

UJI APLIKASI KAPUR DAN FOSFOGIPSUM TERHADAP SIFAT FISIKA, KIMIA TYPIC KANHAPLUDULT DAN PARAMETER AGRONOMIS TEBUDI LAMPUNG TENGAH

Phosphogypsum and Lime Application affect physical, chemical Typic Kanhapludult and Sugarcane Agronomic Parameters in Central Lampung

Oleh : Afif Nurpriambodo¹⁾, Azwar Maas²⁾ dan Supriyanto Notohadisuwarno³⁾

ABSTRACT

The aim of the research to obtained phosphogypsum and liming rate affect Ultisol properties and sugarcane performance in Gunung Madu Plantation, Lampung Tengah. Ultisol problems in acidity, Al-toxicity, low cation exchange capacity (CEC), and base saturation (BS) caused low yield of sugarcane. The experiment was arranged by completely randomized block design, with 12 treatment and 3 replicates of each treatment. Chemical nutrient status in soil dan nutrient leaf content and plant was observed each 2 month after phosphogypsum and lime application. Physical properties was observed 4 month after phosphogypsum and lime application. Sugarcane growth parameters were observed in each month after planting, biomass sample harvested in end of vegetative phase. The result of this study was showed that phosphogypsum and lime application increased soil pH, sulfur leaf content, aggregate stability, permeability, sugarcane performance and decreased Al toxicity.

Keyword : *soil amendment, calcium source, red yellow podzol, agronomic properties, sulfur.*

PENDAHULUAN

Kebutuhan gula di Indonesia dari tahun ke tahun mengalami peningkatan dengan rata-rata konsumsi 3,3 juta ton pertahun dan diprediksi akan mencapai 5,1 juta ton, dan produksi sekitar 2,8 juta ton pada tahun 2020 (Sugiyanto, 2007). Berdasarkan hasil studi yang dilakukan oleh Hakim (2010) potensi sumberdaya lahan yang sesuai untuk tanaman tebu sebesar 33,80 juta hektar yang tersebar pada daerah Kalimantan, Papua, Sumatera Selatan, Riau, Sumatera Utara, dan Lampung. Sebagian besar lahan tersebut merupakan lahan dengan kelas kesesuaian sangat sesuai (2,70 juta hektar), agak sesuai (6,40 juta hektar) marginal sesuai (14,80 juta hektar). tanaman tebu dan meningkatkan kemantapan agregat maupun permeabilitas tanah pada masa vegetatif tebu.

Budidaya tanaman tebu sebagian besar dilakukan pada tanah-tanah podsolik merah kuning (Ultisol: *Soil Taxonomy*, 1993). Tanah tersebut merupakan tanah yang berkembang lanjut dengan sifat fisik maupun kimia yang kurang mendukung untuk pertumbuhan tanaman. Budidaya pada lahan kering memiliki tantangan yang besar,

1) *Mahasiswa Pascasarjana Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Univ. Gadjah Mada*
2&3) *Dosen Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada*

selain tidak didukung dengan kondisi alami tanah produksi tebu pada lahan kering juga sangat bergantung terhadap masukan (*input*) yang diberikan dan irigasi yang berasal dari air hujan.

Ultisol memiliki kandungan lempung yang sangat tinggi pada horison bawah permukaan. Lapisan tersebut dapat menyebabkan berkurangnya kemampuan infiltrasi tanah. Adanya pengolahan yang intensif juga menyebabkan terbentuknya lapisan keras yang dapat menghambat penetrasi perakaran tebu. Permasalahan lain pada lahan-lahan marginal pada tanah podsolik merah kuning adalah kekahatan beberapa unsur hara yang disebabkan karena pelindian yang sangat intensif, toksisitas Al, dan pengangkutan unsur hara yang berlebih.

Pupuk kapur dan gipsum merupakan sumber unsur hara Ca dan S yang cepat dan mudah tersedia bagi tanaman, selain itu Ca juga secara temporer berfungsi untuk meningkatkan sifat fisik tanah seperti pembentukan agregat tanah, mengurangi pelindian unsur hara dan erosi. Berdasarkan studi yang dilakukan Yadav dan Prasad (1996) peningkatan hasil tebu secara maksimal dapat diperoleh dengan adanya peningkatan kepadatan populasi dan meminimalkan pelindian unsur hara. Budidaya tanaman tebu secara monokultur dalam jangka panjang juga menyebabkan terkurasnya unsur hara dalam tanah. Pemupukan dengan berbagi perlakuan NPK dikombinasikan dengan gipsum dan kapur pertaniandiharapkan dapat meningkatkan sumber unsur hara tersedia tanah dalam mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman tebu.

Pemberian bahan amandemen pada lapisan permukaan dinilai lebih menguntungkan karena biaya yang diperlukan lebih kecil. Aplikasi pada lapisan permukaan tanah juga memiliki beberapa kelemahan antara lain risiko kehilangan oleh air dan angin, dapat menimbulkan polusi udara, dan jangkauan yang rendah. Dosis, waktu dan cara aplikasi Fosfogipsum maupun kapur hendaknya disesuaikan dengan kondisi lingkungan yang berada pada lokasi. Aplikasi dalam jumlah besar secara mudah dapat dilakukan pada lapisan atas namun jumlah kehilangan juga akan semakin besar.

ALAT, BAHAN DAN METODE

Deskripsi lokasi

Percobaan dilakukan pada lahan produksi Divisi I, petak 90 BS 8 PT. Gunung Madu Plantation (GMP) dengan letak astronomis $4^{\circ}43'03,2''$ LS dan $105^{\circ}12'44,8''$ BT dengan ketinggian berada pada 42 m diatas permukaan laut (mdpl). Daerah penelitian memiliki curah hujan yang tinggi yaitu sebesar 2811 mm per tahun pada tahun 2013 dengan suhu rata-rata tahunan sebesar $32,9^{\circ}\text{C}$.

Tabel 1. Hasil analisis kimia tanah awal sebelum perlakuan

Parameter	Top soil (0-30 cm)	Harkat	Sub soil (30-60 cm)	Harkat
1. pH				
H ₂ O (1:1)	5,2	Masam	5,3	Masam
KCl	4,6		4,5	
2. C (%)	1,73	Rendah	1,08	Rendah
3. N (%)	0,13	Rendah	0,13	Rendah
4. C:N	13	Sedang	8	Rendah
5. KPK (me/100g)	5,70	Rendah	3,27	Sangat rendah
6. Ca (me/100g)	1,26	Rendah	1,49	Rendah
7. Mg (me/100g)	0,41	Rendah	0,54	Rendah
8. K (me/100g)	0,20	Rendah	0,07	Sangat rendah
9. KB (me/100g)	33,51	Rendah	64,86	Tinggi
10. P (ppm)	78,00	Sangat tinggi	42,67	Sangat tinggi
11. Al (me/100g)	0,62		0,60	
12. S (ppm)	15,33	Sangat rendah	11,33	Sangat rendah
13. Tekstur		Kelas Tekstur		Kelas Tekstur
Klei (<i>clay</i>)	36,4	<i>Sandy clay</i>	42,4	<i>Clay loam</i>
Debu (<i>silt</i>)	8,9	<i>loam</i>	4,9	(CL)
Pasir (<i>sand</i>)	64,6	(SCL)	52,6	

Ket.: Harkat didasarkan pada Balai Penelitian Tanah (BPT), 2009

Rancangan percobaan

Percobaan menggunakan rancangan kelompok lengkap faktor tunggal (Mongomery, 2013) dengan perlakuan yang diujikan terdiri dari 12 perlakuan yaitu (1) tanah asli (0-NPK), (2) tanah + NPK (0+NPK), (3) tanah dengan pupuk baku NPK ditambah dengan dosis Fosfogypsum masing-masing 250, 500, dan 1000 kg ha⁻¹, (4) tanah dengan pupuk NPK ditambah kapur masing-masing 1000, 1500, dan 2000 kg ha⁻¹, (5) kombinasi tanah dengan NPK ditambah dengan Fosfogypsum 250 kg ha⁻¹ dan kapur 1000 kg ha⁻¹ (NPK+250G+1000K), ditambah Fosfogypsum dan 500 dan 1500 kg ha⁻¹ (6) tanah dengan NPK (urea diganti ZA) ditambah Fosfogypsum 1000 kg ha⁻¹ dan kapur 1000 kg ha⁻¹. Perlakuan yang diujikan terdiri dari 12 dengan 3 kali ulangan. Pupuk NPK yang digunakan mengacu pada standar yang diterapkan oleh Divisi Penelitian dan Pengembangan GMP. Dosis pupuk baku NPK masing-masing adalah sebesar 300 kg ha⁻¹ urea, 200 kg ha⁻¹ triple super phosphate (TSP), dan 300 kg ha⁻¹ kalium klorida (KCl).

Pelaksanaan Percobaan

Proses persiapan lahan untuk tanaman tebu (0-31 hari) sesuai dengan tahapan operasional standar yang terdapat pada divisi Plantation PT. Gunung Madu. Pemupukan kapur dan Fosfogypsum dilakukan pada lapisan bawah permukaan dengan kedalaman (0-15 cm) setelah pemupukan pupuk baku NPK. Pengambilan

contoh tanah awal dilakukan sebelum aplikasi, kemudian dilanjutkan pada 2,3,4 dan 6 bulan setelah tanam.

Analisis sifat fisika dan kimia tanah, tanaman dan pupuk

Analisis kimia tanah dilakukan di laboratorium kimia tanah, Departemen Penelitian dan Pengembangan, Gunung Madu Plantation. Sifat kimia yang diamati meliputi N total metode Kjeldahl, P tersedia metode Bray I, Kation tertukar (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+}) metode spektrofotometri atom, Sulfur tersedia metode turbidimetri, Karbon total metode Kormier, KPK metode kolom pencucian, kejenuhan basa dengan total penjumlahan basa basa, dan pH tanah dengan menggunakan metode elektroda. Analisis tanah awal dilakukan sebelum perlakuan, 2 bulan setelah tanam (bst), 3 bst, 4 bst, dan 6 bst (panen biomassa tanaman).

Pengambilan contoh daun dilakukan pada masing-masing plot sebanyak 40 helai dengan panjang masing –masing helai 20 cm. Kandungan unsur hara daun yang dianalisis meliputi nitrogen, fosfor, kalium, kalsium, magnesium dan sulfur total.

Analisis fisika tanah dilakukan di laboratorium fisika tanah, Departemen R&D Gunung Madu Plantation. Parameter yang diamati meliputi berat jenis tanah metode piknometer, berat volume tanah (volumetri), porositas tanah (gravimetri), permeabilitas tanah dengan metode *falling-head permeameter*, kemantapan agregat dengan menggunakan metode pengayakan tunggal (Kemper dan Rosenau, 1986), dan retensi air tanah dengan menggunakan piring tekan. Analisis pupuk dilakukan untuk mengetahui kandungan air pH, N, Ca, Mg, dan S total yang hasilnya disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. pH, Kadar air N total, Ca total dan S total pupuk yang digunakan untuk penelitian, produk PT.Petrokimia Gresik

Pupuk	pH	Kadar air N-total Ca Mg S				
		----- % -----				
ZA	4,76	0,20	19,55	TD	TD	TD
Kapur pertanian	8,03	18,88	TD	52,06	0	TD
Fosfogypsum pertanian	2,26	17,85	TD	33,72	0	23,07

*TD=tidak ditetapkan

Pupuk Fosfogypsum termasuk dalam jenis phospho Fosfogypsum yang merupakan hasil samping reaksi batuan fosfat (apatit) dengan asam sulfurik sehingga memiliki pH yang masam.

Pertumbuhan tanaman

Parameter peubah pertumbuhan tanaman tebu yang diamati setiap bulan meliputi tinggi batang (cm), jumlah ruas, jumlah daun (helai), populasi (batang ha⁻¹). Pengamatan pertumbuhan tanaman dilakukan pada tanaman contoh sebanyak 15 batang pada baris ke 6 dan 8, jumlah total tanaman yang diamati adalah 30 per plot. Pengambilan sampel panen biomassa dilakukan dengan mengepras tanaman tebu pada baris pengamatan, sepanjang 5 m pada baris ke 6 dan 8 masing-masing plot percobaan.

Analisis data

Pengolahan data dilakukan dengan software Minitab.Inc (2013). Untuk mengetahui homogenitas data diuji dengan bartlett, kemudian dilakukan uji kenormalan distribusi data kolmogorov-smirnov. Analisis sidik ragam (ANOVA) dan uji lanjut BNT, dan DMRT digunakan untuk mengetahui perbedaan rerata perlakuan kapur dan Fosfogypsum terhadap variabel yang diamati.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat kimia tanah

Tanah yang didominasi dengan mineral klei kaolinitik memiliki muatan yang netral sehingga memiliki kapasitas pertukaran kation (CEC) yang rendah. Luas permukaan kaolinit yang kecil menyebabkan kapasitas pertukaran tanah tergolong rendah. Selain kaolinit pada tanah tua juga terdapat seskuioksida besi seperti goethite dan hematit yang menyebabkan warna tanah menjadi agak kemerahan.

pH Tanah

Perubahan pH pada tanah Ultisol disebabkan karena adanya perubahan kesetimbangan antara. Pelepasan H^+ oleh koloid tanah disebabkan karena adanya penggantian H^+ dengan Ca^{2+} . Penggunaan kapur dan Fosfogypsum pada awal masa pertumbuhan tanaman dapat meningkatkan kelangsungan hidup tanaman tebu. Fosfogypsum dan Kapur merupakan garam yang larut secara perlahan (Amezketta, 1999), namun Fosfogypsum memiliki indeks kegaraman yang tinggi (± 8). Pemberian Fosfogypsum dalam jumlah yang besar dengan jangka waktu yang berdekatan dengan waktu tanam akan menyebabkan tanaman mati karena adanya tekanan osmosis sel.

Pada 2 bst nilai pH H_2O tertinggi diperoleh pada perlakuan kombinasi 500 kg ha^{-1} Fosfogypsum dengan 1500 kg ha^{-1} kapur pertanian dan substansi urea dengan ZA 100 kg ha^{-1} + 2000 kg ha^{-1} kapur pertanian dengan nilai pH berturut-turut adalah 6,4 dan 6,5. Namun nilai tersebut tidak memiliki perbedaan dengan perlakuan 0+NPK (kontrol dengan NPK). Sedangkan pH KCl menunjukkan nilai tertinggi pada pemberian ZA+2000 kg ha^{-1} kapur pertanian, namun tidak berpengaruh nyata dengan perlakuan 500 kg ha^{-1} Fosfogypsum. Pada 4 bst nilai tertinggi pH H_2O dan KCl diperoleh pada perlakuan 250 kg ha^{-1} Fosfogypsum + 1000 kg ha^{-1} kapur, namun tidak berpengaruh nyata dengan pemberian 1000 kg ha^{-1} Fosfogypsum, dan pH KCl juga tidak dipengaruhi secara nyata oleh dosis 250 kg ha^{-1} Fosfogypsum. Pada 6 bst pemberian dosis kapur sebesar 1500 kg ha^{-1} memberikan peningkatan pH dibandingkan dengan perlakuan dengan gipsium maupun tanah kontrol dengan NPK (0+NPK), dan tidak berpengaruh nyata terhadap kontrol tanah asli (0-NPK) meskipun memiliki nilai yang lebih tinggi. Namun peningkatan tersebut mampu memberikan nilai pH tanah di atas 6,0 sehingga unsur-unsur hara menjadi lebih tersedia bagi tanaman.

Aplikasi kapur dan Fosfogypsum sangat dipengaruhi oleh cara, waktu dan jenis pupuk yang digunakan. Pemupukan pada lapisan permukaan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk dapat meningkatkan pH tanah. Aplikasi pada saat musim kemarau menyebabkan Fosfogypsum atau kapur mudah mengalami flokulasi sehingga tidak terlarut. Perubahan kemasaman tanah selama masa vegetatif tanaman tebu menunjukkan adanya perubahan reaksi tanah. Perubahan sifat kimia tanah

dengan adanya pengapuran ($0-20 \text{ t ha}^{-1}$) juga diungkapkan oleh Moore, *et al* (2008) yang menunjukkan adanya peningkatan pH, CEC, dan KB tetapi menurunkan kandungan K, Na dan kemasaman.

Pemberian kapur dan Fosfogypsum secara bersamaan (250 kg ha^{-1} Fosfogypsum dan 1000 kg ha^{-1} kapur) mampu meningkatkan pH H_2O dan KCl secara signifikan dibandingkan dengan kontrol. Pemberian 250, dan 1000 kg ha^{-1} Fosfogypsum juga memberikan perbaikan terhadap pH tanah meskipun tidak berpengaruh nyata secara statistika. Peningkatan pH tanah disebabkan karena efek pengapuran mandiri (*self-liming effect*) dari Fosfogypsum yang melepaskan OH^- melalui mekanisme pertukaran ligan antara SO_4^{2-} dan OH^- (Alva dan Sumner, 1990). Kandungan kalsium hidroksida (CaO) atau yang sering disebut dengan kapur bakar (*quicklime*) pada Fosfogypsum memiliki kemampuan yang cepat untuk mentralkan pH tanah secara cepat. Berdasarkan laporan tahunan PT. Petrokimia Gresik (2012) kandungan CaO pada Fosfogypsum minimal adalah 30%, dan SO_3 sebesar 42%.

Aluminium tertukar

Potensial distribusi aluminium pada tanah masam yaitu dalam bentuk senyawa Al anorganik, kompleks Al yang tidak larut, Al yang terdapat pada tapak pertukaran, bahan organik, klei dan hidro oksida, dan Al yang secara khusus diabsorpsi hidroksida dan tepi partikel klei (Robson, 1989). Selain bereaksi dengan Ca, aluminium juga bereaksi dengan bahan organik tanah.

Dosis kapur dan Fosfogypsum yang diberikan pada bulan pertama tidak menunjukkan adanya pengaruh terhadap Al-dd pada umur 2 bst. Sedangkan pada 4 bst pemupukan kapur dan Fosfogypsum memberikan pengaruh nyata terhadap Al-dd tanah, tetapi tingkat pemupukan yang dilakukan tidak memberikan pengaruh nyata terhadap Al-dd Ultisol. Pertukaran aluminium terendah sebesar 0,16 dan 0,14 me 100 g^{-1} berturut-turut diperoleh dengan dengan penambahan Fosfogypsum 250 kg ha^{-1} dan kombinasi Fosfogypsum 250 kg ha^{-1} + kapur 1000 kg ha^{-1} .

Aktivitas Al pada tanah berkurang dengan adanya peningkatan pH dan kandungan Ca^{2+} pada Ultisol. Pemberian kapur setara 1x Al-dd dapat menurunkan pertukaran Al dan berpengaruh positif terhadap pertumbuhan tanaman (Wahjudin, 2006). Mekanisme pertukaran ligan antara Al^{3+} dengan SO_4^{2-} menyebabkan keduanya terjerap dan tidak tersedia bagi tanaman. Kandungan sulfur tersedia tanah pada fase vegetatif menunjukkan adanya kecukupan.

Pemberian kapur dan Fosfogypsum memberikan pengaruh yang nyata terhadap penurunan Al-dd tanah pada umur 4 bulan setelah tanam. Berdasarkan uji statistik perlakuan 250 kg ha^{-1} Fosfogypsum dan kombinasi antara 250 kg ha^{-1} Fosfogypsum dan 1000 kg ha^{-1} kapur pertanian yang berturut-turut memberikan nilai Al-dd terendah sebesar 0,16 me 100 g^{-1} dan 0,14 me 100 g^{-1} . Berdasarkan hasil penelitian Hartatik *et al.* (1993) menunjukkan bahwa pemberian sumber Ca yang berasal dari tiga jenis sumber kalsium yaitu kalsit, Fosfogypsum dan dolomit. Jumlah Ca sebesar 1x Al-dd mampu menurunkan kejenuhan aluminium sebesar $<20\%$, kecuali pada perlakuan Fosfogypsum. Efektifitas Fosfogypsum dalam menurunkan kandungan Al-dd tanah lebih rendah dibandingkan dengan kapur dan dolomit, sehingga diperlukan dosis yang lebih besar.

Aluminium tertukar tanah merupakan salah satu acuan dalam penentuan dosis kapur yang akan digunakan. Kondisi tanah yang memiliki kejenuhan Al yang tinggi dapat menghambat perkembangan tanaman. Gejala pengaruh toksisitas Al

yang muncul pada tanaman pada umumnya akan dijumpai pada akar. Pergerakan aluminium di dalam tanah didominasi oleh proses pergerakan secara difusi. Sehingga kalsium akan berperan dalam pertukaran ion untuk menggantikan aluminium. Kemampuan akar dalam membongkar Al dalam tanah bergantung pada konsentrasi larutan Al dalam tanah dan perpindahan ke akar dengan difusi.

Tabel 3. Karakteristik kimia Ultisol umur 2 bulan setelah tanam

Perlakuan	pH		C	N	C/N	KPK	Ca	Mg	K	Al	KB	P	S
	H ₂ O	KCl	----- % -----			----- me / 100 g -----					%	--- ppm ---	
0-NPK	5,5bc	4,8b	1,80a	0,15a	12a	5,80a	2,05a	0,79a	0,27a	0,41a	53,98a	129a	25a
0+NPK	5,7abc	4,8b	1,76a	0,17a	10a	7,41a	2,17a	0,90a	0,26a	0,42a	45,62a	136a	23a
NPK+250G	6,0abc	5,1b	1,83a	0,17a	11a	5,75a	3,45a	0,67a	0,33a	0,69a	73,05a	113a	28a
NPK+500G	5,5bc	4,8ab	1,65a	0,14a	12a	5,61a	2,12a	0,70a	0,23a	0,47a	54,48a	128a	23a
NPK+1000G	5,4c	4,9b	1,77a	0,16a	11a	6,64a	2,82a	0,49a	0,30a	0,48a	56,66a	146a	30a
NPK+1000K	6,0abc	5,4ab	1,64a	0,15a	11a	5,26a	3,08a	0,60a	0,26a	0,23a	73,70a	100a	26a
NPK+1500K	6,3ab	5,5ab	1,61a	0,15a	11a	6,65a	3,81a	0,67a	0,32a	0,12a	71,66a	129a	35a
NPK+2000K	5,6abc	5,0b	1,89a	0,16a	12a	6,85a	2,50a	0,65a	0,28a	0,42a	49,75a	162a	24a
NPK+250G+1000K	5,7abc	5,0b	1,80a	0,15a	12a	6,65a	2,78a	0,64a	0,23a	0,34a	55,01a	136a	27a
NPK+500G+1500K	6,4a	5,7ab	1,90a	0,17a	11a	6,53a	4,15a	0,60a	0,43a	0,09a	79,46a	132a	20a
NPK+1000G+1000K	6,1abc	5,4ab	2,22a	0,17a	13a	5,50a	2,77a	0,46a	0,23a	0,19a	65,39a	124a	28a
ZAPK+2000K	6,5a	6,2a	2,23a	0,19a	12a	5,29a	3,42a	0,63a	0,33a	0,23a	81,94a	167a	26a
Rerata	5,9	5,2	1,8	0,2	11,5	6,2	2,48	0,7	0,3	0,3	61,5	133,5	26,2

Ket.: Rerata pada kolom yang sama dan diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan perbedaan yang tidak nyata pada uji BNJ taraf kepercayaan 95 % (P<0,05)

Tabel 4. Karakteristik kimia Ultisol umur 3 bulan setelah tanam

Perlakuan	Ca-dd	Mg-dd	K-dd	S
	----- me / 100 g -----			ppm
0-NPK	1,89 a	0,62 a	0,19 a	30 ab
0+NPK	1,88 a	0,61 a	0,17 a	35 a
NPK+250G	2,12 a	0,69 a	0,15 a	22 bc
NPK+500G	2,30 a	0,69 a	0,12 a	31 ab
NPK+1000G	2,31 a	0,60 a	0,17 a	26 abc
NPK+1000K	2,23 a	0,66 a	0,16 a	25 abc
NPK+1500K	3,25 a	0,58 a	0,22 a	22 bc
NPK+2000K	3,20 a	0,67 a	0,22 a	17 c
NPK+250G+1000K	3,60 a	0,73 a	0,28 a	21 bc
NPK+500G+1500K	3,34 a	0,52 a	0,15 a	17 c
NPK+1000G+1000K	3,25 a	0,63 a	0,25 a	21 bc
ZAPK+2000K	3,54 a	0,63 a	0,24 a	19 c
Rerata	2,74	0,63	0,19	23,82

Ket.: Rerata pada kolom yang sama dan diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan perbedaan yang tidak nyata pada uji BNJ taraf kepercayaan 95 % (P<0,05)

Tabel 5. Karakteristik kimia Ultisol umur 4 bulan setelah tanam

Perlakuan	pH		C	N	C/N	KTK	Ca	Mg	K	Al	KB	P	S
	H ₂ O	KCl	----- % -----			----- me/100 g -----			----- ppm -----				
0-NPK	5,7cdef	4,8cde	1,52ab	0,17a	9a	6,45a	1,77a	0,62bcde	0,17d	0,36cdef	39,96c	134a	12a
0+NPK	5,5def	4,6de	1,63ab	0,14a	11a	7,75a	2,34a	0,69abcd	0,20bcd	0,59abcd	42,51c	106abc	13a
NPK+250G	5,9bc	5,1abc	1,18c	0,13a	9a	5,27a	2,24a	0,75ab	0,14bcd	0,16f	59,58abc	45d	10a
NPK+500G	5,8cd	4,9bcd	1,41bc	0,13a	11a	4,57a	2,63a	0,57bcde	0,21b	0,27def	74,95ab	107abc	11a
NPK+1000G	6,1ab	5,3ab	1,63ab	0,13a	12a	5,48a	3,60a	0,72abc	0,19a	0,21ef	82,44a	121ab	13a
NPK+1000K	5,4f	4,5e	1,67ab	0,13a	12a	6,06a	1,85a	0,52de	0,14cd	0,71abc	42,32c	86abcd	13a
NPK+1500K	5,5def	4,6de	1,74ab	0,14a	12a	6,40a	2,09a	0,56bcde	0,21bcd	0,48abcdef	46,18c	49d	13a
NPK+2000K	5,5ef	4,6de	1,83ab	0,16a	11a	4,83a	2,18a	0,49e	0,18bcd	0,73ab	59,16abc	106abc	13a
NPK+250G+1000K	6,3a	5,5a	1,79a	0,14a	13a	6,46a	2,56a	0,48e	0,28b	0,14f	53,20bc	111abc	12a
NPK+500G+1500K	5,7cdef	4,7cde	1,66a	0,13a	13a	5,84a	2,50a	0,54cde	0,18b	0,56abcde	56,38abc	55cd	12a
NPK+1000G+1000K	5,7cdef	4,7cde	1,73ab	0,13a	13a	6,78a	2,44a	0,86a	0,23bc	0,80a	53,36bc	122ab	14a
ZAPK+2000K	5,7cdef	4,7cde	1,74ab	0,13a	13a	7,83a	2,34a	0,62bcde	0,16bcd	0,39bcdef	40,83c	74bcd	13a
Rerata	5,7	4,8	1,6	0,1	11,7	6,1	2,4	0,6	0,2	0,5	54,2	93,1	12,4

Ket.: Rerata pada kolom yang sama dan diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan perbedaan yang tidak nyata pada uji BNJ taraf kepercayaan 95 % ($P < 0,05$)

Tabel 6. Karakteristik kimia Ultisol umur 6 bulan setelah tanam

Perlakuan	pH		C	N	C/N	KPK	Ca	Mg	K	Al	KB	P	S
	H ₂ O	KCl	----- %	-----		----- me / 100 g	-----	-----	-----	-----	%	----- ppm	-----
0-NPK	5,6b	4,8b	1,95abcde	0,15a	13ab	5,72abc	2,19cd	0,55a	0,15a	0,60a	51,23de	114abc	11a
0+NPK	5,5b	4,8b	1,92abcde	0,16a	12ab	5,92abc	1,73d	0,50a	0,16a	0,93a	41,03e	121abc	12a
NPK+250G	5,4b	4,7b	2,24abcde	0,15a	15ab	5,06abc	1,97d	0,65a	0,17a	0,72a	55,35bcde	122ab	11a
NPK+500G	5,4b	4,6b	2,07ab	0,15a	14a	5,02c	2,44bcd	0,47a	0,13a	0,88a	61,25abcde	95abcd	11a
NPK+1000G	5,5b	4,6b	1,82abcd	0,16a	12ab	5,40bc	3,19abc	0,63a	0,17a	0,87a	75,30abc	121abc	12a
NPK+1000K	5,6b	4,7b	1,67cde	0,15a	11ab	4,46c	1,77d	0,49a	0,13a	0,68a	54,32bcde	93abcd	13a
NPK+1500K	6,2a	5,7a	1,65e	0,15a	11ab	4,48c	1,76d	0,42a	0,11a	0,21a	51,33de	86bcd	12a
NPK+2000K	5,7b	4,8b	1,82abcde	0,16a	12ab	3,95c	2,42bcd	0,58a	0,15a	0,53a	79,60a	85bcd	11a
NPK+250G+1000K	5,5b	4,7b	1,92abcde	0,15a	13ab	4,27c	2,72abcd	0,49a	0,14a	0,78a	77,52ab	85cd	11a
NPK+500G+1500K	5,7b	4,9b	2,23abc	0,16a	14ab	4,49c	2,53bcd	0,60a	0,15a	0,56a	72,84abcd	109abcd	13a
NPK+1000G+1000K	5,5b	4,7b	2,26a	0,16a	14ab	7,86ab	3,40ab	0,51a	0,15a	0,48a	53,49cde	72d	13a
ZAPK+2000K	5,8ab	4,9ab	2,15abc	0,15a	14ab	8,38ab	3,63a	0,57a	0,14a	0,24a	52,05cde	126a	10a
Rerata	5,6	4,8	2,0	0,2	12,8	5,4	2,5	0,5	0,1	0,6	60,4	102,4	11,7

Ket. Rerata pada kolom yang sama dan diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan perbedaan yang tidak nyata pada uji BNJ taraf kepercayaan 95 % (P<0,05)

*Status hara daun tanaman tebu***Tabel 7.** Kadar hara jaringan tanaman umur 2 bulan setelah tanam

Perlakuan	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- % -----					
0-NPK	2,27a	0,21c	1,69abc	0,24b	0,13a	0,19d
0+NPK	2,24a	0,21bc	1,64bc	0,23b	0,12a	0,22cd
NPK+250G	2,21a	0,22abc	1,57c	0,22b	0,12a	0,25abc
NPK+500G	2,31a	0,23abc	1,75abc	0,24b	0,14a	0,22bcd
NPK+1000G	2,28a	0,22abc	1,64bc	0,23b	0,14a	0,23abc
NPK+1000K	2,23a	0,21c	1,61c	0,23b	0,13a	0,19d
NPK+1500K	2,37a	0,23abc	1,66abc	0,22b	0,13a	0,30abc
NPK+2000K	2,32a	0,22abc	1,71abc	0,24b	0,14a	0,30ab
NPK+250G+1000K	2,28a	0,22abc	1,69abc	0,23b	0,12a	0,27abc
NPK+500G+1500K	2,29a	0,22ab	1,57c	0,24b	0,13a	0,27abc
NPK+1000G+1000K	2,20a	0,25a	1,84ab	0,29a	0,13a	0,31a
ZAPK+2000K	2,24a	0,25a	1,86a	0,29a	0,14a	0,29ab
Rerata	2,27	0,22	1,69	0,24	0,13	0,25

Keterangan: Rerata yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan perbedaan yang tidak nyata pada taraf kepercayaan 95 % ($P < 0,05$)

Tabel 8. Kadar hara jaringan tanaman umur 4 bulan setelah tanam

Perlakuan	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- % -----					
0-NPK	1,98a	0,21a	1,42a	0,25a	0,14a	0,20abc
0+NPK	1,99a	0,20a	1,40a	0,24a	0,13a	0,20abc
NPK+250G	1,99a	0,21a	1,45a	0,24a	0,13a	0,22abc
NPK+500G	2,03a	0,22a	1,50a	0,25a	0,13a	0,26ab
NPK+1000G	2,15a	0,22a	1,47a	0,24a	0,14a	0,24ab
NPK+1000K	2,06a	0,22a	1,37a	0,25a	0,13a	0,20bc
NPK+1500K	2,01a	0,21a	1,37a	0,24a	0,12a	0,21ab
NPK+2000K	2,04a	0,21a	1,36a	0,24a	0,14a	0,23ab
NPK+250G+1000K	2,02a	0,21a	1,34a	0,22a	0,12a	0,23ab
NPK+500G+1500K	2,04a	0,22a	1,37a	0,24a	0,12a	0,24ab
NPK+1000G+1000K	2,07a	0,22a	1,51a	0,24a	0,14a	0,27a
ZAPK+2000K	1,97a	0,22a	1,46a	0,23a	0,13a	0,14c
Rerata	2,03	0,21	1,42	0,24	0,13	0,22

Keterangan: Rerata yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan perbedaan yang tidak nyata pada taraf kepercayaan 95 % ($P < 0,05$)

Tabel 9. Kadar hara jaringan tanaman umur 6 bulan setelah tanam

Perlakuan	N	P	K	Ca	Mg	S
	%					
0-NPK	1,62a	0,19a	1,47a	0,24a	0,13a	0,12de
0+NPK	1,68a	0,19a	1,47a	0,24a	0,13a	0,11de
NPK+250G	1,80a	0,20a	1,49a	0,23a	0,13a	0,11e
NPK+500G	1,73a	0,19a	1,54a	0,23a	0,11a	0,18abc
NPK+1000G	1,73a	0,18a	1,46a	0,22a	0,13a	0,14cd
NPK+1000K	1,71a	0,19a	1,51a	0,24a	0,13a	0,16bc
NPK+1500K	1,63a	0,19a	1,50a	0,22a	0,13a	0,16bc
NPK+2000K	1,68a	0,20a	1,53a	0,21a	0,12a	0,16bc
NPK+250G+1000K	1,67a	0,19a	1,44a	0,22a	0,12a	0,19ab
NPK+500G+1500K	1,67a	0,19a	1,48a	0,21a	0,12a	0,17abc
NPK+1000G+1000K	1,73a	0,20a	1,45a	0,22a	0,12a	0,20a
ZAPK+2000K	1,00a	0,19a	1,45a	0,22a	0,12a	0,15c
Rerata	1,64	0,19	1,48	0,22	0,13	0,15

Keterangan: Rerata yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan perbedaan yang tidak nyata pada taraf kepercayaan 95 % ($P < 0,05$)

Kadar hara Sulfur jaringan tanaman. Sulfur pada jaringan tanaman diperlukan sebagai Ketersediaan sulfur di dalam tanah merupakan salah satu. Sulfur diserap oleh tanaman dalam bentuk ion SO_4^{2-} . Kadar hara S pada daun pada umur 2, 4 dan 6 bulan setelah tanam secara berurutan ditunjukkan pada **Tabel 6, 7 dan 8**. Berdasarkan hasil analisis sidik ragam perlakuan berpengaruh nyata terhadap kadar sulfur pada daun umur 2 dan 6 bulan. Pada umur 2, 4 dan 6 bulan tidak terdapat perbedaan yang nyata antara kontrol tanah asli (tanpa NPK) dan kontrol tanah dengan pupuk NPK. Perlakuan Fosfogypsum secara terpisah pada umur 2 bst tidak memberikan perbedaan yang signifikan terhadap kontrol, tetapi kapur memberikan perbedaan yang signifikan terhadap kontrol, kecuali pada perlakuan 1000 kg ha⁻¹. Kombinasi dosis kapur dan Fosfogypsum memberikan pengaruh yang cukup signifikan pada kadar hara S daun tebu terutama umur 2 dan 6 bst. Perlakuan kapur dan Fosfogypsum masing-masing sebesar 1000 kg ha⁻¹ akan memberikan kadar hara S tertinggi pada umur 2,4 dan 6 bst dengan nilai berturut-turut sebesar 0,31 %, 0,27 % dan 0,20 %. Kandungan sulfur pada umur 2 hingga 6 bulan pada daun menunjukkan hara S pada kondisi yang rendah hingga sedang. Berdasarkan kriteria Dierolf (2000) kadar Sulfur pada jaringan tanaman tebu berada dalam kondisi kecukupan dengan nilai 0,2-0,3%. Rendahnya kandungan sulfur disebabkan karena kelembaban tanah yang tinggi, sehingga S tersedia dalam bentuk S_2 .

Kadar hara Kalsium jaringan tanaman. Kalsium merupakan salah satu unsur hara kunci dalam proses pembawa informasi didalam sel pada tumbuhan dan hewan. Protein yang mengikat kalsium atau yang disebut dengan kalmodulin ditemukan pada semua jenis eukariot. Protein tersebut merupakan salah satu mediator utama untuk pergerakan kalsium. Kalsium bersama dengan kalmodulin telah terlibat dalam mengendalikan perkembangan pada sel eukariotik, termasuk pada tanaman. Sel memerlukan kalsium dalam jumlah takaran milimolar untuk berkembangbiakan secara ekstraseluler (Reddy dan Day, 2002).

Gejala kekahatan kalsium saat pengamatan dilapangan tidak dijumpai pada semua perlakuan. Hal tersebut juga dapat terlihat dari kandungan hara kalsium pada daun

dalam kondisi kecukupan. Gejala kekahatan unsur kalsium dijumpai pada titik tumbuh daun muda yang mengering, daun yang melengkung. Penyerapan unsur ion oleh tanaman dikendalikan oleh membran sel. Ukuran suatu ion menentukan kemudahan dalam menembus membran. Ion memiliki kemampuan untuk mengikat molekul air sehingga memiliki ukuran yang berbeda setelah menempelnya molekul air. Ukuran setelah ion bersama dengan molekul air disebut ukuran terhidrat. Pada kondisi tersebut ukuran awal suatu ion tidak menentukan besarnya ukuran bersama molekul air, tetapi lebih disebabkan karena kemampuan untuk mengikat molekul air. Ion yang memiliki valensi besar akan memiliki kemampuan untuk mengikat molekul air lebih banyak dibandingkan ion dengan valensi yang lebih kecil (Lakitan, 1993). Unsur hara tersebut berperan dalam kestabilan dan penguatan dinding sel dan juga berperan dalam permeabilitas membran. Pengaruh kalsium terhadap permeabilitas membran juga mempengaruhi pengangkutan unsur hara yang lain (Kingston, 2014). Berdasarkan analisis sidik ragam (ANOVA) seluruh perlakuan yang diujikan tidak memberikan pengaruh yang nyata pada kadar hara kalsium pada daun tanaman tebu.

Sifat fisika tanah

Tanah merupakan sistem yang terdiri dari tiga fase (padat, cair dan gas) yang memiliki ruangan tertentu (Hillel, 2004). Kemampuan tanah berproduksi secara maksimal tidak hanya dipengaruhi oleh sifat kimia tetapi juga sifat fisik tanah. Salah satu upaya untuk meningkatkan sifat fisika tanah adalah dengan pemberian kapur dan Fosfogypsum. Pemberian dosis Fosfogypsum sebesar 0-1000 kg ha⁻¹ maupun kapur sebesar 0-2000 kg ha⁻¹ belum mampu memberikan pengaruh terhadap berat volume (BV), berat jenis (BJ), porositas, retensi air tanah (pF), dan sebaran pori tanah. Sedangkan beberapa sifat fisik tanah yang dipengaruhi dengan pemberian kapur dan fosfogypsum pada penelitian adalah sebagai berikut:

Permeabilitas tanah

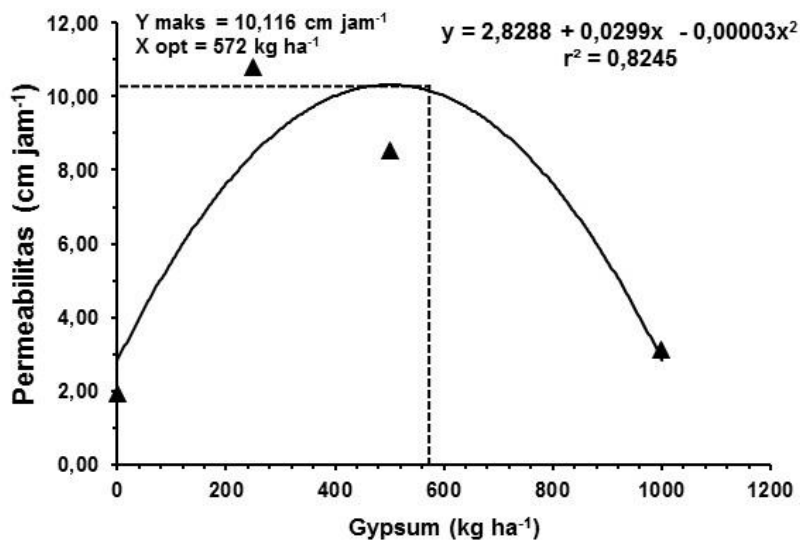
Penambahan amandemen fosfogypsum memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap kecepatan permeabilitas tanah ($Pvalue = 0,005$). Dosis Fosfogypsum sebesar 500 kg ha⁻¹ mampu meningkatkan permeabilitas tanah menjadi kategori agak cepat (FAO, BBSDLP) dibandingkan dengan tanpa pemberian Fosfogypsum (kontrol) yang memiliki permeabilitas agak lambat. Nilai permeabilitas Ultisol dengan pemupukan Fosfogypsum disajikan pada **Gambar 1**. Permeabilitas maksimum yang dicapai dengan persamaan $y = 2,82 + 0,029x - 0,00003x^2$ ($r^2 = 0,83$) adalah 10,116 cm jam⁻¹ dengan penambahan amandemen Fosfogypsum sebesar 572 kg ha⁻¹. Sedangkan pemberian kapur pertanian tidak mampu mempengaruhi permeabilitas ultisol (). Nilai tertinggi permeabilitas tanah dengan aplikasi kapur dicapai dengan pemberian 1500 kg ha⁻¹ sebesar 6,21 cm jam⁻¹ (termasuk dalam kategori agak cepat). Presisi dan akurasi dosis kapur maupun Fosfogypsum sangat diperlukan untuk menghindari dampak negatif penambahan bahan. Pemupukan dengan dosis yang berlebih dapat menyebabkan pembentukan lapisan keras akibat sementasi Ca²⁺ yang berasal dari kapur maupun Fosfogypsum sehingga sulit ditembus oleh air.

Tabel 10 Permeabilitas ultisol dengan pemupukan Fosfogypsum (cm jam^{-1})

Fosfogypsum	Blok			Jumlah	Rata-rata**	Kategori*
	I	II	III			
0	2,12	2,20	1,52	5,84	1,95 d	agak lambat
250	10,54	11,36	10,47	32,38	10,79 a	agak cepat
500	5,97	10,72	8,97	25,67	8,56 b	agak cepat
1000	6,71	1,59	1,12	9,41	3,14 b	Sedang

Kapur	Blok			Jumlah	Rata-rata**	Kategori*
	I	II	III			
0	2,12	2,20	1,52	0,79	1,95 a	agak lambat
1000	0,85	3,53	2,47	1,35	2,28 a	Sedang
1500	2,15	2,41	14,05	3,56	6,21 a	agak cepat
2000	6,59	0,93	1,82	1,35	3,11 a	Sedang

Ket.: * pengharkatan didasarkan pada kriteria Umland - O'neil (LPT, 1979) dan FAO
 ** angka-angka dalam satu kolom yang diikuti huruf yang sama tidak menunjukkan perbedaan yang nyata pada uji DMR dengan taraf kepercayaan 95% ($\alpha=0,05$).

**Gambar 1.** Permeabilitas tanah dengan pemupukan Fosfogypsum

Stabilitas agregat

Agregat tanah dapat terbentuk karena adanya penyatuan antara partikel-partikel tanah pada unit struktural. Kemantapan agregat tanah dapat didefinisikan sebagai kemampuan tanah dalam menahan gaya-gaya merusak yang berasal dari luar (Rachman dan Adimiharja, 2006). Perubahan agregat tanah lebih sering dihubungkan dengan respon terhadap pengelolaan, pengaruh adanya curah hujan dan pemberian bahan organik. Residu bahan organik pada tebu berasal dari seresah pada musim tanam sebelumnya. Kemampuan penetrasi perakaran tanaman tidak hanya dipengaruhi oleh stabilitas agregat tetapi oleh ukuran agregat. Misra (1989) mengemukakan bahwa

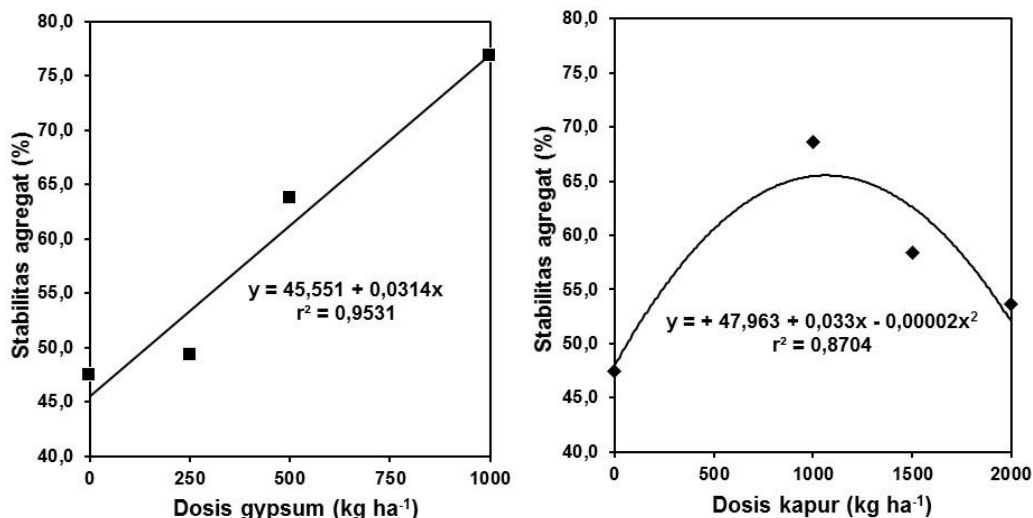
kemampuan penetrasi tanah semakin berkurang dengan meningkatnya ukuran agregat tanah.

Tabel 11. Stabilitas agregat ultisol 4 bulan setelah tanam (%)

Fosfogipsum	Blok			Jumlah	Rata-rata
	I	II	III		
0	44,00	44,44	53,85	142,29	47,43 b
250	47,83	48,00	52,00	147,83	49,28 b
500	52,00	66,67	72,41	191,08	63,69 ab
1000	77,00	83,33	70,00	230,33	76,78 a
Kapur	Blok			Jumlah	Rata-rata
	I	II	III		
0	44,00	44,44	53,85	142,29	47,43 b
1000	54,17	64,29	87,50	205,95	68,65 a
1500	60,87	60,00	54,17	175,04	58,35 ab
2000	57,14	51,85	54,50	163,49	54,50 ab

Ket.: angka-angka dalam satu kolom yang diikuti huruf yang sama tidak menunjukkan perbedaan yang nyata pada uji DMR dengan taraf kepercayaan 95% ($\alpha=0,05$)

Stabilitas agregat tanah merupakan salah satu sifat fisika tanah yang sangat dinamis dan bergantung terhadap kondisi lingkungan terutama kandungan air. Pengamatan terhadap stabilitas agregat tanah menunjukkan bahwa pemberian dosis Fosfogipsum hingga 1000 kg ha⁻¹ masih mampu memberikan nilai stabilitas agregat hingga 76,78%. Sedangkan kapur pertanian memberikan kestabilan agregat maksimum pada 66,07% pada dosis 1093 kg ha⁻¹ dan kemudian semakin menurun tingkat stabilitas agregat dengan penambahan dosis kapur. Tingkat kestabilan agregat tanah mengalami penambahan dengan peningkatan sumber Ca²⁺ yang berasal dari Fosfogipsum. Hal tersebut disebabkan karena kemampuan Ca²⁺ dalam mengikat mineral lempung dan partikel-partikel tanah yang lain. Nilai kemantapan agregat tanah dengan pemupukan kapur dan Fosfogipsum disajikan pada **Gambar 2**.



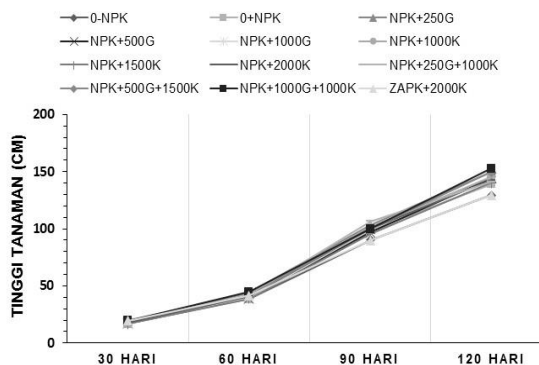
Gambar 2. Stabilitas agregat tanah dengan pemupukan (A) Fosfogipsum (B) kapur pertanian

Pemecahan agregat pada umumnya terjadi pada tanah-tanah dengan pengolahan yang intensif dan daerah curah hujan yang tinggi. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa stabilitas agregat tanah dipengaruhi oleh kandungan bahan organik, aktivitas mikroorganisme di dalam tanah, pergerakan dan eksudat akar tanaman. Fosfogipsum dan Kapur mempengaruhi kestabilan agregat tanah terutama agregat mikro tanah ($<250\mu\text{m}$). Kombinasi kapur dan Fosfogipsum menurut Zalvano (2001) memiliki pengaruh dalam mengurangi dispersi padatan tanah yang kaya Na, meningkatkan konduktivitas, ketersediaan air, kelembaban tanah, dan ketahanan penetrasi. Pembentukan agregasi tanah berhubungan dengan peningkatan aktivitas biota dengan peningkatan pH tanah. Biota tanah dapat mensekresikan bahan-bahan sebagai agensia perekat antar partikel tanah.

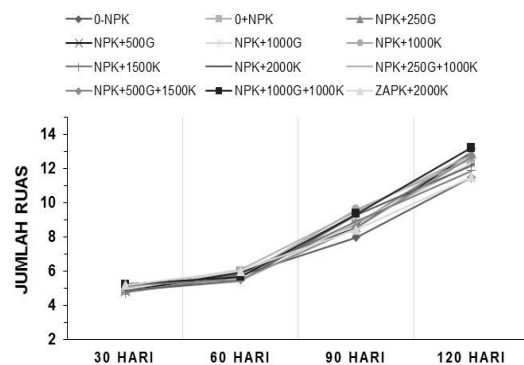
Selain stabilisasi secara biologis, kestabilan agregat juga dapat terjadi secara kimiawi. Stabilitas agregat tanah yang didominasi oleh mineral kaolinitik pada umumnya akan meningkat dengan penambahan kandungan Si tanah. Silikon memiliki afinitas elektron yang tinggi dengan oksida besi dan menyebabkan mekanisme pengikatan terhadap oksida – oksida besi. Struktur siloksane yang mengalami perusakan pada tepi menghasilkan silikon oksida yang kemudian menjerap oksida maupun oksihidroksida yang terdapat pada permukaan mineral lempung (Henin, 1990)

Parameter agronomis

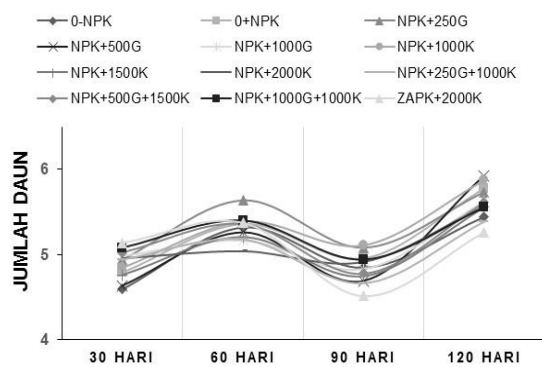
Pertumbuhan merupakan suatu proses dalam kehidupan tanaman yang mengakibatkan perubahan ukuran tanaman, pertambahan besar dan pertambahan ukuran tubuh tanaman. Pertambahan ukuran jaringan tanaman disebabkan karena adanya pertambahan ukuran bagian-bagian (organ-organ) tanaman. Pertambahan jaringan sel membutuhkan jumlah substrat dalam jumlah yang cukup untuk disintesis. Pertumbuhan sebagai fungsi dari proses pengolahan masukan substrat hingga hasil akhir produk merupakan salah satu konsep hubungan yang linear.



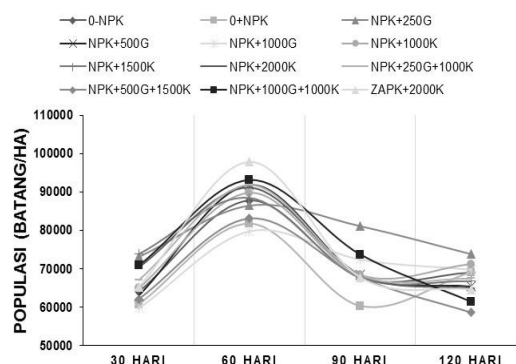
Gambar 4. Tinggi tebu umur 1- 4 bst



Gambar 5. Jumlah ruas tebu umur 1- 4 bst



Gambar 6. Jumlah daun tebu umur 1- 4 bst



Gambar 7. Populasi tebu umur 1- 4 bst

Pertumbuhan tanaman selain dipengaruhi oleh faktor genetik juga dipengaruhi oleh berbagai faktor edafik. Kedua faktor tersebut sangat menentukan dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Berdasarkan hasil pengamatan pertumbuhan tanaman selama umur 1-4 bst menunjukkan bahwa penambahan jumlah tanaman tebu diikuti dengan adanya penambahan jumlah ruas. Secara normal penambahan jumlah tanaman tebu berkisar antara 2-3 ruas perbulan. Panjang ruas tanaman tebu pada umur 4 bulan rata-rata adalah 10 cm.

Penambahan jumlah populasi tertinggi terjadi setelah umur 2 bst dan kemudian mengalami penurunan yang tajam terkecuali pada beberapa perlakuan. Kemampuan berkembang biak dapat diketahui dengan munculnya anakan yang kemudian akan menjadi individu baru. Penambahan jumlah populasi menyebabkan persaingan untuk mendapatkan hara menjadi semakin besar sehingga tanaman yang tidak mendapatkan unsur hara dalam jumlah yang mencukupi akan mati.

Pengaruh jarak antar tanaman tebu terhadap pertumbuhan dan hasil melalui propagasi mikro telah dibahas oleh Raghu *et al.*(2005). Jarak tanaman tebu 90 x 60 cm meningkatkan panjang batang, panjang ruas dan hasil tanaman tebu. Kerapatan jarak tanam antar tanaman tebu mempengaruhi besarnya cahaya yang dapat masuk dan perolehan unsur hara dan air. Pertumbuhan tanaman tebu juga sering dikaitkan dengan pemupukan Nitrogen, Zhao (2014) menunjukkan bahwa berbagai dosis N yang diberikan mempengaruhi luas area daun, fotosintesis relatif daun dan biomassa tanaman. Pertumbuhan tanaman pada masa vegetatif sangat penting untuk menuju pada tahap pematangan dan menentukan hasil panen tanaman tebu.

Tabel 12. Biomassa tanaman umur 6 bulan setelah tanam

Perlakuan	Biomassa Tanaman Panen										
	----- Pengamatan -----						----- Non Pengamatan -----				
	TB (cm)	JR	PR (cm)	Ø (cm)	BS (g)	BK (g)	Btg (g)	NonBB (kg)	NonBK (kg)	NonBtg (kg)	Brix (%)
0-NPK	185,09 ab	18 a	11,45 a	2,24 ab	227,95 a	54,20 ab	789,47 b	4,38 a	2,82 a	22,27 a	18,0 ab
0+NPK	192,47 ab	19 a	10,56 a	2,21 ab	286,21 a	57,16 b	858,13 ab	4,85 a	2,43 a	24,58 a	17,7 ab
NPK+250G	203,31 ab	19 a	11,88 a	2,23 ab	229,94 a	55,24 b	893,42 ab	5,05 a	2,78 a	28,17 a	18,2 ab
NPK+500G	209,79 ab	20 a	11,54 a	2,29 ab	275,91 a	59,34 b	954,73 ab	4,55 a	2,00 a	25,83 a	16,9 b
NPK+1000G	209,63 ab	19 a	12,00 a	2,35 ab	270,99 a	70,86 ab	1003,36 ab	5,18 a	2,68 a	26,10 a	17,4 ab
NPK+1000K	203,44 ab	19 a	11,14 a	2,22 ab	259,50 a	69,45 ab	927,22 ab	5,05 a	3,08 a	30,72 a	18,2 ab
NPK+1500K	203,19 ab	18 a	11,85 a	2,28 ab	232,86 a	64,88 ab	821,69 ab	5,80 a	3,27 a	32,30 a	18,1 ab
NPK+2000K	200,48 ab	19 a	11,65 a	2,32 ab	268,34 a	69,76 ab	949,69 ab	4,48 a	2,32 a	26,55 a	17,8 ab
NPK+250G+1000K	190,67 ab	18 a	11,28 a	2,20 b	266,37 a	66,51 ab	969,70 ab	5,00 a	2,73 a	27,42 a	18,9 a
NPK+500G+1500K	198,90 ab	19 a	12,07 a	2,28 ab	263,00 a	79,79 a	1158,86 a	4,60 a	2,73 a	29,03 a	17,4 b
NPK+1000G+1000K	222,86 a	20 a	12,02 a	2,41 a	271,83 a	67,59 ab	862,79 ab	5,25 a	2,68 a	29,98 a	18,0 ab
ZAPK+2000K	179,07 b	18 a	10,99 a	2,16 b	238,39 a	62,31 b	733,81 b	4,80 a	2,48 a	27,40 a	17,7 ab
Rerata	19,9	18,8	11,5	2,3	257,6	64,8	910,2	4,9	2,7	27,5	17,9

Ket.: angka-angka dalam satu kolom yang diikuti huruf yang sama tidak menunjukkan perbedaan yang nyata pada uji lanjut dengan taraf kepercayaan 95% ($\alpha=0,05$).

TB = tinggi batang, JR = jumlah ruas, PR = panjang ruas, Ø = diameter batang, BB = brangkasan basah, BK = brangkasan kering, Btg = berat basah batang, Non Pengamatan = pada baris tanaman yang dikorbankan tetapi tidak diamati pertumbuhannya.

Biomassa tanaman diambil pada akhir masa vegetatif tanaman tebu (6 bulan setelah tanam) untuk memperkirakan secara dini hasil produksi tebu. Pengukuran biomassa pada umumnya didasarkan pada hasil akhir produk yang akan digunakan. Bagian tebu yang dipanen adalah batangnya dan kemudian diambil niranya untuk diproses menjadi gula. Pengambilan contoh biomassa tanaman pada umur 6 bst ditujukan untuk memprediksi hasil panen yang akan diperoleh pada akhir masa tanam.

Pemberian kapur dan Fosfogypsum secara bersamaan memberikan pengaruh yang nyata terhadap tinggi batang, diameter, brangkasan kering, berat batang, dan brix (kadungan nira) pada tanaman tebu yang diamati pada umur 6 bst. Rata-rata tinggi batang dan diameter terbesar diperoleh pada kombinasi perlakuan kapur dan Fosfogypsum masing-masing 1000 kg ha^{-1} dengan nilai berturut-turut adalah 222,86 cm dan 2,41 cm. Berdasarkan penelitian Nasution et.al (2013) pemberian dosis pupuk anorganik NPK 400 kg ha^{-1} dan 800 kg ha^{-1} ZA, NPK 600 kg ha^{-1} dan ZA sebesar 1000 kg ha^{-1} mampu meningkatkan diameter tanaman tebu pada umur 71 hari setelah tanam. Sedangkan brangkasan kering tertinggi sebesar 79,79 g, berat batang basah tanaman tebu tertinggi sebesar 1158,85 g (1,16 kg).

Kandungan nira tanaman tebu juga menunjukkan nilai yang tinggi dengan rentangan nilai antara 17-18%. Nilai brix tertinggi sebesar 18,9% diperoleh pada kombinasi perlakuan 250 kg ha^{-1} Fosfogypsum dengan 1000 kg ha^{-1} kapur. Preisser (1991) mengemukakan bahwa akumulasi glukosa dan fruktosa pada tanaman tebu terjadi di vakuola pada awal-awal masa pertumbuhan (fase perkecambahan) dan kemudian terjadi pemerataan antara jumlah glukosa dan fruktosa pada vakuola dan sitosol. Sedangkan sukrosa tidak terakumulasi pada setiap fase dari siklus pertumbuhan. Pada batang non pengamatan perlakuan tidak menunjukkan adanya pengaruh yang nyata terhadap biomassa tanaman tebu. Penggunaan dosis S sebesar 175 kg S ha^{-1} yang berasal dari Fosfogypsum pada tanaman tebu meningkatkan pertumbuhan dan hasil produksi tebu maupun gula telah dilaporkan oleh Jayaram *et al.*, 2010.

KESIMPULAN

Pemupukan fosfogypsum (PG) dan kapur pertanian secara konsisten mampu memperbaiki sifat kimia Ultisol pada 2,4, dan 6 bulan setelah tanam, terutama pH, namun belum mampu meningkatkan kandungan Ca dan S dalam tanah secara signifikan. Kadar hara S daun pada kondisi kecukupan pada umur 2,4 bulan, tetapi pada umur 6 bulan mengalami penurunan pada takaran PG 500 kg ha^{-1} . Pemberian kapur dan foPG dengan dosis 500 kg ha^{-1} - 1500 kg ha^{-1} juga telah mampu meningkatkan pertumbuhan, produksi biomassa tanaman tebu.

Pemberian dosis kapur dan PG belum mampu meningkatkan berat jenis, berat volume, potositas total, retensi air tanah dan pori penyimpan lengas, tetapi aplikasi PG sebesar $400\text{-}600 \text{ kg ha}^{-1}$ mampu meningkatkan permeabilitas tanah pada kategori agak cepat ($10,116 \text{ cm jam}^{-1}$), tingkat kestabilan agregat $< 2\text{mm}$ (*water stable aggregate*) masih mengalami peningkatan hingga dosis PG sebesar 1000 kg ha^{-1} , sedangkan dosis kapur kapur sebesar 1093 kg ha^{-1} mampu memberikan tingkat kestabilan maksimum sebesar 66,07 %.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada PT Gunung Madu Plantation, PT. Petrokimia Gresik, Pusat Studi Sumber Daya Lahan (PSSL) UGM, dan juga kepada Direktorat Ristek dan Pendidikan Tinggi (RISTEKDIKTI).

DAFTAR PUSTAKA

- Amezketta, E. 1999. Soil aggregate stability:A review. *Journal of Sust. Agric.* 14:83-151.
- Dierolf, T. Fairhurst, T.H. dan Mutert, E.W. 2000. Soil fertility kit:A toolkit for acid upland soil fertility management in Southeast Asia. Potash & Phosphate Institute - East and South East Asia Programs. Singapore.
- Hakim, M. 2010. Potensi Sumber Daya Lahan untuk Tanaman Tebu di Indonesia. *Jurnal Agrikultura.* 21 (1):5-12.
- Hartatik, W. Rochyani, S. dan Adiningsih, J.S. 1993. Perbandingan efektivitas sumber kapur dan Fosfogipsum. Pusat penelitian tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Henin, S. 1990. Dalam: *Soil colloids and their associations in aggregates*. De Boodt M. F., Hayes M.H., Herbillon, A. (Ed). Springer – Plenum Press. New York.
- Jayaram, S., Thanunathan, K., Jeyabal, A., & Thirupathi, M. 2010. Influence of sulphur on sugarcane yield, economics and post harvest soil sulphur status under sandy loam soil condition. *Plant Archives*, 10(2), 773-775.
- Kemper, W.D. dan Rosenau, R.C. 1986. *Method of Soil Analysis*, Part I. Physical and Mineralogical Methods-Agronomy Monograph no 9 (2nd Edition). American Society of Agronomy-Soil Science Society of America. South Seeger Road, Madison, USA.
- Kingston, G. 2014. Mineral nutrition of sugarcane, Dalam: Moore, P.H. dan Botah, F.C (ed). *Sugarcane: Physiology, biochemistry & functional biology*. John Wiley & Sons. New Delhi, India.
- Lakitan, B. 1993. Dasar-dasar fisiologi tumbuhan. RajaGrafindo Persada. Jakarta.
- Misra, R.K. 1989. Penetration of soil aggregates of finite size III wetting-drying and aggregate confinement effects of the penetrometer pressure. *Soil & Tillage Res.* 13:23-33.

- Montgomery, D.C. 2013. Design and analysis of experiments eight edition. John Wiley & Sons, Inc. Denver. Colorado. USA.
- Moore, J.D., Duchesne, L. And Ouimet, R. 2008. Soil properties and maple-beech regeneration a decade after liming in northern hardwood stand. *For. Eco. and Mang.* 255:3460:3468.
- Preisser, J., & Komor, E. 1991. Sucrose uptake into vacuoles of sugarcane suspension cells. *Planta*, 186(1), 109-114.
- Rachman, A., dan Adimihardja, A. 2006. Penetapan kemantapan agregat tanah. Dalam: *Sifat Fisik tanah dan Metode Analisisnya*. Kurnia, U. Agus, F. Adimihardja, A. Dairiah, A (Ed). Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Raghu, S., Jayaram, S., Ramkumar, S., Prabakaran, P., dan Vekatesalu, V. 2006. Influence on growth and yield of sugarcane raised through in vitro micropropagation. *Sugar Tech.* 8(1): 82-84.
- Reddy, A. S., Ali, G. S., Celesnik, H., & Day, I. S. 2011. Coping with stresses: roles of calcium-and calcium/calmodulin-regulated gene expression. *The Plant Cell Online*, 23(6), 2010-2032.
- Robson, A.D. 1989. Soil Acidity and Plant Growth. Academic Press, Harcourt Brace Jovanovisvh, Publishers. Sydney.
- Soil Survey Division Staff. 1993. *Soil survey manual. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18.*
- Soil Survey Staff. 2014. Soil Survey Field and Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 51, Version 2.0. R. Burt and Soil Survey Staff (ed.). U.S.Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- Sugiyanto, C. 2007. Permintaan gula di Indonesia. *J. Ekonomi Pembangunan*, Vol. 8 (2):113-127
- Sutanto, R. 2005. Dasar-Dasar Ilmu Tanah: Konsep dan Kenyataan. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.
- Wahjudin, U.M. 2006. Pengaruh pemberian kapur dan kompos sisa tanaman terhadap aluminium dapat ditukar dan produksi tanaman kedelai pada tanah vertic hapludult dari Gajrug, Banten. *Bul. Agron.* 34:141-147.
- Yadav, R.L. dan Prasad, S.R. Maximizing sugarcane yield by increasing plant population density, minimizing NO₃-N leaching and improving soil organic matter in different crop rotations. *J. Agron. & Crop Sci.* 178:117-123.

Zalvano, F.P., Murphy, B.W., dan Greene, R.S.B. 2001. The long-term of lime (CaCO_3), Fosfogypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), and tillage on the physical and chemical properties of a sodic red-brown earth.

Zhao, D., Glaz, B., dan Comstock, J.C. 2014. Physiological and growth response of sugarcane genotypes to nitrogen rate on a sand soil. *J. Agro Crop Sci.* 200: 290-301.