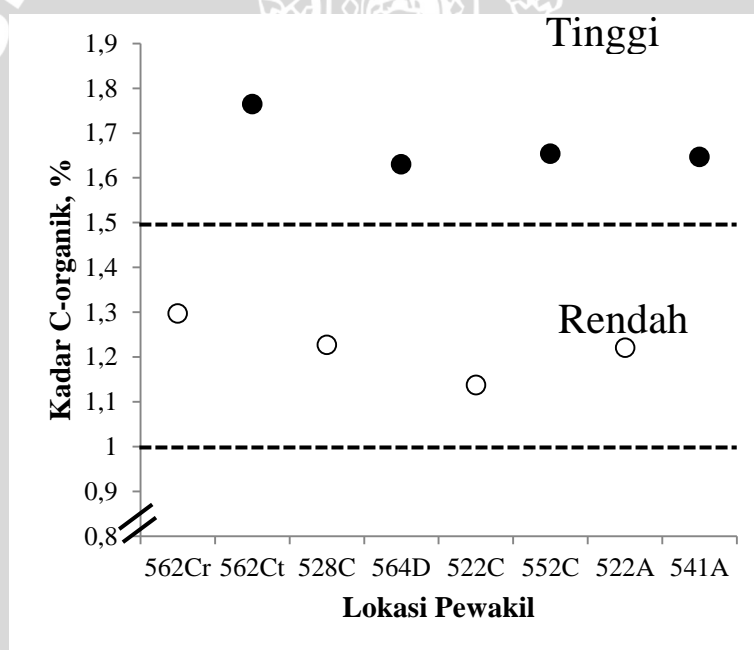


IV. HASIL dan PEMBAHASAN

4.1. Kadar C-organik Tanah

Berdasarkan informasi data sekunder yang tersedia (Sumitro, Komunikasi Pribadi) lahan-lahan perwakilan yang dipilih untuk pengamatan memiliki kadar C-organik yang beragam. Persentase C-organik $<1,5\%$ termasuk dalam kriteria rendah dan C-organik $>1,5\%$ untuk kriteria tinggi (Bartholomew *et al.*, 2003). Namun demikian, hasil pengukuran tersebut perlu di cek ulang untuk meningkatkan keakuratannya. Berdasarkan informasi yang diperoleh, pengukuran pada waktu lalu berdasarkan 1 contoh tanah saja untuk mewakili kondisi lahan seluas 10-20 ha, sehingga kurang mewakili kondisi aktual lahan tersebut. Hasil analisis ulang C-organik dari masing-masing lokasi perwakilan menunjukkan nilai yang bervariasi maka dilakukan klasterisasi kembali (Gambar 6).



Gambar 6. Hasil analisis ulang C-organik lokasi perwakilan.

Keterangan : 562Cr = lokasi 562C kategori C-organik rendah.

562Ct = lokasi 562C kategori C-organik tinggi.

Berdasarkan hasil analisis ulang kadar C-organik tanah pada lahan-lahan perwakilan, terdapat perubahan kategori pada tanah 562 Ct (plot kontrol) yang sebelumnya tergolong C-organik rendah berubah menjadi C-organik tinggi dengan rata-rata C-organik sebesar 1,8%. Kemudian pada lokasi 564D (Dosis

Dolomit 1 Mg ha⁻¹) dan lokasi 541A (Dosis Dolomit 2 Mg ha⁻¹) yang sebelumnya tergolong C-organik rendah berubah menjadi C-organik tinggi dengan rata-rata C-organik berturut-turut sebesar 1,6 % dan 1,6 % (Tabel 4).

Tabel 4. Lokasi Perwakilan yang dipilih menggunakan informasi sekunder dan analisis ulang kandungan C-organik tanah.

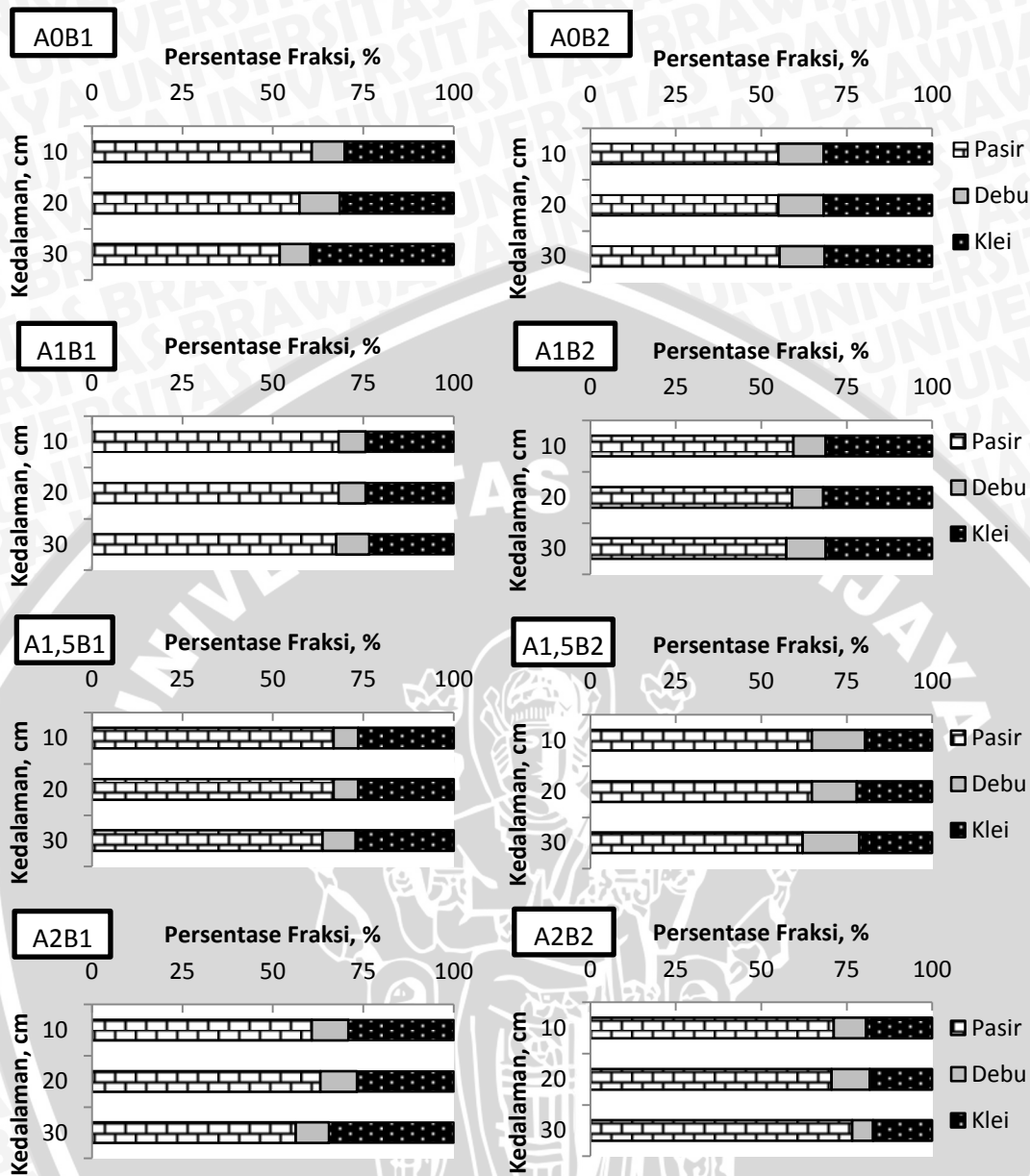
Lokasi Perwakilan	Dosis Dolomit, Mg ha ⁻¹	C-organik dari data sekunder, %	Klasifikasi C-organik	C-organik dari hasil analisis ulang, %	Klasifikasi C-Organik
562Cr	0,0 (kontrol)	1,1	Rendah	1,3	Rendah
562Ct	0,0 (kontrol)	1,1	Rendah	1,8	Tinggi
528C	1,0	1,1	Rendah	1,2	Rendah
564D	1,0	1,3	Tinggi	1,6	Tinggi
522C	1,5	1,2	Rendah	1,1	Rendah
552C	1,5	1,5	Tinggi	1,6	Tinggi
522A	2,0	1,2	Rendah	1,2	Rendah
541A	2,0	1,2	Tinggi	1,6	Tinggi

Keterangan : C-organik rendah (1-1,5 %); C-organik tinggi (> 1,5 %), berdasarkan kriteria yang ditetapkan oleh PT. GGP mengacu pada Bartholomew *et al.* (2003); 562Cr = lokasi 562C kategori C-organik rendah; 562Ct = lokasi 562C kategori C-organik tinggi.

4.2. Tekstur Tanah

Salah satu kriteria penentuan lokasi pengamatan adalah mempunyai tekstur tanah yang sama. Tekstur tanah lahan perwakilan umumnya adalah *Sandy Clay Loam* (Lempung Klei Berpasir) (Lampiran 6). Kelas tekstur Lempung Klei Berpasir memiliki persentase Pasir sekitar 50-85%, debu sekitar 0-25%, dan Klei sekitar 20-30% (USDA, 1987).

Hasil analisis setiap lokasi (Gambar 7), rata-rata persentase fraksi Pasir sebesar 66%, Debu sebesar 10%, dan Klei sebesar 24%. Dari persentase Pasir, Debu, dan Klei tersebut termasuk dalam kelas tekstur tanah Lempung Klei Berpasir. Namun pada lokasi 541A persentase fraksi Pasir sebesar 73 %, Debu 9% dan Klei 18 % termasuk dalam kelas tekstur tanah Lempung berpasir, tetapi perbedaan fraksi Klei yang sangat kecil yaitu hanya sebesar 2 % membuat lokasi tersebut tetap digunakan sebagai lokasi perwakilan.



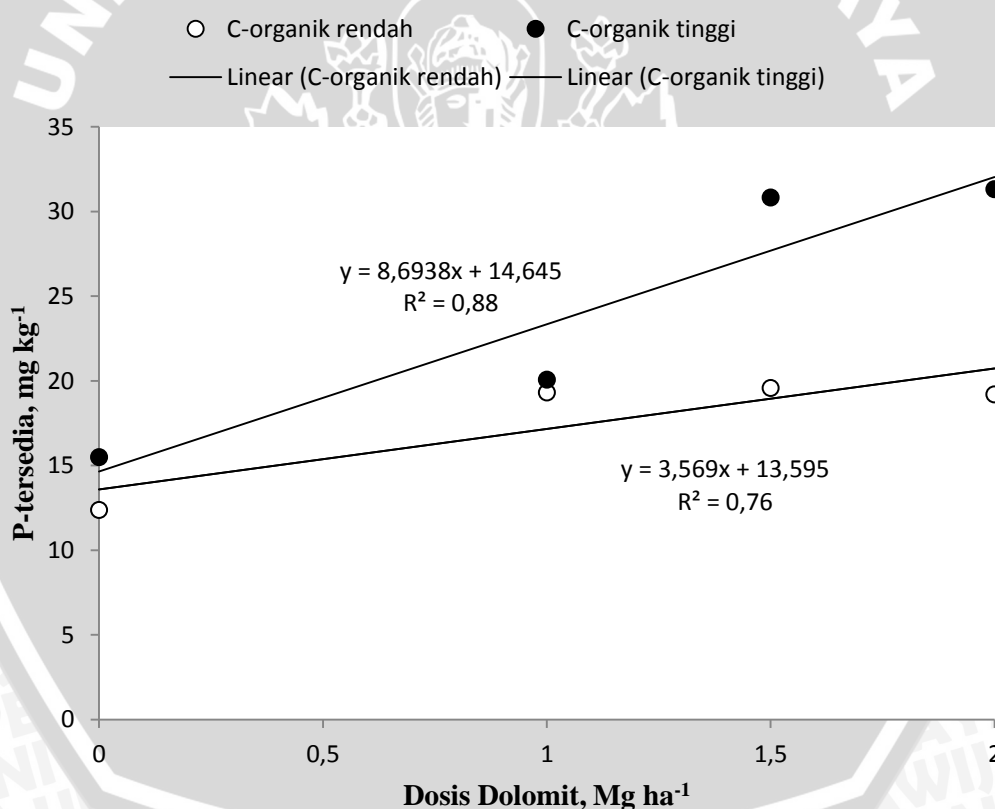
Gambar 7. Hasil Analisis Tekstur Tanah Lokasi Perwakilan.

Keterangan : A0B1 (Kontrol klasifikasi C-organik rendah); A0B2(Kontrol klasifikasi C-organik tinggi); A1B1(Dosis Dolomit 1,0 Mg ha⁻¹ klasifikasi C-organik rendah); A1B2 (Dosis Dolomit 1,0 Mg ha⁻¹ klasifikasi C-organik tinggi); A1,5B1(Dosis Dolomit 1,5 Mg ha⁻¹ klasifikasi C-organik rendah); A1,5B2 (Dosis Dolomit 1,5 Mg ha⁻¹ klasifikasi C-organik tinggi); A2B1(Dosis Dolomit 2 Mg ha⁻¹ klasifikasi C-organik rendah); A2B2(Dosis Dolomit 2,0 Mg ha⁻¹ klasifikasi C-organik tinggi).

4.3. Kadar P-Tersedia

Aplikasi Dolomit ke tanah berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap kadar P-tersedia. Hasil uji statistika dengan sumber keragaman dosis Dolomit, kadar C-organik, kedalaman contoh, serta interaksi dosis Dolomit dengan kadar C-organik berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap P-tersedia (Lampiran 9). Hasil analisis P-tersedia pada setiap lokasi perwakilan disajikan pada Lampiran 7.

Aplikasi Dolomit meningkatkan P-tersedia rata-rata sebesar 12 mg kg^{-1} pada tanah dengan kadar C-organik tinggi bila dibandingkan kontrol, dan hanya meningkat 7 mg kg^{-1} pada tanah dengan kadar C-organik rendah (Lampiran 8). Meningkatnya dosis aplikasi Dolomit diikuti oleh meningkatnya kadar P-tersedia (Gambar 8), peningkatan P-tersedia lebih besar pada tanah dengan kadar C-organik tinggi dari pada tanah dengan C-organik rendah.



Gambar 8. Pengaruh aplikasi berbagai dosis Dolomit terhadap P-tersedia pada tanah-tanah dengan kadar C-organik berbeda (s.e.d = 1,1).

Pada perlakuan kontrol diperoleh P-tersedia terendah baik pada kriteria C-organik rendah maupun tinggi bila dibandingkan dengan perlakuan lainnya, masing-masing $12,4 \text{ mg kg}^{-1}$ dan $15,5 \text{ mg kg}^{-1}$. Kadar P-tersedia tertinggi rata-rata

31 mg kg⁻¹ diperoleh pada tanah dengan aplikasi Dolomit 1,5 dan 2,0 Mg ha⁻¹ pada tanah C-organik tinggi, tetapi pada kedua perlakuan tersebut kadar P-tersedia tidak berbeda nyata ($p>0,05$) (Lampiran 12).

Bila ditinjau dari kedalaman tanahnya, aplikasi Dolomit menyebabkan perbedaan nyata ($p<0,05$) terhadap kadar P-tersedia antar kedalaman (Lampiran 11). Dari hasil uji Duncan diketahui bahwa pada lapisan 20 cm, terdapat P-tersedia yang lebih besar daripada di dua kedalaman lainnya, nampaknya pada kedalaman 20 cm terjadi akumulasi P. Hal tersebut kemungkinan adanya pencucian P melalui pori makro tanah. Heatwaite dan Dils (2000) melaporkan hasil penelitiannya pada padang rumput dengan tekstur lempung berklei di DAS – Pistern Hill, Midlands (UK) yang menunjukkan bahwa P terangkut ke lapisan bawah sebagai partikel P-organik atau dalam bentuk koloid-P. Dilaporkan lebih jauh bahwa P terangkut dalam jumlah paling besar (1,2 mg) melalui pori makro pada lapisan atas (0-15 cm), tetapi umumnya jumlah P terus menurun dengan meningkatnya kedalaman tanah.

4.4. Hubungan Beberapa Variabel Pengamatan

a. Hubungan pH H₂O dengan P-tersedia

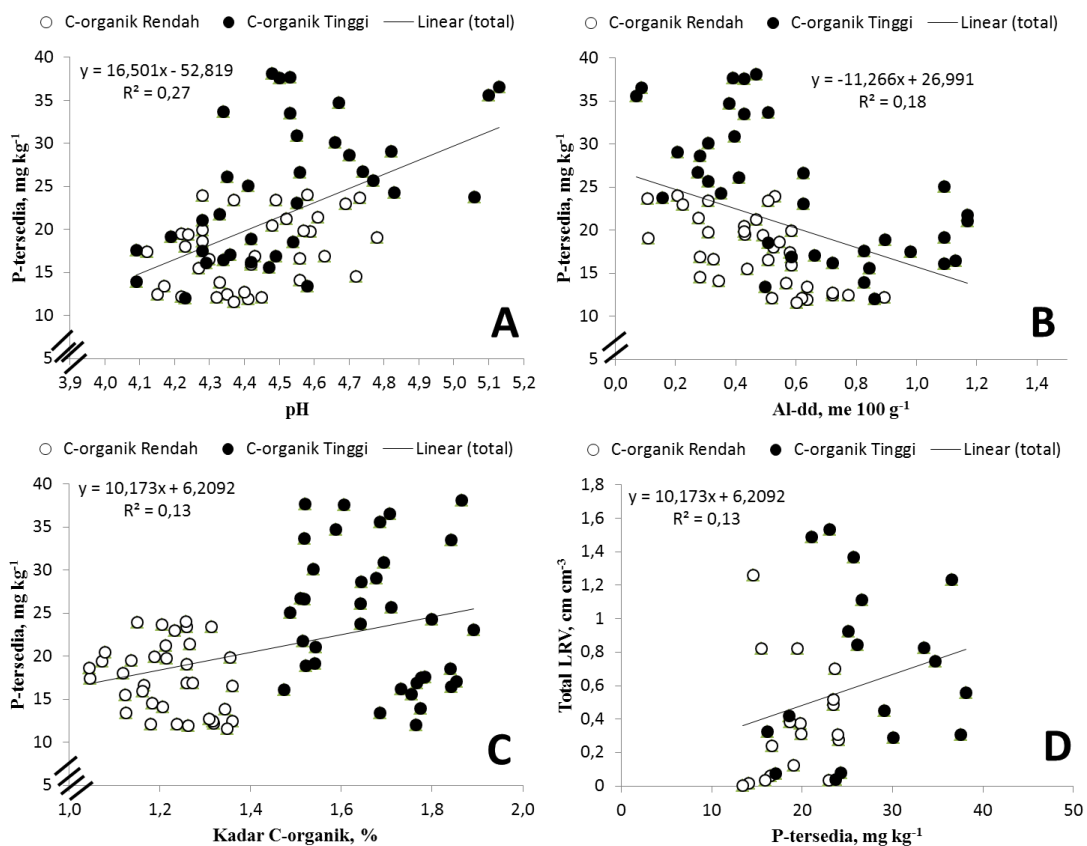
Ketersediaan P dalam tanah sangat dipengaruhi oleh pH (Ernani dan Barber, 1995). Berdasarkan data pH tanah pada percobaan yang sama (Setyorini, 2014) diperoleh hubungan yang sedang ($r=0,52$) (Tabel 5) antara pH tanah dengan P-tersedia. Peningkatan dosis Dolomit lebih efektif dalam meningkatkan pH tanah hingga $>4,4$ bila diaplikasikan pada tanah dengan kadar C-organik tinggi dari pada tanah dengan C-organik rendah.

Berdasarkan uji regresi (Gambar 9a) diketahui bahwa pH tanah mempengaruhi peningkatan P-tersedia sebesar 27%, sedangkan sisanya 73% dipengaruhi oleh variabel lain seperti konsentrasi Al dan kadar C-organik. Peningkatan pH tanah setelah aplikasi Dolomit pada lahan yang sama dengan percobaan ini, diikuti oleh penurunan konsentrasi Al-dd (Setyorini, 2014).

Tabel 5. Matriks Korelasi antara P-tersedia dengan pH H₂O, Al-dd, dan C-organik; peningkatan P-tersedia dengan total LRV tanaman (Sumber data : pH dan Al-dd diperoleh dari Setyorini (2014); total LRV tanaman dari Ubaidillah (2014)).

	P-tersedia	pH H ₂ O	Al-dd	C-organik	Total LRV
P-tersedia	1				
pH H ₂ O	0,52*	1			
Al-dd	-0,43*	-0,71*	1		
C-organik	0,36*	0,23	0,20	1	
Total LRV	0,28	0,10	0,19	0,29	1

Keterangan : * = berbeda nyata pada taraf 5%



Gambar 9. Hubungan beberapa variabel pengukuran : (a) pH tanah dengan P-tersedia, (b) Al-dd dengan P-tersedia, (c) C-organik dengan P-tersedia, (d) peningkatan P-tersedia dengan total LRV (Sumber data : pH dan Al-dd berasal dari Setyorini (2014); total LRV tanaman dari Ubaidillah (2014)).

b. Hubungan Al-dd dengan P-tersedia

Menurunnya P-tersedia berhubungan rendah dengan meningkatnya kadar Al-dd ($r = -0,43$) (Tabel 5). Dari hasil regresi antara total Al-dd dengan P-tersedia (Gambar 9b), diketahui bahwa ada hubungan negatif. Menurut Buresh *et al.* (1997); Samadi dan Gilkes (1999); Uchida dan Hue (2000) bahwa masalah ketersediaan P yang rendah terutama pada tanah masam tidak dapat dipisahkan dengan tingginya kadar Al dan Fe. Keberadaan unsur Al dan Fe pada tanah masam sering menyebabkan P terfiksasi sehingga tidak tersedia bagi tanaman.

Dari persamaan regresi yang diperoleh (Gambar 9b) dapat diestimasi bahwa setiap kenaikan Al-dd sebesar 1 me 100 g^{-1} menurunkan P-tersedia sekitar 18%.

c. Hubungan Kadar C-organik dengan P-tersedia

Ketersediaan P pada tanah masam berhubungan rendah dengan total kadar C-organik ($r = 0,36$) (Tabel 3). Bahan organik tanah atau sisa dari tanaman yang sudah atau sedang terdekomposisi melepaskan gugus anion fungsional yang terikat dengan kation basa. Anion organik termasuk asam amino, asam organik, dan fenolik yang dapat meningkatkan pelepasan P dari kompleks tanah (Jones dan Darrah, 1994).

Dari Gambar 9c diketahui bahwa total persentase C-organik yang mempengaruhi kadar P-tersedia hanya sebesar 13%, sedangkan sisanya 87% berhubungan dengan variabel lain seperti konsentrasi Al dan pH tanah.

d. Hubungan Peningkatan Kadar P-tersedia dengan Total Panjang Akar (LRV) Nanas

Ketersediaan P dalam tanah berhubungan rendah dengan meningkatnya total panjang akar (LRV) cm cm^{-3} tanaman nanas ($r = 0,28$) (Tabel 5). Dari hasil regresi antara P-tersedia dengan total LRV (Gambar 9d), diketahui bahwa 13 % penambahan LRV dipengaruhi oleh ketersediaan P, sedangkan 87 % dipengaruhi oleh faktor lain seperti kadar Al, kepadatan tanah, dan penggenangan.

Pertumbuhan tanaman terutama pada tanah masam berhubungan dengan kadar Al dan P-tersedia. Pada tanah masam dengan kadar Al tinggi, pertumbuhan akar akan terhambat. Ujung-ujung akar akan menjadi lebih besar dan mudah patah, sehingga fungsi akar sebagai penyerap hara menurun (Uchida dan Hue,

2000). Dengan demikian, pengaruh merugikan dari tingginya kadar Al pada tanah asam bagi akar tanaman terjadi melalui dua mekanisme yaitu (a) keracunan langsung pada pembelahan sel pada ujung-ujung akar dan (b) memfiksasi unsur P menjadi bentuk tersedia, sehingga kebutuhan tanaman akan P tidak terpenuhi.

4.5. Pembahasan Umum

Pada tanah masam, cadangan P dalam tanah cukup besar berada dalam bahan organik dan mineral tanah. Namun demikian, sebagian besar P tersebut berada dalam bentuk yang tidak tersedia bagi tanaman. Penanganan masalah P di lapangan dapat dilakukan minimal dengan 2 cara, yaitu dengan jalan menambahkan pupuk P dalam jumlah besar yang akan menjadi *sink* P secara bertahap dan melepaskan kembali P ke dalam larutan tanah untuk jangka waktu cukup panjang (5-10 tahun) sehingga terbentuk *capital* P, kedua yaitu dengan menambahkan pupuk P secara bertahap setiap musimnya (Buresh *et al.*, 1997). Secara teknis penambahan pupuk dalam jumlah besar disebut dengan rekapitalisasi P (Sanchez dan Palm, 1996 dalam Buresh *et al.*, 1997). Perkembangan *capital* P dalam tanah akan sangat bermanfaat dalam mengurangi masalah kahat P dan meningkatkan pertumbuhan tanaman dengan cepat bila pengelolaannya dilakukan secara tepat dan terpadu, misalnya aplikasi pupuk P diiringi dengan aplikasi hara makro lainnya dan unsur mikro secara berimbang (Abelson dan Rowe, 1987 dalam Buresh *et al.*, 1997).

Aplikasi pupuk P sekali dengan jumlah besar akan bermanfaat bila tindakan tersebut diikuti dengan perawatan tanah yang dapat mengatur tingkat kehilangan P menjadi lebih rendah dari pada jumlah P yang masuk ke dalam tanah (Buresh *et al.*, 1997). Contoh hasil penelitian tentang pengelolaan tanah miskin secara terpadu pada tanah masam di Cerrado Brazil (Abelson dan Rowe, 1987 dalam Buresh *et al.*, 1997) yang berubah menjadi tanah produktif. Pada awalnya Tanah Cerrado memiliki kejenuhan Al yang tinggi, jumlah basa-basa dipertukarkan rendah, kapasitas penjerapan P rendah hingga sedang, dan P-tersedia sangat rendah (Abelson dan Rowe, 1987 dalam Buresh *et al.*, 1997). Peningkatan kesuburan tanah yang terjadi di Cerrado dicapai dengan aplikasi pupuk P dalam jumlah besar digabung dengan aplikasi kapur atau gypsum, dan dilakukan

pemupukan berimbang, penggunaan varietas unggul, dan praktik budidaya yang baik, serta kebijakan lingkungan yang memungkinkan (Goedert, 1983 dalam Buresh *et al.*, 1997; Lopes dan Guilherme, 1994 dalam Buresh *et al.*, 1997).

Pada umumnya ameliorasi tanah masam dilakukan dengan pengapuran, bertujuan untuk meningkatkan pH dan menurunkan Al-dd tanah (Sumarno, 2005). Ameliorasi yang dilakukan oleh PT. GGP menggunakan Dolomit, selain bertujuan untuk menaikkan pH tanah dan menurunkan Al-dd juga dapat meningkatkan kadar Ca dan Mg serta kejenuhan basa pada perkebunan nanas (Setyorini, 2014). Diharapkan dengan meningkatnya pH dan menurunnya Al-dd tanah mampu meningkatkan ketersediaan unsur hara, termasuk P (Gambar 9a).

Aplikasi Dolomit oleh pihak PT. GGP dilakukan dengan cara ditebar merata di lahan, cara ini tentu kurang efektif karena hanya mengatasi kemasaman pada permukaan tanah saja, sedangkan permasalahan utama berada di bawah permukaan. Namun demikian, kemampuan Dolomit dalam menekan konsentrasi Al-dd dapat ditingkatkan dengan mempertahankan kandungan C-organik tanah tetap tinggi.

Aplikasi Dolomit pada tanah dengan kadar C-organik yang beragam, memberikan pengaruh yang berbeda-beda terhadap kenaikan pH tanah, konsentrasi Al, dan ketersediaan P (Gambar 9). Aplikasi Dolomit secara tidak langsung meningkatkan ketersediaan P yang sebelumnya diikat oleh Al. Menurut Solis dan Torrent (1989) P tidak tersedia disebabkan oleh pengendapan kimia oleh kation-kation Al dan Fe dapat larut, senyawa yang terbentuk sebagai hasil fiksasi oksida-oksida Aluminium (Al_2O_3) dan Besi (Fe_2O_3) adalah Hidroksi-Fosfat. Demikian halnya dengan ketersediaan unsur Al yang beracun (bentuk *monomeric*) menurun (Hairiah, 1992). Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kadar Al-dd akan menurunkan kadar total P-tersedia (Gambar 9b).

Mempertahankan kadar C-organik dalam tanah masam dapat membantu menekan Al-dd dan meningkatkan P-tersedia. Hasil percobaan ini (Gambar 9c) diketahui bahwa ketersediaan P lebih besar pada tanah dengan kadar C-organik tinggi dari pada di tanah dengan C-organik rendah. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Fonte, *et al.* (2013), bahwa total P-tersedia yaitu pada lahan yang tingkat bahan organiknya tinggi. Selain itu Achat *et al.* (2012) juga menjelaskan

bahwa perubahan fraksi P-tersedia lebih signifikan ditemukan pada lahan kering yang rendah bahan organik. Bahan organik pada tanah masam berperan sebagai *buffer* yang dapat meningkatkan pH tanah dan menurunkan konsentrasi Al (Jiao *et al.*, 2007). Selain itu ketersediaan P tanah dapat ditingkatkan oleh asam organik dan asam fosfatase akibat perubahan pH tanah, asam organik dapat mengikat kompleks Al dan Fe, hasilnya P terlepas dari ikatan Al dan Fe oksida (Stevenson, 1982 Dalam Atmojo 2003), sehingga P menjadi lebih tersedia bagi tanaman.

Tingginya kadar Al akan mengganggu metabolisme sel-sel perakaran tanaman, terganggunya perakaran tersebut akan mempengaruhi kemampuan akar tersebut dalam menyerap hara. Fospor (P) berperan penting untuk pertumbuhan nanas, P berfungsi dalam merangsang pertumbuhan akar dan sedikit berpengaruh terhadap pada hasil buah (Bartholomew *et al.*, 2003). Tanaman nanas membutuhkan P mencapai 20 mg kg^{-1} (Broadley *et al.*, 1993), dengan demikian secara umum kebutuhan nanas akan P pada semua perlakuan telah mencukupi, karena kadar P tersedia dalam tanah rata-rata $20,93 \text{ mg kg}^{-1}$. Bila ketersediaan P sedikit, tentu perkembangan tanaman akan terganggu. Bila kadar Al tinggi dan ketersediaan P sedikit, total LRV akan berkurang (Gambar 9d).

Pada percobaan ini, peningkatan ketersediaan P cenderung diikuti oleh peningkatan total panjang akar (LRV) nanas, namun berhubungan lemah (Tabel 5). Demikian pula rendahnya LRV nanas di PT. GGP tidak berhubungan dengan Al-dd (Setyorini, 2014), nampaknya pengukuran bentuk Al yang beracun (Al-*monomeric*) masih perlu dilakukan di masa yang akan datang. Kemungkinan lain terhambatnya perakaran nanas adalah berhubungan dengan tingginya kepadatan tanah di lapisan bawah. Menurut hasil penelitian Tracy *et al.* (2013) pada tanaman tomat, bahwa peningkatan BI tanah hingga $1,6 \text{ g cm}^{-3}$ akan menghambat pertumbuhan akar.

Perbaikan ketersediaan P pada tanah masam untuk mengatasi kahat P bukan hanya dengan menambahkan pupuk P dalam jumlah besar, tetapi juga dapat dilakukan dengan menikkan pH tanah dan mengurangi kadar Al melalui pengapuran. Selain itu penambahan bahan organik juga mampu meningkatkan tingkat ketersediaan P, asalkan bahan organik tersebut memiliki C/P yang rendah. Pemahaman mendalam terhadap masing-masing cara tersebut harus berintegrasi

dengan teknik manajemen yang lain, sehingga hasilnya diharapkan dapat mengatasi permasalahan kesuburan tanah yang cukup kompleks ini.

