tanah-tanah pertanian di Indonesia, Sumberdaya lahan Indonesia dan pengelolaannya. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Departemen Pertanian, Bogor. p.21-26.
- Sultana, N., Haque, M.A., Hoque, M.F., Hossain, M.B., Satter, M.A., & Jahiruddin, M. 2021. Effect of Silicon Application on Growth and Biomass Yield of Rice Under Salinity Stress. *J Bangladesh Agril Univ.* 19(4): 429-436. <https://doi.org/10.5455/JBAU.117294>.
- Suriadikarta, D.A., & Husnain. 2012. Pengaruh silikat terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman padi sawah pada tanah Ultisol. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pemupukan dan Pemulihan Lahan Terdegradasi. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian. 29-30 Juni 2012, p.225-236.
- Surya, E., Hanum, H., Hanum, C. & Harahap, F.S., 2019. Pengaruh pemberian kompos bunker diperkaya dengan limbah cair pabrik kelapa sawit pada pertumbuhan bibit kelapa sawit di bibitan utama. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 6(2): 1281-1289. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2019.006.2.9>
- Syahputra, E., Fauzi., & Razali. 2015. Karakteristik sifat kimia sub grup tanah Ultisol di beberapa wilayah Sumatera utara. *J Agroteknologi* 4(1): 1796-1803. <https://media.neliti.com/media/publications/107105-ID-none.pdf>
- Wang, L., Ashraf, U., Chang, C., Abrar, M., & Cheng, X. 2019. Effects of silicon and phosphatic fertilization on rice yield and soil fertility. *J Soil Science and Plant Nutrition* 20:557-565. <https://doi.org/10.1007/s42729-019-00145-5>.
- Yanai, J., Taniguchi, H., & Nakao, A. 2016. Evaluation of available silicon and its determining factors of agricultural soils in Japan. *Journal Soil Science and Plant Nutrition* 62:511-518. <https://doi.org/10.1080/00380768.2016.1232601>.
- Zulputra, Wawan, & Nelvia. 2014. Respon padi gogo (*Oryza sativa* L.) terhadap pemberian silikat dan pupuk posfat pada tanah Ultisol. *J Agroteknologi* 4(2): 1-10. <https://dx.doi.org/10.24014/ja.v4i2.1130>.