

## **Pemanfaatan Bio-Silika untuk Meningkatkan Produktivitas dan Ketahanan Terhadap Cekaman Kekeringan pada Kelapa Sawit**

*The Potential Use of Bio-Silica to Improve Productivity and Drought Stress Resistance on Palm Oil*

Laksmita Prima Santi

Pusat Penelitian Bioteknologi dan Bioindustri Indonesia  
PT Riset Perkebunan Nusantara  
Jl. Taman Kencana No. 1, Bogor. Telp: 62 0251 8327449, Fax: 0251 8328516  
Email: [laksmita\\_69@yahoo.co.id](mailto:laksmita_69@yahoo.co.id)

### **Abstrak**

Iklim merupakan salah satu faktor penting dalam menunjang produktivitas tanaman. Anomali iklim dapat mempengaruhi faktor biotik seperti hama dan penyakit serta faktor abiotik yang mencakup perubahan curah hujan, suhu, gelombang panas, dan kehilangan air. Sebagai upaya mengatasi pengaruh negatif dari anomali ini, pengembangan usaha perkebunan dengan daya tahan tinggi terhadap kondisi yang kurang menguntungkan tidak terlepas dari penerapan teknologi yang dihasilkan dari aktivitas riset bioteknologi, salah satunya adalah pemanfaatan biosilika. Silika (Si) merupakan unsur kedua yang kandungannya di dalam tanah cukup melimpah dengan konsentrasi yang sangat beragam antara <1 sampai dengan 45% dari berat kering tanah. Pemanfaatan silika dalam bentuk tersedia (bio-silika) bagi tanaman pertanian dan perkebunan memiliki potensi sebagai mediator untuk meningkatkan ketahanan terhadap perubahan iklim khususnya dalam kondisi musim kering yang berkepanjangan. Dalam hal mengoptimalkan ketersediaan Si bagi tanaman, di dalam tanah terdapat sejumlah besar mikroorganisme yang dapat melepaskan ikatan silika dari mineral silika. Spesies mikroorganisme tersebut antara lain *Bacillus cladoleticus*, *B. mucilaginosus*, *Pseudomonas sp*, dan *Penicillium sp*. Berdasarkan laporan riset diketahui bahwa bakteri pelarut silika dapat meningkatkan pertumbuhan, kadar klorofil, dan biomassa tanaman. Tulisan ini menyajikan uraian tentang peran mikroorganisme dan pemanfaatan biosilika untuk meningkatkan produktivitas dan ketahanan kelapa sawit terhadap cekaman kekeringan yang berkepanjangan sebagai dampak anomali iklim saat ini.

Kata Kunci : cekaman kekeringan, bio-silika, kelapa sawit, perubahan iklim

## Abstract

*Climate is one important factor in supporting the productivity of crops. Climate anomalies may affect biotic factors such as pests and diseases and abiotic factors that include changes in rainfall, temperature, heat waves, and water deficient. In an effort to overcome the negative effect of this anomaly, development of plantation business with high resistance to adverse conditions cannot be separated from application of technology resulting from biotechnology research activities that one of which is the use of bio-silica. Silica (Si) is the second most abundant element in the soil with concentration vary between <1 to 45% of the dry weight of the soil. Utilization of silica in the form available (bio-silica) to plants and agriculture has the potential as a mediator to improve resilience to climate change, especially in conditions of prolonged dry season. In terms of optimizing the availability of Si to the plants, there are a large number of microorganisms in the soil that can solubilize silica such as Bacillus cladoleticus, B. mucilaginosus, Pseudomonas sp, and Penicillium sp. Based on the research, these microorganisms can promote the growth, chlorophyll content, and biomass. This paper presents the role of microorganism and utilization bio-silica to improve the productivity and drought stress resistance of palm oil on prolonged drought as the impact of climate change.*

Keywords : *drought stress, bio-silica, palm oil, climate change*

## Latar belakang

Tanaman kelapa sawit tergolong peka terhadap cekaman kekeringan. Kehilangan produksi akibat kekeringan dapat mencapai 30%. Kondisi ini perlu segera mendapat perhatian yang cukup besar dari manajemen kebun khususnya mengingat saat ini dan pada beberapa tahun ke depan pengaruh cekaman kekeringan akan semakin meningkat sebagai dampak dari perubahan iklim yang telah terjadi pada beberapa tahun terakhir ini. Salah satu upaya yang mudah dilaksanakan untuk meningkatkan ketahanan tanaman kelapa sawit terhadap cekaman kekeringan adalah melalui aplikasi silika (Si) dalam bentuk tersedia ( $H_4SiO_4$ ) bagi tanaman tersebut. Silika mampu meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman kekeringan melalui mekanisme meningkatkan kesetimbangan kadar air dalam jaringan, meningkatkan aktivitas fotosintesis, serta penguatan dinding sel. Penguatan pada dinding sel selain membuat tanaman lebih toleran terhadap cekaman kekeringan juga lebih toleran terhadap infeksi penyakit akar seperti busuk pangkal batang yang secara umum disebabkan oleh *Ganoderma* sp. Peran silika lainnya yang tidak kalah penting adalah mengurangi kehilangan air

dengan mekanisme mengurangi transpirasi kutikula dan pada saat yang bersamaan meningkatkan laju asimilasi CO<sub>2</sub> dan pembukaan stomata.

Pada saat ini Si belum mendapat perhatian yang serius terkait fungsi utamanya seperti di atas dan dampak yang akan diperoleh pada peningkatan produktifitas tanaman. Sumber Si yang siap diserap oleh tanaman sangat terbatas dan merupakan produk impor yang harganya mahal. Di Indonesia sumber Si yang melimpah adalah mineral kuarsa yang kelarutannya sangat rendah. Disamping itu, bahan baku Si yang cukup melimpah juga dapat diperoleh dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Si dari kedua jenis bahan tersebut masih memerlukan aktivasi untuk meningkatkan kelarutannya.

Teknologi aktivasi dengan bakteri dan fungi untuk meningkatkan kelarutan mineral lokal telah dilakukan di Pusat Penelitian Bioteknologi dan Bioindustri Indonesia selama kurun waktu 1998-2012. Mineral lokal yang telah diteliti dan dikembangkan dalam skala semi komersial melalui aktivasi dengan menggunakan bakteri dan fungi mencakup batuan fosfat eks Cileungsi dan Madura (Santi *et al.*, 2000; Goenadi *et al.*, 2000; Goenadi & Santi, 2013). Selain itu pula bioaktivasi juga telah dilakukan terhadap dolomit untuk menggantikan kieserit (Santi & Goenadi, 2012a) dan batuan feldspar sebagai sumber K untuk menggantikan MOP (Santi & Goenadi, 2012b).

### **Sumber silika**

Silika merupakan salah satu unsur terbanyak di dalam kerak bumi. Silika menempati 27,7% setelah oksigen sebesar 47% dari total berat di dalam tanah (Chanchal *et al.*, 2016). Dalam proses pelapukan batuan dihasilkan senyawa Si berupa mineral alumino-silikat. Mineral dalam bentuk padat ini selanjutnya mengalami pelapukan sehingga terurai menjadi unsur-unsur hara yang tersedia bagi tanaman (Djajadi, 2013). Di dalam tanah, Si tersedia dijumpai dalam bentuk asam silikat (H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>) dengan jumlah yang bervariasi. Diedrich *et al.* (2012) menyatakan bahwa kelarutan Si sangat tergantung pada ukuran partikel senyawa pembawanya. Silika telah dinyatakan sebagai suatu unsur penting oleh *Association of American Plant Food Control Officials* (AAPFCO). Silika merupakan Si yang mengandung kristalin atau senyawa amorphous seperti

calcium silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ), magnesium silikat ( $\text{MgSiO}_3$ ), natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), atau kalium silikat ( $\text{K}_2\text{SiO}_3$ ). Asam silikat atau asam monosilikat [ $\text{Si}(\text{OH})_4$ , atau  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ] merujuk pada bentuk tersedia Si yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman (Heckman, 2013). Silika dihasilkan dari proses pelapukan mineral primer dan sekunder termasuk liat silika dalam tanah. Sumber utama silika di dalam larutan tanah merupakan hasil dekomposisi residu tanaman, disosiasi polimer  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ , pelepasan silika dari besi, aluminium oksida dan hidroksida, pelarutan mineral non kristal dan kristal serta penambahan pupuk silika (Korndorfer *et al.*, 2001). Residu tanaman, khususnya tanaman pengakumulasi silika dapat digunakan sebagai sumber silika. Bahan anorganik seperti kuarsa, liat, mika, dan feldspar kaya akan silika tetapi minim kemampuannya jika digunakan sebagai pupuk karena kelarutan silikanya tergolong rendah (Chanchal *et al.*, 2016).

Sumber-sumber Si yang dapat digunakan terutama adalah dari mineral pembawa Si seperti wollastonit (Pereira *et al.*, 2004). Namun mineral ini sulit ditemukan di Indonesia. Mineral lain yang menjadi senyawa Si adalah feldspar, zeolite, dan kuarsa. Namun, Si di dalam mineral-mineral tersebut tergolong sukar larut. Di sisi lain tanaman kelapa sawit memiliki limbah yang melimpah berupa TKKS yang terbukti memiliki senyawa Si yang terletak dalam serat-seratnya, yang mencapai kadar 11-19% v/v (Omar *et al.*, 2014). Praktek aplikasi TKKS langsung ke lapangan atau yang melalui proses pengomposan (Goenadi, 2006) terlebih dahulu dapat dipandang sebagai pengembalian Si ke dalam tanah selain unsur-unsur lainnya terutama C-organik. Namun, studi khusus tentang aspek ini belum pernah dipublikasikan.

Kebutuhan silika tersedia yang dapat diserap oleh tanaman dapat dipenuhi dengan mengaktivasi bahan baku silika yang cukup melimpah di dalam negeri seperti mineral kuarsa dan TKKS. Bahan silika diproses dengan mencampurkan 5% bakteri pelarut silika secara homogen ke dalam campuran mineral kuarsa yang telah dikeringkan (biosilika). Untuk bioaktivasi kompos TKKS digunakan 5% (b/b) bakteri pelarut silika yang dikemas dalam bahan pembawa padat. Sementara itu, bahan kompos TKKS dapat diperoleh dari proses pengomposan cacahan TKKS dengan bioaktivator selama dua minggu.

### **Bakteri pelarut silika**

Kelarutan Si di dalam tanah tergantung pada pH, kadar air, jumlah dan jenis kation serta senyawa organik di dalam tanah (Sauer *et al.*, 2006). Kandungan silika di dalam tanah tergantung pada tipe tanah dan konsentrasinya bervariasi dari 200-350 g Si per kg tanah berliat sampai dengan 450-480 g Si per kg tanah tekstur berpasir (Balakhnina & Borkowska, 2013). Penurunan kandungan silika yang dapat tersedia di dalam tanah merupakan faktor penting yang harus diperhatikan karena berhubungan erat dengan penurunan produktivitas secara progresif yang dapat terjadi pada beberapa jenis tanaman, termasuk kelapa sawit. Oleh karena itu, peran bakteri pelarut silika merupakan salah satu komponen yang perlu diperhatikan dalam penyediaan silika di dalam tanah.

Bakteri pelarut silika menjadi salah satu fokus utama para peneliti terkait kemampuannya dalam membantu ketersediaan silika bagi tanaman. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa kecukupan silika bagi tanaman berdampak positif pada peningkatan ketahanan tanaman terhadap cekaman kekeringan, hama penyakit, dan meningkatkan produksi (Vasanthi *et al.*, 2013). Di dalam tanah, bakteri pelarut silika juga berperan dalam melepaskan ikatan fosfat, kalium, besi, dan kalsium dari mineral silika, sehingga menjadi bentuk tersedia bagi tanaman. Berdasarkan hasil beberapa penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa bakteri pelarut silika dapat meningkatkan pertumbuhan, kadar klorofil, dan biomassa tanaman.

Pusat Penelitian Bioteknologi dan Bioindustri Indonesia (PPBBI) telah memiliki koleksi beberapa isolat bakteri dan fungi yang memiliki kemampuan dalam melarutkan silika. Biakan tersebut dipelihara dalam agar miring berisi medium Bunt & 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  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ; 0,1 g  $\text{MgCl}_2$ ; 0,01 g  $\text{FeCl}_3$ ; 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  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ; 100 ml ekstrak tanah; 20 g agar bakteriologi; 900 mL akuades; dan pH ditetapkan menjadi pH 7,0-7,2. Medium uji diperkaya dengan 0,25% magnesium trisilikat sebagai indikator keefektifan bakteri dalam melarutkan silika (Vasanthi *et al.*, 2013). Morfologi bakteri pelarut silika terpilih diamati dalam medium

padat Bunt & Rovira (Tabel 1 dan Gambar 1), sementara sifat fisiologi dianalisis dengan menggunakan *microbac identification kits* (Tabel 2). Karakterisasi sifat fisiologi diperlukan untuk identifikasi awal potensi metabolisme fisiologi yang dapat dilakukan oleh isolat terpilih. Analisis fisiologi ini dapat pula digunakan sebagai *data base* dalam menjaga kemurnian isolat untuk tahapan kegiatan riset selanjutnya. Berdasarkan analisis tersebut diketahui bahwa bakteri pelarut silika terpilih dapat menghasilkan asam sitrat, serta menggunakan gula sederhana sebagai sumber karbon dalam media pertumbuhannya.

Pengujian efektivitas bakteri pelarut silika dapat ditinjau dari kemampuan bakteri tersebut dalam menghasilkan asam sitrat, oksalat, dan asetat. Kemampuan bakteri dalam menghasilkan asam organik diuji pada medium cair Bunt & Rovira yang diperkaya dengan 0,25% magnesium trisilikat (Tabel 3). Inkubasi dilakukan pada temperatur 28°C di atas mesin pengocok dengan kecepatan 200 rpm selama 96 dan 192 jam dengan tujuan untuk mengetahui kondisi optimum dari masing-masing bakteri dalam menghasilkan asam organik yang berperan dalam kelarutan silika .

Tabel 1. Morfologi bakteri pelarut silika dalam medium padat Bunt & Rovira.

Species bakteri pelarut silika	Morfologi			
	Bentuk Koloni	Warna Koloni	Pewarnaan gram	Bentuk sel
<i>B. cenocepacia</i>	irregular-raised-undulate	cream	negatif	batang
<i>A. punctata</i>	irregular-raised-undulate	cream	negatif	batang
<i>B. vietnamiensis</i>	Irregular-flat-undulate	cream	negatif	batang



(a)

(b)

(c)

Gambar 1. *B. cenocepacia* (a); *A. punctata* (b); dan *B. vietnamiensis* (c).

Tabel 2. Analisis fisiologi spesies bakteri pelarut silika.

Jenis Analisis	Hasil		
	<i>Burkholderia cenocepacia</i>	<i>Aeromonas punctata</i>	<i>Burkholderia vietnamiensis</i>
Lysine	+	+	+
Ornithine	-	-	-
H <sub>2</sub> S	-	-	-
Glucose	+	+	+
Manitol	-	+	-
Xylose	-	+	-
ONPG/β-galactosidase	+	+	+
Indol	-	-	-
Urease	+	+	-
VP	-	-	-
Citrate	+	+	+
TDA/Indolpyruvat	-	-	-
Gelatin	-	-	-
Malonat	+	+	+
Inositol	-	-	-
Sorbitol	-	-	-
Rhamnose	-	-	-
Sucrose	-	+	-
Lactose	-	+	-
Arabinose	+	+	-
Adonitol	-	-	-
Raffinose	-	-	-
Salicin	-	-	-
Arginin	-	-	-
Nitrat	-	-	-

Tabel 3. Produksi asam organik dari bakteri pelarut silika

Spesies bakteri pelarut silika	Produksi asam organik (ppm)					
	Asam sitrat		Asam asetat		Asam oksalat	
	96 jam inkubasi	192 jam inkubasi	96 jam inkubasi	192 jam inkubasi	96 jam inkubasi	192 jam inkubasi
<i>B. cenocepacia</i>	174	237	3108	3141	777	935
<i>A. punctata</i>	504	529	1282	1728	252	1318
<i>B. vietnamiensis</i>	170	603	3023	1375	1167	450

Berdasarkan data pada Tabel 3 tersebut dapat diketahui bahwa bakteri pelarut silika terpilih yang digunakan sebagai bahan aktif proses aktivasi mineral kuarsa dan TKKS memiliki kemampuan menghasilkan tiga jenis asam organik yang berperan dalam mekanisme pelarutan silika.

## **Peran silika dalam meningkatkan ketahanan terhadap cekaman kekeringan dan produktivitas tanaman kelapa sawit.**

Tanaman secara umum memerlukan unsur hara makro dan mikro untuk mendukung pertumbuhan dan produktivitasnya. Dari sekian banyak hara makro dan mikro esensial yang sudah lama dikenal, silika (Si) belum dianggap sebagai unsur hara esensial walaupun mulai dipahami bahwa unsur ini sangat bermanfaat bagi tanaman. Hal lain yang dapat diperoleh dari aplikasi silika ke dalam tanah adalah peningkatan serapan P oleh tanaman karena Si akan berkompetisi dengan Al dan Fe yang mengikat P. Chidrawar *et al.* (2014) menyebutkan bahwa tanaman menyerap Si sama banyaknya dengan beberapa unsur hara makro, meskipun Si belum dikenal sebagai unsur hara makro. Kajian yang lain menunjukkan peran penting Si dalam memperbaiki pertumbuhan dan perkembangan berbagai jenis tanaman. Rendahnya penerimaan atas fakta ini disebabkan oleh kurangnya studi yang sistematis tentang Si. Edward (2014) juga melaporkan bahwa penggunaan Si memiliki potensi menjadi unsur fundamental dalam mendukung pertanian dan perkebunan yang berkelanjutan, produksi biologi/organik, dan penyelamatan lingkungan.

Cekaman kekeringan dapat mengubah proses fisiologi, biokimia, dan molekuler pada tanaman. Fotosintesis merupakan dasar proses fisiologi pada seluruh tanaman (Ashraf & Harris, 2013). Faktor penghambat fotosintesis pada saat tanaman mengalami kondisi cekaman kekeringan mencakup keterbatasan stomata dan non stomata. Penutupan stomata merupakan respon awal tanaman dalam kondisi defisit air dan selanjutnya terjadi pula perubahan pertumbuhan perakaran, luas permukaan daun, ultra struktur kloroplas, dan pigmen protein (Farooq *et al.*, 2009). Sementara itu penurunan kapasitas fiksasi karbon merupakan faktor keterbatasan dalam laju fotosintesis yang termasuk non stomata. Zhu *et al.* (2006) mengamati bahwa penambahan Si tidak hanya meningkatkan kandungan klorofil tetapi juga meningkatkan rasio klorofil a/b. Terdapat hubungan linier antara rasio klorofil a/b dengan tingkat penghambatan fotosintesis.

Penggunaan tanah secara intensif untuk tanaman telah banyak dilaporkan menyebabkan penurunan kadar Si di dalam tanah. Oleh karena itu diperlukan

pemupukan Si pada tanah-tanah yang kadar Si tersedia di dalam tanahnya sudah di bawah kebutuhan tanaman. Proses kehilangan Si melalui desilikasi banyak dijumpai pada tanah-tanah tua di daerah tropis dan subtropis yang menyebabkan dominasi Al dan Fe di dalam tanah. Tanah-tanah ini umumnya di Indonesia diusahakan untuk perkebunan kelapa sawit. Namun, informasi tentang kebutuhan Si pada tanaman kelapa sawit di Indonesia masih sangat terbatas. Berbeda dengan tebu dan padi, kelapa sawit bukan tanaman pengakumulasi Si, tetapi beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa pemberian sodium silikat mampu meningkatkan serapan P, Mg, B, dan Si (Cristancho & Restrepo, 2014). Selain itu dilaporkan bahwa aplikasi Si menyebabkan tanaman menggunakan unsur hara secara efisien, lebih cepat pulih dari serangan *bud rot disease*, dan peningkatan hasil. Peran Si pada tanaman kelapa sawit ditunjukkan pula oleh Dewi *et al* (2014). Pada fase pembibitan delapan hibrida kelapa sawit yang umum digunakan saat ini memberikan respon positif terhadap pemberian Si. Bibit yang diberi Si mengalami penebalan, perluasan, dan penyebaran akar serta stomata yang tetap membuka lebih lebar sehingga tahan kekeringan.

## **Penutup**

Perubahan iklim yang terjadi dalam beberapa tahun terakhir ini semakin menegaskan kondisi yang ekstrim. Musim kemarau yang berkepanjangan dengan curah hujan rendah di sepanjang tahun berjalan memberikan dampak yang cukup signifikan terhadap produktivitas tanaman perkebunan, khususnya kelapa sawit yang menjadi komoditi andalan di Indonesia. Dari rangkuman kegiatan riset yang telah dilakukan, silika dalam bentuk tersedia telah terbukti secara fisiologis dapat mengatasi cekaman kekeringan pada tanaman, diantaranya kelapa sawit. Peningkatan konsentrasi silika pada sel dinding tanaman dapat meningkatkan toleransi tanaman terhadap kekeringan, salinitas, aktivitas fotosintesis, serta pertumbuhan aktif akar dan daun. Penggunaan biosilika sebagai bentuk silika yang tersedia bagi tanaman dapat merupakan suatu solusi dan strategi baru yang cukup menjanjikan untuk memperoleh hasil produksi yang optimal tanpa dipengaruhi oleh kondisi iklim.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ashraf, M., & P.J.C. Harris (2013). Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica* 51 (2): 163-190.
- Balakhnina, T., & A. Borkowska (2013). Effects of silicon on plant resistance to environmental stresses: review. *Int. Agrophys* 27: 225-232.
- Chanchal., M.C.H., R.T. Kapoor, & D. Ganjewala (2016). Alleviation of abiotic and biotic stresses in plants by silicon supplementation. *Sci. Agri.* 13 (2): 59-73.
- Chidrawar, J. N. S., V. Thorat, P. Shah & V. Rao (2014). Ortho silicic acid (OSA) based formulations facilitates improvement in plant growth and development. 6<sup>th</sup> Internat. Conf. Silicon in Agric. 26-30 August 2014. Stockholm, Sweden.
- Cristancho, R. J. A. & F. Restrepo (2014). Silicon in agriculture – New development in Latin America (2014). 6<sup>th</sup> Internat. Conf. Silicon in Agric. 26-30 August 2014. Stockholm, Sweden.
- Currie, H.A. & C.C. Perry (2007). Silica in Plants: Biological, Biochemical and Chemical Studies. *Annals of Botany* 100: 1383–1389.
- Dewi, A. Y., E. T. S. Putra & S. Trisnowati (2014). Induksi ketahanan kekeringan delapan hibrida kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) dengan silica. *Vegetalika*, 3(3): 1-13.
- Diedrich, T., A. Dybowska, J. Schott, E. Valsami-Jones & E. H. Oelkers (2012). The dissolution rates of SiO<sub>2</sub> 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.
- Edward, B (2014). *Silicon Solutions*. Sestante Edizioni. Bergamo, Italy. 184 pp.
- Farooq M, A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita, SMA Basra (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agron Sustain Dev.* 29:185–212.
- Fahramand, M., M. Mahmoody, A. Keykha, M. Noori & K. Rigi. (2014). Influence of abiotic stress on proline, photosynthetic enzymes and growth. *Int. Res. J. Applied Basic Sci.*, 8: 257-265.
- Goenadi D. H., Y. Siswanto & C. Sugiarto (2000). Bioactivation of poorly soluble phosphate rocks with a phosphorus solubilizing fungus. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 927–932
- Goenadi, D. H (2006). Developing technology for biodecomposition of fresh solid wastes of plantation crops under tropical conditions. IPB Press. Bogor, Indonesia. 228 pp.
- Goenadi, D.H., & L.P. Santi (2013). Bio-superphosphate (Bio-SP) application in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *Jurnal Agrivita*, 35 (1): 8-12.
- Gitz, D.C., & J.T. Baker (2009). Methods for creating stomatal impressions directly onto archivable slides. *Agronomy Journal* 101 (1): 232-236.
- Heckman, J., (2013). Silicon: A Beneficial Substance. *Better Crops* 97( 4): 14-16.

- Korndorfer, G., G.H. Snyder, M. Ulloa, G. Powell, & L.E. Datnoff (2001). Calibration of soil and plant silicon analysis for rice production. *Journal of Plant Nutrition*, 24(7): 1071- 1084.
- Talbot, M.J & Rosemary G. W (2013). Methanol fixation of plant tissue for Scanning Electron Microscopy improves preservation of tissue morphology and dimensions. *Plant Methods* 9 (36): 1-7.
- Naureen, Z., M. Aqeel, M.N Hassan, S.A. Gilani, N. Bouqellah, F. Mabood, J. Hussain, & F.Y. Hafeez (2015). Isolation and screening of silicate bacteria from various habitats for biological control of phytopathogenic fungi. *Am. J. Plant Sci.* 6: 2850-2859.
- Omar, F. N., M. A. P. Mohammed & A. S. Baharuddin (2014). Microstructure modelling of silica bodies from oil palm empty fruit bunch (OPEFB) fibers. *BioRes.*, 9(1): 938-951.
- Pereira, H. S., G. H. Korndorfer, A. A. Vidal & M. S. Camargo (2004). Silicon sources for rice crops. *Sci. Agric.*, 61(5): 10 pp. Piracicaba, Brazil.
- Putra, E.T.S., Issukindarsyah, Taryono, & B.H. Purwanto (2015). Physiological responses of oil palm seedlings to the drought stress using boron and silicon applications. *J. Agron* issue: 1-13.
- Santi, L.P., D.H. Goenadi, Siswanto, I. Sailah, & Isroi (2000). *Solubilization of insoluble phosphates by Aspergillus niger*. *Menara Perkebunan*, 68(2): 37-47.
- Santi, L.P., & D.H. Goenadi (2012a). Efektivitas dolomit aktivasi yang diperkaya dengan bakteri pelarut fosfat sebagai pengganti kiserit pada bibit kakao. *Menara Perkebunan* 80(1): 1-7.
- Santi, L.P. & D.H. Goenadi (2012b). The potential use of bio-activated potassium-bearing mineral from East Java for K fertilizer. *Menara Perkebunan* 80(2): 1-7.
- Sauer, D., Saccone, L., Conley, D.J., Herrmann, L. & Sommer, M (2006). Review of methodologies for extracting plant-available and amorphous Si from soils and aquatic sediments. *Biogeochemistry*, **80**: 89–108.
- Vasanthi, N., L.M. Saleena, & S. Anthoni Raj (2013). Evaluation of media for isolation and screening of silicate solubilising bacteria. *Int. J.Curr. Res.* 5(2):406-408.
- Wellburn, A. R. (1994). The spectral determination of chlorophyll a and chlorophyll b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. In: *Journal of Plant Physiology*, 144 (3): 307-313.
- Zhu J, Y.C. Liang, Y.F. Ding , Z.J. Li (2006). Effect of silicon on photosynthesis and its related physiological parameters in two winter wheat cultivars under cold stress. *Sci Agric Sin.* 39:1780–8.