

## Efektivitas dolomit teraktivasi yang diperkaya dengan bakteri pelarut fosfat sebagai pengganti kiserit pada bibit kakao

*The effectiveness of activated dolomite enriched by phosphate solubilizing bacteria as kieserite substitute on cocoa seedling*

Laksmita Prima SANTI<sup>1\*)</sup> & Didiek Hadjar GOENADI<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan Indonesia, Jl. Taman Kencana No.1, Bogor 16151, Indonesia

Diterima tgl 8 Februari 2012/Disetujui tgl 4 April 2012

### Abstract

*Magnesium (Mg) deficiency is commonly found in acid soils with high weathering intensity as widely present in tropical and sub-tropical regions, or those developed from low Mg-content parent materials. To overcome Mg deficiency, dolomite is often used to replace kieserite although the former is less reactive than the later. An activation technology by heating up to 800°C, followed by sulfuric acid addition, then enriched by phosphate solubilizing bacteria is prospective to improve Mg solubility in soils. This research was aimed to enhance dolomite reactivity and to determine the effectiveness of activated dolomite enriched by phosphate solubilizing bacteria as Mg nutrient sources substituting kieserite on cocoa seedling growth. The results indicate that total and solubility in water of MgO from the prototype of activated dolomite were 26.7 and 9.2%, respectively. Using cocoa seedling as test plant, the use of activated dolomite enriched by using 10<sup>9</sup> cfu of Pseudomonas sp. at 3.85 g/seedling and combined with 100% dosages of NPK fertilizers showed the best vegetative growth and total dry mass of seedlings was significantly higher than that of 100% NPK-Mg kieserite standard dosage.*

[Keywords: Acid soils, Mg deficiency, Pseudomonas sp., calcination, cocoa seedling]

### Abstrak

Defisiensi Mg umumnya ditemukan pada tanah masam dengan tingkat pelapukan tinggi yang banyak terdapat di daerah tropik, subtropik, dan tanah yang terbentuk dari bahan induk miskin Mg. Untuk mengatasi defisiensi Mg, dolomit sering digunakan sebagai pengganti kiserit walaupun sifatnya kurang reaktif jika dibandingkan kiserit. Teknologi aktivasi dengan pemanasan mencapai 800°C, dilanjutkan dengan penambahan asam sulfat serta pengkayaan dengan bakteri pelarut fosfat diharapkan dapat meningkatkan kelarutan Mg di dalam tanah. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan reaktivitas dolomit serta menetapkan efektivitas dolomit teraktivasi yang diperkaya dengan bakteri pelarut fosfat sebagai sumber hara Mg pengganti kiserit pada bibit kakao. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini mengindikasikan bahwa kadar MgO total dan kelarutan dalam air pada dolomit teraktivasi masing-masing 26,7 dan 9,2%. Dengan menggunakan bibit kakao sebagai tanaman uji, aplikasi 3,85 g dolomit teraktivasi yang diperkaya dengan 10<sup>9</sup> cfu

*Pseudomonas* sp./bibit yang dikombinasikan dengan 100% dosis pupuk NPK menunjukkan pertumbuhan vegetatif paling baik dan total bobot kering bibit kakao yang secara nyata lebih tinggi jika dibandingkan dengan pemberian 100% dosis standar NPK-Mg kiserit.

[Kata kunci: Tanah masam, defisiensi Mg, *Pseudomonas* sp., kalsinasi, bibit kakao]

### Pendahuluan

Magnesium (Mg) memiliki peran spesifik terhadap pertumbuhan tanaman. Magnesium diperlukan dalam jumlah besar untuk fotosintesis dan sintesis sejumlah enzim. Konsentrasi rata-rata Mg di kerak bumi sekitar 2,0-2,3% sehingga diperkirakan konsentrasi rata-rata di dalam tanah adalah 0,8% (Mikkelsen, 2010). Magnesium di dalam tanah terdapat dalam berbagai bentuk. Sebagian besar dalam bentuk tidak dapat dipertukarkan, di antaranya sebagai mineral primer (Mg-silikat atau Mg-karbonat) atau dalam bentuk asosiasi dengan mineral liat sekunder.

Defisiensi Mg sering dijumpai terutama pada tanah masam dengan tingkat pelapukan yang tinggi seperti di daerah tropik dan subtropik, atau di dalam tanah yang terbentuk dari bahan induk miskin Mg seperti batuan pasir atau quartzit dan batuan granit. Tanah seperti ini dicirikan dengan nilai pH tanah kurang dari tujuh dan konsentrasi proton (H<sup>+</sup>) yang tinggi serta berhubungan dengan konsentrasi Al dan Mn toksik yang dapat dipertukarkan (van Sraaten, 2007). Ketersediaan Mg di dalam tanah dapat ditetapkan dengan mengukur kelarutannya dalam air dan dalam bentuk dapat dipertukarkan. Namun demikian, di dalam larutan tanah hanya terdapat sejumlah kecil Mg dalam bentuk yang dapat dipertukarkan. Penyerapan Mg oleh akar tanaman tergantung pada jumlah larutan Mg<sup>2+</sup>, pH tanah, persen kejenuhan Mg dalam kapasitas tukar kation, jumlah ion lain yang dapat dipertukarkan, dan tipe liat. Berkurangnya ketersediaan Mg<sup>2+</sup> pada tanah masam disebabkan oleh adanya ion Al<sup>3+</sup> yang dapat dipertukarkan dalam konsentrasi tinggi. Kondisi ini banyak dijumpai pada tanah-tanah masam di Indonesia.

\*) Penulis korespondensi: laksmita\_69@yahoo.co.id

Berdasarkan gambaran tersebut di atas terlihat bahwa terjadi inefisiensi dalam pemanfaatan unsur Mg di dalam tanah oleh tanaman. Selain teknik aplikasi pemupukan yang harus diperhatikan, diperlukan pula alternatif pupuk  $Mg^{2+}$  yang dapat segera diserap oleh akar tanaman atau tersedia bagi tanaman. Sumber  $Mg^{2+}$  yang paling baik dengan kadar  $Mg^{2+}$  cukup tinggi adalah kiserit (27% MgO). Disamping itu, kiserit yang mudah tersedia bagi tanaman, namun bereaksi agak masam karena mengandung  $SO_4$ . Harga pupuk tersebut saat ini sangat tinggi dan sering sulit ditemui di pasar karena merupakan produk impor. Di lain pihak, dolomit memiliki harga yang relatif murah dan banyak diusahakan oleh penambang lokal di Indonesia.

Di dalam SNI 02-2804-2005 ditetapkan kadar  $Mg^{2+}$  dalam bentuk MgO sebesar minimum 18% untuk dolomit, sedangkan untuk kiserit 26%. Dibandingkan dengan kiserit, rendahnya kadar  $Mg^{2+}$  pada dolomit diakibatkan oleh adanya Ca dan  $CO_3$ . Jika porsi berat  $CO_3$  dapat dikurangi dengan perlakuan pemanasan (kalsinasi) maka kadar relatif MgO akan meningkat. Kelarutan Mg dolomit dalam air cenderung lebih sulit tersedia daripada kiserit, terlebih lagi di dalam dolomit yang dikalsinasi. Pengayaan dolomit aktivasi dengan bakteri pelarut fosfat *Pseudomonas* sp. diyakini dapat meningkatkan kelarutannya dalam tanah. Tujuan penelitian ini menyajikan teknologi aktivasi dolomit untuk meningkatkan kelarutan MgO dalam air serta menguji keefektifan dolomit teraktivasi yang diperkaya dengan bakteri pelarut fosfat *Pseudomonas* sp. pada bibit kakao di rumah kaca.

### Bahan dan Metode

#### Aktivasi dolomit

Sebanyak tiga contoh dolomit yang diperoleh dari Jawa Timur dan satu contoh dari Sumatera Utara dianalisis untuk mengetahui rata-rata kadar MgO dan CaO yang terdapat di dalam dolomit lokal tersebut (Tabel 1). Hasil analisis yang diperoleh kemudian digunakan untuk dasar pemilihan salah satu contoh dolomit untuk perlakuan aktivasi selanjutnya. Teknik aktivasi dilakukan dengan modifikasi metode yang

dikemukakan oleh Beruto *et al.* (2003) dan Jambulingam *et al.* (2007). Sebanyak 1 kg dolomit dengan kehalusan butir 100 mesh dipanaskan dalam furnish dengan suhu  $400^{\circ}C$  selama 60 menit (proses karbonasi). Setelah itu dilanjutkan dengan proses aktivasi pada suhu  $800^{\circ}C$  selama 60 menit. Aktivasi dilanjutkan dengan menggunakan  $H_2SO_4$  teknis, diinkubasi selama dua jam dan selanjutnya dikeringkan kembali pada suhu  $110^{\circ}C$  selama 24 jam. Serbuk dolomit digranulasi dan diinokulasi dengan 5% (v/b) suspensi sel yang mengandung  $10^9$  cfu *Pseudomonas* sp.

Selanjutnya terhadap dolomit teraktivasi tersebut dilakukan analisis yang meliputi: (i) kadar Mg dalam bentuk MgO, (ii) kadar kalsium dalam bentuk CaO (AAS), (iii) kadar  $Al_2O_3 + Fe_2O_3$ , (iv) kadar air, dan (v) pH. Metode yang digunakan untuk menganalisis keempat parameter tersebut mengacu pada SNI 02-2804-2005.

#### Mikroorganisme

Bakteri yang digunakan untuk memperkaya dolomit yang diaktivasi adalah *Pseudomonas* sp. yang memiliki kemampuan dalam menghasilkan asam sitrat (6,1 ppm), enzim fosfatase (30,5  $\mu m$ ), dan IAA (59,8 ppm). Bakteri ini merupakan koleksi Laboratorium Mikrobiologi dan Lingkungan, Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan Indonesia. Biakan dipelihara dalam medium agar miring Pikovskaya (dalam tabung reaksi 10 mL) dengan komposisi per liter medium: 5 g  $Ca_3PO_4.3OH$ ; 0,2 g NaCl; 0,2 g KCl; 0,1 g  $MgSO_4.7H_2O$ ; 2,5 mg  $MnSO_4.H_2O$ ; 2,5 mg  $FeSO_4.7H_2O$ ; 0,5 g  $(NH_4)_2SO_4$ ; 10 g Glukosa; 0,5 g ekstrak khamir, dan 15 g agar bacto.

#### Penetapan keefektifan dolomit teraktivasi yang diperkaya dengan bakteri *Pseudomonas* sp.

Kegiatan penelitian disusun dalam rancangan acak lengkap dengan delapan perlakuan dan tiga ulangan. Sebagai medium tanam digunakan contoh tanah Ultisol yang berasal dari Cikopomayak, Jawa Barat. Pengambilan tanah dilakukan di kedalaman 0- 20 cm.

Tabel 1. Kadar MgO dan CaO bahan baku dolomit

Table 1. *MgO and CaO contents of sampled dolomite materials*

Asal deposit/Kode <i>Deposit origins/code</i>	Total MgO (%) <i>Total of MgO (%)</i>	Total CaO (%) <i>Total of CaO (%)</i>
Jawa Timur ( <i>East Java</i> )/(A)	16,1	29,1
Jawa Timur ( <i>East Java</i> )/(B)	14,7	27,5
Jawa Timur ( <i>East Java</i> )/(C)	16,6	30,7
Sumatera Utara ( <i>North Sumatera</i> )/(D)	18,1	30,6
Rata-rata ( <i>Average</i> )	16,3	29,5

Tanah selanjutnya diayak menggunakan ayakan 5 mm dan diaduk hingga homogen.

Sebanyak 10 kg tanah homogen dimasukkan ke dalam ember plastik berkapasitas 15 L yang telah diberi lima lubang dengan diameter 1 cm di bagian bawahnya. Setiap ember plastik ditanami satu bibit kakao lindak tipe *Upper Amazone Hybrid* (UAH) asal biji umur dua minggu. Hasil analisis contoh tanah Ultisol asal Cikopomayak disajikan pada Tabel 2. Atas dasar analisis tersebut, pH tanah sebagai media bibit kakao termasuk katagori sangat masam. Dampak aplikasi dolomit aktivasi ataupun kiserit dalam media tersebut diharapkan memberikan hasil positif terhadap rancangan perlakuan yang diberikan.

Pengamatan pertumbuhan vegetatif bibit kakao dilakukan setiap bulan selama tiga bulan. Peubah yang diamati meliputi: (i) tinggi bibit, (ii) jumlah daun, (iii) panjang akar, dan (iv) berat kering batang, daun, dan akar bibit kakao. Seluruh perlakuan kecuali blanko memperoleh pemupukan masing-masing 3,1 g (Urea); 5,0 g (TSP); dan 2,8 g (KCl) per bibit. Sebagai kontrol positif digunakan kiserit dengan dosis 3,85 g per bibit (Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, 2010). Perlakuan tingkat dosis dolomit teraktivasi (gram) yang diberikan untuk setiap bibit kakao atas dasar dosis pemakaian kiserit masing-masing : 0,96 g (25% dosis kiserit); 1,92 g (50% dosis kiserit); 2,89 g (75% dosis kiserit); 3,85 g (100% dosis kiserit); 4,81 g (125% dosis kiserit); dan 5,78 g (150% dosis kiserit). Adapun perlakuan sebagai berikut:

- (i) 100% dosis pupuk NPK + 3,85 g kiserit/bibit
- (ii) 100% dosis pupuk NPK + 0,96 g dolomit teraktivasi yang diperkaya/bibit
- (iii) 100% dosis pupuk NPK + 1,92 g dolomit teraktivasi yang diperkaya/bibit

- (iv) 100% dosis pupuk NPK + 2,89 g dolomit teraktivasi yang diperkaya/bibit
- (v) 100% dosis pupuk NPK + 3,85 g dolomit teraktivasi yang diperkaya./bibit
- (vi) 100% dosis pupuk NPK + 4,81 g dolomit teraktivasi yang diperkaya/bibit
- (vii) 100% dosis pupuk NPK + 5,78 g dolomit teraktivasi yang diperkaya/bibit
- (viii) Blanko (tanpa pupuk)

Untuk memilih dosis aplikasi terbaik, data yang diperoleh diolah dengan analisis sidik ragam dan Uji jarak berganda Duncan dengan taraf 5% (Steel & Torrie, 1980). Pada akhir pengamatan dilakukan analisis serapan hara Mg pada daun bibit kakao mengacu pada metode yang dikemukakan Balai Penelitian Tanah (2009).

### Hasil dan Pembahasan

#### Aktivasi dolomit

Teknologi aktivasi dolomit bertujuan untuk meningkatkan kelarutan MgO di dalam air. Dengan meningkatnya kadar MgO tersebut, maka ketersediaan unsur ini bagi tanaman dapat lebih meningkat. Adapun kualifikasi kiserit dan dolomit yang dapat digunakan untuk pupuk di bidang pertanian dan perkebunan telah ditetapkan pemerintah dengan mengacu pada SNI 02-2804-2005 (Tabel 3). Hasil analisis awal dalam kegiatan penelitian ini diketahui bahwa rata-rata total kandungan MgO dan CaO dalam dolomit lokal yang diperoleh dari beberapa sumber deposit potensial di Indonesia adalah 16,3 dan 29,5%. Berdasarkan rata-rata total kandungan MgO dan CaO tersebut di atas, maka contoh dolomit asal Jawa Timur dengan kode contoh A yang memiliki kadar MgO total 16,1% dan

Tabel 2. Karakteristik tanah Ultisol yang digunakan sebagai media tumbuh bibit kakao.

Table 2. *The characteristics of Ultisol soil as cocoa seedlings growth media.*

Jenis Analisis ( <i>Types of analysis</i> )	Hasil ( <i>Results</i> )	Jenis Analisis ( <i>Types of analysis</i> )	Hasil ( <i>Results</i> )
Pasir ( <i>Sand</i> ) (%)	10,68	MgO-HCl 25% (ppm)	351,80
Debu ( <i>Silt</i> ) (%)	14,72	CaO-HCl 25% (ppm)	396,35
Klei ( <i>Clay</i> )(%)	74,55	KTK-CEC ( <i>me/100g</i> )	32,48
pH -H <sub>2</sub> O	3,50	NTK-cation exchange value ( <i>me/100g</i> )	
pH -KCl 1N	3,00	Na <sup>+</sup>	0,31
C-organik ( <i>C-organic</i> ) (%)	2,12	K <sup>+</sup>	0,90
Nitrogen (%)	0,28	Ca <sup>2+</sup>	2,60
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - HCl 25% (ppm)	10,62	Mg <sup>2+</sup>	1,14
P-Bray (ppm)	3,67	Al dd ( <i>me/100g</i> )	0,25
K <sub>2</sub> O-HCl 25% (ppm)	470,71	Kadar Air ( <i>Water content</i> ) (%)	5,34

Tabel 3. Standarisasi pupuk Mg berdasarkan SNI 02-2804-2005.

Table 3. The standardization of Mg fertilizer based on SNI 02-2804-2005.

Peubah ( <i>Parameter</i> )	Kiserit ( <i>Kieserite</i> )	Dolomit ( <i>Dolomite</i> )
Rumus kimia ( <i>Formula</i> )	MgSO <sub>4</sub> .(H <sub>2</sub> O)	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
MgO total (%)	27-29	18-22
Mg total (%)	17,56	13,18
Hara lain ( <i>Other nutrient</i> ) (%)	22 % S	40% CaO
Kelarutan ( <i>Solubility</i> )	Sedang ( <i>Moderate</i> )	Rendah ( <i>Low</i> )
Reaksi ( <i>Reaction</i> )	Agak masam ( <i>Slightly acidic</i> )	Basa ( <i>Alkaline</i> )

CaO total 29,1% digunakan untuk penelitian teknik aktivasi lebih lanjut.

Beberapa metode dan teknologi untuk meningkatkan kadar MgO di dalam dolomit telah dilakukan dan telah direalisasikan dalam skala industri. Teknologi yang digunakan adalah pemanasan sampai dengan 800°C selama satu jam (kalsinasi). Dengan teknologi kalsinasi ini dapat diperoleh kadar MgO dalam dolomit yang hampir menyamai kadar MgO kiserit (Gunasekaran & Anbalagan, 2007; Halmann *et al.*, 2008). Namun demikian, kelarutan MgO dalam air dari bahan dolomit hasil proses kalsinasi ini masih sangat rendah. Oleh karena itu diperlukan proses lebih lanjut yaitu melalui reaksi dengan asam kuat untuk meningkatkan kadar MgO dalam bentuk tersedia.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa bahwa proses aktivasi dengan asam kuat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) dapat meningkatkan kadar MgO tersedia (larut air) dua kali lipat. Karakteristik lainnya dari dolomit aktivasi secara lengkap disajikan pada Tabel 4. Berdasarkan nilai total MgO dan sifat reaksinya (pH), maka dolomit aktivasi ini memenuhi standar SNI 02-2804-2005. Hasil analisis menunjukkan bahwa kadar unsur hara ikutan (*impurities*) yaitu Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan SiO<sub>2</sub> dalam dolomit yang telah diaktivasi relatif tetap jika dibandingkan dengan sebelum aktivasi. Pengkayaan dolomit teraktivasi dengan 10<sup>9</sup> cfu *Pseudomonas* sp. dilakukan untuk meningkatkan reaktivitas dolomit dalam tanah masam seperti Ultisol serta meningkatkan respons terhadap pertumbuhan bibit kakao.

Peran bakteri *Pseudomonas* sp. dalam menghasilkan hormon pertumbuhan seperti asam asetat indol (IAA), giberelin, sitokinin, dan etilen serta kemampuannya dalam melarutkan fosfat, produksi siderofor, aktivitas ACC deaminase, dan menghasilkan antibiotik ekstra selular yang bermanfaat baik secara langsung maupun tidak langsung bagi pertumbuhan dan ketahanan berbagai jenis tanaman telah banyak diteliti

(Mishra *et al.*, 2010; Ramezanpour *et al.*, 2010). Dalam penelitian ini, penambahan 10<sup>9</sup> cfu bakteri *Pseudomonas* sp. ke dalam 3,85 gram dolomit teraktivasi/bibit atau setara dengan 100% dosis kiserit menghasilkan tinggi dan jumlah daun yang berbeda nyata serta panjang akar yang tidak berbeda nyata jika dibandingkan dengan perlakuan 100% dosis anjuran kiserit (Tabel 5). Atas dasar percobaan di rumah kaca maka 3.85 gram dolomit teraktivasi/bibit atau setara dengan 100% dosis kiserit ditetapkan sebagai dosis anjuran aplikasi.

Pemberian dosis 2,89 dan 3,85 gram dolomit teraktivasi/bibit menghasilkan total bobot kering akar dan batang yang nyata lebih tinggi masing-masing 8,9 dan 10,2 % apabila dibandingkan dengan perlakuan kiserit (standar). Bobot kering bibit kakao tertinggi diperoleh dari perlakuan dosis dolomit teraktivasi sebanyak 4,81 g/bibit dengan hasil lebih tinggi 21,9% (daun); 8,3% (batang); dan 11,2% (total) jika dibandingkan dengan pemberian 100% dosis standar NPK-Mg kiserit (Tabel 6).

Reaktivitas dolomit teraktivasi yang diperkaya dengan *Pseudomonas* sp. sebagai pupuk Mg alternatif pengganti kiserit ditetapkan lebih lanjut dengan menganalisis serapan hara Mg bibit kakao. Berdasarkan data serapan hara bibit kakao yang disajikan pada Gambar 1 diketahui bahwa serapan hara Mg yang optimal diperoleh dari pemberian dosis 1,92 g dolomit teraktivasi/bibit atau setara dengan 50% dosis anjuran kiserit. Serapan hara Mg pada daun bibit kakao dengan perlakuan tersebut sebesar 0,53%. Sementara itu, serapan hara daun bibit kakao dengan pemberian 100% dosis kiserit atau setara dengan 3,85 g kiserit/bibit hanya mencapai 0,45%. Hasil ini mendukung penelitian yang dilakukan oleh Sharafzadeh (2012) bahwa pemberian inokulan *Pseudomonas* sp. dan *Azospirillum* sp. dapat meningkatkan serapan hara Mg pada tanaman tomat.

Tabel 4. Karakteristik dolomit sebelum dan setelah diaktivasi.

Table 4. The characteristic of pre-heated and activated dolomite.

Jenis pengujian <i>Types of determination</i>	Dolomit awal <i>Pre-heated dolomite</i>	Dolomit aktivasi <i>Activated dolomite</i>
MgO total / <i>Total of MgO (%)</i>	16,10	26,70
MgO larut air/ <i>Water soluble of MgO (%)</i>	4,50	9,20
CaO (%)	29,10	30,04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0,02	0,025
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0,27	0,25
SiO <sub>2</sub> (%)	0,03	0,03
pH	8,50	9,10
Daya netralisasi/ <i>Neutralization force (%)</i>	106,20	100,10
Kadar Air / <i>Water content (%)</i>	1,15	1,02

Tabel 5. Pertumbuhan vegetatif bibit kakao.

Table 5. Vegetative growth of cocoa seedlings.

Perlakuan ( <i>Treatments</i> )	Tinggi bibit <i>Plant height</i> (cm)	Jumlah daun <i>Leaf number</i> (helai)	Panjang akar <i>Root length</i> (cm)
100% dosis pupuk NPK + 3,85 g kiserit/bibit <i>100% dosages NPK + 3.85 g kieserite/seedling</i>	32,8 bc	15,7 cd	26,3 ab
100% dosis pupuk NPK + 0,96 g dolomit teraktivasi./bibit <i>100% dosages NPK+ 0.96 activated dolomite/seedling</i>	33,2 bc	17,3 bcd	26,7 ab
100% dosis pupuk NPK + 1,92 g dolomit teraktivasi/bibit <i>100% dosages NPK+ 1.92 g activated dolomite/seedling</i>	37,3 ab	16,0 cd	26,3 ab
100% dosis pupuk NPK + 2,89 g dolomit teraktivasi/bibit <i>100% dosages NPK+ 2.89 g activated dolomite/seedling</i>	37,8 ab	23,0 a	25,8 ab
100% dosis pupuk NPK + 3,85 g dolomit teraktivasi/bibit <i>100% dosages NPK+ 3.85 g activated dolomite/seedling</i>	40,3 a	20,7 ab	29,3 a
100% dosis pupuk NPK + 4,81 g dolomit teraktivasi/bibit <i>100% dosages NPK+4.81 g activated dolomite/seedling</i>	33,0 bc	20,0 ab	25,3 ab
100% dosis pupuk NPK + 5,78 g dolomit teraktivasi/bibit <i>100% dosages NPK+ 5.78 g activated dolomite/seedling</i>	34,8 ab	19,0 bc	27,0 a
Blanko ( <i>Blank</i> )	27,3 c	14,7 d	22,0 b
Koefisien keragaman ( <i>Coefficient variable</i> ) (%)	9,7	10,1	9,4

<sup>\*)</sup> Angka dalam kolom yang sama yang diikuti dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji jarak ganda Duncan ( $P > 0,05$ ).

<sup>\*)</sup> Numbers in the same column followed by similar letter(s) are not significantly different according to Duncan Multiple Range Test ( $P > 0,05$ ).

Penambahan dosis dolomit teraktivasi yang diperkaya dengan *Pseudomonas* sp. sebanyak 75-150% dari dosis kiserit menghasilkan serapan hara Mg pada daun bibit kakao yang relatif stabil (0,45 - 0,49%). Serapan hara Mg dengan perlakuan dolomit teraktivasi yang diperkaya dengan  $10^9$  cfu/g *Pseudomonas* sp. me-

ningkat 22,9-51,4% jika dibandingkan dengan tanpa pupuk. Sedangkan pada dosis pemakaian 1,92-3,85 gram/bibit, serapan hara Mg daun bibit kakao meningkat sebesar 4,4-17,8% jika dibandingkan dengan penggunaan dosis 100% kiserit (3,85 gram/bibit).

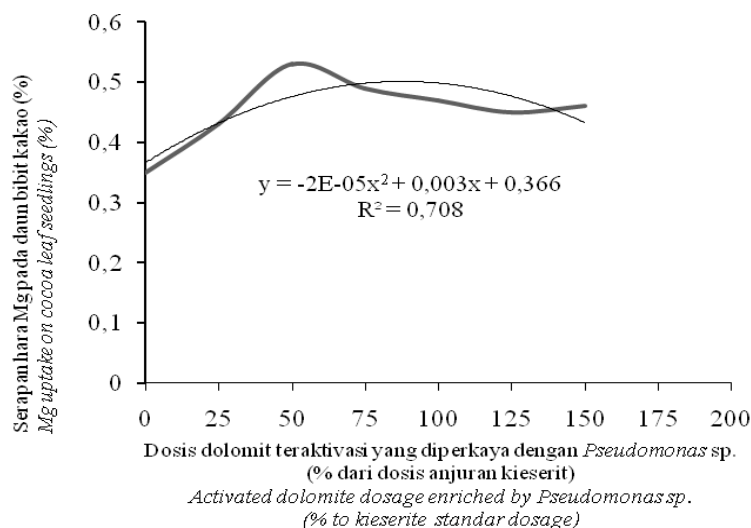
Tabel 6. Bobot kering bibit kakao.

Table 6. Dry weight of cocoa seedlings.

Perlakuan ( <i>Treatments</i> )	Rata-rata bobot kering ( <i>Dry weight average</i> )				
	Daun <i>Leaf</i> (g)	Batang <i>Stem</i> (g)	Akar <i>Root</i> (g)	Total <i>Total</i> (g)	Persentase total terhadap perlakuan kieserit <i>Total percentage to kieserite treatment (%)</i>
100% dosis pupuk NPK + 3,85 g kieserit/bibit <i>100% dosages NPK + 3.85 g kieserite/seedling</i>	4,1 ab	2,4 bc	2,4 b	8,9 b	100
100% dosis pupuk NPK + 0,96 g dolomit teraktivasi/bibit <i>100% dosages NPK + 0.96 activated dolomite/seedling</i>	3,9 ab	2,2 cd	1,9 d	8,0 c	89,9
100% dosis pupuk NPK + 1,92 g dolomit teraktivasi/bibit <i>100% dosages NPK + 1.92 g activated dolomite/seedling</i>	3,6 b	2,2 cd	2,5 b	8,3 bc	93,3
100% dosis pupuk NPK + 2,89 g dolomit teraktivasi/bibit <i>100% dosages NPK + 2.89 g activated dolomite/seedling</i>	3,9 ab	2,9 a	2,9 a	9,7 a	108,9
100% dosis pupuk NPK + 3,85 g dolomit teraktivasi /bibit <i>100% dosages NPK + 3.85 g activated dolomite/seedling</i>	4,2 ab	2,8 a	2,8 a	9,8 a	110,1
100% dosis pupuk NPK + 4,81 g dolomit teraktivasi/bibit <i>100% dosages NPK + 4.81 g activated dolomite/seedling</i>	5,0 a	2,6 ab	2,3 bc	9,9 a	111,2
100% dosis pupuk NPK + 5,78 g dolomit teraktivasi/bibit <i>100% dosages NPK + 5.78 g activated dolomite/seedling</i>	3,9 ab	2,5 abc	1,9 cd	8,3 bc	93,3
Blanko ( <i>Blank</i> )	3,4 b	1,6 e	1,8 d	6,8 d	76,4
Koefisien keragaman ( <i>Coefficient variable</i> ) (%)	14,6	10,3	10,5	3,2	

\*) Angka dalam kolom yang sama yang diikuti dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji jarak ganda Duncan ( $P > 0,05$ ).

\*) Numbers in the same column followed by similar letter(s) are not significantly different according to Duncan Multiple Range Test ( $P > 0,05$ ).



Gambar 1. Serapan Mg pada daun bibit kakao dengan pemberian dolomit teraktivasi yang diperkaya  $10^9$  cfu *Pseudomonas* sp.  
Figure 1. The Mg uptake in cocoa leaf seedlings by activation dolomite enriched with  $10^9$  cfu of *Pseudomonas* sp. treatments.

### Kesimpulan dan Saran

Teknologi aktivasi dolomit dengan pemanasan tinggi dan diikuti penambahan asam kuat ( $H_2SO_4$ ) dapat meningkatkan kadar MgO tersedia (larut air) dua kali lipat. Berdasarkan penelitian di rumah kaca, aktivasi dolomit secara fisik dan kimia yang diikuti pengkayaan dengan bakteri *Pseudomonas* sp. merupakan teknologi alternatif yang dapat menghasilkan pupuk pengganti kiserit. Dosis anjuran aplikasi dolomit teraktivasi yang diperkaya dengan *Pseudomonas* sp. adalah 2,89 g/bibit kakao. Pemanfaatan mineral lokal (dolomit) dengan reaktivitas tinggi melalui teknologi aktivasi diharapkan berdampak terhadap efisiensi penggunaan pupuk, serta mengurangi ketergantungan terhadap kiserit. Pengujian di lapang untuk tanaman perkebunan secara multi lokasi perlu dilakukan untuk melihat konsistensi mutu dolomit teraktivasi yang dihasilkan dari teknologi ini.

### Daftar Pustaka

- Badan Standarisasi Nasional (2005) Pupuk Dolomit. SNI 02-2804-2005. Jakarta, Badan Standarisasi Nasional. 7p.
- Balai Penelitian Tanah (2009). *Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk*. ISBN 978-602-8039-21-5. Bogor, Balai Penelitian Tanah. 234p.
- Beruto DT, R Vecchiattini & M Giordani (2003). Solid products and rate-limiting step in the thermal half decomposition of natural dolomite in a  $CO_2$  (g) atmosphere. *Thermochimica Acta* 405, 183–194.
- Gallucci K, F Paolini, L Di Felice, C Courson, PU Foscolo & A Kiennemann (2007). SEM analysis application to study  $CO_2$  capture by means of dolomite. *Diffusion Fundamentals* 7, 1 -11.
- Gunasekaran S & G Anbalagan (2007). Thermal decomposition of natural dolomite. *Bull Mater Sci* 30 (4), 339–344.
- Halmann M, A Frei & A Steinfeld (2008). Magnesium production by the pigeon process involving dolomite calcinations and MgO silicothermic reduction: Thermodynamic and environmental analyses. *Ind Eng Chem Res* 47, 2146-2154.
- Jambulingam M, S Karthikeyan, P Sivakumar, J Kiruthika & T Maiyalagan (2007). Characteristic studies of some activated carbons from agricultural wastes. *J Sci Indst Res* 66, 495-500.
- Keshavarzi A & F Sarmadian (2010). Comparison of artificial neural network and multivariate regression methods in prediction of soil cation exchange capacity. *Int J Env Earth Sci* 1(1), 25-30.
- Mikkelsen R (2010). Soil and fertilizer magnesium. *Better Crops* 94(2), 26-28.
- Mishra RK, Prakash, A Mansoor & A Dikshit (2010). Influence of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on the productivity of *Pelargonium graveolens* L. Herit. *Recent Res Sci & Tech*, 2(5), 53-57.
- Pusat Penelitian Kopi dan Kakao (2010). *Budidaya Kakao*. Jember, Agro Media Pustaka. 298 p.
- Ramezanzpour MR, P Yuri, K Kazem & AR Hadi (2010). Genetic diversity and efficiency of indole acetic acid production by the isolates of *fluorescent Pseudomonads* from rhizosphere of rice (*Oryza sativa* L.). *American-Eurasian J Agric & Environ Sci* 7(1), 103-109.
- Sharafzadeh S (2012). Effects of PGPR on growth and nutrients uptake of tomato. *Int J Adv Eng Technol* 2(1), 27-31.
- Steel RGD & JH Torrie (1980). *Principles and Procedures of Statistics. A Biometrical Approach*. 2<sup>nd</sup> ed. New York, McGraw-Hill
- Ure AM & ML Berrow (1982). The elemental constituents of soil. In: HJM Bowen (ed) *Environmental Chemistry Vol.2*. London, Royal Society Chemistry. p.94-204.
- van-Straaten P (2007). *Agrogeology: The Use of Rocks for Crops*. Department of Land Resource Science University of Guelph, Guelph, Ontario Canada. Enviroquest Ltd., 352 River Road, Cambridge, Ontario N3C 2B7. Canada. 440 p.